# ĐIỀU CHẾ QPSK VÀ 16PSK PHÂN CỰC KÉP TRONG KÊNH TRUYỀN QUANG CÓ VÀ KHÔNG CÓ TÍN HIỆU HÕN LOẠN

Vũ Anh Đào\*<sup>1,2</sup>, Trần Thị Thanh Thủy<sup>2</sup>, Nguyễn Xuân Quyền<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Đại học Bách Khoa Hà Nội <sup>2</sup>Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

*Tóm tắt*: Bài báo trình bày nghiên cứu về hệ thống thông tin quang sợi sử dụng hai phương pháp điều chế tiên tiến QPSK và 16PSK. Hệ thống so sánh hiệu năng quang học trong các kênh quang có và không có tín hiệu hỗn loạn ở tốc độ bit 60Gbps, chiều dài sợi quang là 80 km và khoảng cách kênh 100 GHz trong băng tần C. Bài báo khảo sát tỷ số lỗi bit BER theo chiều dài và theo tốc độ truyền, cho hai dạng kênh truyền thông với hai loại điều chế trên. Qua hai khảo sát trên chúng tôi thấy điều chế QPSK có chất lượng tốt hơn. Bên cạnh đó, bài báo cũng thảo luận các phân tích và đánh giá sâu hơn một số tham số hệ thống gồm tương quan giữa máy phát và máy thu và giản đồ chòm sao với loại điều chế này cho cả hai loại kênh truyền.

*Từ khóa:* hỗn loạn, thông tin quang, tương quan, BER, QPSK, 16PSK.

## I. GIỚI THIỆU

Ngày nay, thông tin quang sợi và kỹ thuật ghép kênh phân chia theo bước sóng quang WDM (wavelength division multiplexing) đã xuất hiện ở mọi hệ thống mạng thông tin như truy nhập, vùng, đô thị, mạng xương sống quốc gia hay mạng quốc tế [1]–[4]. Trong các hệ thống thông tin quang, các dạng điều chế tiên tiến khác nhau như PSK[5], QAM [6],[7] được áp dụng rộng rãi để nâng cao hiệu suất phổ thông tin và nâng cao tốc độ bit trên các kênh truyền.

PSK (Phase Shift Keying) là điều chế số theo pha tín hiệu mà mỗi bit đặc trưng bởi góc pha khác nhau của tín hiệu. Một dạng cơ bản thông dụng nhất của điều chế PSK là kiểu điều chế khóa dịch pha cầu phương QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Kỹ thuật này được xây dựng từ dạng sin với bốn giá trị pha, xác định bởi tổ hợp 2 bit liền nhau của tín hiệu nhị phân, được gọi là Dibit có độ dài 2 bit. Dạng điều chế PSK thứ hai cũng rất phổ biến khác là 16-PSK, trong đó tín hiệu có dạng sin với tám giá trị pha

Tác giả liên lạc: Vũ Anh Đào,

Email: daova@ptit.edu.vn

thông có mã số 07-HV-2020-ĐT1.

lệch nhau 22.5<sup>0</sup>, xác định bởi tổ hợp 4 bit liền nhau của tín hiệu nhị phân, được gọi là Quadbit. Sơ đồ điều chế 16-PSK có độ phức tạp cao, được sử dụng chủ yếu trong kỹ thuật radio số. Các điều chế khóa chuyển dịch đa pha dạng PSK thường được áp dụng cho tín hiệu băng gốc trong các hệ thống thông tin vô tuyến.

Trong lĩnh vực truyền thông, chất lượng dịch vụ không ngừng được nâng cao, người dùng không chỉ quan tâm đến tốc độ, chất lượng truyền tin mà đặc biệt chú ý đến tính an toàn khi truyền các bản tin qua mạng. Các nhà khoa học trong lĩnh vực bảo mật thông tin đưa ra rất nhiều phương pháp mã hóa bảo mật như DSS (tiêu chuẩn chữ ký số), triple DES (tiêu chuẩn mã hóa dữ liệu) [8], AES (tiêu chuẩn mã hóa tiên tiến) [8]–[10] v.v nhưng cũng dần bị giải mã bởi một số thuật toán như thuật toán vét cạn, quy hoạch động, vv.

Hỗn loạn được biết đến từ cuối thế kỷ 19 và đã được sử dụng trong rất nhiều lĩnh vực như toán học, điều khiển học, sinh hoc, vật lý... Về mặt bản chất, hỗn loạn là trang thái vận động không có tính chu kỳ của một hệ thống xác định trong một quá trình nào đó, và thường được biểu diễn bằng một phương trình đặc trưng mô tả quan hệ biến đổi theo thời gian [11]-[13]. Hiện nay, tín hiệu hỗn loạn thường được sử dụng trong các hệ thống truyền thông để tăng tính bảo mật vì tính chất nhạy cảm với sự sai khác thông số, đặc biệt là điều kiện khởi tạo. Tín hiệu hỗn loạn là tín hiệu trải phổ, sử dụng băng thông lớn và có mật độ công suất thấp. Trong các hệ thống truyền thông truyền thống, các hàm mẫu tương tự được gửi qua kênh là tổng trọng số của dạng sóng và là tuyến tính. Tuy nhiên, trong các hệ thống thông tin liên lạc hỗn loạn, các mẫu là các phân đoạn của dạng sóng hỗn loạn và là phi tuyến. Đặc tính phi tuyến tính, không ổn định và không theo chu kỳ của tín hiệu hỗn loạn này có nhiều đặc điểm khiến nó trở nên hấp dẫn hơn trong truyền thông [14]-[19].

Đến tòa soạn: 9/2020, chỉnh sửa: 10/2020, chấp nhận đăng: 10/2020. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn



Hình 1. Mô hình hệ thống ghép kênh có hỗn loạn và không có hỗn loạn sử dụng điều chế QPSK phân cực kép.

Trên thực tế, việc triển khai hỗn loạn cho các thiết bị liên lạc và điện tử cần chú ý hai quá trình quan trọng là đồng bộ hóa hỗn loạn và kiểm soát hỗn loạn. Tín hiệu hỗn loạn được trộn với thông tin thông qua một số sơ đồ khác nhau như xáo trộn, điều chế và mã hóa sẽ giúp bảo mật tốt hơn vì nếu bị nghe trộm, họ cũng không thể phát hiện một cách chính xác thông tin đã bị mã hóa [20],[21].

Trong bài báo này, chúng tôi triển khai mô hình thông tin quang WDM hai kênh với một kênh có hỗn loạn (COC - chaotic secure optical communication) và kênh quang thông thường (CFOCcommon fiber-optic communication) sử dụng kỹ thuật điều chế QPSK và 16PSK kết hợp với kỹ thuật phân cực kép (dual polarization). Kênh COC có ứng dụng như là một kênh truyền thông tin bảo mật dành riêng cho các dịch vụ thông tin quan trọng. Đây là mô hình kênh đơn giản và hiệu quả sử dụng hàm hỗn loạn (chaos) để nâng cao mức độ bảo mật của kênh thông tin. Chúng tôi khảo sát BER theo các tham số hệ thống, hiệu quả sử dụng truyền dẫn của kênh có hỗn loạn khi truyền qua sợi ở tốc độ cao.

#### II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

Sơ đồ hệ thống truyền dẫn ghép kênh của kênh COC và CFOC sử dụng điều chế QPSK phân cực kép được thể hiện như Hình 1. Khi phân cực kép, dung lượng của kênh sẽ tăng gấp đôi và BER của kênh quang cũng bị suy giảm như là sự đánh đối không thể tránh khỏi bởi sự ảnh hưởng đến tỷ số tín hiệu trên nhiễu quang OSNR (optical signal to noise ratio). Mỗi kênh, được xác định bởi bước sóng của sóng mang quang  $\lambda_c$ , được ghép vào cùng một sợi quang ở định dạng dữ liệu gốc. Kênh 1 bản tin được chia làm 2 luồng song song có tốc độ bằng một nửa tốc độ ban đầu, sau đó mỗi luồng được điều chế QPSK và hỗn loạn được thêm vào tại đây. Kênh 2 được xây dựng như kênh 1, tuy nhiên chỉ khác là kênh này không có hỗn loạn được thêm vào trước khi điều chế ngoài miền quang. Hệ thống Logistic map một chiều được chọn là hệ thống động phi tuyến rời rạc, phù hợp với tính chất phi tuyển trong các hệ thống truyền tin quang, được cho bởi công thức:

$$x_{n+1} = a.x_n(1 - x_n), x_0 \in (0, 1)$$
(1)

Với n = 1,2,3... là số nguyên dương. Nếu hệ số điều khiển a = 3.9 hệ thống rơi vào trạng thái hỗn loạn. Khi đó, giá trị đầu ra biến đổi hỗn loạn trong khoảng từ 0 đến 1. Hàm hỗn loạn có dạng mật độ phân bố xác suất như sau:

$$p(x) = \frac{1}{\pi \sqrt{x(1-x)}}$$
 với 0

Trong hệ thống này, bộ phát laser diode (LDT) và bộ thu laser diode (LDR) đều được cấu tạo từ laser bán dẫn chế độ đơn với bộ phản xạ ngoài và có cùng cấu hình. Cả kênh hai kênh COC và CFOC đều được phóng cùng nhau vào sợi quang thông qua bộ ghép kênh WDM (MUX). Để bù suy hao do tán sắc gây ra khi thông tin được truyền đi trên sợi quang, bộ khuếch đại sợi pha tạp erbium (EDFA erbium-doped fiber amplifier) được sử dụng với hệ số khuếch đại G được thiết kế để bù suy hao, được tính theo công thức  $G = \alpha_{NZ-DSF} L$  với  $\alpha_{NZ-DSF}$  là hệ số suy hao sợi NZ-DSF, L là tổng chiều dài đường truyền sơi dịch tán sắc khác không NZ-DSF và sợi DCF, là sợi bù tán sắc, có hệ số suy hao  $\alpha_{DCF} = 0.4$  dB/km). Đến phía thu, tín hiệu quang được phân tách bằng bộ tách sóng WDM (DMUX) sau khi truyền tải đường dài, thông tin nếu được mã hóa hỗn loạn thì sẽ được giải hỗn loạn tại đây, đồng thời được giải điều chế QPSK. Các đặc tính động học của từng cặp máy phát và máy thu trong thiết lập trên có thể được mô tả bằng các phương trình tốc độ Lang-Kobayashi đối với laser bán dẫn chế độ dọc đơn mode như sau [17],[22] :

$$\frac{dE_{T,R}(t)}{dt} = \frac{1}{2} (1 + i\psi') \left[ \frac{G\left[N_{T,R}(t) - N_0\right]}{1 + \varepsilon \left|E_{T,R}(t)\right|^2} \right] E_{T,R}(t) \qquad (3)$$
$$+k_{T,R} E_{T,R}(t - \tau) \exp(-i\omega\tau) + k_{inj} E_{ext}(t),$$

Bảng 1. Bảng các tham số hệ thống

Biểu tượng	Tham số	Giá trị
$\lambda_1$	Bước sóng kênh 1	1552.52nm
$\lambda_2$	Bước sóng kênh 2	1551.72nm
$R_b$	Tốc độ bit	80Gbps
$lpha_{\scriptscriptstyle NZ-DSF}$	Hệ số suy hao sợi NZ- DSF	0.2dB/km
$lpha_{\scriptscriptstyle DCF}$	Hệ số suy hao sợi DCF	0.4dB/km
$D_{NZ-DSF}$	Hệ số tán sắc sợi NZ- DSF	16ps/nm/km
$D_{DCF}$	Hệ số tán sắc sợi DCF	-160ps/nm/km
$L_{DCF}$	Chiều dài sợi DCF	5km
Ν	Chiều dài chuỗi bit	65536
n	Các bit bảo vệ	10
G	Tăng ích khuếch đại	20dB
ξ	Diện tích hiệu dụng sợi	80µm <sup>2</sup>

$$\frac{dN_{T,R}(t)}{dt} = \frac{I_{T,R}}{qV} - \frac{1}{\tau_n} N_{T,R}(t) - \frac{G\left[N_{T,R}(t) - N_0\right]}{1 + \varepsilon \left|E_{T,R}(t)\right|^2} \left|E_{T,R}(t)\right|^2 (4)$$

Trong đó,  $E_{T,R}$  và  $N_{T,R}$  tương ứng là biên độ trường điện tử phức tạp thay đổi chậm và mật độ sóng mang trong khoang laser. Các chỉ số T và R lần lượt biểu thị máy phát và máy thu,  $\omega$  là tần số góc của laser chạy tự do,  $E_{ext}$  là biên độ trường điện từ được đưa vào máy thu và là thời gian của một chu kỳ. Sự lan truyền của tín hiệu quang hỗn loạn thứ j trong sợi có thể được mô tả bằng phương trình Schrödinger phi tuyến (NLS) [23]:

$$i\frac{\partial E_j}{\partial z} = -\frac{1}{2}\alpha E_j + \frac{\beta_2}{2}\frac{\partial^2 E_j}{\partial t^2} - \gamma \left(\left|E_j\right|^2 + 2\sum_{k=1,k\neq j}^N \left|E_k\right|^2\right) E_j, (5)$$

trong đó  $E_j$  và  $E_k$  tương ứng là biên độ trường điện từ phức tạp thay đổi chậm của kênh thứ *j* và kênh thứ *k*. *a* là hệ số suy hao sợi,  $\beta_2$  là hệ số phân tán bậc hai của sợi,  $\gamma$  là hệ số phi tuyến. Sợi quang được sử dụng trong bài báo này là sợi dịch chuyển phân tán khác không (NZ-DSF), các tham số được chọn theo khuyến nghị ITU-T G.655, cụ thể là



Hình 2. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của BER vào chiều dài sợi quang của hệ thống.

 $\alpha_{NZ-DSF} = 0.2 \text{ dB/km}, \beta_2 = 5.1 \text{ ps}^2/\text{km}^{-1} \gamma = 1.5 \text{ W}^{-1}/\text{km}^{-1}$ . Các tham số khác của hệ thống được thể hiện ở bảng 1.

## III. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Dạng sóng của sóng mang hỗn loạn có thể được thay đổi thông qua việc truyền qua sợi, do đó, sự đồng bộ hỗn loạn giữa máy phát và máy thu được giả thiết. Ở phía phát, kênh 1 được cộng thêm tín hiệu hỗn loạn để truyền đi. Ở phía thu, tín hiệu nhận được lại một lần nữa được trừ đi tín hiệu hỗn loạn để có được thông tin gốc. Trong bài báo này, mô hình được xây dựng như trên với hai loại điều chế là QPSK và 16PSK phân cực kép. Bài báo sử dụng mô phỏng trên nền tảng của phần mềm thương mại hóa Optisystem V.15 cho hệ thống thông tin quang và các mã nguồn của tín hiệu hỗn loạn từ công cụ mô phỏng Matlab.

Trước hết, để so sánh hai loại điều chế trên với hai kênh COC và CFOC, chúng tôi đánh giá hiệu năng của hệ thống thông qua tỉ lệ lỗi bit BER theo chiều dài sợi và tốc độ truyền dẫn.

Hình 2 thể hiện kết quả khảo sát tỷ lệ lỗi bit theo chiều dài sợi quang ở khoảng cách từ 20 đến 80 km, với hệ số khuếch đai G = 20 dB để bù đủ suy hao sơi quang. Với QPSK, BER gần như bằng 0 ở khoảng cách từ 20 km đến 40 km, BER giảm khi khoảng cách tăng lên (đối với kênh COC), khoảng cách càng xa thì hiệu năng của hệ thống càng giảm. Từ khoảng cách 80km trở đi chất lượng kênh có hỗn loạn rất xấu, BER sẽ tăng một cách nhanh chóng, số lượng bit sai nhiều, còn kênh CFOC thì chất lượng tốt hơn rất nhiều, hầu như không có sai số khi khoảng cách đường truyền tăng lên. Điều này chứng tỏ khi thêm bộ tạo hỗn loạn vào thì hiệu năng hệ thống giảm đáng kể ở khoảng cách xa. Khi ở khoảng cách xa, công suất suy giảm mạnh khi đến bộ thu, lúc này bộ thu có độ nhạy thu nhất định khó có thể phát hiện được tín hiệu có công suất quá thấp, cộng thêm việc có hỗn loạn làm che mất dạng tín hiệu gốc, làm cho máy



vào tốc độ truyền của hệ thống.

thu khó có thể thu đúng được hết tín hiệu, gây ra lỗi bit ở bộ xử lý phía sau. Với 16PSK, hệ số BER rất lớn và hầu như không phụ thuộc vào độ dài đường truyền, dù là kênh COC hay CFOC.

Tốc độ truyền thông tin cũng là một tham số mà các nhà nghiên cứu muốn tối ưu và nâng cao. Hình 3 khảo sát BER theo tốc độ bit, tốc độ bit càng cao thì BER càng lớn. QPSK và 16QPSK đều là những dạng điều chế đơn giản nên trong bài báo này, chúng tôi chỉ khảo sát kênh truyền ở tốc đô dưới 60 Gbps. Với QPSK, cùng một khoảng cách nhưng tốc đô khác nhau sẽ dẫn đến BER khác nhau, hơn nữa kênh có hỗn loan cùng tốc đô bit thì nó có tỉ lê lỗi bit lớn hơn, đặc biệt từ tốc đô bit từ 44 Gbps trở lên thì sư khác nhau này càng rõ ràng. Kênh có hỗn loạn có tỉ lệ lỗi bit cao như vậy là do tốc độ bit cao thì chu kỳ xung nhỏ mà laser cần thời gian bật, nếu như thời gian bật của laser lớn hơn chu kỳ xung thì sẽ dẫn đến hiện tượng chirp, thêm vào đó có thêm hỗn loạn làm biến đổi dạng xung. Với 16PSK, cũng giống như BER theo độ dài, BER theo tốc độ rất lớn và hầu như không phụ thuộc tốc độ truyền. Thậm chí, với kênh COC, BER lên tới 0.5.

Tuy rằng kênh có bô hỗn loan BER tăng, hay nói cách khác hiệu năng hệ thống không cao, nhưng đổi lại thì hệ thống sẽ an toàn ở trên kênh truyền, tránh bị giải mã thông tin khi kênh truyền bị truy cập bất hợp pháp. Đây có thể nói là một phương pháp bảo mật hữu hiệu, đơn giản. Để nâng cao hiệu năng hệ thống hay giảm BER có thể sử dụng mã hóa kênh, mã sửa lỗi để chèn các bit phát hiện và sửa lỗi. Một yêu cầu nghiêm ngặt của hệ thống có sử dụng hỗn loạn là phía bên máy thu cũng phải biết quy luật hàm hỗn loạn thì mới có thể tách được ra tín hiệu. Vì vậy, việc đồng bộ hàm hỗn loạn giữa máy phát và máy thu thực sự là một thách thức. Tuy nhiên, có thể sử dụng một kênh truyền riêng để truyền và mã hóa hàm hỗn loạn, tránh bị lộ quy luật của hàm hỗn loạn để thông tin truyền đi được an toàn. Qua tham số BER theo độ dài và tốc độ truyền ta thấy, QPSK cho chất lượng tốt hơn, kể cả kênh COC và CFOC. Để đánh giá chính xác hơn chất lượng của hệ thống COC và CFOC, giản đồ chòm sao và hê số tương quan đã được sử dụng. Hình 4 thể hiện kết quả mô phỏng khác nhau của chòm sao tín tại kênh hỗn loạn và kênh không hỗn loạn tại từng khoảng cách khác nhau: 20km, 50km, 80km. Mô phỏng được khảo cứu sử dụng khuôn dang điều chế QPSK. Giản đồ chòm sao chỉ ra trạng thái tín hiệu sau điều chế số ứng với cụm bit, từ đó đánh giá định tính về xác suất lỗi bit,



Hình. 4. Giản đồ chòm sao của kênh không có hỗn loạn và kênh có hỗn loạn với điều chế QPSK, (a) 20km, (b) 50km, (c) 80km.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của hệ số tương quan vào chiều dài sợi của hệ thống với điều chế QPSK.

lỗi symbol. Hệ thống sử dụng điều chế QPSK nên chòm sao có 4 điểm. Giản đồ chòm sao của kênh không có hỗn loạn thì các điểm nhỏ hội tụ tại điểm lớn gọi là tọa độ điểm bản tin tương đối rõ ràng, điều này có nghĩa là xác suất lỗi bit thấp, thậm chí giống hệt nhau với các khoảng cách 20km, 50km và 80 km. Ngược lại, kênh có hỗn loạn thì tọa độ trạng thái trong chòm sao bị loe ra chứng tỏ sự méo dạng tín hiệu lớn, và do đó làm cho xác xuất lỗi bit trở nên lớn đáng kể. Khi truyền ở khoảng cách 20km, 50km thì tọa độ điểm bản tin của kênh không có hỗn loạn và kênh có hỗn loạn không bị chồng lên nhau tức là tỷ lệ lỗi bit hay lỗi symbol thấp. Tuy nhiên tại khoảng cách truyền tăng lên 80km, các tọa độ điểm của giản đồ chòm sao của kênh có hỗn loạn bị chồng lên nhau, có nhiều điểm xuyên nhiễu ở giữa các trạng thái của biên độ véc tơ lỗi nên khó có thể xác định thuộc tọa độ điểm bản tin nào gây ra lỗi bit hay lỗi symbol, còn kênh thông thường không có hỗn loạn thì sự thăng giáng của biên độ véc tơ lỗi trong phạm vi biến động là rất nhỏ. Điều này hiển nhiên, không những do khoảng cách càng xa thì công suất càng suy giảm, máy thu khó có thể phát hiện đúng được tín hiệu mà còn do kênh có hỗn loạn gây biến đổi dạng sóng tín hiệu. Như vậy hệ thống WDM một kênh hỗn loạn và một kênh thông thường hoạt động đảm bảo chất lượng, hiệu năng ở khoảng cách dưới 50km.

Muốn đánh giá đồng bộ hóa của hệ thống có thể dựa vào hệ số tương quan tuyến tính Pearson được xác định theo công thức:

$$\rho = \frac{\left\langle \left[ P_T(t) - \left\langle P_T(t) \right\rangle \right] \right\rangle \left\langle \left[ P_R(t) - \left\langle P_R(t) \right\rangle \right] \right\rangle}{\sqrt{\left\langle \left[ \left[ P_T(t) - \left\langle P_T(t) \right\rangle \right] \right]^2 \right\rangle} \sqrt{\left\langle \left[ \left[ P_R(t) - \left\langle P_R(t) \right\rangle \right] \right]^2 \right\rangle}}, (6)$$

Với  $P_T(t)$  và  $P_R(t)$  tương ứng là công suất đầu ra của máy phát và máy thu và (.) biểu thị trung bình thời gian. Hệ số tương quan  $\rho$  chỉ số thống kê đo lường mức độ mạnh yếu của mối quan hệ giữa hai máy phát và máy thu. Trong đó  $\rho$ có giá trị từ -1 đến 1, nếu kết quả được tính ra lớn hơn 1 hoặc nhỏ hơn -1 có nghĩa là có lỗi trong phép đo tương quan, trong mô phỏng này ta lấy  $|\rho|$  có giá tri từ 0 đến 1. Hệ số tương quan  $\rho$  càng lớn thì máy phát và máy thu càng phụ thuộc nhau, và ngược lại, khi  $\rho = 0$  thì máy phát và máy thu độc lập với nhau. Hình 5 biểu thị sự phụ thuộc của hệ số tương quan vào chiều dài sợi quang trong khoảng cách từ 20km đến 80km. Khi ở khoảng cách 20km, kênh hỗn loạn có hệ số tương quan  $\rho$  =0.135, cao hơn kênh không có hồn loạn với hệ số tương quan  $\rho = 0.03$  khi mà công suất phát xạ của laser là 10dBm. Khoảng cách càng ngày càng tăng thì hệ số tương quan ngày càng giảm, đến khi chiều dài sợi là 80km thì hệ số tương quan của kênh COC khoảng 0.08, còn của kênh CFOC gần như không phụ thuộc vào khoảng cách đường truyền, luôn có giá trị xấp xỉ bằng 0.

Nhận thấy rằng, kênh có sử dụng kết hợp nhúng mặt nạ hỗn loạn thì tỷ số BER tăng nhưng đối lại thì hệ thống sẽ an toàn ở trên kênh truyền, tránh bị nghe trộm. Đây có thê nói là một phương pháp bảo đơn giản mà hiệu quả. Để nâng cao hiệu năng hệ thống hay giảm BER có thể sử dụng mã hóa kênh, mã sửa lỗi để chèn các bit phát hiện và sửa lỗi vào, đến phía máy thu nó có thể tự sửa được lỗi. Một yêu câu nghiêm ngặt của hệ thống có sử dụng hỗn loạn là phía bên máy thu cũng phải biết quy luật hàm hỗn loạn thì mới có thể tách được ra tín hiệu. Do đó, việc trao đổi thông tin chìa khóa luật sinh hỗn loạn giữa máy phát và máy thu phải được đồng bộ. Tuy nhiên, việc đồng bộ hàm hỗn loạn giữa máy phát và máy thu hiện nay là vấn đề khó khăn nhất đối với hệ thống thông tin hỗn loạn. Tuy nhiên, có thể sử dụng một kênh truyền riêng hoặc một phương thức mã hóa lượng tử để truyền và mã hóa hàm hỗn loạn cho tiến trình truyền nhận thông tin.

## IV. KÉT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày nghiên cứu về ảnh hưởng của các yếu tố ảnh hưởng đến BER như tốc độ bit và khoảng cách đường truyền cho kênh truyền quang có và không có hỗn loạn, sử dụng hai dạng điều chế QPSK và 16PSK phân cực kép. Tốc độ kênh được thiết kế để hoạt động lên đến 60Gbps ở khoảng cách 20km vẫn đảm bảo chất lượng BER khi chưa chèn mã sửa lỗi trước FEC (forward error correction). Đây là một kết quả hoàn toàn có thể đạt được BER đáp ứng đầy đủ các yêu cầu cho mạng đường dài hay mạng truy nhập băng rộng.

Bởi vì máy thu bắt buộc phải biết được luật hỗn loạn thì mới có thể nhận được thông tin một cách chính xác, do đó việc đồng bộ thông tin luật hỗn loạn trở thành một lĩnh vực sẽ được quan tâm lớn. Nghiên cứu này cũng mở ra khả năng nghiên cứu sâu rộng hơn trong tương lai đối với các kỹ thuật sử dụng ghép kênh tiên tiến như OFDM hay trong các siêu kênh, ghép kênh theo mode không gian trực giao hoặc là các hệ thống đa kênh sử dụng điều chế cao cấp hay điều chế đa mức mà được lồng ghép với kỹ thuật hỗn loạn để nâng cao mức độ bảo mật hoặc phân tập trải phổ để cải thiện SNR cho hệ thống thông tin.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- K. Igarashi et al., "Super-Nyquist-WDM transmission over 7,326-km seven-core fiber with capacity-distance product of 103 Exabit/s·km," Opt. Express, vol. 22, no. 2, p. 1220, 2014, doi: 10.1364/oe.22.001220.
- [2] Z. Zheng, Z. Qian, G. Shou, and Y. Hu, "OCDMA over WDM system based on Chebyshev-map chaotic spread spectrum in passive optical network," 2009 WRI World Congr. Comput. Sci. Inf. Eng. CSIE 2009, vol. 1, pp. 208– 211, 2009, doi: 10.1109/CSIE.2009.455.
- [3] P. Guo, W. Hou, L. Guo, Z. Ning, M. S. Obaidat, and W. Liu, "WDM-MDM Silicon-Based Optical Switching for Data Center Networks," *IEEE Int. Conf. Commun.*, vol. 2019-May, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICC.2019.8762082.
- [4] J. Zhang, J. Yu, and N. Chi, "Generation and transmission of 512-Gb/s quad-carrier digital super-Nyquist spectral shaped signal," *Opt. Express*, vol. 21, no. 25, p. 31212, 2013, doi: 10.1364/oe.21.031212.
- [5] G. Charlet *et al.*, "Transmission of 16.4-bit/s capacity over 2550 km using PDM QPSK modulation format and coherent receiver," *J. Light. Technol.*, vol. 27, no. 3, pp. 153–157, 2009, doi: 10.1109/JLT.2008.2005506.
- [6] F. Buchali, F. Steiner, G. Böcherer, L. Schmalen, P. Schulte, and W. Idler, "Rate Adaptation and Reach Increase by Probabilistically Shaped 64-QAM: An Experimental Demonstration," in *Journal of Lightwave Technology*, 2016, vol. 34, no. 7, pp. 1599–1609, doi: 10.1109/JLT.2015.2510034.
- J. Yu, Z. Dong, H. Chien, Y. Shao, and N. Chi, "7-Tb/s (7 × 1.284 Tb/s/ch) Signal Transmission Over 320 km Using PDM-64QAM Modulation," *Photonics Technol. Lett.*, vol. 24, no. 4, pp. 264–266, 2012.
- [8] K. Yuan, H. Zhang, and Z. Li, "An improved AES algorithm based on chaos," *1st International Conference on Multimedia Information Networking and Security, MINES 2009*, vol. 2. pp. 326–329, 2009, doi: 10.1109/MINES.2009.219.
  [9] L. Ci, J. Ci, L. C
- [9] J. Qiu, L. Zhang, D. Li, and X. Liu, "High security chaotic multiple access scheme for visible light communication systems with advanced encryption standard interleaving," *Opt. Eng.*, vol. 55, no. 6, p. 066121, 2016, doi: 10.1117/1.oe.55.6.066121.
- [10] Ü. Çavuşoğlu, S. Kaçar, A. Zengin, and I. Pehlivan, "A novel hybrid encryption algorithm based on chaos and S-

AES algorithm," *Nonlinear Dyn.*, vol. 92, no. 4, pp. 1745–1759, 2018, doi: 10.1007/s11071-018-4159-4.

- [11] Y. M. Al-Moliki, M. T. Alresheedi, and Y. Al-Harthi, "Physical-layer security against known/chosen plaintext attacks for OFDM-Based VLC system," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 21, no. 12, pp. 2606–2609, 2017, doi: 10.1109/LCOMM.2017.2747512.
- [12] S. Y. Xiang *et al.*, "Wideband unpredictability-enhanced chaotic semiconductor lasers with dual-chaotic optical injections," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 48, no. 8, pp. 1069–1076, 2012, doi: 10.1109/JQE.2012.2202269.
- [13] N. Li, H. Susanto, B. Cemlyn, I. D. Henning, and M. J. Adams, "Secure communication systems based on chaos in optically pumped spin-VCSELs," *Opt. Lett.*, vol. 42, no. 17, p. 3494, 2017, doi: 10.1364/ol.42.003494.
- [14] L. F. Abdulameer, J. D. Jignesh, U. Sripati, and M. Kulkarni, "BER performance enhancement for secure wireless optical communication systems based on chaotic MIMO techniques," *Nonlinear Dyn.*, vol. 75, no. 1–2, pp. 7–16, 2014, doi: 10.1007/s11071-013-1044-z.
- [15] V. Annovazzi-Lodi, G. Aromataris, M. Benedetti, and S. Merlo, "Secure chaotic transmission on a free-space optics data link," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 44, no. 11, pp. 1089–1095, 2008, doi: 10.1109/JQE.2008.2001929.
- [16] N. Jiang, A. Zhao, Y. Wang, S. Liu, J. Tang, and K. Qiu, "Security-enhanced chaotic communications with optical temporal encryption based on phase modulation and phaseto-intensity conversion," *OSA Contin.*, vol. 2, no. 12, p. 3422, 2019, doi: 10.1364/osac.2.003422.
- [17] D. Kanakidis, A. Bogris, A. Argyris, and D. Syvridis, "Numerical investigation of fiber transmission of a chaotic encrypted message using dispersion compensation schemes," *J. Light. Technol.*, vol. 22, no. 10, pp. 2256– 2263, 2004, doi: 10.1109/JLT.2004.833266.
- [18] P. Canyelles-Pericas, A. Burton, H. Le-Minh, Z. Ghassemlooy, and K. Busawon, "Chaos synchronization on Visible Light Communication with application for secure data communications," *IEEE AFRICON Conf.*, 2013, doi: 10.1109/AFRCON.2013.6757743.
- [19] B. Chen, L. Zhang, and H. Lu, "High Security Differential Chaos-Based Modulation with Channel Scrambling for WDM-Aided VLC System," *IEEE Photonics J.*, vol. 8, no. 5, 2016, doi: 10.1109/JPHOT.2016.2607689.
- [20] J.-Z. Zhang, A.-B. Wang, J.-F. Wang, and Y.-C. Wang, "Wavelength division multiplexing of chaotic secure and fiber-optic communications," *Opt. Express*, vol. 17, no. 8, p. 6357, 2009, doi: 10.1364/oe.17.006357.
- [21] Q. Zhao and H. Yin, "Performance analysis of dense wavelength division multiplexing secure communications with multiple chaotic optical channels," *Opt. Commun.*, vol. 285, no. 5, pp. 693–698, 2012, doi: 10.1016/j.optcom.2011.10.085.
- [22] D. Kanakidis, "Secure Optical Communication Systems based on Chaotic Carriers."
- [23] H. Bulow, "Experimental demonstration of optical signal detection using nonlinear fourier transform," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 33, no. 7. pp. 1433–1439, 2015, doi: 10.1109/JLT.2015.2399014.

#### MODULATION OF MULTIPLAYER QPSK AND 16PSK IN OPTICAL CHANNEL WITH AND WITHOUT CHAOTIC SIGNAL

*Abstract:* In this paper, we present research on a haphazard security fiber optic communication system using two advanced modulation methods QPSK and 16PSK. The system compares optical performance in optical channels

with and without chaos at a bit rate of 60Gbps, fiber length of 80 km and channel spacing 100 GHz in band C. BER bit error according to length and baud rate, for two types of communication channel with the above two modulation types. Through assessment, the quality of BER shows that the QPSK modulation has better quality. In addition, the paper also discusses further analysis and evaluation of a number of system parameters including transmitter and receiver correlation and constellation diagrams with this modulation for both types of transmission channels.

*Keywords:* chaos, optical information, correlation, BER, QPSK, 16PSK



Vu Anh Dao received the Diploma of Cybernetics Engineer, Automatic Control and Measurement Master from Hanoi University of Science and Technology, Vietnam in 1999 and 2001, respectively. She has been studying as a PhD student at the School of Electronics and Telecommunications (SET). Hanoi University of Science and

Technology (HUST), Vietnam since 2017, and is a lecturer in the Faculty of Electronics Engineering at the Posts and Telecommunications Institute of Technology (PTIT). Her main research interests are Cybernetics, electronics design, all-optical signal processing, optical high-speed and chaos-based digital communications.



Thanh Thuy Tran Thi was born in Hai Duong province, Vietnam, in 1998. She is currently a final-year Posts student at the and Telecommunications Institute of Technology (PTIT), Hanoi, as an excellent student. She has joined as a member of the AI-photonics lab at the PTIT institute since 2018. She intends to pursue the Ph.D. program. Her research interests include photonic

integrated circuits, silicon photonics, machine learning in photonic networks, all-optical signal processing, and optical high-speed communication systems.



Nguyen Xuan Quyen received the Diploma of Engineer, Master and PhD degrees in Electronic Engineering and Telecommunication Technologies, from Hanoi University of Science and Technology, Vietnam in 2006, 2008 and 2013, respectively. During 2007-2011, he has stayed with the School of Electronics and Telecommunications (SET), Hanoi University Science of and Technology (HUST), Vietnam. From

2011 to 2012, he was an exchange PhD student at the Institute for Smart System Technologies, Alpen–Adria Klagenfurt University, Austria. From 2014 to 2015, he worked as a postdoctoral researcher at the Department of Computer Architecture, Polytechnic University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain. He then worked as a visiting academic staff at the Department of Electronic and Computer Engineering, University of Limerick, Ireland in 2015. Currently, he is a senior lecturer at the SET of HUST. His main research interests are microwave engineering, chaos-based digital communications and physical layer security.