TẠO TÍN HIỆU QUANG HỌC NGẪU NHIÊN BẰNG BỘ LIÊN KẾT PHI TUYẾN

Bùi Xuân Kiên[1], Mai Văn Lưu[2*], Hồ Quang Quý[3]
[*]Tác giả liên hệ, email: luumv@hou.edu.vn. ORCID: 0009-0000-3765-0101

Ngày tòa soạn nhận được bài báo: 15/01/2026
Ngày phản biện đánh giá: 17/03/2026
Ngày bài báo được duyệt đăng: 14/04/2026

DOI: 10.59266/houjs.2026.1148

Tóm tắt: *Trong bài báo này đặc trưng phụ thuộc của cường độ ra vào cường độ vào của bộ liên kết định hướng phi tuyến (nonlinear directional coupler-NDC) được khảo sát. Từ kết quả nghiên cứu NDC sẽ được ứng dụng để chia một tín hiệu quang thành hai tín hiệu có biên độ khác nhau đồng thời với biến điệu chuỗi tín hiệu. Kết quả khảo sát số đã cho thấy có thể chọn khoảng độ lớn cường độ tín hiệu vào phù hợp với cấu trúc của NDC, nhờ đó một tín hiệu quang mã hóa có thể tách thành hai tín hiệu ra có biên độ dao động ngẫu nhiên (tạo ra hai tín hiệu quang ngẫu nhiên). Điều này cho chúng ta cơ hội thiết kế linh kiện tạo tín hiệu quang ngẫu nhiên phục vụ bảo đảm an toàn thông tin trong công nghệ truyền thông không dây.*

Từ khóa: *quang phi tuyến, bộ liên kết phi tuyến, truyền thông quang không dây, an toàn thông tin*

I. Đặt vấn đề

Tín hiệu quang ngẫu nhiên (random) hay rối loạn quang (chaotic) rất hữu ích đối với các quá trình ngẫu nhiên trong điện tử - máy tính (Garmire, 1981; Therrien & Tummala, 2012) và truyền tin (Varnosfadenani và cộng sự, 2015). Trong các quá trình đó, tín hiệu quang được ứng dụng như số ngẫu nhiên (Calabretta và cộng sự, 2001; Degiorgio, 1980; Li và cộng sự, 2010; Shinohara và cộng sự 2017; Steinle và cộng sự, 2017; Stipčević & Bowers, 2016). Các máy phát số ngẫu nhiên quang, như laser phát trong điều kiện pha ngẫu nhiên (Calabretta và cộng sự, 2001; Degiorgio, 1980; Steinle và cộng sự, 2017; Stipčević & Bowers, 2016) hoạt động như một rối loạn quang học (Sang và cộng sự, 2020, 2021). Dựa trên động học của laser bán dẫn (Ashok và cộng sự, 2021; Ashok & Piramasubramanian, 2020; Li và cộng sự, 2014; Li & Chan, 2012; Li và cộng sự, 2010; Sakuraba và cộng sự, 2015; Tang và cộng sự, 2015; Virt và cộng sự, 2014; Wang và cộng sự, 2009), các bít

[1] Trường Đại học Điện lực, Hà Nội, Việt Nam
[2] Trường Đại học Mở Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam
[3] Viện khoa học và Công nghệ quân sự, Hà Nội, Việt Nam

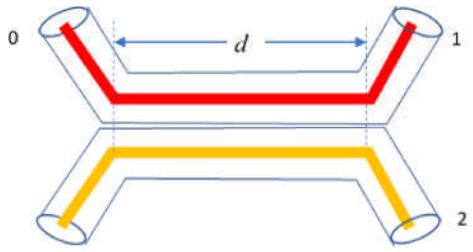
vật lý ngẫu nhiên trở thành hệ thống phát trực tiếp bít ngẫu nhiên ứng dụng giao diện máy tính (Raffaelli và cộng sự, 2018; Shinohara và cộng sự, 2017; Zheng và cộng sự, 2019).

Trong bảo mật, một tín hiệu thông tin trong miền điện được mã hóa thành tín hiệu ngẫu nhiên nhằm nâng cao tính an toàn (Sehgal & Rathor, 2015). Tương tự như vậy, trong miền quang, dựa vào sự thăng dáng pha, một tín hiệu quang theo thời gian thực không chỉ phát ra bởi laser dưới điều kiện phi tuyến mà còn nhờ buồng cộng hưởng Fabry-Perot phi tuyến (Garmire, 1981). Đây là một trong các linh kiện quang học phi tuyến. Trong các nghiên cứu trước đây về NDC (Fortin và cộng sự, 2022; Ho và cộng sự, 2011; Rezaei và cộng sự, 2022; Rezaei & Rochette, 2022) chúng tôi đã chỉ ra rằng hệ số truyền qua của nó phụ thuộc vào độ lớn (cường độ) của tín hiệu đầu vào. Với tính năng này, NDC được sử dụng không chỉ tách một tín hiệu quang đầu vào thành hai tín hiệu quang ở đầu ra trên phương diện cường độ như một bộ liên kết hướng tuyến tính, nghĩa là tỉ lệ tách xác định (Sehgal & Rathor, 2015), mà còn biến điệu tín hiệu về phương diện thời gian (Ho và cộng sự, 2011). Điều đó cho chúng ta cơ hội để tạo ra các tín hiệu quang ngẫu nhiên. NDC được cấu tạo từ một nhánh chứa môi trường phi tuyến và nhánh kia môi trường tuyến tính. Với các môi trường có độ cảm phi tuyến cao như chất màu Red O (Quy và cộng sự, 2020; Rekha & Ramalingam, 2009) sẽ nâng cao hiệu quả biến điệu.

Trong bối cảnh các nghiên cứu về tạo tín hiệu quang ngẫu nhiên chủ yếu dựa trên động học hỗn loạn của laser bán dẫn hoặc các cấu trúc cộng hưởng phi tuyến, vẫn còn tồn tại khoảng trống đáng kể liên quan đến việc khai thác trực tiếp các phần tử thụ động có cấu trúc đơn giản nhưng có khả năng tạo ra đáp ứng phi tuyến mạnh. Cụ thể, như đã phân tích, các kết quả nghiên cứu trước đây về NDC chủ yếu dừng lại ở việc khảo sát đặc tính truyền qua hoặc hiệu ứng lưỡng ổn quang, mà chưa khai thác đầy đủ tiềm năng của nó trong việc tạo và điều khiển tín hiệu ngẫu nhiên phục vụ bảo mật thông tin. Hơn nữa, việc kết hợp giữa đặc tính phi tuyến của môi trường vật liệu với kỹ thuật biến điệu tín hiệu theo thời gian trong cùng một mô hình vẫn chưa được nghiên cứu một cách hệ thống.

Xuất phát từ khoảng trống đó, bài báo này đề xuất một cách tiếp cận mới khi sử dụng NDC như một phần tử tạo tín hiệu ngẫu nhiên thông qua việc lựa chọn thích hợp miền cường độ đầu vào và cấu hình vật liệu phi tuyến. Ở đây, các biểu thức mô tả hệ số truyền qua, tín hiệu thông tin quang, tín hiệu quang mang và tín hiệu quang đã mã hóa được trình bày. Khoảng cường độ phù hợp với tham số cấu hình của NDC để tạo ra tín hiệu quang ngẫu nhiên sẽ được khảo sát số và thảo luận.

II. Cơ sở lý thuyết



Hình 1. Cấu hình của NDC

Cấu hình NDC được mô tả trên hình 1. Trong nghiên cứu này chúng tôi đề xuất sử dụng dung dịch dầu Red O bơm vào một nhánh nhằm nâng cao độ phi tuyến (Quy và cộng sự, 2020; Rezaei và cộng sự, 2022), và nhánh còn lại được bơm

dung môi. Một xung tín hiệu laser được bơm từ cổng vào của nhánh thứ nhất, xung tín hiệu sau khi truyền qua NDC sẽ phát ra ở cả hai cổng.

Như đã trình bày trong một số công trình trước đây, hệ số truyền qua $\eta_1(d)$ và $\eta_2(d)$ được dẫn ra như sau (Ho và cộng sự, 2011; Rezaei và cộng sự, 2022):

$$\eta_1(d) = \frac{I_1(d)}{I_0(0)} = \left[1 - \frac{1}{C_{nl}^2 / C^2 + 1} sin^2\left(d\sqrt{C_{nl}^2 + C^2}\right)\right]$$
$$\eta_2(d) = \frac{I_2(d)}{I_0(0)} = \left[\frac{1}{C_{nl}^2 / C^2 + 1} sin^2\left(d\sqrt{C_{nl}^2 + C^2}\right)\right] \quad (1)$$

trong đó $I_0(0)$ là cường độ vào tại cổng thứ nhất; $I_{1,2}(d)$ tương ứng là cường độ ở hai cổng ra; d là độ dài liên kết; C là hằng số liên kết tuyến tính liên quan trực tiếp đến các tham số cấu hình của NDC và đặc trưng vật lí của hai sợi quang (Huang, 1994; Snyder, 1972); C_{nl} là hệ số liên kết phi tuyến được xác định như sau:

$$C_{nl}^2 = \frac{4\pi^2 c^2 \varepsilon_0^2 n_{nl}^4 I_0^4}{16\lambda^2} \quad (2)$$

ở đây c là vận tốc ánh sáng trong chân không, $\sum_0$ là hằng số từ cảm của chân không, n_{nl} là hệ số phi tuyến của chiết suất, I_0 là cường độ tại đầu vào (d = 0) và λ là bước sóng của laser. Từ (1) và (2), cường độ đầu ra phụ thuộc phi tuyến vào cường độ đầu vào. Vì có tính chất phi tuyến nên có thể suy luận rằng sẽ tồn tại một khoảng giá trị cường độ đầu vào nào đó mà ứng với nó cường độ đầu ra sẽ dao động lên xuống một cách rối loạn. Đặc tính này dẫn đến NDC có thể tách một tín hiệu quang học thành hai tín hiệu đầu ra có cường độ không đơn điệu, gọi là tín hiệu nhiễu loạn hay tín hiệu ngẫu nhiên. Các tín hiệu thành phần này sẽ hữu ích cho việc bảo đảm an toàn thông tin trên cơ sở nguyên lý Khóa - Tách (Split-Key) (Giuliani và cộng sự, 2016; Meyers, 2001). Đặc biệt đối với truyền thông mạng không dây, các tín hiệu thành phần này được truyền đi độc lập nhau với độ trễ thời gian nhất định và sau đó sẽ tích hợp tại đầu thu theo quy luật cho trước.

Sau đây chúng tôi giả thiết một xung tín hiệu quang (xung laser chứa thông tin) như sau:

$$I_{\text{sgn}} = I_{0,\text{sgn}}\left[a + \left(1 + m(t)\left|sin\left(\frac{2\pi t}{T_{\text{sgn}}}\right)\right|\right)\right] \quad (3)$$

trong đó $I_{(0,sgn)}$ là biên độ chuẩn, a là tham số điều khiển với biên độ nhỏ nhất, $m(t)$ là tham số biến điệu theo thời gian xung, T_{sgn} là chu kỳ lặp và t là thời gian thực của tín hiệu, giá trị tuyệt đối có nghĩa giá trị thông tin luôn lớn hơn không (> 0). Tín hiệu thông tin được gửi đi nhờ tín hiệu mang sau:

$$I_{\text{carr}} = I_{0,\text{carr}}\left(2 + sin\left(\frac{2\pi t}{T_{\text{carr}}}\right)\right) \quad (4)$$

trong đó $I_{(0,carr)}$ là biên độ chuẩn, T_{carr} là chu kỳ nhỏ hơn chu kỳ của tín hiệu thông tin $T_{sgn}(T_{carr}\ T_{sgn})$. Từ (3) và (4) chúng ta có tín hiệu quang đã được biến điệu và truyền qua môi trường như sau:

$$I_{\text{cod}} = I_{\text{carr}} + I_{\text{sgn}} = I_{0,\text{carr}}\left(2 + sin\left(\frac{2\pi t}{T_{\text{carr}}}\right)\right) + I_{0,\text{sgn}}\left[a + \left(1 + m(t)\left|sin\left(\frac{2\pi t}{T_{\text{sgn}}}\right)\right|\right)\right] \quad (5)$$

và gọi chung là tín hiệu mang mã hóa. Tín hiệu trong (5) được sử dụng như là tín hiệu đầu vào NDC và nó sẽ được tách ra thành hai tín hiệu thành phần ngẫu nhiên.

III. Phương pháp nghiên cứu

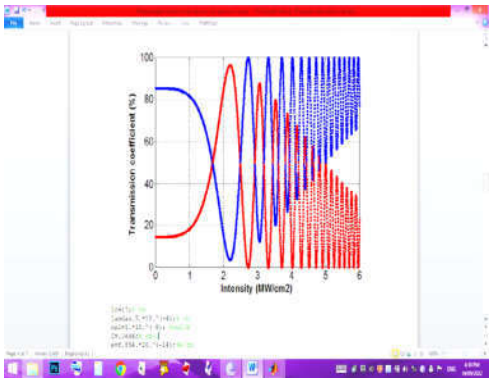
Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng kết hợp nhiều phương pháp nghiên cứu đặc trưng của vật lý hiện đại, bao gồm phương pháp lý thuyết - mô hình hóa, phương pháp phân tích toán học và phương pháp mô phỏng số.

Trước hết, trên cơ sở lý thuyết về quang học phi tuyến và lý thuyết mode ghép, nhóm tác giả xây dựng mô hình NDC với cấu trúc hai sợi quang, trong đó một nhánh chứa môi trường phi tuyến (dung dịch Red O) và nhánh còn lại là môi trường tuyến tính. Từ mô hình vật lí này, các phương trình mô tả hệ số truyền qua và mối quan hệ giữa cường độ đầu vào - đầu ra được thiết lập thông qua suy diễn giải tích, cho thấy bản chất phụ thuộc phi tuyến của hệ. Tiếp theo, phương pháp giải tích trong việc thiết lập các biểu thức toán học cho tín hiệu thông tin, tín hiệu mang và tín hiệu mã hóa theo thời gian. Trên nền tảng đó, phương pháp mô phỏng số được sử dụng để khảo sát đặc tính truyền qua và dạng tín hiệu đầu ra trong các điều kiện tham số cụ thể.

IV. Kết quả và thảo luận

4.1. Đặc tính truyền qua

Chúng ta xét NDC với dung dịch dầu Red O có (K.R. Rekha và cộng sự, 2009; Quy và cộng sự, 2020), độ dài liên kết $d = 17$cm, tín hiệu quang là laser có bước sóng, độ cảm chân không. Để đơn giản chúng tôi chọn cho sợi quang thủy tinh (Ho và cộng sự, 2011). Trước hết, sử dụng biểu thức (1) và (2) khảo sát đặc trưng truyền qua của NDC. Kết quả thu được trình bày trong hình 2.

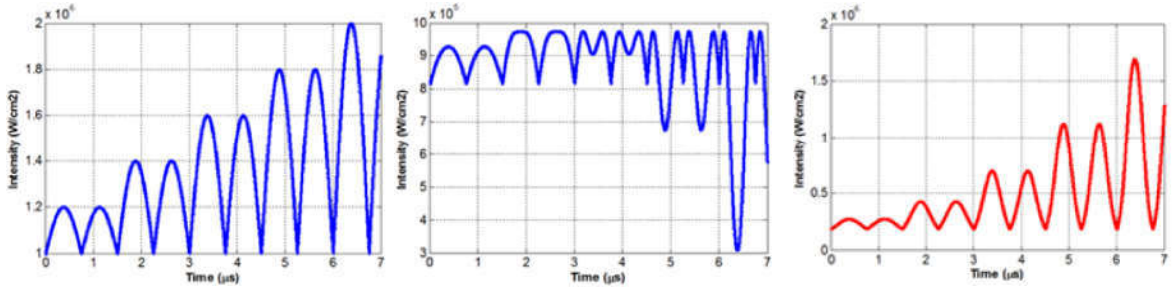


Hình 2. Đặc trưng truyền qua của NDC tại cổng 1 (đỏ), cổng 2 (xanh)

Chúng ta nhận thấy rằng giá trị hệ số truyền qua phụ thuộc vào cường độ đầu vào nhưng không có xu hướng tỉ lệ thuận. Đặc biệt trong trường hợp đã khảo sát này, khi cường độ thay đổi nằm trong khoảng (1.5÷5) MW/cm^2 thì hệ số truyền qua tăng và giảm qua giá trị 50% một số giá trị của cường độ vào. Điều này chứng tỏ giá trị truyền qua có sự nhiễu loạn giữa hai cổng ra. Đặc tính này sẽ dẫn đến hiện tượng thay đổi ngẫu nhiên biên độ của tín hiệu đầu ra trong miền thời gian. Như vậy, chúng ta có thể chọn được tín hiệu thông tin, tín hiệu mang cũng như tín hiệu mã hóa phù hợp với NDC đã thiết kế để tạo ra tín hiệu quang ngẫu nhiên.

4.2. Đặc tính tín hiệu ra

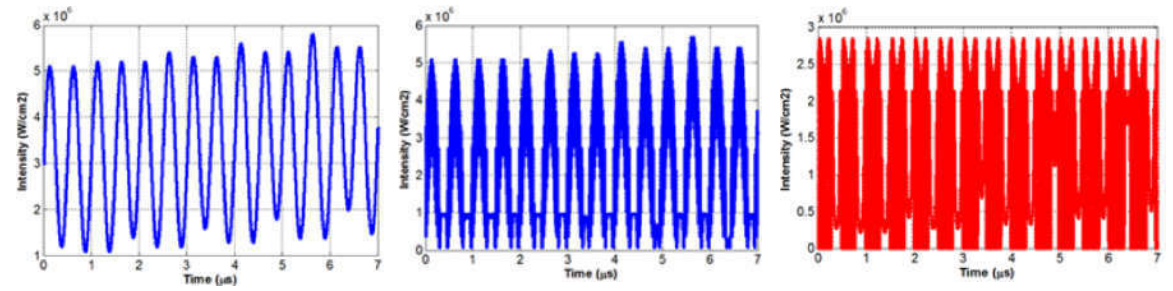
Tiếp theo, chúng ta khảo sát và thảo luận về các tín hiệu ra khi tín hiệu thông tin mô tả trong (3) với các thông số sau:, $a = 5$, và. Sử dụng (1) và (2), trong trường hợp này tín hiệu ở hai cổng ra được thể hiện như hình 3.



a b c

Hình 3. Tín hiệu thông tin cần gửi đi (a), tín hiệu ngẫu nhiên ở cổng 1 (b) và cổng 2 (c)

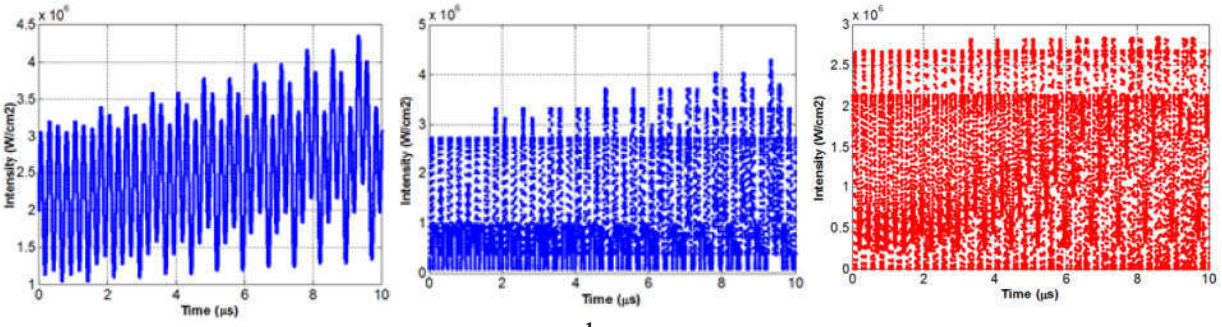
Rõ ràng một tín hiệu vào đơn điệu (Hình 3a) được tách thành hai tín hiệu ra, trong đó một có dáng điệu ngẫu nhiên (Hình 3b) và một đơn điệu (Hình 3c). Với kết quả này, để bảo đảm an toàn thông tin, hai tín hiệu thành phần sẽ được gửi vào môi trường lan truyền với một thời gian trễ nào đó. Tại đầu thu thao tác tích hợp sẽ được thực hiện và khôi phục (giải mã) tín hiệu thông tin cần gửi. Tuy nhiên, nếu chỉ xét trường này thì dáng điệu của tín hiệu ra ở cổng 2 tương tự như tín hiệu thông tin cần gửi đi, do đó chưa bảo đảm tuyệt đối an toàn thông tin. Mặc dù vậy, cũng như trong miền điện, tín hiệu thông tin quang được biến điệu nhờ tín hiệu mạng. Trong miền quang chúng ta sử dụng tín hiệu mang (laser bán dẫn với tần số lặp cao) để biến điệu tín hiệu thông tin theo (5). Áp dụng và vào (5), tín hiệu sau khi mã hóa như trong Hình 4a. Mặc dù được mã hóa nhưng an toàn thông tin vẫn chưa được bảo đảm trọn vẹn vì tín hiệu này còn đơn điệu và kẻ lạ có thể khôi phục lại bằng phương pháp nào đó. Tuy nhiên, các tín hiệu đầu ra ở Hình 4b và Hình 4c có dáng điệu hoàn toàn thay đổi. Điều quan trọng ở đây là dáng điệu và độ lớn của tín hiệu ra không còn như tín hiệu vào.



a b c

Hình 4. Tín hiệu mã hóa đầu vào (a) và tín hiệu đầu ra cổng 1 (b) và cổng 2 (c), $I_{(0,carr)}=3.10^6 W/cm^2$ và $T_{carr}=0.5\mu s$

Điều này càng được khẳng định khi ta thay đổi các thông số của tín hiệu mang. Ví dụ, chọn $I_{(0,carr)}=3.10^6 W/cm^2$ và $T_{carr}=0.5\mu s$. Tín hiệu ra nhận được như trên Hình 5, sẽ hoàn toàn khác với kết quả trên Hình 4. Hơn thế nữa, tín hiệu ngẫu nhiên có thể được thay đổi khi tín hiệu mang được biến điệu bằng phương pháp phù hợp khác.



Hình 5. Tín hiệu mã hóa đầu vào (a) và tín hiệu đầu ra cổng 1 (b) và cổng 2 (c).
$I_{(0,carr)}$=3.10⁶W/cm² và T_{carr}=0.5μs

Từ tất cả các kết quả mô phỏng trên, rõ ràng sử dụng NDC có thể tạo ra các tín hiệu thông tin quang ngẫu nhiên với sự lựa chọn tín hiệu mang phù hợp. Biên độ và dáng điệu của chúng phụ thuộc vào biên độ, chu kỳ của tín hiệu vào và các tham số của NDC. Sự phụ thuộc này là một yếu tố quan trọng cho việc bảo đảm an toàn thông tin không dây trong tương lai.

V. Kết luận

Trong nghiên cứu này chúng tôi đã đề xuất NDC sợi quang bơm dung dịch dầu Red O và dung môi của chúng. Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể chọn khoảng cường độ tín hiệu quang phù hợp với các tham số thiết kế của NDC để thu được các tín hiệu ngẫu nhiên ở đầu ra; các tín hiệu quang ngẫu nhiên này sẽ góp phần vào kỹ thuật bảo đảm an toàn thông tin không dây. Đặc tính này của NDC với độ phi tuyến cao là một gợi ý để chế tạo linh kiện tạo tín hiệu ngẫu nhiên, khi tín hiệu quang được tách thành hai thành phần ngẫu nhiên sẽ được truyền qua hai kênh độc lập với độ trễ xác định và tái hợp tại đầu thu theo nguyên lý "khóa - tách". Với cấu trúc sợi quang và vật liệu phi tuyến sẵn có, mô hình NDC có tính khả thi cao trong chế tạo thực nghiệm, có thể được triển khai trong các hệ thống truyền thông quang không dây nhằm tạo nguồn tín hiệu ngẫu nhiên phục vụ mã hóa lớp vật lý, dễ tích hợp vào các hệ thống hiện hữu, đồng thời cho phép điều chỉnh linh hoạt thông qua tham số cường độ và cấu hình liên kết.

Tài liệu tham khảo

Ashok, P., Madhan, M. G., & Natraj, N. A. (2021). Performance evaluation of free space optical link by incorporating the device parameters of quantum cascade laser-based transmitter. *Laser Physics Letters, 18*(3), Article 035301.

Ashok, P., & Piramasubramanian, S. (2020). An efficient chaotic optical signal generation scheme using gain level effect in bi-section laser diodes. *Optics Communications, 475*, Article 126202.

Calabretta, N., et al. (2001). Multiple-output all-optical header processing technique based on two-pulse correlation principle. *Electronics Letters, 37*(20), 1238-1240.

Degiorgio, V. (1980). Phase shift between transmitted and reflected optical fields of a semi-reflecting lossless mirror is π/2. *American Journal of Physics, 48*(1), 81-82.

Fortin, V., Aydin, Y. O., Bernier, M., Vallée, R., Rochette, M., Chenard, F., Alvarez, O., Busse, L. E., Shaw, L. B., Gattass, R. R., & Sanghera, J. S. (2022). Post-processing soft glass optical fibers. In *Mid-infrared fiber photonics* (pp. 233-302). Elsevier.

Garmire, E. (1981). Signal processing with a nonlinear Fabry-Perot. In *Proceedings of SPIE* (Vol. 0269, pp. 69-74).

Giuliani, K., Kumar Murty, V., & Xu, G. (2016). Passwords management via split-key. *Journal of Information Security, 7*(3), 206-214.

Ho, Q. Q., Vu, N. S., Nguyen, V. H., & Nguyen, T. T. T. (2011). Optical bistability effect of two-port nonlinear fiber Mach-Zehnder interferometers. *Communications in Physics, 21*(2), 161-168.

Huang, W.-P. (1994). Coupled-mode theory for optical waveguides: An overview. *Journal of the Optical Society of America A, 11*(3), 963-983.

Li, N., Locquet, A., Bloch, M., Citrin, D. S., & Pan, W. (2014). Two approaches for ultrafast random bit generation based on the dynamics of a semiconductor laser. *Optics Express, 22*(6), 6634-6646.

Li, P., Zhang, J. Z., & Wang, Y. (2010). All-optical fast random number generator. *Optics Express, 18*(19), 20360-20369.

Li, X. Z., & Chan, S. C. (2012). Random bit generation using an optically injected semiconductor laser in chaos with oversampling. *Optics Letters, 37*(12), 2163-2165.

Meyers, R. A. (Ed.). (2001). *Encyclopedia of physical science and technology* (3rd ed.). Elsevier.

Quy, H. Q., Luu, M. V., Thanh, T. D., Kien, B. X., Thang, N. M., & Quang, H. D. (2020). Optical bistability of partial reflection-coated thin film of oil red O. *Applied Optics, 59*(24).

Quy, H. Q., Thanh, T. D., Tuan, D. Q., Viet, D. T., Kien, B. X., Le, N. L., & Thang, N. M. (2020). Nonlinear microscope objective using thin layer of organic dye for optical tweezers. *The European Physical Journal D, 74*, Article 169.

Raffaelli, F., Sibson, P., Kennard, J. E., Mahler, D. H., Thompson, M. G., & Matthews, J. C. F. (2018). Generation of random numbers by measuring phase fluctuations from a laser diode with a silicon-on-insulator chip. *Optics Express, 26*(16), 19730-19741.

Rekha, K. R., & Ramalingam, A. (2009). Nonlinear characteristics and optical limiting effect of oil red O azo dye in liquid and solid media. *Journal of Modern Optics, 56*(9), 1096-1102.

Rezaei, M., & Rochette, M. (2022). All-chalcogenide ring fiber laser. *Optical Fiber Technology, 71*, Article 102900.

Rezaei, M., Shamim, M. H. M., Amraoui, M. E., Messaddeq, Y., & Rochette, M. (2022). Nonlinear chalcogenide optical couplers. *Optics Express, 30*(12), 20288-20297.

Sakuraba, R., Iwakawa, K., Kanno, K., & Uchida, A. (2015). Tb/s physical random bit generation with bandwidth-enhanced chaos in three-cascaded semiconductor lasers. *Optics Express, 23*(2), 1470-1490.

Sang, L., Guo, Y., Liu, H., Zhang, J., & Wang, Y. (2021). Real-time all-optical random numbers based on optical Boolean chaos. *Optics Express, 29*(5), 7100-7109.

Sang, L., Zhang, J., Zhao, T., Virte, M., Gong, L., & Wang, Y. (2020). Optical Boolean chaos. *Optics Express, 28*(20), 29296-29305.

Sehgal, R., & Rathor, P. (2015). Split-based encryption in secure file transfer. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 3*(8), 6907-6912.

Shinohara, S., Arai, K., Davis, P., Sunada, S., & Harayama, T. (2017). Chaotic laser-based physical random bit streaming system with a computer application interface. *Optics Express, 25*(6), 6461-6474.

Snyder, A. W. (1972). Coupled-mode theory for optical fibers. *Journal of the Optical Society of America, 62*(11), 1267-1277.

Steinle, T., Greiner, J. N., Wrachtrup, J., Giessen, H., & Gerhardt, I. (2017). Unbiased all-optical random-number generator. *Physical Review X, 7*(4), Article 041050.

Stipčević, M., & Bowers, J. E. (2015). Spatio-temporal optical random number generator. *Optics Express, 23*(9), 11619-11631.

Tang, X., Wu, Z. M., Wu, G., Deng, T., Chen, J. J., Fan, L., Zhong, Z. Q., & Xia, G. Q. (2015). Tbits/s physical random bit generation based on mutually coupled semiconductor laser chaotic entropy source. *Optics Express, 23*(26), 33130-33141.

Therrien, C. W., & Tummala, M. (2012). *Probability and random processes for electrical and computer engineers*. CRC Press.

Varnosfadenani, I. S., Sabahi, M. F., & Atael, M. (2015). Joint equalization and detection in chaotic communication systems using simulation-based methods. *Communications, 69*, 1445-1452.

Virte, M., Mercier, E., Thienpont, H., Panajotov, K., & Sciamanna, M. (2014). Physical random bit generation from chaotic solitary laser diodes. *Optics Express, 22*(14), 17271-17280.

Wang, J., Meloni, G., Berrettini, G., Poti, L., & Bogoni, A. (2009). All-optical binary counter based on semiconductor optical amplifiers. *Optics Letters, 34*(22), 3517-3519.

Zheng, Z., Zhang, Y., Huang, W., Yu, S., & Guo, H. (2019). 6 Gbps real-time optical quantum random number generator based on vacuum fluctuation. *Review of Scientific Instruments, 90*(4), Article 043105.

CREATION OF RANDOM OPTICAL SIGNALS USING A NONLINEAR DIRECTION COUPLER

Bui Xuan Kien[1], Mai Van Luu[2]*, Ho Quang Quy[3]

Abstract: *In this paper, the output-input intensity characteristics of a nonlinear directional coupler (NDC) are theoretically observed. Based on this property, the NDC can be employed to split an optical signal into two signals with different amplitudes while simultaneously modulating the signal sequence. Numerical results show that an appropriate range of input signal intensity can be selected according to the NDC structure. Consequently, an encoded optical signal can be separated into two output signals with randomly varying amplitudes, thereby generating two random optical signals. This approach provides a potential method for designing optical random-signal generators to enhance information security in wireless communication systems.*

Keywords: *nonlinear optics, nonlinear coupler, wireless optical transmission, information security*

---

[1] Electric Power University, Hanoi, Vietnam

[2] Hanoi Open University, Hanoi, Vietnam

[3] Academy of Military Science and Technology, Hanoi, Vietnam