

CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG CHUYỂN MẠCH GÓI TOÀN QUANG ĐA CHẶNG SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ MÀO ĐẦU ĐIỀU CHẾ VỊ TRÍ XUNG SỬA ĐỔI

IMPROVING THE PERFORMANCE OF MULTI-HOP ALL-OPTICAL PACKET - SWITCHING USING A MODIFIED PULSE POSITION MODULATION HEADER PROCESSING METHOD

Cao Hồng Sơn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày mô hình và mô phỏng đánh giá hiệu năng mạng chuyển mạch gói quang (OPS) đa chặng dựa trên các nút chuyển mạch gói toàn quang sử dụng khối xử lý mào đầu điều chế vị trí xung sửa đổi (MPPM) để xuất. Các kết quả tính toán và mô phỏng cho thấy thời gian xử lý mào đầu của các nút trong mạng giảm đáng kể và tham số hiệu năng mạng dựa trên tỉ số tín hiệu trên nhiễu quang (OSNR) được cải thiện so với trường hợp mạng sử dụng giải pháp xử lý mào đầu điều chế vị trí xung thông thường (PPM).

Từ khóa: Chuyển mạch gói quang (OPS), chuyển mạch gói quang đồng bộ với các gói kích cỡ cố định, xử lý mào đầu gói quang dựa trên MPPM.

ABSTRACT

In this paper we present the modeling and simulation to estimate the performance of Multi-hop All-Optical Packet Switching using Modified Pulse Position Modulation (MPPM) Header Processor. The numerical and simulated results show that the processing time of the nodes in the network is significantly reduced and that the network performance in terms of the optical signal-to-noise ratio (OSNR) is improved compared to that of the network using conventional pulse position modulation (PPM) method

Keywords: Optical packet switching (OPS), synchronous OPS switching with fixed-sized packets, MPPM-based optical packet header processing.

Khoa Viễn thông 1, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Email: sonch@ptit.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/9/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 08/11/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2018

1. GIỚI THIỆU

Ngày nay, với sự bùng nổ của mạng Internet, sự gia tăng nhanh chóng số lượng người sử dụng dịch vụ cùng các ứng dụng dịch vụ mới trên nền IP, cần thiết phải phát triển các hệ thống thông tin toàn quang mới nhằm đảm bảo băng tần truyền dẫn lớn hơn, độ tin cậy kết nối đầu cuối - đầu cuối cao hơn và chi phí lắp đặt rẻ hơn so với các hệ thống thông tin hiện tại trong truyền dẫn cự li dài. Công nghệ

chuyển mạch gói quang (OPS) là một trong những công nghệ đầy hứa hẹn nhất cho kiến trúc mạng thế hệ sau. Trong mạng OPS dữ liệu được phát từ nút này tới nút khác dưới dạng các gói [1]. Chuyển mạch gói quang đã thu hút được rất nhiều sự quan tâm nghiên cứu bởi vì OPS có khả năng đạt được thông lượng cao, mềm dẻo phù hợp với các dịch vụ có tính bùng nổ. Đặc biệt, giải quyết được hiện tượng thắt nút cổ chai, gia tăng được thông lượng chuyển mạch. Tuy nhiên, để áp dụng hiệu quả và thành công công nghệ chuyển mạch gói quang vào thực tiễn cần phải giải quyết một số vấn đề quan trọng như sau: giảm thiểu thời gian xử lý và chuyển mạch các gói tại các nút đến từ việc xử lý mào đầu gói quang cũng như xây dựng các mô hình kiến trúc chuyển mạch toàn quang cực nhanh, dung lượng lớn.

Trong mạng OPS thông thường, các mào đầu gói được chuyển thành dạng điện và xử lý trong miền điện [2], trong khi dữ liệu vẫn truyền trong miền quang. Khi băng tần kênh dữ liệu tăng đột biến, xử lý mào đầu điện tử sẽ gây ra nghẽn mạng. Do đó, bắt buộc phải giảm thời gian xử lý mào đầu để cải thiện hiệu năng mạng. Trong những năm gần đây, có rất nhiều nghiên cứu liên quan đến xử lý mào đầu cho mạng chuyển mạch. Phương pháp làm giảm thời gian xử lý mào đầu gói hiệu quả được công bố đó là sử dụng xử lý mào đầu dựa trên PPM, trong đó xử lý mào đầu được thực hiện trong miền quang [3, 4].

Trong bài báo này, đã đề xuất một kỹ thuật xử lý mào đầu dựa trên MPPM có khả năng làm giảm thời gian xử lý mào đầu hiệu quả hơn so với kỹ thuật xử lý mào đầu dựa trên PPM, nhờ giảm các mẫu địa chỉ trong bảng định tuyến và giảm thời gian quá trình xử lý tương quan quang. Trên cơ sở của mô hình cấu trúc của khối xử lý mào đầu dựa trên kỹ thuật MPPM (MPPM-HP) để xuất, trong bài báo còn trình bày một mô hình kiến trúc nút chuyển mạch gói toàn quang sử dụng khối MPPM-HP. Thông qua mô hình giải tích và mô phỏng đã tiến hành khảo sát và đưa ra các kết quả liên quan tới các tham số hiệu năng của nút (tham số thời gian xử lý mào đầu) và mạng chuyển mạch gói toàn quang đa chặng (tham số OSNR).

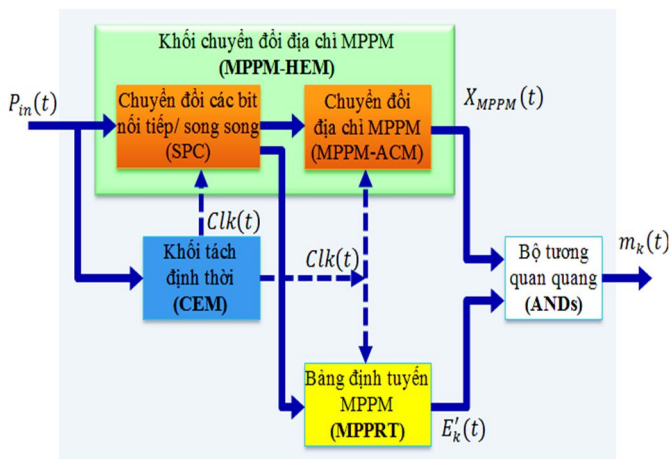
Bài báo được cấu trúc như sau: Phần một là phần giới thiệu; Tiếp theo kiến trúc nút OPS để xuất cũng như phân tích hiệu năng OSNR của mạng OPS toàn quang đa chặng được trình bày trong phần thứ hai; Các kết quả tính toán số và mô phỏng được khảo sát và thảo luận trong phần thứ ba; Cuối cùng, phần thứ tư là phần kết luận.

2. MẠNG CHUYỂN MẠCH GÓI QUANG ĐA CHẶNG DỰA TRÊN CÁC NÚT TOÀN QUANG SỬ DỤNG KHỐI MPPM-HP ĐỂ XUẤT

2.1. Khối xử lý mào đầu dựa trên MPPM

Hình 1 mô tả mô hình cấu trúc của khối xử lý mào đầu toàn quang dựa trên MPPM, khối MPPM-HP bao gồm các khối chức năng con: khối tách định thời (CEM), khối tách địa chỉ mào đầu điều chế vị trí xung sửa đổi (MPPM-HEM), khối tạo bảng định tuyến con MPPM (MPP-SRT) và khối tương quan quang với các cổng AND quang.

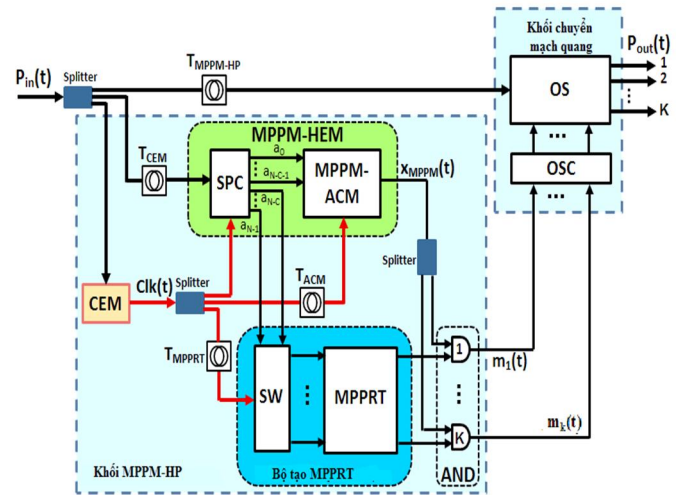
Gói đầu vào $P_{in}(t)$ sau khi qua bộ chia (coupler): một phần được đưa đến khối tách định thời (CEM) và một phần được đưa vào khối tách địa chỉ mào đầu MPPM (MPPM-HEM). Đầu ra khối CEM là xung định thời $Clk(t)$ được sử dụng để điều khiển hoạt động các khối chức năng con: khối SPC, khối MPPM-ACM và bộ tạo các bảng định tuyến MPPRT (bao gồm các bảng định tuyến con MPPM, MPP-SRTs). Khi xung định thời $Clk(t)$ đưa tới các khối chức năng con SPC sẽ tiến hành tách các bit địa chỉ ở dạng nhị phân: Các bit điều khiển (C) được đưa đến bộ tạo các bảng định tuyến con MPP-SRT để điều khiển chọn bảng định tuyến con hoạt động, kết hợp với tín hiệu định thời $Clk(t)$ đưa vào bảng định tuyến con sẽ tạo ra các mẫu địa chỉ trong bảng định tuyến $E'_k(t)$; Các bit địa chỉ nhị phân còn lại (N-C) sẽ được đưa sang MPPM-ACM, kết hợp với tín hiệu định thời $Clk(t)$ đưa vào MPPM-ACM để chuyển đổi sang dạng địa chỉ MPPM, $X_{MPPM}(t)$. Quá trình tương quan quang sẽ xảy ra trong một cổng AND duy nhất khi có cả địa chỉ $X_{MPPM}(t)$ và mẫu địa chỉ $E'_k(t)$ cùng được đưa vào, đầu ra tương quan thứ k nhận được một xung tương hợp, $m_k(t)$. Xung tương hợp $m_k(t)$ được đưa đến bộ điều khiển chuyển mạch để điều khiển chuyển mạch gói đầu vào $P_{in}(t)$ đến cổng ra mong muốn $P_{out}(t)$.



Hình 1. Mô hình cấu trúc của khối MPPM-HP

2.2. Mô hình kiến trúc của nút OPS sử dụng khối MPPM-HP

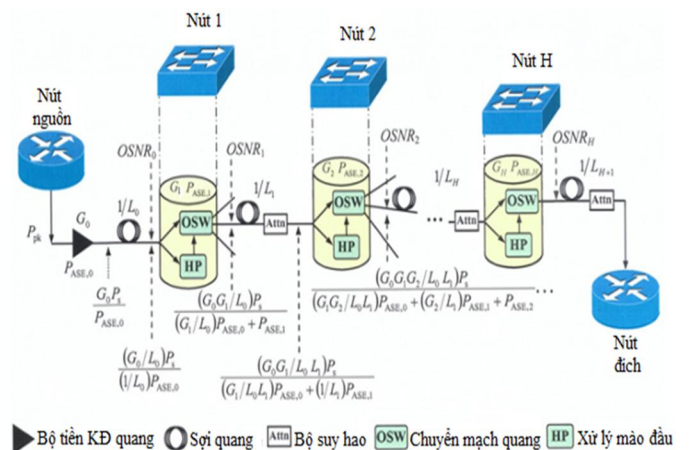
Mô hình kiến trúc của nút $1 \times K$ OPS sử dụng MPPM-HP đơn bước sóng được đưa ra trong hình 2. Về cơ bản mô hình kiến trúc nút OPS sử dụng MPPM-HP cũng giống như trong nút sử dụng PPM-HP bao gồm hai khối chức năng chính: khối xử lý mào đầu (MPPM-HP) và khối chuyển mạch quang. Hoạt động của nút chuyển mạch gói MPPM-HP đã được phân tích chi tiết trong [5].



Hình 2. Kiến trúc nút lõi toàn quang để xuất dựa trên MPPM-HP

2.3. Mạng chuyển mạch gói quang đa chặng sử dụng giải pháp xử lý mào đầu MPPM

Sơ đồ thiết lập mạng chuyển mạch gói quang định tuyến đa chặng như minh họa trên hình 3 [6]. Trong mạng OPS các gói dữ liệu được chuyển mạch qua một số nút trung gian trước khi tới đích, do đó làm ảnh hưởng đến chất lượng của các gói đầu thu. Giả thiết nhiễu trong tuyến kết nối được đặc tính hóa bởi nhiễu chuyển mạch và nhiễu được tích lũy qua các nút.



► Bộ tiền KĐ quang ○ Sợi quang Attn Bộ suy hao OSW Chuyển mạch quang HP Xử lý mào đầu

Hình 3. Sơ đồ thiết lập mạng chuyển mạch gói quang định tuyến đa chặng [6]

2.4. Phân tích hiệu năng

Tỉ số tín hiệu trên nhiễu quang, OSNR, là tỉ số giữa công suất tín hiệu quang mong muốn thu được và công suất tín hiệu gây nhiễu.

Khi một gói có công suất đỉnh Ppk được phát từ nút nguồn tới nút đích qua H nút trung gian, gói dữ liệu sẽ được khuếch đại và chuyển qua chặng sợi quang trước khi đến nút trung gian thứ nhất. Công suất nhiễu ASE của chuyển mạch được cho như sau [6]:

$$P_{ASE,i} = 2n_{sp,i}hf_0(G_i - 1)B_0, \quad i = 0, 1, \dots, H \quad (1)$$

trong đó, $n_{sp,i}$ và G_i tương ứng là hệ số phát xạ tự phát và hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại quang, h là hằng số Planck, f_0 là tần số quang và B_0 là băng tần quang. OSNR tại đầu ra tại nút chuyển mạch thứ H sẽ được tính như sau [6]:

$$OSNR_H = \frac{(G_H \prod_{h=0}^{H-1} (G_h/L_h))P_{PK}}{\sum_{h=0}^{H-1} (P_{ASE,h} \prod_{k=h+1}^H (G_k/L_{k-1})) + P_{ASE,H}} \quad (2)$$

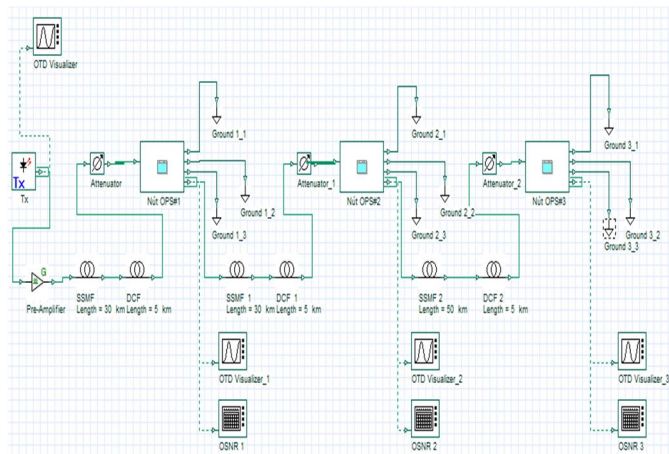
trong đó, L_h là tổng suy hao từ đầu ra nút thứ (h-1) đến đầu vào nút thứ h.

3. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG VÀ THẢO LUẬN

Trong phần này sẽ so sánh các mạng OPS toàn quang sử dụng phương pháp xử lý mào đầu để xuất MPPM với phương pháp xử lý PPM thông thường.

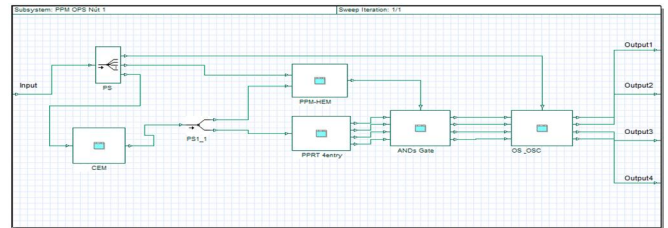
Khi khảo sát OSNR của mạng OPS khi sử dụng các phương pháp xử lý mào đầu dựa trên PPM và MPPM, công suất đỉnh gói được lấy bằng 1mW và hệ số khuếch đại của bộ chuyển mạch quang được lấy tương ứng bằng 18dB và 19,1dB đối với mạng OPS sử dụng các phương pháp xử lý mào đầu dựa trên PPM và MPM.

Để so sánh tỉ số tín hiệu trên nhiễu quang, OSNR của mạng OPS khi sử dụng các phương pháp xử lý mào đầu khác nhau, tiến hành thiết lập một mô hình mô phỏng định tuyến 3 chặng ($H = 3$) dựa trên xử lý mào đầu PPM-HP và MPPM-HP trong gói phần mềm OptiSystem. Sơ đồ thiết lập định tuyến ba chặng như trên hình 4 với hai kiến trúc nút OPS khác nhau. Loại thứ nhất là kiến trúc nút OPS với khối xử lý mào đầu PPM-HP và khối chuyển mạch quang sử dụng phần tử chuyển mạch quang cực nhanh SMZ thông thường đã được các tác giả trong [6] đề xuất để phân tích hiệu năng OSNR của mạng chuyển mạch gói quang tốc độ cao. Loại thứ hai là kiến trúc nút OPS với khối xử lý mào đầu MPPM-HP và khối chuyển mạch quang sử dụng phần tử chuyển mạch quang cực nhanh SMZ để xuất [7].

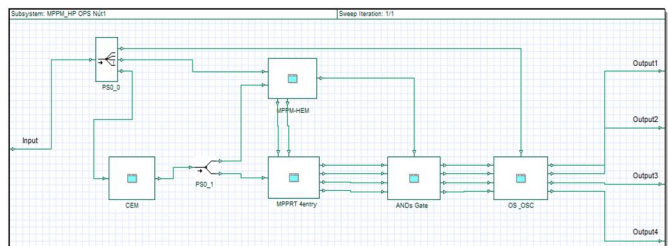


Hình 4. Sơ đồ thiết lập định tuyến ba chặng trong phần mềm OptiSystem

Sơ đồ khối của nút OPS dựa trên PPM-HP và sơ đồ khối của nút OPS dựa trên MPPM-HP như trên hình 5. Các tham số mô phỏng cho tương ứng trong bảng 1 và 2, Các gói quang được phát ở tốc độ 80 Gbit/s từ nút nguồn, mỗi gói gồm bit định thời, địa chỉ mào đầu 5 bit, và tải trọng 512 bit (64Byte). Thời gian bảo vệ giữa các gói 1ns (được chọn lớn hơn thời gian hồi phục khuếch đại SOA). Công suất quang trung bình đầu vào khối CEM và PPM/MPPM-HEM yêu cầu 1mW. Các gói quang được khuếch đại trước khi truyền để bù cho suy hao tuyến quang (suy hao sợi và suy hao ghép nối). Mỗi chặng gồm 30 Km sợi quang đơn mode (SSM) và 5 Km sợi bù tán sắc (DCF) để bù tán sắc trong sợi quang. Ngoài ra trên mỗi chặng có các bộ suy hao khả chỉnh để hiệu chỉnh cho công suất đỉnh đầu vào các nút bằng 1mW.



a)



b)

Hình 5. Sơ đồ khối của nút OPS: (a) dựa trên PPM-HP; (b) dựa trên MPPM-HP
Bảng 1. Các tham số hệ thống

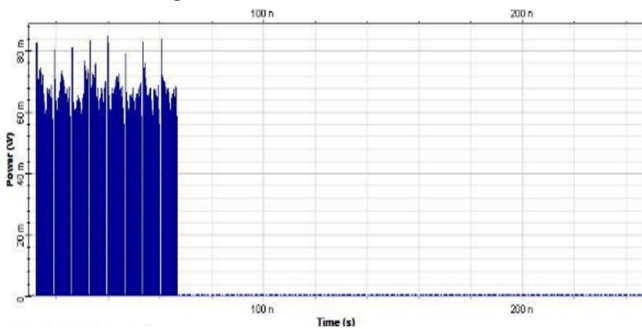
Tham số	Giá trị
Tốc độ bit dữ liệu đầu vào - $1/T_b$	80 Gb/s
Chiều dài tải trọng gói	64 Byte
Băng bảo vệ gói	1 ns
Công suất (đỉnh) xung dữ liệu - P_{PK}	0 dBm (1mW)
Độ rộng xung dữ liệu và điều khiển - $FWMH$	4 ps
Bước sóng quang - λ (tương ứng tần số quang f)	1554nm (193,05 THz)
Độ rộng cửa sổ chuyển mạch quang - T_{SW}	6 ps
Chu kỳ bit - T_b	12,5 ps
Số bit địa chỉ - N	5
Số đầu ra của nút - K	4
Chiều dài SSMF	30 Km
Chiều dài DCF	5 Km
Hệ số nhiễu bộ tiền khuếch đại - NF_0	4,5 dB
Chu kỳ gói - T_{pk}	6,475 ns
G_h ($h = 1, 2, \dots, H$) với mạng OPS dựa trên PPM-HP	18 dB

$G_h (h = 1, 2, \dots, H)$ với mạng OPS dựa trên MPPM-HP	19,1 dB
Suy hao tổng của chặng, $L_h (h = 1, 2, \dots, H)$	18 dB (PPM-HP) 19,1 dB (MPPM-HP)
Hệ số khuếch đại bộ tiền khuếch đại, G_0	9 dB
Suy hao chặng đầu tiên, L_0	-9 dB
Độ rộng băng tần quang, B_0	300 GHz
Hệ số nhiễu OSW, NF_{OSW}	6 dB
Số CP_m cho OSW	256

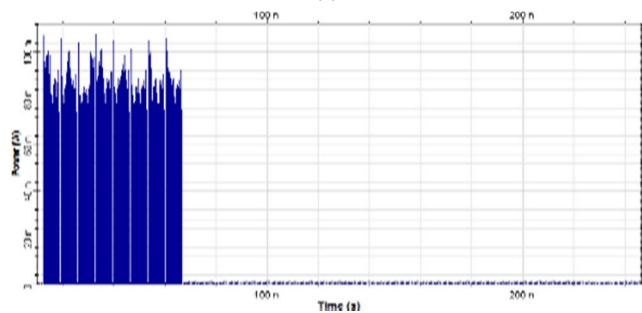
Bảng 2. Các tham số SOA

Tham số	Giá trị
Chiều dài SOA - L_{SOA}	$500 \times 10^{-6} m$
Chiều rộng SOA - W_{SOA}	$3 \times 10^{-6} m$
Chiều cao SOA - H_{SOA}	$80 \times 10^{-6} m$
Hệ số giam hãm - Γ	0,2
Suy hao tán xạ ống dẫn sóng	$40 \times 10^{-2} m^{-1}$
Hệ số khuếch đại vi phân	$2,8 \times 10^{-20} m^2$
Mật độ hạt mang tại điểm truyền qua	$1,4 \times 10^{24} m^{-3}$
Hệ số mở rộng đường phổ	4
Hệ số tái kết hợp A	$1,43 \times 10^{-8} s^{-1}$
Hệ số tái kết hợp B	$1 \times 10^{-6} m^3 s^{-1}$
Hệ số tái kết hợp C	$3 \times 10^{-41} m^6 s^{-1}$
Mật độ hạt mang ban đầu	$3 \times 10^{24} m^{-3}$
Dòng bơm DC hiệu dụng	150 mA

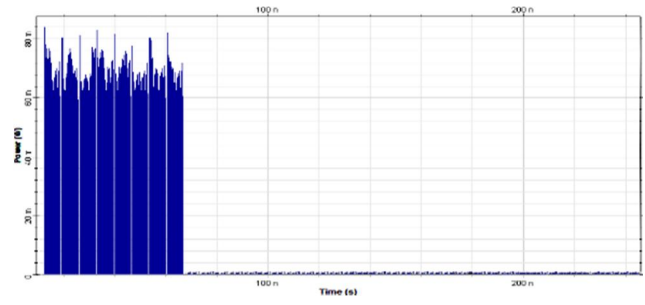
Từ hình 6 có thể thấy rõ các gói ở đầu ra các nút OPS dựa trên xử lý mào đầu MPPM có công suất đỉnh xung lớn hơn so với các gói ở đầu ra các nút OPS dựa trên xử lý mào đầu PPM khoảng hơn 1,1 dBm.



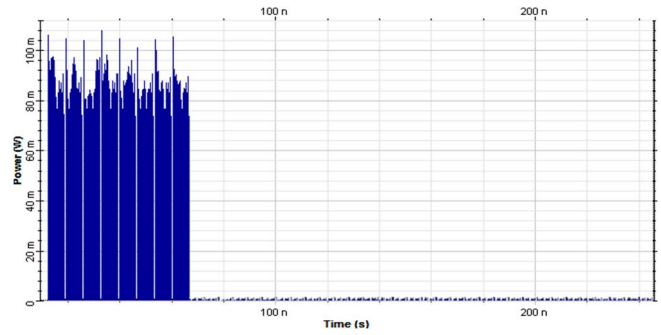
(a)



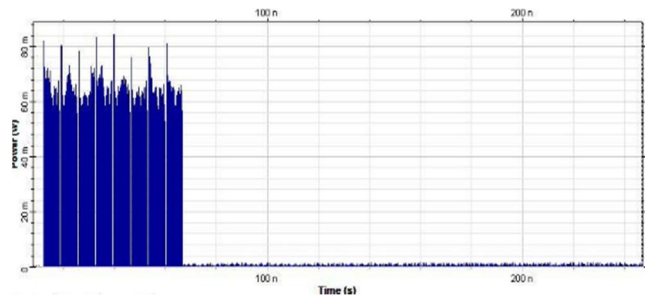
(b)



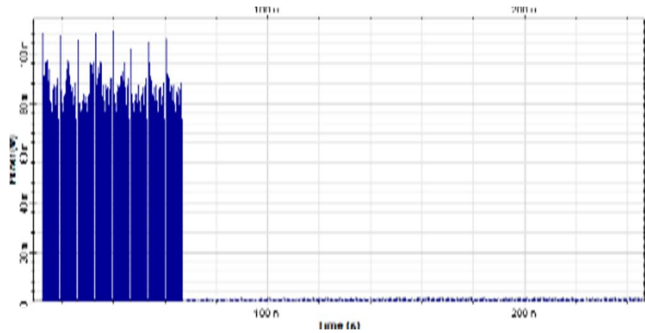
(c)



(d)



(e)

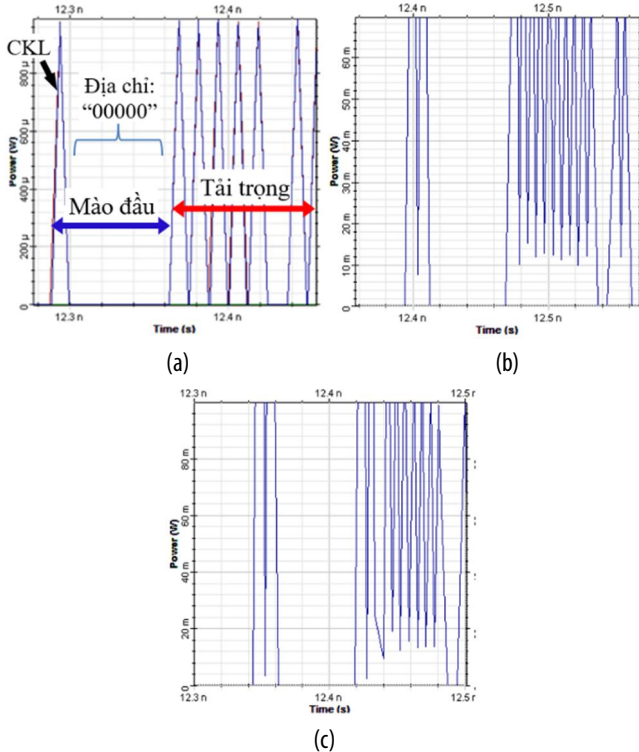


(f)

Hình 6. Dạng sóng thời gian của (a) Các gói đầu ra nút 1 dựa trên PPM HP; (b) Các gói đầu ra nút 1 dựa trên MPPM HP; (c) Các gói đầu ra nút 2 dựa trên PPM HP; (d) Các gói đầu ra nút 2 dựa trên MPPM HP; (e) Các gói đầu ra nút 3 dựa trên PPM HP; (f) Các gói đầu ra nút 3 dựa trên MPPM HP

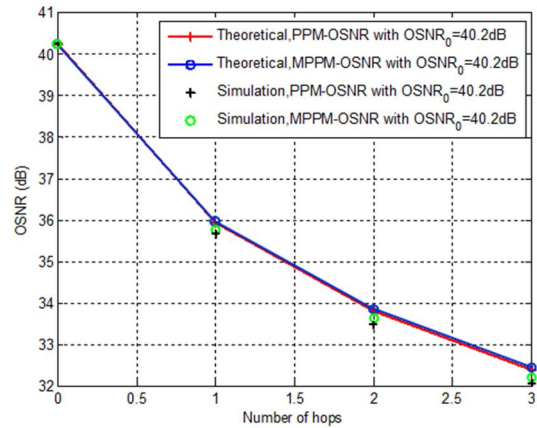
Hình 7 đưa ra dạng sóng thời gian của mào đầu gói 1 với trường địa chỉ tương ứng với giá trị thập phân bằng 0, ở đầu vào và đầu ra nút 1. Trong đó hình 7 (a) là dạng sóng thời gian mào đầu gói 1 ở đầu vào nút 1, hình 7 (b) là dạng sóng thời gian mào đầu gói 1 ở đầu ra nút 1 dựa trên PPM HP và hình 7 (c) là dạng sóng thời gian mào đầu gói 1 ở đầu ra nút 1 dựa trên MPPM HP. Rõ ràng từ hình 7 có thể thấy vị trí thời gian mào đầu gói 1 ở đầu ra (gói đầu ra) của nút bị

trễ so với vị trí thời gian mào đầu gói 1 ở đầu vào của nút (gói đầu vào), cụ thể đối với nút dựa trên PPM HP có khoảng thời gian trễ hơn 100ps và đối với nút dựa trên PPPM HP có khoảng thời gian trễ hơn 56ps. Như vậy, với kiến trúc nút OPS dựa trên MPPM HP cho phép thời gian chuyển tiếp gói nhỏ hơn so với kiến trúc nút OPS dựa trên PPM HP, kết quả này là hoàn toàn phù hợp với phân tích và khảo sát trong [5].



Hình 7. Dạng sóng thời gian của (a) Mào đầu gói đầu vào nút 1; (b) Mào đầu gói đầu ra nút 1 dựa trên PPM HP; (c) Mào đầu gói đầu ra nút 1 dựa trên MPPM HP

Hình 8 biểu thị OSNR theo tính toán và mô phỏng phụ thuộc vào số chặng định tuyến. Trong kết quả tính toán OSNR theo lý thuyết dựa vào biểu thức 2, giả thiết các gói có công suất giống nhau. Tuy nhiên, trong thực tế công suất của mỗi gói quang bị thay đổi do có sự thay đổi của mẫu lưu lượng. Các ảnh hưởng này có thể quan sát thấy rõ như qua các minh họa trong hình 6, trong đó kết quả OSNR lý thuyết là khá giống nhau cho mạng OPS khi sử dụng các giải pháp xử lý mào đầu PPM và MPPM, kết quả này là do tính toán chỉ xem xét đến nhiễu ASE mà không xét đến các loại nhiễu khác. Tuy nhiên, kết quả OSNR mô phỏng cho mạng OPS khi sử dụng giải pháp xử lý mào đầu MPPM cải thiện hơn so với mạng OPS khi sử dụng giải pháp xử lý mào đầu PPM, kết quả này là do mạng OPS khi sử dụng các chuyển mạch SMZ để xuất trong các nút mạng đã cải thiện được xuyên nhiễu. Lưu ý là để hệ thống quang hoạt động tốt thì yêu cầu 20dBm. Như vậy, với giả thiết các gói có công suất giống nhau ở đầu vào các nút OPS, rõ ràng mạng OPS khi sử dụng giải pháp xử lý mào đầu MPPM và kết hợp sử dụng chuyển mạch toàn quang cực nhanh SMZ để xuất thực tế cho kết quả OSNR tốt hơn, đồng thời cải thiện được cự li truyền dẫn của các chặng.



Hình 8. OSNR ở đầu ra mỗi nút thay đổi theo mỗi chặng định tuyến

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo, đã đề xuất nút chuyển mạch gói toàn quang sử dụng bộ xử lý mào đầu MPPM. Trên cơ sở của nút OPS này đã thiết lập một mạng chuyển mạch gói toàn quang đa chặng. Mô hình kiến trúc của nút chuyển mạch toàn quang sử dụng khối xử lý mào đầu gói toàn quang dựa trên kỹ thuật điều chế vị trí xung sửa đổi (MPPM) để xuất, mô hình thiết lập mạng đa chặng và hiệu năng của mạng đã được phân tích. Các kết quả tính toán số và mô phỏng cho thấy trong mạng OPS khi sử dụng phương pháp xử lý mào đầu MPPM để xuất trong các nút mạng đã góp phần cải thiện được hiệu năng của mạng. Cụ thể làm giảm trễ truyền gói qua mạng và cải thiện tỉ số tín hiệu trên nhiễu quang (OSNR) trên các chặng định tuyến mạng chuyển mạch gói quang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Pallavi S, M. Lakshmi, 2013. "AWG Based Optical Packet Switch Architecture". IJITCS, Vol. 5, No. 4, pp. 30-39.
- [2]. Gambini, Piero et al, 1998. "Transparent optical packet switching: network architecture and Demonstrators in the KEOPS Project". IEEE J. Selected Areas in Comm., Vol. 16, No. 7, pp 1245 - 1259.
- [3]. Le-Minh, Hoa, et al., 2009. "All-optical router with pulse-position modulation header processing in high-speed photonic packet switching networks". IET Communications, vol.3, no.3, pp. 465-476.
- [4]. Chiang, Ming-Feng, et al., 2010. "1xM Packet Switched router based on the PPM header address for all-optical WDM networks". The Mediterranean Journal of Electronics and Communications, vol.6, no.3, pp.78-85.
- [5]. Cao Hong Son, Nguyen Minh Hong, 2015. "All-optical Packet Switching Node based on the Modified Pulse Position Modulation Header Processor". Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện khoa học Công nghệ và Quân sự, số 38, trang 84-90.
- [6]. Le-Minh, Hoa, et al., 2009. "All-optical router with pulse-position modulation header processing in high-speed photonic packet switching networks". IET Communications, vol.3, no.3, pp. 465-476.
- [7]. Cao Hong Son, 2016. "All-optical Symmetric Mach-Zehnder Switch with Unequal-Power Control Pulses and Asymmetric Output Coupler". Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, Viện khoa học Công nghệ và Quân sự, số 43, trang 126-135.