

ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN QUANG FBG TÍCH HỢP VỚI MẠNG TRUYỀN TẢI QUANG DWDM

Cao Hồng Sơn

Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông

Tóm tắt: Hiện nay, thế giới đang có sự phát triển và tạo ra nhanh chóng các công nghệ và giải pháp sợi quang mới, đặc biệt là sự phát triển của cách tử Bragg sợi quang (FBG- *Fiber Bragg Grating*). Đòi hỏi cần có sự khảo sát, đánh giá khi kết hợp chúng với nhau. FBG đã đạt được vị trí nổi bật trong các cảm biến sợi quang do có những ưu điểm nội trội so với các cảm biến cơ và điện, như không cần nguồn nuôi, độ nhạy cao, kích thước nhỏ, trọng lượng nhẹ, khả năng chống nhiễu điện từ, dễ dàng ghép nhiều cảm biến FBG trên một sợi quang, v.v. Những ưu điểm này giúp sử dụng thành công cảm biến quang FBG trong các ứng dụng IoT là một lĩnh vực rất có tiềm năng phát triển. Trong các trường hợp triển khai cảm biến quang FBG để đảm bảo an toàn vận hành của kết cấu quan sát (ví dụ: tòa nhà, hầm, cầu, đường, đập nước - còn gọi là ứng dụng giám sát tình trạng kết cấu (SHM- *Structural Health Monitoring*)). Trong bài báo này, sử dụng phần mềm mô phỏng để chứng minh khả năng hiện thực hóa mạng cảm biến quang FBG được tích hợp trong mạng quang ghép kênh phân chia bước sóng mật độ cao (DWDM- *Dense Wavelength Division Multiplexing*). Đối với nghiên cứu này, thiết lập mô phỏng thử nghiệm cho mô hình cảm biến quang FBG để xuất đo giám sát từ xa tích hợp cùng mạng truyền tải quang DWDM 8 kênh với khoảng cách kênh 100 GHz được điều chế NRZ 50%, hoạt động với tốc độ bit 10 Gbit/s. Không chỉ khoảng cách kênh, dạng tín hiệu điều chế, tốc độ bit truyền có vai trò quan trọng đối với hiệu năng của mạng cảm biến quang FBG tích hợp mà độ dài cáp quang đơn mode (SMF-*Single Mode Fiber*) kết nối cũng là một khía cạnh quan trọng cần đánh giá, đặc biệt là khi xem xét phạm vi tiếp cận của mạng cảm biến quang FBG tích hợp liên quan đến nhu cầu cảm biến cho ứng dụng SHM, chẳng hạn như - cơ sở hạ tầng giao thông và điện lực, nơi cáp quang thường được triển khai. Do đó, bài báo nghiên cứu tác động của mạng cảm biến quang FBG đến hệ thống truyền DWDM và sự cùng tồn tại của chúng trong một hệ thống, được đánh giá thông qua tham số hiệu năng tỷ lệ lỗi bit (BER) và cự li truyền tối đa được xác định sao cho BER trên mỗi kênh không vượt quá giá trị ngưỡng $BER = 10^{-12}$.

Từ khóa: IoT, DWDM, mạng cảm biến sợi quang tích hợp với mạng quang DWDM, cảm biến sợi quang, cảm biến quang FBG, FBG.

I. GIỚI THIỆU

Với sự phát triển của hệ thống truyền dẫn cáp quang, các công nghệ sợi quang mới xuất hiện đang được tích hợp vào các mạng truyền thông quang hiện có để tận dụng tối đa năng lực truyền dẫn của các mạng truyền thông này, chẳng hạn như các cảm biến sợi quang có thể được tích hợp vào mạng truyền thông quang [1],[2]. Hiện nay, cảm biến sợi quang được sử dụng theo nhiều cách khác nhau, chẳng hạn như để giám sát tình trạng kết cấu (SHM) [3],[4]. Một trong những mạng được sử dụng và nghiên cứu nhiều nhất là các cảm biến quang dựa trên cách tử Bragg sợi quang (FBG), được sử dụng để đo áp suất, nhiệt độ, biến dạng và các thông số vật lý khác [5],[6]. Hoạt động của cảm biến quang FBG dựa trên sự phản xạ của một bước sóng cụ thể của ánh sáng tới trong khi truyền qua phần còn lại của phổ tín hiệu quang và đã được trình bày và khảo sát chi tiết trong [7]. Ngày nay, việc chế tạo cảm biến quang FBG không còn phức tạp, do cấu trúc của các cảm biến quang này được chiếu xạ vào vùng lõi của sợi quang, tạo thành các vùng mà tại đó chiết suất của lõi sợi quang thay đổi theo chu kỳ [8].

Đã có một số nghiên cứu về tích hợp cảm biến quang FBG trong hệ thống truyền thông quang, tuy nhiên chỉ mới tập trung vào tích hợp mạng cảm biến quang FBG vào hệ thống mạng truy nhập quang DWDM-PON [1],[2] mà chưa tích hợp vào các mạng truyền tải quang DWDM.

Trong bài báo này, đã khảo sát và đánh giá hiệu năng của mạng cảm biến quang dựa trên mô hình cảm biến quang FBG để xuất [7] tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM, để đo giám sát từ xa đồng thời cả tham số nhiệt độ và áp suất cho các ứng dụng trong IoT. Thông qua mô hình mô phỏng đã tiến hành phân tích, khảo sát và đưa ra các kết quả liên quan tới tham số hiệu năng BER và cự li truyền dẫn tối đa của mạng quang.

Bài báo được cấu trúc như sau. Phần một là phần giới thiệu. Tiếp theo, phần hai sẽ tiến hành thiết lập và phân tích mô hình mô phỏng mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM. Phần thứ ba là các kết quả khảo sát, đánh giá hiệu năng của mạng quang liên quan tới tham số hiệu năng BER và cự li truyền dẫn tối đa. Cuối cùng, phần thứ tư là phần kết luận của bài báo.

Tác giả liên hệ: Cao Hồng Sơn

Email: sonch@ptit.edu.vn

Đến tòa soạn: 8/11/2024, chỉnh sửa: 18/12/2024, chấp nhận đăng: 22/12/2024.

II. THIẾT LẬP VÀ PHÂN TÍCH MÔ HÌNH MÔ PHÒNG

Mục tiêu chính của mô hình mô phỏng được phát triển và sử dụng trong nghiên cứu này là đánh giá hiệu năng và khảo sát cự li truyền dẫn tối đa của mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM, bao gồm mạng truyền dẫn DWDM 8 kênh điều chế NRZ 50% với khoảng cách tần số giữa các kênh là 100GHz với tốc độ bit 10Gbit/s mỗi kênh và mạng cảm biến quang dựa trên mô hình cảm biến quang FBG đề xuất [5]. Trong mô hình mô phỏng mạng tích hợp, mạng cảm biến quang FBG sẽ được thực hiện thiết lập kết nối song song hoặc nối tiếp với mạng truyền tải quang DWDM.

Thiết lập mô phỏng như đưa ra trên Hình 1 được thực hiện trong môi trường phần mềm mô phỏng OptiSystem (V.21) [9]. Công cụ này cung cấp nhiều loại thành phần điện/quang khác nhau để lập kế hoạch và triển khai một mạng quang hoàn chỉnh, đây là phương pháp tiếp cận hiệu quả, tiết kiệm thời gian và chi phí thấp cho người nghiên cứu. Hình 1a mô phỏng mô hình mạng truyền tải quang DWDM 8 kênh. Hình 1b mô phỏng mô hình mạng cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối nối tiếp. Hình 1c mô phỏng mô hình mạng cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối song song.

Hệ thống mạng truyền tải quang DWDM ở phía phát có mảng nguồn quang Laser sóng liên tục (CW Laser Array) gồm 8 nguồn quang với tần số trung tâm từ 192,1 THz đến 192,8 THz, khoảng cách tần số tương ứng là 100 GHz (theo khuyến nghị của ITU-T G.694.1), công suất mỗi Laser 10 dBm và độ rộng đường phổ 0,1 MHz. Đầu ra của mảng nguồn quang Laser sóng liên tục sẽ được đưa vào các bộ điều chế ngoài (Ext.Mod.) tương ứng. Bộ điều biến MZM được điều khiển ở tốc độ bit 10 Gbit/s bằng tín hiệu điện NRZ 50%. Tất cả các kênh quang được ghép với nhau nhờ bộ ghép đa kênh quang DWDM (DWDM-MUX). Ở phía thu của hệ thống mạng truyền tải quang DWDM gồm có bộ tách quang đa kênh DWDM (DWDM-DEMUX) và các bộ tách sóng quang PIN (Photodetector PIN). Bộ tách quang đa kênh DWDM có tần số tần số trung tâm cho 8 kênh quang tương ứng như phía máy phát, được đặt ở khoảng cách kênh 100GHz và nằm trong phạm vi từ 192,1 THz đến 192,8 THz. Các kênh quang sau khi tách ra sẽ được đưa vào các bộ tách sóng quang PIN.

Đối với mạng cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa, ở phía phát có một nguồn quang băng rộng (White Light Source) có tần số trung tâm 193,4 THz cung cấp băng thông trong dải tần băng C từ 193 THz đến 193,8 THz, được sử dụng làm nguồn sáng cho mạng cảm biến quang FBG. Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất sử dụng trong mạng cảm biến quang FBG là mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp do có công suất quang phản xạ cải thiện khoảng 3 dBm so với mô hình cảm biến quang FBG mắc song song [6]. Trong mô hình cảm biến quang đề xuất, FBG1 có bước sóng Bragg là 1548 nm (khoảng 193,66 THz) và FBG1 có bước sóng Bragg là 1552 nm (khoảng 193,16 THz). Việc chọn bước sóng Bragg trong vùng này đảm bảo tối ưu suy

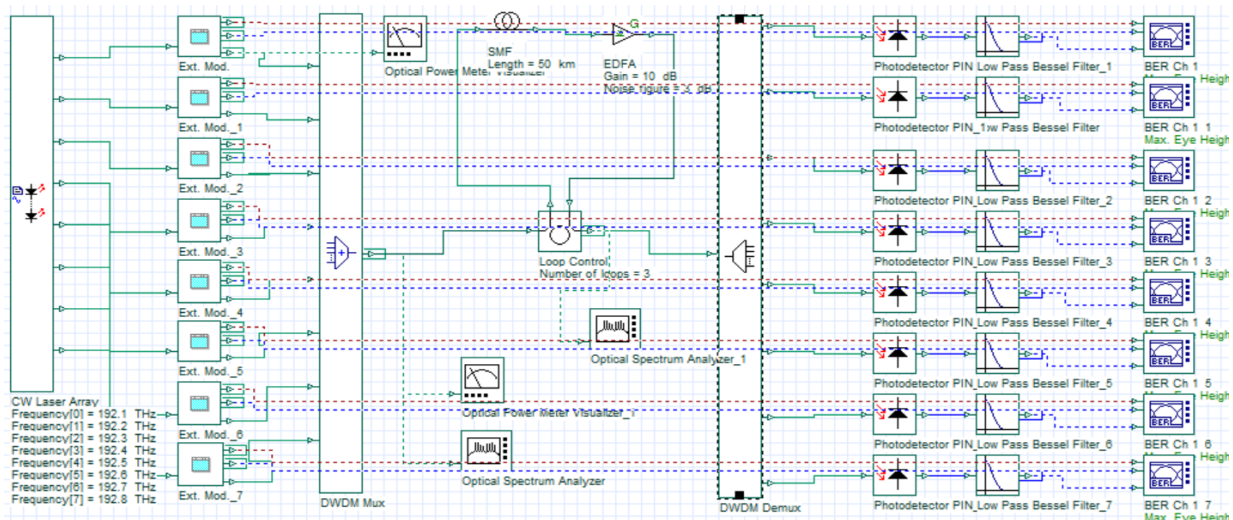
hao cho mạng cảm biến quang FBG và đảm bảo khoảng băng tần bảo vệ đối với dải băng tần tín hiệu DWDM và không gây ra tương tác phi tuyến đối với các kênh DWDM. Tín hiệu quang truyền qua cảm biến quang FBG sẽ được thu bởi máy thu quang DWDM.

Khi mạng cảm biến quang FBG được tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM. Ở phía phát tín hiệu đầu ra ở nguồn quang băng rộng và tín hiệu ở đầu ra DWDM-MUX sẽ được ghép với nhau nhờ bộ kết hợp công suất 2×1 (Power Combiner 2×1). Tín hiệu quang ở đầu ra bộ kết hợp công suất 2×1 sẽ được đưa vào tuyến quang. Tuyến quang gồm nhiều chặng, mỗi chặng gồm một sợi quang đơn mode (SMF) có chiều dài 50 km với hệ số suy hao 0,2 dB/km và hệ số tán sắc 16,75 ps/nm.km (ở bước sóng tham chiếu 1550nm), theo khuyến nghị ITU-T G.652. Trên mỗi chặng sử dụng bộ khuếch đại quang sợi pha tạp Erbium (EDFA) để bù suy hao với hệ số khuếch đại $G=12\text{dB}$ và hệ số nhiễu $NF=3\text{dB}$. Để lập các chặng trong mô hình mô phỏng đường truyền quang sử dụng thành phần điều khiển vòng lặp (Loop Control) thực sự sẽ thực hiện lặp với số lần cần thiết. Khi khảo sát đánh giá hiệu năng mạng cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh sẽ thiết lập cự li truyền dẫn 50 km (tương ứng với số lần lặp ở thành phần điều khiển vòng lặp bằng 1). Trường hợp khảo sát cự li truyền tối đa của mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh sẽ thực hiện thiết lập chức năng quét tham số lần lặp ở thành phần điều khiển vòng lặp từ 1 đến 3 (tương ứng với cự li truyền từ 50 km đến 150 km).

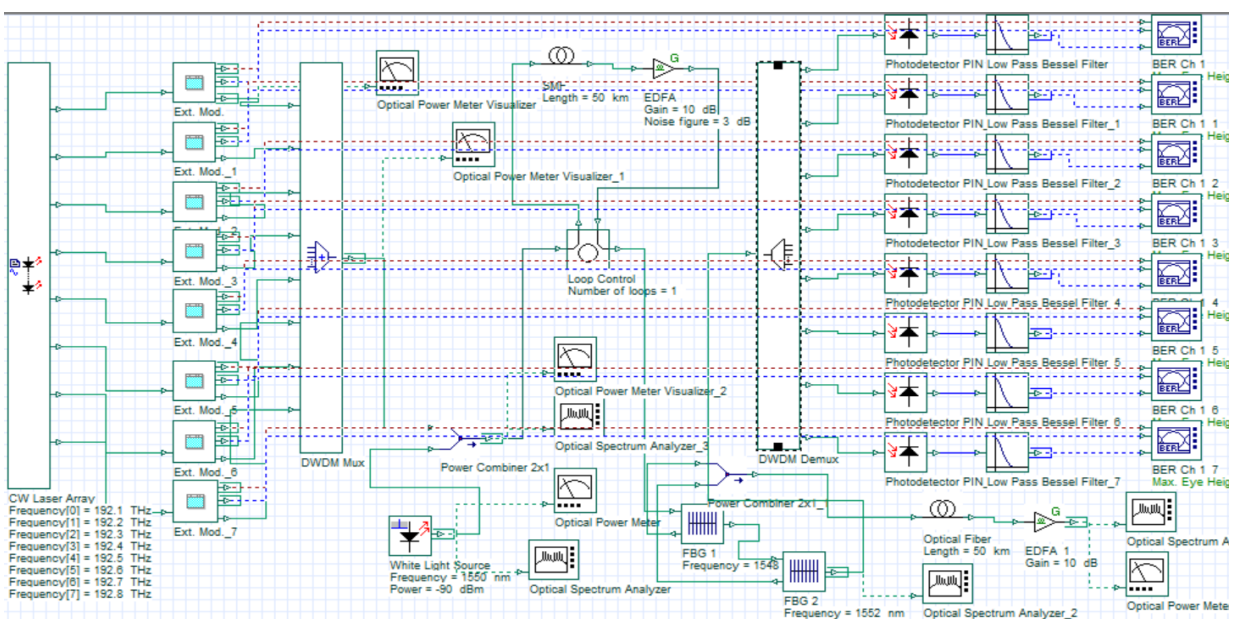
Bảng 1 tổng hợp các thông số cơ bản của các thành phần trong mô phỏng mô hình mạng cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM 8 kênh.

Bảng 1. Các thông số của các thành phần được thiết kế.

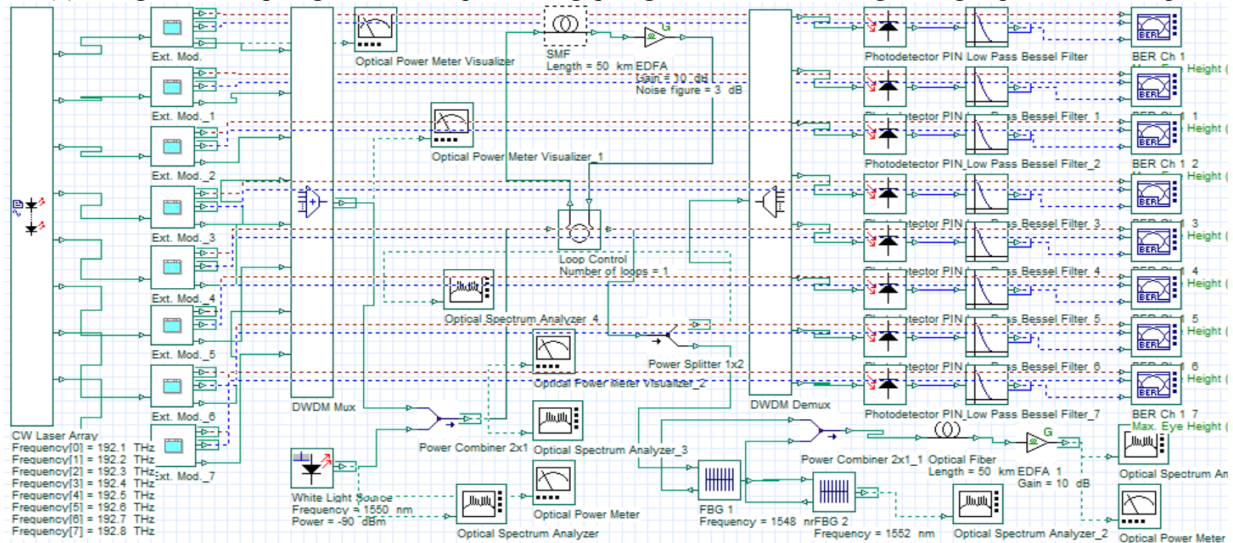
Các thành phần	Các thông số
Nguồn băng rộng	Công suất = -90dBm, bước sóng định = 1550nm (khoảng 193,41 THz), băng thông từ 193 THz đến 193,8 THz.
FBG 1,2	Bước sóng Bragg FBG 1= 1548 nm (khoảng 193,66 THz), Bước sóng Bragg FBG 2= 1552 nm (khoảng 193,16 THz), Độ phản xạ = 0.99, Băng tần = 125 GHz.
Khối mảng Laser CW	8 kênh, Tần số =192.1 THz, Khoảng cách tần số = 100 GHz, Công suất = 10 dBm.
Bộ ghép/tách DWDM	8 kênh, Tần số trung tâm từ 192.1 THz đến 192.8 THz, Khoảng cách tần số = 100 GHz, Băng tần mỗi kênh 10GHz.
Tuyến quang	L = 50Km (Khảo sát đánh giá hiệu năng mạng quang tích hợp). L = 50 Km đến 150 Km (Khảo sát cự li truyền tối đa của mạng quang tích hợp). EDFA có hệ số khuếch đại $G=10\text{dB}$
Bộ thu quang	PIN: Đáp ứng = 1 A/W; Dòng tối 10nA



(a) Mô hình mạng quang DWDM 8 kênh không tích hợp mạng cảm biến quang FBG



(b) Mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối nối tiếp

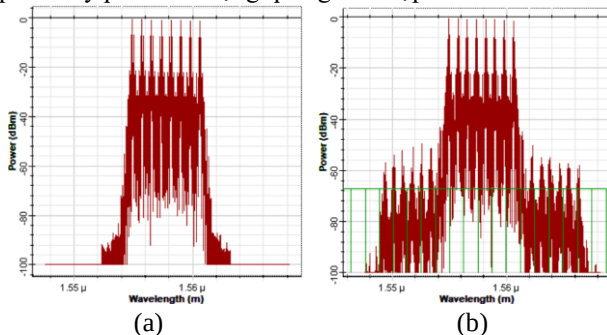


(c) Mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối song song

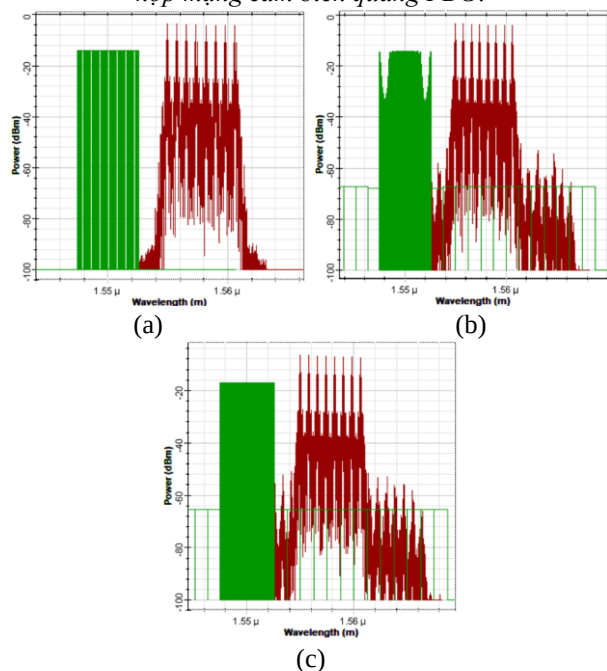
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong phần này sẽ đưa ra các kết quả đánh giá hiệu năng BER và khảo sát cự li truyền dẫn tối đa của mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM. Để đánh giá hiệu năng BER của mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM thực hiện thiết lập đo tham số BER trên cả 8 kênh với cự li truyền 50 Km. Để khảo sát cự li truyền dẫn tối đa của mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM với cự li truyền trong khoảng từ 50 Km đến 150 Km, tương ứng với thực hiện quét tham số lần lặp ở thành phần điều khiển vòng lặp từ 1 đến 3.

Hình 2 là phổ quang đầu ra phía máy phát và đầu vào máy thu của mạng quang DWDM 8 kênh không tích hợp mạng cảm biến quang FBG. Hình 3 là phổ quang đầu ra phía máy phát của mạng quang tích hợp.



Hình 2. Phổ quang: a) Đầu ra máy phát DWDM; b) Đầu vào máy thu của mạng quang DWDM 8 kênh không tích hợp mạng cảm biến quang FBG.



Hình 3. Phổ quang: (a) Đầu ra máy phát mạng quang tích hợp; (b) Đầu vào máy thu của mạng quang tích hợp kết nối nối tiếp; (c) Đầu vào máy thu của mạng quang tích hợp kết nối song song.

Từ Hình 2 có thể thấy rõ sự mở rộng đáng kể phổ quang của tín hiệu ở đầu vào máy thu so với phổ quang đầu ra máy phát trong hệ thống mạng quang DWDM 8 kênh không tích hợp mạng cảm biến quang FBG, nguyên nhân là do tương tác phi tuyến trộn bốn sóng (FWM- Four Wave

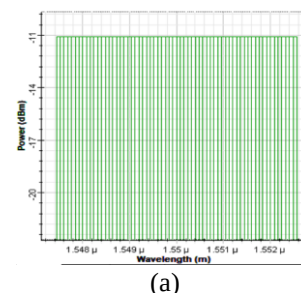
Mixing) giữa các kênh quang đầu vào khi truyền qua chặng sợi quang 50 Km.

Hình 3 cho thấy sự mở rộng phổ quang do tương tác phi tuyến FWM giữa 8 kênh khi truyền qua 50 Km sợi quang trong hệ thống mạng quang DWDM 8 kênh tích hợp mạng cảm biến quang FBG.

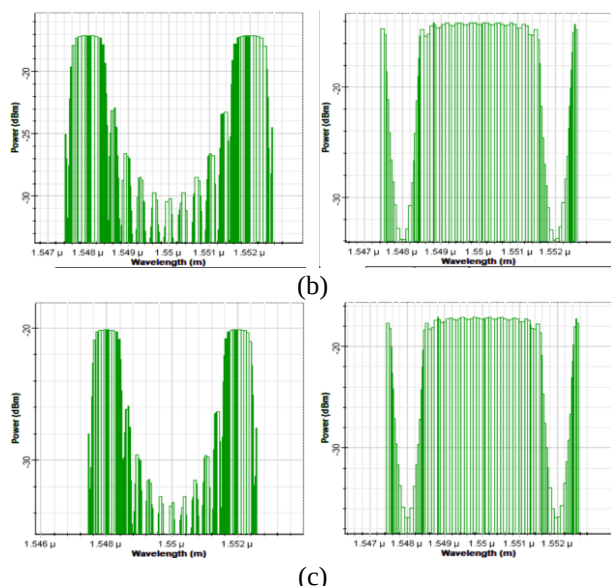
Từ kết quả đo ở Hình 2 và Hình 3 cho thấy phổ quang của 8 kênh đo được trên hệ thống mạng quang DWDM không tích hợp mạng cảm biến quang FBG có công suất đỉnh khoảng 4,41 dBm, phổ quang của 8 kênh đo được trên hệ thống mạng quang DWDM tích hợp mạng cảm biến quang FBG có công suất đỉnh khoảng 1,38 dBm cho mô hình kết nối nối tiếp và -1,76 dBm cho mô hình kết nối song song. Như vậy mô hình hệ thống mạng quang DWDM tích hợp mạng cảm biến quang FBG kết nối nối tiếp có công suất quang DWDM thu cải thiện khoảng 3 dBm so với mô hình hệ thống mạng quang DWDM tích hợp mạng cảm biến quang FBG kết nối song song. Tuy nhiên so với mô hình hệ thống mạng quang DWDM không tích hợp mạng cảm biến quang FBG thì mô hình hệ thống mạng quang DWDM tích hợp mạng cảm biến quang FBG kết nối nối tiếp có công suất quang DWDM thu kém hơn khoảng 3 dBm.

Để đánh giá đo giám sát từ xa các tham số nhiệt độ, áp suất cho các ứng dụng IoT, dựa trên kết quả phổ phản xạ của cảm biến quang FBG trong các mô hình mạng quang tích hợp. Hình 4 là phổ nguồn băng rộng, phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa tích hợp với mạng cự li dài DWDM 8 kênh. Phổ của nguồn băng rộng đo được có công suất đỉnh -11dBm như trên Hình 4(a), phổ phản xạ đo được có công suất đỉnh khoảng -17dBm cho mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối nối tiếp như ở Hình 4(b) và -20dBm cho mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối song song như trên Hình 4(c). Từ kết quả đo phổ phản xạ của mô hình cảm biến quang FBG trên Hình 4 có thể thấy rõ với mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối nối tiếp có công suất quang phản xạ cải thiện khoảng 3 dBm so với mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối song song. Vì vậy mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh trong trường hợp kết nối nối tiếp là rất phù hợp cho việc đo giám sát từ xa.

Bảng 2 đưa ra kết quả đo tham số hiệu năng BER của 8 kênh trong mô hình hệ thống mạng quang với cự li truyền 50 Km.



(a)



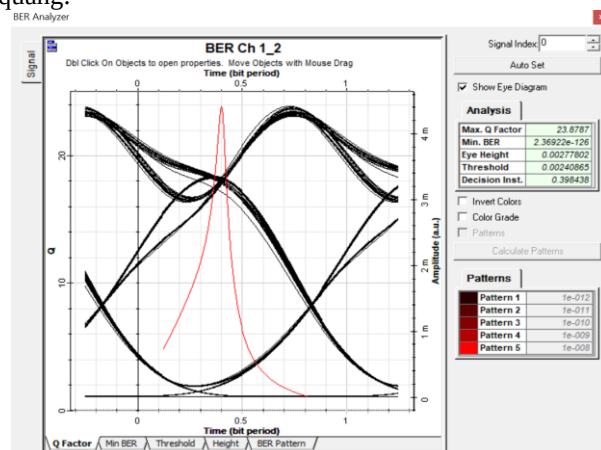
Hình 4. Phổ quang: (a) Nguồn băng rộng; (b) Phổ phản xạ và phổ truyền qua của cảm biến quang FBG đo gần sát từ xa tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh kết nối nối tiếp; (c) Phổ phản xạ và phổ truyền qua của cảm biến quang FBG đo gần sát từ xa tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh kết nối song song.

Bảng 2. So sánh hiệu năng của các mô hình hệ thống mạng quang.

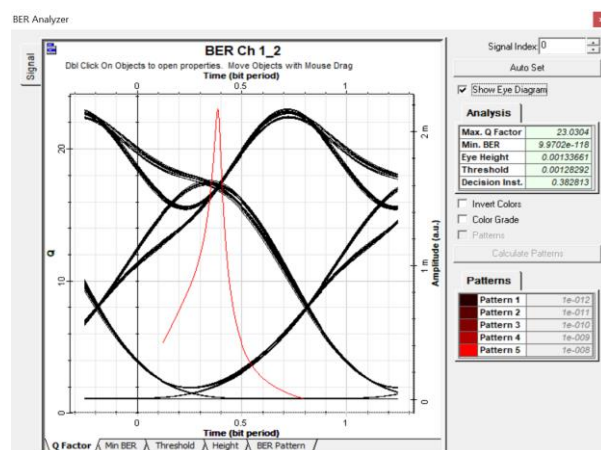
Các kênh quang	BER (Mô hình mạng quang không tích hợp)	BER (Mô hình mạng quang tích hợp kết nối nối tiếp)	BER (Mô hình mạng quang tích hợp kết nối song song)
Kênh 1	6,68313e-130	2,67222e-118	1,02255e-116
Kênh 2	2,1898e-135	1,43588e-119	6,6572e-119
Kênh 3	2,36922e-126	9,9702e-118	6,87847e-112
Kênh 4	3,10643e-138	7,15427e-131	2,5404e-127
Kênh 5	1,37232e-136	5,42982e-126	1,43818e-126
Kênh 6	1,3058e-137	3,59993e-129	2,19551e-125
Kênh 7	3,85913e-133	4,54156e-122	4,9611e-127
Kênh 8	3,45682e-133	3,10174e-137	2,24146e-130

Rõ ràng từ Bảng 2 có thể thấy kênh có hiệu năng kém nhất xét về BER là kênh thứ 3, chủ yếu là do xuyên nhiễu phi tuyến từ các kênh quang khác. Kết quả đo BER của kênh 3 đối với mô hình mạng quang không tích hợp là $2,36922e-126$, đối với mô hình mạng quang tích hợp kết nối nối tiếp là $9,9702e-118$ và đối với mô hình mạng quang tích hợp kết nối song song là $6,87847e-112$. Kết quả này là hoàn toàn phù hợp với kết quả đo phổ quang. Như vậy về cơ bản hiệu năng của mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp mạng truyền tải quang DWDM kết nối nối tiếp là tốt hơn so với mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp mạng truyền tải quang DWDM kết nối song song.

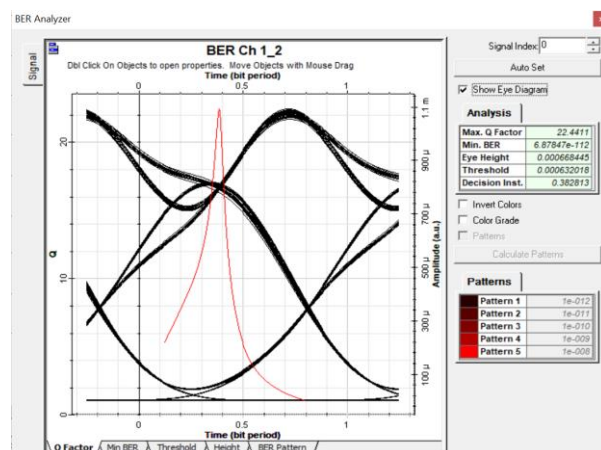
Hình 5 là biểu đồ mắt của kênh 3 tương ứng với các mô hình mạng quang đo được sau khi truyền qua 50 Km sợi quang.



(a) Mô hình mạng quang DWDM không tích hợp



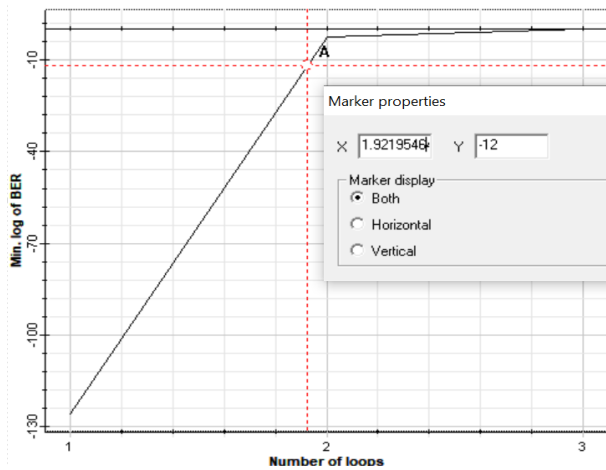
(b) Mô hình mạng quang tích hợp kết nối nối tiếp



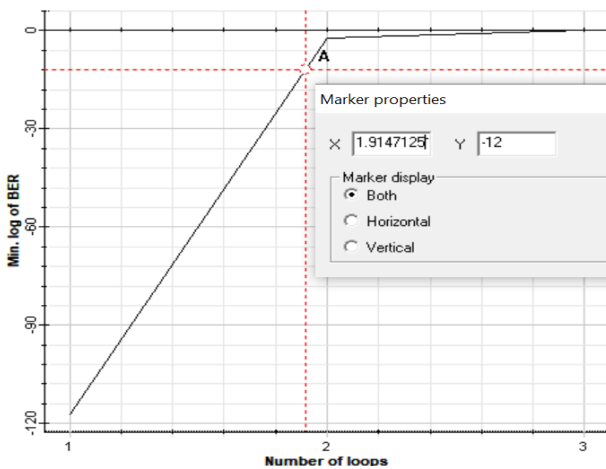
(c) Mô hình mạng quang tích hợp kết nối song song

Hình 5. Biểu đồ mắt của kênh 3 (kênh tồi nhất).

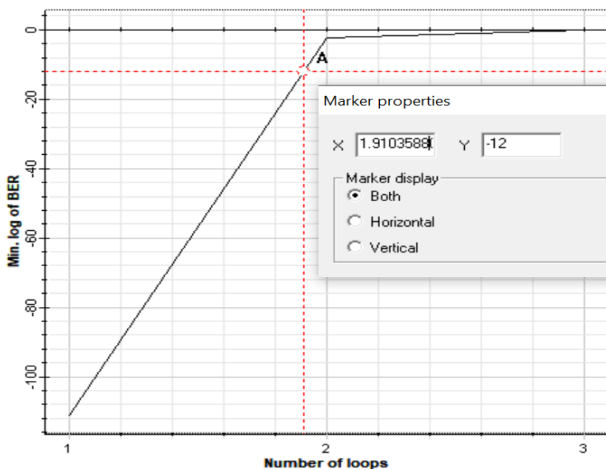
Hình 6 biểu thị mối quan hệ giữa hiệu năng BER của kênh 3 và cự li truyền tương ứng khi thực hiện quét tham số lần lặp ở thành phần điều khiển vòng lặp trong mô hình mạng quang.



(a) Mô hình mạng quang DWDM không tích hợp



(b) Mô hình mạng quang tích hợp kết nối nối tiếp



(c) Mô hình mạng quang tích hợp kết nối song song

Hình 6. Sự thay đổi hiệu năng BER kênh 3 (Kênh tồi nhất) theo cự li truyền.

Từ Hình 6 cho thấy cự li truyền tối đa cho kênh 3 (kênh tồi nhất) với điều kiện $BER = 10^{-12}$ trong hệ thống mạng quang DWDM không tích hợp mạng cảm biến quang FBG là khoảng 96,1 Km, trong hệ thống mạng quang DWDM tích hợp mạng cảm biến quang FBG kết nối nối tiếp là khoảng 95,7 Km và trong hệ thống mạng quang DWDM tích hợp mạng cảm biến quang FBG kết nối song song là khoảng 95,5 Km. Như vậy cự li truyền tối đa trong các

mạng quang là khá tương đồng. Từ kết quả mô phỏng đo tham số hiệu năng BER và cự li truyền tối đa đối với các mô hình mạng quang cho thấy với mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp mạng quang DWDM kết nối nối tiếp là rất phù hợp cho việc đo giám sát từ xa. Tuy nhiên, tùy thuộc vào điều kiện đo giám sát và đối tượng đo giám sát cũng như hệ thống mạng quang DWDM triển khai thực tế để lựa chọn mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM cho phù hợp.

IV. KẾT LUẬN

Bài báo đã mô tả việc xây dựng, thiết lập và phân tích mô hình mạng cảm biến quang dựa trên mô hình cảm biến quang FBG đề xuất tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM để giám sát đồng thời nhiệt độ và áp suất cho các ứng dụng đo từ xa trong IoT. Mô phỏng mô hình mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM 8 kênh điều chế NRZ 50% với khoảng cách tần số giữa các kênh là 100GHz và tốc độ bit mỗi kênh 10Gbit/s đã được xây dựng và các kết quả khảo sát cho thấy việc tích hợp mạng cảm biến quang FBG với mạng quang DWDM có làm suy giảm hiệu năng các kênh DWDM, tuy nhiên vẫn đảm bảo cự li truyền tối đa là khoảng 95 Km ở điều kiện ngưỡng $BER = 10^{-12}$. Bên cạnh đó, các kết quả mô phỏng cho mô hình mạng cảm biến quang dựa trên mô hình cảm biến quang FBG đề xuất tích hợp với mạng truyền tải quang DWDM kết nối nối tiếp là rất phù hợp với các ứng dụng đo từ xa mà vẫn đảm bảo được hiệu năng các kênh DWDM. Việc xây dựng mô hình mô phỏng và đánh giá hiệu năng mạng cảm biến quang FBG tích hợp với mạng quang DWDM trên cơ sở mô hình cảm biến quang FBG đề xuất là rất quan trọng, với mục đích nâng cao hiệu quả hoạt động của mạng quang tích hợp trong thực tế cho các ứng dụng IoT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Braunfelds, Janis & Spolitis, Sandis & Porins, Jurgis & Bobrovs, Vjaceslavs. (2020). Fiber Bragg Grating Sensors Integration in Fiber Optical Systems. 10.5772/intechopen.94289.
- [2] K. Vilcane, R. Murnieks, M. Aleksejeva, J. Braunfelds, I. Lyashuk and V. Bobrovs, "Integration of FBG Optical Sensor Network in DWDM-PON Transmission System," 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Fall (PIERS - Fall), Xiamen, China, 2019, pp. 1168-1174.
- [3] U. Senkans, J. Braunfelds, S. Spolitis, V. Bobrovs and J. Porins, "Analysis of FBG Based Sensing for Infrastructure Structural Health Monitoring Applications," 2023 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Prague, Czech Republic, 2023, pp. 744-753.
- [4] Braunfelds, Janis & Senkans, Ugis & Skels, Peteris & Janeliukstis, Rims & Salgals, Toms & Redka, Dmitrii & Lyashuk, Ilya & Porins, Jurgis & Spolitis, Sandis & Haritonovs, Viktors & Bobrovs, Vjaceslavs. (2021). FBG-Based Sensing for Structural Health Monitoring of Road Infrastructure. Journal of Sensors. 2021. 1-11.
- [5] S. P. Kok, Y. I. Go, X. Wang and M. L. D. Wong, "Advances in Fiber Bragg Grating (FBG) Sensing: A Review of Conventional and New Approaches and Novel Sensing Materials in Harsh and Emerging Industrial Sensing," in IEEE Sensors Journal, vol. 24, no. 19, pp. 29485-29505, 1 Oct.1, 2024.

- [6] Paul Stone Macheso, Mohssin Zekriti, “Modelling and analysis of fiber Bragg grating temperature sensor for Internet of things applications (FBG-4-IoT)”, International Journal of Intelligent Networks, Volume 5, 2024, Pages 224-230, Nithila Dediyaigala, “Optical Fiber Bragg Grating Analysis through FEA and Its Application to Pressure Sensing”, Victoria University, 2019.
- [7] Cao Hồng Sơn, “Mô hình cảm biến quang FBG cho IoT”, Tạp chí khoa học công nghệ thông tin và truyền thông, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, số 04 (CS.01), trang 60-66, 2023.
- [8] Rohan, R., Venkadeshwaran, K. & Ranjan, P. Recent advancements of fiber Bragg grating sensors in biomedical application: a review. J Opt 53, 282–293 (2024).
- [9] Optiwave, "OptiGrating User's Reference and Tutorials", 2008.

PERFORMANCE EVALUATION OF FBG OPTICAL SENSOR NETWORK INTEGRATED WITH DWDM OPTICAL TRANSMISSION NETWORK

Abstract – Currently, the world is experiencing rapid development and creation of new fiber optic technologies and solutions, especially the development of fiber Bragg gratings (FBG- Fiber Bragg Grating). Requires survey and evaluation when combining them together. FBG has achieved a prominent position in fiber optic sensors due to its internal advantages compared to mechanical and electrical sensors, such as no need for power supply, high sensitivity, small size, light weight, high anti-electromagnetic interference, easy to multiplex multiple FBG sensors on one fiber, etc. These advantages make successful use of FBG optical sensors in IoT applications an area with great potential for development. In cases where FBG optical sensors are deployed to ensure operational safety of observed structures (e.g. buildings, tunnels, bridges, roads, dams - also known as structural health monitoring applications (SHM- Structural Health Monitoring)). In this article, simulation software is used to demonstrate the ability to realize an FBG optical sensor network integrated in a high-density wavelength division multiplexing (DWDM- Dense Wavelength Division Multiplexing) optical network. For this study, the experimental simulation setup for the FBG optical sensor model proposes integrated remote monitoring measurement with an 8-channel DWDM optical transmission network with 100 GHz channel spacing with NRZ 50% modulation, operating operates at a bit rate of 10 Gbit/s. Not only do channel spacing, modulation signal type, and transmission bit rate play an important role in the performance of an integrated FBG optical sensor network, but also the connecting single-mode fiber (SMF- Single Mode Fiber) cable length is an important aspect to evaluate, especially when considering the reach of an integrated FBG optical sensor network in relation to sensing needs for SHM applications, such as transportation infrastructure and electricity, where fiber optic cables are often deployed. Therefore, the article studies the impact of the FBG optical sensor network on the DWDM transmission system and their coexistence in one system, evaluated through the bit error rate (BER) performance

parameter and the maximum transmission distance is determined so that the BER per channel does not exceed the threshold value $BER = 10^{-12}$.

Keywords - IoT, DWDM, fiber optic sensor network integrated with DWDM optical network, fiber optic sensor, FBG optical sensor, FBG.



Cao Hồng Sơn

Nhận học vị Tiến sĩ năm 2017

Hiện công tác tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Lĩnh vực nghiên cứu: Cảm biến quang, Chuyển mạch quang, Mạng truyền thông quang, Mạng cảm biến quang, Mạng chuyển mạch gói quang.