Phân tích mô hình nút SPIL với khả năng chuyển đổi bước sóng giới hạn trên mạng chuyển mạch chùm quang

Analyzing the Model of SPIL Node with Partial and Limited-Range Wavelength Conversion in OBS Networks

Đặng Thanh Chương, Nguyễn Thị Thu Hoài

Abstract: *Integrating the wavelenght conversion into an optical burst switching (OBS) node is intended to reduce congestion. There were many analysis models of OBS node with partial and limited-range wavelength conversion proposed. In this paper, we consider an OBS node with the share-per-input-link (SPIL) architecture and the capacity of partial and limited-range wavelength conversion. We analyse the effect of wavelength conversion basing on the dropped-bursts probability through a Markov model of one-dimensional continuous time. Analysis results show the correct of the proposed model.*

Keywords*: OBS, Blocking probability, Partial Wavelength Conversion (PWC), Limited Range Wavelength Conversion (LRWC), Share-Per-Input-Link (SPIL).*

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 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 [2]. 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 [3]. Trong trường hợp tranh chấp không thể giải quyết được, một hướng tiếp cận khác là phân đoạn chùm sao cho chỉ có phần (đoạn) tranh chấp của chùm bị rơi thay vì toàn bộ chùm và do đó giảm được lượng dữ liệu bị mất mát khi tranh chấp.

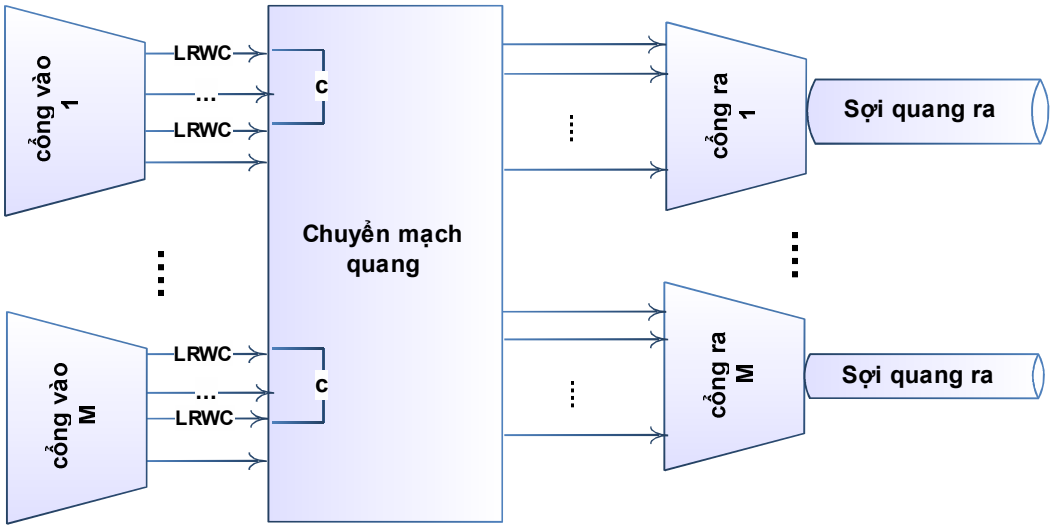
Trong chuyển đổi bước sóng đầy đủ, một chùm đến trên một bước sóng nào đó có thể được chuyển đổi sang một bước sóng bất kỳ trên kết nối ra. Mặc dù

chuyển đổi bước sóng đầy đủ cho phép giảm xác suất tắc nghẽn rất lớn so với không chuyển đổi bước sóng, nhưng việc triển khai trong thực tế vẫn gặp rất nhiều khó khăn do chi phí trang bị và các giới hạn về công nghệ. Một phương pháp giúp giảm chi phí là chia sẻ số bộ chuyển đổi bước sóng giữa nhiều kết nối ra. Ngoài ra, việc xem xét các bộ chuyển đổi với vùng chuyển đổi hạn chế là phù hợp với thực tế công nghệ quang hiện nay.

Bộ chuyển đổi bước sóng có thể được triển khai theo kiến trúc SPN (share-per-node) hoặc kiến trúc SPL (share-per-link). Trong trường hợp SPN, bộ chuyển đổi bước sóng được sử dụng chung cho toàn nút và các lưu lượng đến trên cổng vào bất kỳ đều có thể sử dụng chúng nếu khả dụng. Trong trường hợp SPL, bộ chuyển đổi bước sóng chỉ được xem xét đối với một cổng ra cụ thể và chỉ được sử dụng bởi các lưu lượng hướng đến cổng ra đó. Nếu các bộ WC được thiết kế đặt tại các cổng vào, ta có kiến trúc tương tự SPL, gọi là SPIL (share-per-input-link) [4]. Theo kết quả phân tích trong [4], kiến trúc SPL thường cho hiệu suất tốt hơn kiến trúc SPIL với trường hợp lưu lượng vừa phải; ngược lại, khi lưu lượng tải cao, kiến trúc SPIL lại cho hiệu suất tốt hơn.

Mặc dù không thực sự hiệu quả như chuyển đổi bước sóng đầy đủ, chuyển đổi bước sóng từng phần, cũng như hạn chế vùng chuyển đổi bước sóng đã góp phần làm giảm đáng kể xác suất tắc nghẽn so với không có chuyển đổi bước sóng, trong khi vẫn có thể giảm được chi phí trang bị các bộ chuyển đổi bước sóng tại một nút. Nhiều kết quả phân tích cũng như mô phỏng đã chứng tỏ được điều này [3]. Việc phân tích xác suất tắc nghẽn tại một nút OBS có chuyển đổi bước sóng với các kiến trúc khác nhau đã được thực hiện trong [3], [8] với kiến trúc SPL và trong [4] với kiến trúc SPIL. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu với kiến trúc chuyển đổi bước sóng có giới hạn (theo số bộ chuyển đổi và vùng chuyển đổi) trong mô hình nút lõi OBS kiến trúc SPIL (Hình 1) theo hướng tiếp cận sử dụng mô hình Markov 1-chiều để phân tích xác suất tắc nghẽn.

Nội dung tiếp theo của bài báo bao gồm: phần II giới thiệu mô hình phân tích đã được đề xuất trước đây và các mô hình chúng tôi cải tiến, đề xuất. Kết quả phân tích, 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.



Hình 1. Kiến trúc SPIL của nút lõi OBS

II. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

1. Các giả thiết

Tương tự [3][4][8], 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:

- Không có đường trễ quang FDL (*Fiber Delay Link*) tại nút lõi.
- Phân bố lưu lượng đến các cổng ra là như nhau, nên chúng ta chỉ cần xem xét tại một cổng ra [8].
- Một nút lõi OBS kiến trúc SPIL có nhiều cổng vào và cổng ra, một sợi quang WDM trong mỗi cổng, có ω bước sóng $\Lambda = \{\lambda_0, \lambda_1, \ldots \lambda_{\omega-1}\}$ và có c (c < ω) bộ chuyển đổi bước sóng (mỗi bộ chuyển đổi được thiết kế dành riêng cho 1 kênh bước sóng nào đó trong ω kênh bước sóng trên mỗi kết nối vào). Như vậy, chỉ có c bước sóng trong tập Λ có thể được chuyển đổi sang bước sóng khác; trong khi (ω – c) bước sóng còn lại không được chuyển đổi. Giá trị $\nu = \frac{c}{\omega}$ do đó là khả năng chuyển đổi của một nút (xét theo giới hạn bộ chuyển đổi) [4].
- Các bộ chuyển đổi được xem xét trong bài báo này có phạm vi chuyển đổi hạn chế (limited-range), tức là một chùm đến trên một bước sóng vào chỉ có thể được chuyển đổi đến một bước sóng ra lân cận với bước sóng vào. Đặt *d* (số nguyên dương) là bậc chuyển đổi ($d \in [0, \lfloor \omega/2 \rfloor]$) và như thế một chùm đến chỉ có thể được chuyển đổi trong phạm vi *r = 2d + 1*.
- Đối với bước sóng đến λ_i bất kỳ (0 ≤ i ≤ ω-1), tập chuyển đổi N^i là:

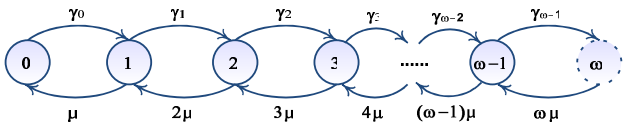
$$N^i = \{\lambda_j \mid j = (i+l) \bmod(\omega), l = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots, \pm d\} \qquad (1)$$

ở đây $|N^i| = r$

- Các chùm đến theo phân phối Poisson với tốc độ đến trung bình *γ* và thời gian phục vụ theo phân bố hàm mũ với giá trị trung bình 1/μ.
- Mỗi chùm đến sẽ được gởi 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. Trong trường hợp có chuyển đổi bước sóng, một chùm cũng sẽ bị rơi nếu không có bộ chuyển đổi bước sóng nào khả dụng, hoặc không thành công do sự hạn chế vùng chuyển đổi.

Với các giả thiết nêu trên, chúng tôi thực hiện phân tích các trường hợp sau: (*i*) khả năng chuyển đổi là hoàn toàn (r = ω) và số bộ chuyển đổi được sử dụng là giới hạn (c < ω) [4]; (*ii*) số bộ chuyển đổi bằng số bước sóng (c = ω) và khả năng chuyển đổi là giới hạn với bậc *d* [8]; *(iii)* số bộ chuyển đổi được sử dụng là giới hạn (c < ω) và khả năng chuyển đổi là hạn chế với bậc *d*.

Lược đồ chuyển thái tại nút lõi OBS trong cả 3 trường hợp ở trên đều có dạng như Hình 2; trong đó, trạng thái *k*, ở đây $k \in \{0, 1, 2, \cdots, \omega\}$, tương ứng với *k* chùm đang được phục vụ đồng thời tại nút lõi đang xét.



Hình 2. Lược đồ chuyển trạng thái với các mô hình

Đây chính là mô hình chuyển trạng Markov M/M/ω/ω nhưng với các giá trị tốc độ chuyển trạng thái (đến) được điều chỉnh thích hợp theo từng trường hợp phân tích ở trên (sẽ được trình bày trong các phần tiếp theo). Ở đây, chúng tôi ký hiệu giá trị tốc độ chuyển trạng thái tại trạng thái *k* sang *k+1* là γ_k và tốc độ phục vụ từ trạng thái *k* về trạng thái *k-1* có giá trị bằng *kμ*.

Đặt Π = $(\pi_0, \pi_1, ..., \pi_k)$ là vector xác suất trạng thái cân bằng của hệ thống, với π_k (xác suất cân bằng tại trạng thái *k*) được biểu diễn như sau:

$$\pi_k = \frac{\gamma_0 \gamma_1 \gamma_2 \cdots \gamma_{k-1}}{k! \mu^k} \pi_0, \qquad k = 1, 2, \ldots, \omega \qquad (2)$$

trong đó, π_0 được tính như sau:

$$\pi_0 = \left[1 + \frac{\gamma_0}{\mu} + \frac{\gamma_0\gamma_1}{2\mu^2} + \ldots + \frac{\gamma_0\gamma_1\gamma_2\cdots\gamma_{\omega-1}}{\omega!\,\mu^{\omega}}\right]^{-1} \quad (3)$$

với điều kiện: $\sum_{k=0}^{\omega}\pi_k = 1$

2. Mô hình (i)

Mô hình này ứng với trường hợp $0 \le \nu \le 1$ và r = ω. Tốc độ chuyển trạng thái khi đó phụ thuộc vào số chùm đã được phục vụ tại thời điểm xét, cũng như khả năng chuyển đổi ν của nút mạng. Tốc độ chuyển trạng thái đến từ trạng thái *k* đến trạng thái *k+1* sẽ là [4]:

$$\gamma_k = \gamma\left[\frac{\omega - k}{\omega} + \frac{k}{\omega}\nu\right] \quad (4)$$

Theo lược đồ trạng thái như ở hình 2, áp dụng công thức (4) vào các công thức (2), (3) ta có thể biểu diễn xác suất trạng thái cân bằng π_k như sau:

$$\pi_k = \begin{cases} \rho.\pi_0 & ,k = 1 \\ (\rho)^k \dfrac{1}{k!}\prod_{i=1}^{k-1}\left(\dfrac{\omega - i}{\omega} + \dfrac{i\nu}{\omega}\right)\pi_0 & ,k \ge 2 \end{cases} \quad (5)$$

với điều kiện $\sum_{k=0}^{\omega}\pi_k = 1$, và $\rho = \dfrac{\gamma}{\mu}$

Với giả thiết tổng tất cả các xác suất trạng thái bằng 1, ta tính được giá trị của π_0, như sau:

$$\pi_0 = \left(1 + \rho + \sum_{j=2}^{\omega}\rho^j \frac{1}{j!}\prod_{i=1}^{j-1}\left(\frac{\omega - i}{\omega} + \frac{i\nu}{\omega}\right)\right)^{-1} \quad (6)$$

Thay giá trị π_0 vào (5), ta có được giá trị π_k như sau:

$$\pi_k = \begin{cases} \dfrac{\rho}{1 + \rho + \sum_{j=2}^{\omega}\rho^j \frac{1}{j!}\prod_{i=1}^{j-1}\left(\frac{\omega - i}{\omega} + \frac{i\nu}{\omega}\right)} & ,k = 1 \\ \dfrac{\rho^k \frac{1}{k!}\prod_{i=1}^{k-1}\left(\frac{\omega - i}{\omega} + \frac{i\nu}{\omega}\right)}{1 + \rho + \sum_{j=2}^{\omega}\rho^j \frac{1}{j!}\prod_{i=1}^{j-1}\left(\frac{\omega - i}{\omega} + \frac{i\nu}{\omega}\right)} & ,k \ge 2 \end{cases} \quad (7)$$

Khi đó, xác suất tắc nghẽn PB_1^{PWC} được tính từ lược đồ trạng thái như hình 2, kết hợp với công thức tính π_k trong (7), có kết quả như sau [4]:

$$PB_1^{PWC} = \pi_{\omega} + \sum_{i=1}^{\omega-1}\pi_i.\frac{i}{\omega}.(1 - \nu) \quad (8)$$

Lưu ý rằng, khi giá trị ν = 1 (tức c = ω), công thức (8) trở về công thức Erlang-B [3] ứng với hệ thống tổn thất trong mô hình hàng đợi M/M/ω/ω. Tương tự với trường hợp ν = 0, mô hình trở thành hệ thống hàng đợi M/M/1/1.

3. Mô hình (ii)

Khác với mô hình *(i)* ở trên, mô hình ở đây xét trường hợp ν = 1 và khả năng chuyển đổi là bị hạn chế (bậc *d*). Khi một chùm đến trên một kênh bước sóng đang bận, nó có thể sử dụng một LRWC để chuyển sang một bước sóng rỗi khác chỉ trong tập chuyển đổi N^i. Nếu N^i hoàn toàn được sử dụng bởi các chùm đến trước đó, chùm mới đến này sẽ bị rơi.

Khác với mô hình *full-equipped LRWCs* trong [8], mô hình *(ii)* phân tích ở đây được cải tiến để thống nhất với mô hình *(i)* ở trên, tức là cũng được phân tích với các giá trị tốc độ chuyển trạng thái đến thay đổi, phụ thuộc vào số chùm đã được phục vụ tại thời điểm xét, cũng như khả năng chuyển đổi thành công của bộ chuyển đổi trong vùng chuyển đổi *r*. Khi đó, tốc độ chuyển trạng thái đến từ trạng thái *k* đến trạng thái *k+1* sẽ là:

$$\gamma_k = \gamma\left[\frac{\omega - k}{\omega} + \frac{k}{\omega}\tau_k\right] \quad (9)$$

trong đó τ_k là xác suất bộ chuyển đổi thực hiện chuyển đổi thành công.

Để tính τ_k trong trường hợp này, đầu tiên ta cần tìm số lượng trung bình các chùm đến bị tắc nghẽn tại trạng thái *k*. Số chùm đến bị tắc nghẽn bằng tập các bước sóng trong vùng chuyển đổi đã bị chiếm giữ hoàn toàn, tức là các bước sóng trong tập chuyển đổi đã được sử dụng. Theo tính chất hạn chế của bộ chuyển đổi bước sóng (với vùng chuyển đổi r), tập các bước sóng trong vùng chuyển đổi bước sóng đã bị chiếm giữ hoàn toàn liên quan đến việc các bước sóng bị chiếm giữ như thế nào [5].

Đối với trường hợp *k* < *r*, có ít nhất một bước sóng còn rỗi trong mỗi vùng chuyển đổi, chùm đến sẽ không bị tắc nghẽn và $\tau_k = 1$. Khi r ≤ k < ω, số chùm đến bị tắc nghẽn liên quan đến độ dài của dãy liên tục các bước sóng đã được sử dụng (ký hiệu là R); nếu R < r, không có tắc nghẽn; tuy nhiên, khi R ≥ r, số chùm đến bị tắc nghẽn sẽ là (R – r + 1). Vì vậy, nếu tìm được số dãy liên tục các bước sóng đã được sử dụng với các độ dài khác nhau trong trạng thái *k*, ta có thể thu được chính xác giá trị τ_k. Theo định lý đã được đề xuất trong [5], giá trị trung bình n_k^R của số dãy liên tục các bước sóng bận có thể được biểu diễn như sau:

$$n_k^R = \begin{cases} \omega.C_{\omega-2-R}^{k-R} / C_\omega^k, k = 1,\ldots,\omega-2; \\ \qquad\qquad R = 1,\ldots,k \\ 1, \qquad\qquad k = \omega-1, \omega; R = k \\ 0, \qquad\qquad otherwise \end{cases} \tag{10}$$

Từ các phân tích trên và công thức (10) ta có thể tính được giá trị τ_k như sau:

$$\tau_k = \begin{cases} 1, \qquad k = 1,\ldots,r-1 \\ \left(k - \sum_{R=r}^{k}(R-r+1)n_k^R\right) \Big/ k, k = r,\ldots,\omega-1 \end{cases} \tag{11}$$

Từ (9), (10), (11), xác suất tắc nghẽn PB_2^{LRWC} trong mô hình *(ii)* sẽ là:

$$PB_2^{LRWC} = \pi_\omega + \sum_{k=1}^{\omega-1}\left(\frac{k}{\omega}(1-\tau_k)\right)\pi_k \tag{12}$$

Tương tự như khi xét với mô hình *(i)*, ta cũng lưu ý rằng, nếu khả năng chuyển đổi của các bộ chuyển đổi là đầy đủ, tức là r = ω, công thức (12) trở thành $PB_2^{LRWC} = \pi_\omega$, ứng với hệ thống tổn thất trong mô hình hàng đợi M/M/ω/ω.

4. *Mô hình (iii)*

Như đã xét với hai mô hình *(i)* và *(ii)* ở trên, ta có thể nhận thấy, với mô hình *(i)*, xét với giá trị r = ω, và tương tự với mô hình *(ii)*, xét với giá trị ν = 1. Trong mô hình đề xuất, chúng tôi kết hợp 2 mô hình trên bằng việc xét cả 2 giá trị *r* và ν.

Tương tự hai mô hình trên, với điều kiện xem xét là $0 \le \nu \le 1$ và $[0 \le d \le \lfloor \omega/2 \rfloor]$, tốc độ chuyển trạng thái từ trạng thái *k* đến trạng thái *k+1* là:

$$\gamma_k = \gamma\left[\frac{\omega-k}{\omega} + \frac{k}{\omega}.\nu.\tau_k\right] \tag{13}$$

Giá trị γ_k trong công thức (13) được tính trên cơ sở nhận xét như sau [4]:

*Tốc độ chuyển trạng thái = tốc độ đến trung bình * (xác suất một chùm đến yêu cầu một bước sóng rỗi + xác suất một chùm đến yêu cầu một bước sóng bận * xác suất mà một bước sóng được yêu cầu có khả năng sử dụng bộ chuyển đổi bước sóng LRWC * xác suất mà một bộ LRWC có thể chuyển đổi thành công).*

Xác suất tắc nghẽn trong trường hợp này được xét theo các trường hợp sau:

- Tắc nghẽn do thiếu bước sóng khả dụng: xảy ra khi một chùm đến nhưng hết bước sóng khả dụng.

- Tắc nghẽn do thiếu bộ chuyển đổi bước sóng: xảy ra khi chùm đến cần chuyển đổi bước sóng nhưng hết bộ chuyển đổi khả dụng (mặc dù có thể còn bước sóng khả dụng).

- Tắc nghẽn do bộ chuyển đổi bước sóng không chuyển đổi thành công: xảy ra khi chùm đến yêu cầu chuyển đổi bước sóng, vẫn còn bộ chuyển đổi khả dụng nhưng việc chuyển đổi bước sóng không thành công do khả năng chuyển đổi bị giới hạn.

Khi đó, xác suất tắc nghẽn được tính như sau:

$$PB_3^{P-LRWC} = \pi_\omega + \sum_{k=1}^{\omega-1}\left(\frac{k}{\omega}(1-\nu)\right)\pi_k + \\ + \sum_{k=0}^{\omega-1}\left(\frac{k}{\omega}\nu(1-\tau_k)\right)\pi_k \tag{14}$$

III. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Trên cơ sở xác suất tắc nghẽn đã xác định được ở phương trình (8), (12), (14), chúng tôi tiến hành mô tả về mặt đồ thị (được viết bằng ngôn ngữ C++) sự biến thiên của xác suất tắc nghẽn phụ thuộc vào lưu lượng tải mạng (ρ), số bước sóng ra (ω), số bộ chuyển đổi bước sóng (c) và phạm vị giới hạn vùng chuyển đổi bước sóng (r). Tương tự các tham số mô phỏng được sử dụng trong [4][8], gọi β = ρ/ω 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 0.8 (Erl).

a. Mô hình (i)

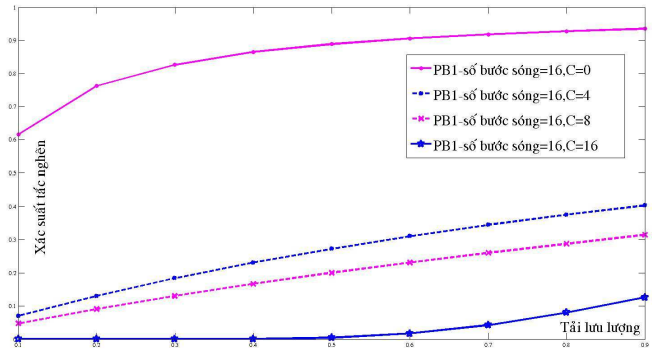
Đồ thị trong Hình 3 thể hiện sự so sánh sự biến thiên của xác suất tắt nghẽn chuyển biến theo số bộ chuyển đổi bước sóng.

Hình 3 chỉ ra rằng xác suất tắc nghẽn chùm sẽ giảm khi số bộ chuyển đổi (c) tăng. Điều này là hiển nhiên vì khi số bộ chuyển đổi tăng, cơ hội một chùm đến tìm thấy một bước sóng ra khả dụng, nhờ vào việc chuyển đổi bước sóng, là cao. Trong trường hợp c = ω, xác suất mất chùm trong trường hợp này tương ứng với xác suất mất chùm trong mô hình hàng đợi M/M/ω/ω ứng với công thức Erlang-B, và khi c = 0, nghĩa là không có sự chuyển đổi bước sóng thì xác suất tắc nghẽn sẽ rất lớn.

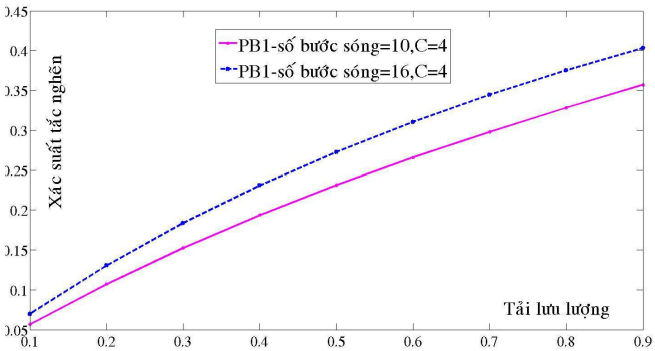
Khi so sánh cùng số bộ chuyển đổi bước sóng (c) nhưng số bước sóng ra (ω) là khác nhau, Hình 4 cho thấy rằng xác suất tắc nghẽn sẽ tăng khi số bước sóng tăng. Điều này là rõ ràng bởi vì khi số bộ chuyển đổi là không đổi, tài nguyên bước sóng càng lớn thì xác suất mà một bước sóng được yêu cầu không có khả năng sử dụng bộ chuyển đổi $\left(1-\frac{c}{\omega}\right)$ sẽ tăng lên do giá trị này tỉ lệ thuận với giá trị ω. Và do đó, xác suất tắc nghẽn chùm sẽ tăng lên.

b. Mô hình (ii)

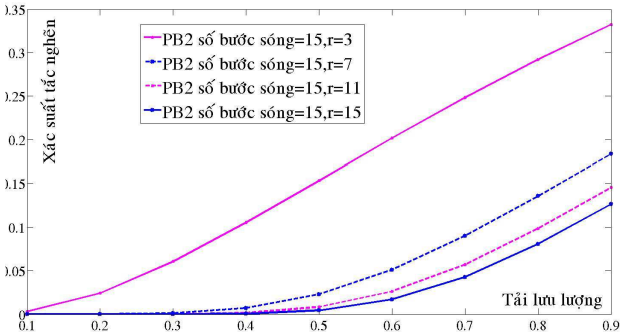
Với mô hình *(ii)*, khi số tài nguyên bước sóng không đổi, xác suất tắc nghẽn sẽ giảm khi vùng chuyển đổi r tăng (Hình 5). Điều này là dễ hiểu bởi vì khi đó một chùm đến sẽ có cơ hội tìm được bước sóng ra lớn khi vùng chuyển đổi lớn.



Hình 3. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (i) với trường hợp (ω=16; c=0,4,8,16) vs β



Hình 4. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (i) với trường hợp (ω=10, 16; c=4) vs β



Hình 5. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (ii) với trường hợp (ω = 15; r = 3, 7, 11, 15) vs β

Khi so sánh ảnh hưởng của số bước sóng ra (ω) đến xác suất tắt nghẽn khi mà vùng chuyển đổi (r) không thay đổi, Hình 6 chỉ ra rằng xác suất tắc nghẽn sẽ giảm khi tài nguyên bước sóng tăng. Điều này có thể được giải thích như sau:

Tại trạng thái k, khi có một chùm đến yêu cầu sử dụng bước sóng, nếu giá trị r không đổi và giá trị ω

tăng lên thì giá trị trung bình của số dãy liên tục các bước sóng bận trong ω bước sóng (n_k^R) sẽ giảm do số trường hợp mà các bước sóng bận ở các vị trí khác nhau $\left(C_\omega^k\right)$ tăng lên. Điều này dẫn đến xác suất chuyển đổi thành công của các bộ chuyển đổi sẽ tăng.

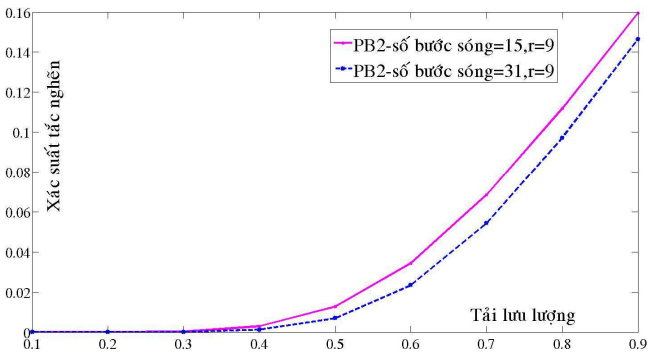
Mặt khác, khi ω tăng lên, xác suất một chùm đến yêu cầu một bước sóng bận (*k/ω*) sẽ giảm xuống (hay nói cách khác, cơ hội một chùm đến tìm thấy bước sóng khả dụng tại cổng ra là tăng). Do vậy, xác suất tắc nghẽn chùm trong trường hợp này sẽ giảm.

c. Mô hình (iii)

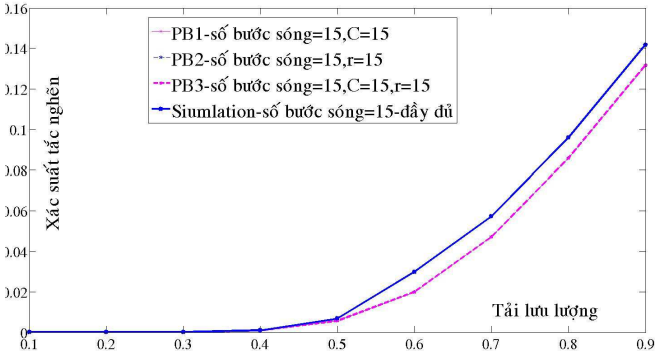
Khi xét mô hình (i) với c = ω, mô hình (ii) với r = ω và mô hình (iii) với trường hợp c = r = ω (chuyển đổi đầy đủ), kết quả đều tương ứng với xác suất tắc nghẽn trong mô hình hàng đợi M/M/ω/ω ứng với công thức Erlang-B (Hình 7). Kết quả trong trường hợp này cũng được so sánh với kết quả mô phỏng (bằng phần mềm OBS-ns) và hoàn toàn trùng khớp. Điều này cho thấy tính đúng đắn của các mô hình ở trên.

Trong mô hình (*iii*), khi số bộ chuyển đổi là tối đa (c = ω), xác suất tắc nghẽn chính là xác xuất tắc nghẽn trong mô hình (*ii*) (Hình 8).

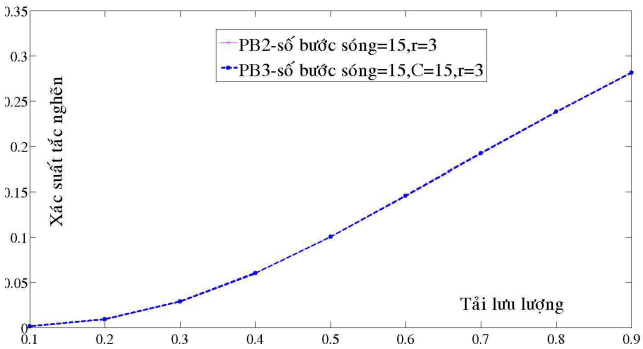
Tương tự, kết quả trong Hình 9 cho thấy khi giá trị vùng chuyển đổi là tối đa (*r = ω*), xác suất tắc nghẽn trong trường hợp này chính là xác suất tắc nghẽn chùm trong mô hình (*i*).



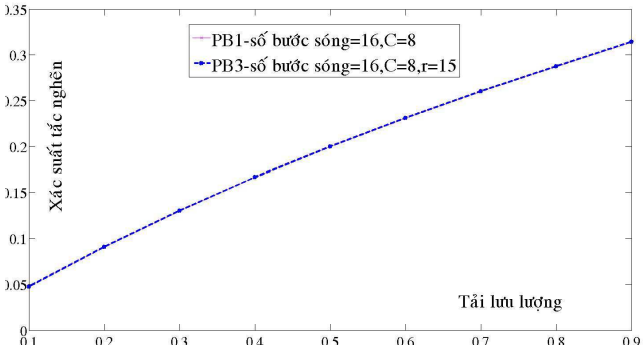
Hình 6. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (ii) với trường hợp (ω = 15, 31; r = 9) vs β



Hình 7. So sánh xác suất tắc nghẽn trong mô hình (i) với c = ω, trong mô hình (ii) với r= ω và trong mô hình (iii) với c = ω, r = ω (ω=15;, c = 15; r=15) vs β



Hình 8. So sánh xác suất tắc nghẽn trong mô hình (iii) với c = ω, r < ω và xác suất tắc nghẽn trong mô hình (ii) với r < ω (ω = 15; r = 3) vs β



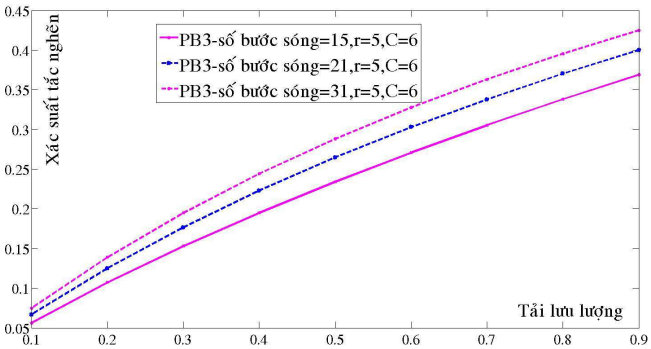
Hình 9. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (iii) với r= ω, c < ω và trong mô hình (i) với c < ω (ω = 16;c=8) vs β

Khi tài nguyên bước sóng tăng lên, vùng chuyển đổi không đổi (r < ω), số bộ chuyển đổi không đổi (c < ω) thì xác suất tắc nghẽn chùm sẽ tăng (Hình 10). Điều này được giải thích như sau: khi có một chùm

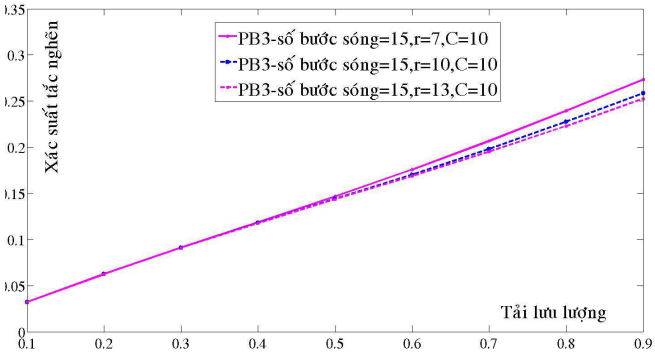
đến yêu cầu một bước sóng bận tại thời điểm k, tắc nghẽn sẽ xảy ra khi hoặc đã hết bộ chuyển đổi, hoặc còn bộ chuyển đổi nhưng khả năng chuyển đổi là không thành công. Như vậy, khi tài nguyên bước sóng tăng lên, thì khả năng xảy ra tắc nghẽn do không còn bộ chuyển đổi sẽ xảy ra nhiều hơn do xác suất mà một bước sóng được yêu cầu không có khả năng sử dụng bộ chuyển đổi $(1-\nu)$ tỷ lệ thuận với ω.

Hình 11 chỉ ra rằng, khi tài nguyên bước sóng là không đổi, số bộ chuyển đổi là không đổi (c < ω) thì xác suất tắc nghẽn chùm sẽ giảm khi giá trị vùng chuyển đổi (r) tăng. Điều này khá dễ hiểu bởi khi tài nguyên bước sóng và số bộ chuyển đổi là không đổi thì xác suất tắc nghẽn chùm thay đổi chỉ còn phụ thuộc vào giá trị vùng chuyển đổi. Nếu giá trị vùng chuyển đổi tăng thì khả năng chuyển đổi thành công của bộ chuyển đổi sẽ tăng và dẫn đến xác suất tắc nghẽn sẽ giảm xuống.

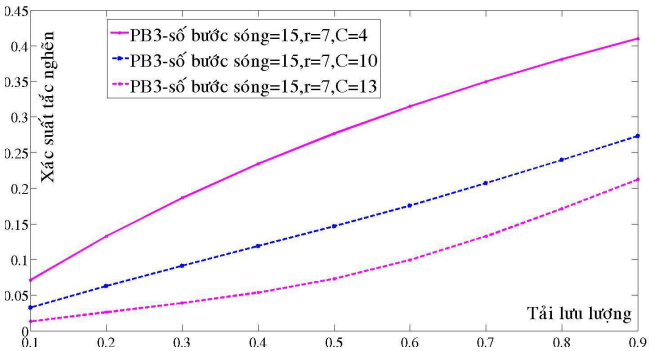
Cũng trong mô hình (iii), khi xét với tài nguyên bước sóng và giá trị vùng chuyển đổi không đổi, xác suất tắc nghẽn chùm sẽ giảm khi số bộ chuyển đổi tăng (Hình 12). Điều này là hoàn toàn hợp lý do khi số bộ chuyển đổi tăng thì xác suất mà một bước sóng được yêu cầu có khả năng sử dụng bộ chuyển đổi sẽ tăng và do đó, xác suất tắc nghẽn chùm sẽ giảm.



Hình 10. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (iii) với trường hợp ω thay đổi, r và c không đổi (r<ω, c <ω) (ω =15, 21, 31; r=5; c=6) vs β



Hình 11. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (iii) với trường hợp ω và c không đổi (c < ω), r thay đổi (r < ω) (ω = 15; r = 7, 10; 13, c = 10) vs β



Hình 12. Xác suất tắc nghẽn trong mô hình (iii) với trường hợp ω và r không đổi (r < ω), c thay đổi (c < ω) (ω = 15; r = 7; c = 13, 10, 4) vs β

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã đề xuất mô hình hàng đợi Markov để phân tích và đánh giá khả năng giới hạn chuyển đổi bước sóng tại nút lõi (kiến trúc SPIL) trong mạng OBS. Khác với các nghiên cứu trước thường chỉ xét với từng trường hợp giới hạn riêng biệt (partial, limited), 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 (trong trường hợp chuyển đổi đầy đủ), và so sánh giữa các mô hình cho thấy tính đúng đắn của các mô hình cải tiến và đề xuất.

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]. ALI RAJABI, ARESH DADLANI, AHMAD KIANRAD, AHMAD KHONSARI AND FARZANEH VARAMINIAN, *Mathematical Analysis of Wavelength-Based QoS Management in Optical Burst Switched Networks*, The 3rd International Conference of Asia Modelling Symposium – Bandung, Indonisia, 2009.

[3]. VENKATESH, C. SIVA RAM MURTHY, *An Analytical Approach to Optical Burst Switched Networks*, Springer ISBN 978-1-4419-1509-2, Chennai, India, August 2009.

[4]. MOHAMED H. S. MORSY, MOHAMMED Y. S. A. SOWAILEM, AND HOSSAM M. H. SHALABY, *Performance Analysis of a Core Node Equipped with Wavelength Converter Pool in an Optical Burst Switched Network*, 17th International Conference on Telecommunications, IEEE 2010.

[5]. YAO MINGWU, WEN AIJUN, AND LIU ZENGJI, *Blocking Probability of Asynchronous Optical Burst/Packet Switching With Limited Range Wavelength Conversion*, IEEE Pho toníc Technology Letters, Vol. 18, No 12, June 15, 2006.

[6]. AKIMARU H., KAWASHIMA K. *Teletraffic: Theory and Applications*. – Berlin: Springer-Verlag, Germany Pb, 1993.– P. 71–104.

[7]. MD. SHAMIM REZA, MD. MARUF HOSSAIN AND SATYA PRASAD MAJUMDER, *Evaluation of Burst Loss Rate of an Optical Burst Switching (OBS) Network with Wavelength Conversion Capability*, JOURNAL OF TELECOMMUNICATIONS, VOLUME 2, ISSUE 1, APRIL 2010.

[8]. XU YI, SHI KAI-YUAN, FAN GE, *Performance analysis of optical burst switching node with limited wavelength conversion capabilities*, Springer 2009.

Nhận bài ngày: 29/04/2011

SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

ĐẶNG THANH CHƯƠNG

Sinh năm 1975 tại TP.Vinh.

Tốt nghiệp đại học ngành Vật lý tại Trường Đại học Khoa học , Đại Học Huế, năm 1997.

Nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành Tin học năm 2004 tại Trường Đại học Khoa học, Đại Học Huế. Đang là NCS tại Viện CNTT-Viện Khoa học Công nghệ VN.

Hiện công tác tại Khoa CNTT, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

Hướng nghiên cứu: Mạng OBS, mạng máy tính.

Email: dtchuong@gmail.com

NGUYỄN THỊ THU HOÀI

Sinh năm 1989, tại Quảng Trị.

Tốt nghiệp đại học ngành CNTT, tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Hướng nghiên cứu: Mạng OBS.

Email: nguyenhoai304@gmail.com