

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Phan Văn Khấn

NGHIÊN CỨU CẢM BIẾN QUANG FBG VÀ ỨNG DỤNG CHO IoT

ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI - 2024

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Phan Văn Khấn

NGHIÊN CỨU CẢM BIẾN QUANG FBG VÀ ỨNG DỤNG CHO IoT

Chuyên ngành: KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

Mã số: 8.52.02.08

ĐỀ ÁN THẠC SĨ KỸ THUẬT

(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

TS. CAO HỒNG SƠN

HÀ NỘI - 2024

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là Đề án nghiên cứu của riêng tôi, thực hiện dưới sự hướng dẫn của TS. Cao Hồng Sơn.

Các số liệu, kết quả nêu trong Đề án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả Đề án

Phan Văn Khấn

LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới TS. Cao Hồng Sơn, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Sự định hướng và dành nhiều thời gian tận tình hướng dẫn giúp đỡ của Thầy dành cho học viên trong suốt quá trình tìm hiểu và nghiên cứu Đề án. Thầy đã tạo điều kiện để tôi được tham gia vào nhóm nghiên cứu về cảm biến sợi quang và đã chia sẻ nhiều ý kiến đóng góp quý báu giúp tôi hoàn thiện và cải thiện Đề án của mình.

Tôi cũng muốn bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến các thầy cô tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, Các thầy cô đã định hướng và chia sẻ những kiến thức quý báu với tôi đồng thời tạo điều kiện và hỗ trợ cho tôi nói riêng và cả lớp nói chung trong suốt quá trình học tập tại trường.

Mặc dù đã nỗ lực hết sức, nhưng vì thời gian hạn hẹp và sự hạn chế trong kiến thức, bản thân tôi vẫn còn nhiều điều cần cải thiện. Không thể tránh khỏi việc gặp phải những sai sót trong Đề án. Tôi rất mong nhận được sự đóng góp ý kiến từ Quý Thầy, Cô và các bạn.

Một lần nữa, Tôi xin chân thành cảm ơn!

Tác giả Đề án

Phan Văn Khấn

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT	v
DANH SÁCH BẢNG	vi
DANH SÁCH HÌNH VẼ.....	vii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1 - CẢM BIẾN SỢI QUANG TRONG IoT	2
1.1. Sự phát triển của IoT	2
1.1.1. Khái niệm IoT	3
1.1.2. Lịch sử phát triển IoT	4
1.1.3. Các thành phần chính trong hệ thống IoT	5
1.1.4. Kiến trúc của hệ thống IoT	7
1.1.5. Xu hướng phát triển IoT	8
1.2. Vai trò của cảm biến sợi quang trong IoT	10
1.3. Ứng dụng của cảm biến sợi quang trong IoT	12
1.4. Kết luận chương	14
CHƯƠNG 2 – CẢM BIẾN QUANG FBG	15
2.1. Tìm hiểu về FBG	15
2.1.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của FBG.....	15
2.1.2. Phương pháp chế tạo FBG	17
2.2. Cảm biến quang FBG	22
2.3. Tham số đặc tính cảm biến quang FBG	23
2.3.1. Độ phản xạ (R).....	23
2.3.2. Độ truyền qua (T)	24
2.3.3. Độ dịch bước sóng Bragg	24
2.3.4. Kết quả khảo sát các tham số đặc tính và thảo luận	27
2.4. Kết luận chương	31

CHƯƠNG 3 - ỨNG DỤNG CẢM BIẾN QUANG FBG CHO IoT.....	32
3.1. Hệ thống cảm biến quang FBG	32
3.1.1. Hệ thống phân tán.....	32
3.1.2. Hệ thống cảm biến đa điểm	33
3.1.3. Ứng dụng của hệ thống cảm biến quang FBG.....	34
3.2. Mô hình ứng dụng cảm biến quang FBG cho IoT	35
3.3. Mô phỏng và đánh giá	37
3.3.1. Mô hình mô phỏng.....	37
3.3.2. Kết quả mô phỏng.....	39
3.4. Kết luận chương 3	44
DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO	46
PHỤ LỤC	47
Phụ lục A: Giới thiệu phần mềm mô phỏng OptiGrating 4.2	47
Phụ lục B: Giới thiệu phần mềm mô phỏng OptiSystem	49

DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT

DNA	DeoxyriboNucleic Acid	Mạng trung tâm dữ liệu
EDF	Erbium - Doper Fiber	Sợi pha tạp erbium
EMI	ElectroMagnetic Interference	Nhiều điện từ
FBG	Fiber Bragg grating	Cách tử Bragg sợi quang
HPC	High Performance Computing	Tính toán hiệu năng cao
ICT	Information & Communications Technologies	Công nghệ thông tin và truyền thông
IL	Interference Lithography	In thạch bản giao thoa
IoT	Internet of Things	Internet vạn vật
IP	Internet Protocol	Giao thức Internet
M2M	Machine-to-machine	Máy với máy
NG-PON	Next Generation Passive Optical Networks	Mạng quang thụ động thế hệ tiếp theo
OFSN	Optical Fiber Sensor Network	Mạng cảm biến sợi quang
OSA	Optical Switching	Chuyển mạch quang
UV	UltraViolet	Tia cực tím
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo bước sóng
WSN	Wireless Sensor Network	Mạng cảm biến không dây

DANH SÁCH BẢNG

Bảng 3.1: Các thông số của các thành phần được thiết kế.....	37
--	----

DANH SÁCH HÌNH VẼ

Hình 1.1: Mô tả tương tác của mạng thiết bị kết nối Internet.....	3
Hình 1.2: Nguyên lý cơ bản của IoT	6
Hình 1.3: Kiến trúc hệ thống IoT	7
Hình 2.1: Cấu trúc của cách tử Bragg sợi cùng với phổ truyền qua và phổ phản xạ	16
Hình 2.2: Hệ thống quang học ghi giao thoa kế của FBG	18
Hình 2.3: Hệ thống quang học cho phương pháp in khắc giao thoa.....	20
Hình 2.4: Phương pháp khắc FBG sử dụng mặt nạ pha.....	21
Hình 2.5: Mô hình cảm biến quang FBG đơn.....	23
Hình 2.6: Các tham số của FBG.....	28
Hình 2.7: Các tham số của cảm biến quang FBG.	28
Hình 2.8: Phổ phản xạ (màu xanh) và phổ truyền qua (màu đỏ) của FBG.....	29
Hình 2.9: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo nhiệt độ.....	30
Hình 2.10: Quan hệ tuyến tính giữa áp suất và bước sóng Bragg dịch chuyển	30
Hình 3.1: Hệ thống cảm biến phân tán trong một đường hầm.....	33
Hình 3.2: Mạng cảm biến quang đa điểm giám sát đập nước.....	34
Hình 3.3: Mạng cảm biến đa điểm dựa trên FBG	34
Hình 3.4: Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất.	35
Hình 3.5: Mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.	38
Hình 3.6: Mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.....	39
Hình 3.7: Các tham số của FBG và cảm biến quang FBG.....	40
Hình 3.8: Phổ phản xạ (màu xanh) và phổ truyền qua (màu đỏ) của FBG.....	40
Hình 3.9: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo nhiệt độ.....	41
Hình 3.10: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo áp suất.....	41
Hình 3.11: Phổ nguồn băng rộng, phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.	42
Hình 3.12: Phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.	43

MỞ ĐẦU

Sự ra đời của công nghệ sợi quang đã đánh dấu một bước tiến quan trọng trong công nghệ truyền thông toàn cầu, giúp truyền thông ở cự ly xa và đảm bảo độ tin cậy. Trong những năm gần đây, công nghệ sợi quang tiếp tục phát triển mạnh mẽ với việc xác định các sợi quang nhạy sáng, làm cơ sở để phát triển cảm biến quang cho nhiều loại ứng dụng và môi trường khác nhau với hiệu suất cao. Cảm biến quang dựa trên cách tử Bragg sợi quang (FBG) là một trong những loại cảm biến sợi quang thu hút được rất nhiều sự quan tâm và đang được nghiên cứu và phát triển.

IoT đang dần trở nên phổ biến và càng ngày càng tác động mạnh mẽ đến cuộc sống, công việc và xã hội loài người. IoT có mặt ở đa dạng các lĩnh vực như y tế, nông nghiệp, nhà máy, công xưởng... Một trong các thành phần không thể thiếu của hệ thống IoT như vậy là các thiết bị IoT. Các thiết bị IoT có thể là đồ vật được gắn thêm cảm biến để thu thập dữ liệu về môi trường xung quanh, gửi dữ liệu về trung tâm qua môi trường kết nối. Tuy nhiên do môi trường sử dụng cảm biến rất đa dạng phong phú, nên hiện nay các loại cảm biến chưa đáp ứng được hết các yêu cầu, ví dụ như chưa có cảm biến nào sử dụng được trong môi trường có điện trường cao.

Ưu điểm chính của cảm biến sợi quang so với các loại cảm biến khác là cảm biến sợi quang thụ động về mặt điện từ. Đặc tính này cho phép sử dụng các cảm biến sợi quang trong môi trường điện trường cao và biến thiên hoặc nơi có nguy cơ cháy nổ, nơi mà các loại cảm biến khác không thể sử dụng được. Vì vậy nghiên cứu cảm biến sợi quang và ứng dụng trong IoT đang là vấn đề rất được quan tâm hiện nay. Trên thế giới đã có nhiều đề tài nghiên cứu, thiết kế cảm biến quang FBG cũng như ứng dụng trong IoT, tuy nhiên trong nước còn rất hạn chế. Nhiệm vụ nghiên cứu của đề án là tập trung nghiên cứu, tìm hiểu về cảm biến quang FBG, khảo sát các tham số đặc trưng và đề xuất một mô hình cảm biến quang dựa trên FBG để giám sát tham số nhiệt độ cho các ứng dụng trong IoT. Việc xây dựng một mô hình cảm biến quang FBG mới là rất quan trọng, với mục đích nâng cao hiệu quả hoạt động của cảm biến quang trong thực tế, từ đó đưa ra hướng ứng dụng của cảm biến quang FBG trong các hệ thống IoT.

CHƯƠNG 1 - CẢM BIẾN SỢI QUANG TRONG IoT

Nội dung của chương 1 trình bày về khái niệm IoT, lịch sử phát triển IoT, các thành phần chính trong hệ thống IoT, kiến trúc của hệ thống IoT và xu hướng phát triển IoT. Ngoài ra trong chương còn trình bày cụ thể về vai trò của cảm biến sợi quang trong IoT và ứng dụng của cảm biến sợi quang trong IoT.

1.1. Sự phát triển của IoT

Điều kiện tiên quyết chính để triển khai các ứng dụng và hệ thống thành phố thông minh trong tương lai là sự tồn tại của cơ sở hạ tầng thông minh hiệu quả và đáng tin cậy. Cơ sở hạ tầng như vậy tích hợp một cách hiệu quả và đáng tin cậy các cơ sở hạ tầng cơ bản khác nhau như hệ thống phân phối nước, lưới điện, và cơ sở hạ tầng giao thông cùng với công nghệ thông tin, phân hệ thống cảm biến thông minh và mạng truyền thông. Một xu hướng nổi bật khác là chăm sóc sức khỏe thông minh, có tiềm năng cải thiện chất lượng chăm sóc bệnh nhân và cách thức chăm sóc sức khỏe được cung cấp, chẳng hạn như thông qua chẩn đoán tốt hơn và nhanh hơn, điều trị bệnh nhân tốt hơn và cải thiện hiệu quả hoạt động. Trong môi trường sản xuất, những phát triển gần đây trong lĩnh vực hệ thống điều khiển kết hợp với công nghệ thông tin và truyền thông hiện đại (ICT) là động lực chính cho cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư. Trong những thập kỷ tới, xu hướng này có thể dẫn đến sự thay đổi căn bản trong các quy trình công nghiệp. Sự thâm nhập rộng rãi và triển khai rộng rãi giao tiếp giữa máy với máy (M2M) và Internet vạn vật (IoT) sẽ xóa bỏ ranh giới truyền thống giữa lĩnh vực sản xuất và viễn thông. Do đó, một số lượng lớn các cảm biến, thiết bị truyền động và nhiều thiết bị thông minh khác được kết nối với nhau bằng mạng truyền thông có mặt khắp nơi, hiệu suất cao và có độ tin cậy cao là những phần xây dựng chính của một IoT hiệu quả và phổ biến. Sự kết hợp và tích hợp tối ưu của các thiết bị và công nghệ này cùng với việc thu thập và xử lý dữ liệu thông minh và hiệu quả là những yếu tố quan trọng trong việc hiện thực hóa các hệ thống và cơ sở hạ tầng tích hợp và thông minh [1].

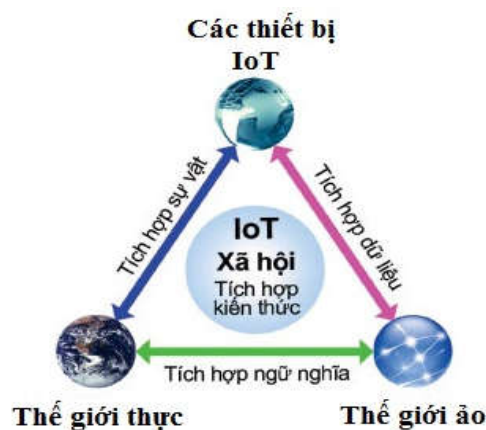
1.1.1. Khái niệm IoT

IoT là một thuật ngữ phổ biến trong kỷ nguyên số ngày nay – là bước nhảy vọt cũng như một khía cạnh quan trọng về trong cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư. Mặc dù vậy, IoT lại không được định nghĩa một cách toàn diện, thống nhất, đôi khi nó được định nghĩa từ khía cạnh ứng dụng hoặc là mối quan hệ của nó với Internet.

Sau đây là ba định nghĩa tổng quan về IoT được lựa:

- Định nghĩa 1: Cụm từ “ Internet of Things” là cụm từ bao gồm hai từ “Internet” và “Things” và định nghĩa đầu tiên được nhìn nhận từ góc độ này. “Internet” được mô tả như một mạng toàn cầu trong khi “Things” đề cập đến các mục được kết nối với nó. Kết quả là các đồ vật, thiết bị kết nối với nhau và kết nối với Internet thông qua cảm biến, mạng không dây, phần mềm và các công nghệ khác cho phép chúng có thể thu thập, trao đổi dữ liệu. Nhờ đó mà các thiết bị trở nên “ thông minh hơn” nhờ khả năng gửi và (hoặc) nhận thông tin, tự động hoạt động dựa trên các thông tin đó mà không phụ thuộc vào tương tác của con người.

- Định nghĩa 2: Ở định nghĩa này thì khái niệm IoT mang tính trừu tượng hơn, nó đề cập đến bất cứ thứ gì có thể được truy cập từ bất cứ đâu vào bất cứ lúc nào bởi bất kỳ ai thông qua bất kỳ một dịch vụ mạng nào.



Hình 1.1: Mô tả tương tác của mạng thiết bị kết nối Internet.

- Định nghĩa 3: Năm 2013, tổ chức sáng kiến tiêu chuẩn toàn cầu về IoT (IoT-GSI) định nghĩa IoT là "hạ tầng cơ sở toàn cầu phục vụ cho xã hội thông tin, hỗ trợ các dịch vụ (điện toán) chuyên sâu thông qua các vật thể (cả thực lẫn ảo) được kết nối với nhau nhờ vào công nghệ thông tin và truyền thông hiện hữu được tích hợp,

và với mục đích ấy một "vật" là "một thứ trong thế giới thực (vật thực) hoặc thế giới thông tin (vật ảo), mà vật đó có thể được nhận dạng và được tích hợp vào một mạng truyền thông". Hình 1.1 mô tả tương tác của các thiết bị IoT giữa thế giới thực và thế giới ảo.

1.1.2. Lịch sử phát triển IoT

Lịch sử phát triển của IoT có thể được nêu ra thông qua các mốc quan trọng [11]:

+ 1968: Kỷ nguyên Internet vạn vật (IoT) trong sản xuất bắt đầu được xây dựng, khi kỹ sư Dick Morley đã chế tạo ra một trong những đột phá quan trọng trong lịch sử sản xuất: bộ điều khiển lập trình logic PLC. Cho đến thời điểm hiện tại, thiết bị này vẫn là bộ phận không thể thay thế trong các dây chuyền tự động hóa.

+ Năm 1990: Máy nướng bánh mì được cho là đồ vật đầu tiên được kết nối internet. John Romkey, một kỹ sư phần mềm tại Mỹ, đã kết nối chiếc máy nướng bánh mì với máy tính qua internet để bật nó lên.

+ 1999: Đây là cột mốc quan trọng trong quá trình phát triển IoT. Kevin Ashton, Giám đốc Phòng thí nghiệm tự động nhận diện thuộc Đại học Massachusetts – Hoa Kỳ đã đưa khái niệm Internet vạn vật (IoT) vào bài diễn thuyết của mình để mô tả thế hệ cải tiến tiếp theo của công nghệ theo dõi RFID (bộ thiết bị nhận dạng đối tượng bằng sóng vô tuyến thường được sử dụng nhiều trong siêu thị để chống trộm cắp). Đây cũng là lần đầu tiên khái niệm IoT được sử dụng.

+ 2000: LG giới thiệu chiếc tủ lạnh có kết nối Internet đầu tiên trên thế giới với mức giá 20.000 USD.

+ 2008: Hội nghị quốc tế đầu tiên về IoT được tổ chức tại Zurich, Thụy Sĩ.

+ 2009: Theo Cisco, đây là thời điểm mà mạng internet vạn vật thực sự được khai sinh, khi số lượng thiết bị được kết nối internet vượt dân số thế giới.

+ 2013: Từ điển Oxford thêm thuật ngữ “Internet of Things” vào hệ thống định nghĩa.

+ 2016: Xuất hiện khái niệm IoT trong sản xuất. Khi khái niệm về IoT được sử dụng nhiều hơn trong sản xuất, một khái niệm khác liên quan cũng được ra đời IoT trong công nghiệp.

Những dấu mốc quan trọng khác:

- + 1983: Ethernet được tiêu chuẩn hóa.
- + 1989: Tim Berners-Lee tạo ra giao thức giao thức truyền tải siêu văn bản (HTTP).
- + 1992: TCP/IP cho phép PLCs kết nối với máy tính.
- + 2002: Máy chủ Amazon Web Services phát hành, và điện toán đám mây bắt đầu được đưa vào sử dụng.
- + 2006: Chuẩn OPC UA thúc đẩy các kết nối an toàn giữa các thiết bị, nguồn dữ liệu và các ứng dụng.
- + 2006: Các thiết bị chuyên dụng dần dần trở nên phổ biến và có giá trị kinh tế hơn. Các thiết bị cũng được thiết kế và sản xuất với kích thước nhỏ hơn, sử dụng năng lượng pin hoặc năng lượng mặt trời.
- + Từ 2010-nay: Các cảm biến có giá các phải chăng hơn, thúc đẩy việc sử dụng rộng rãi các thiết bị này trong mọi mặt của đời sống.

+ 1983: Ethernet được tiêu chuẩn hóa.

+ 1989: Tim Berners-Lee tạo ra giao thức giao tiếp chung giao thức truyền tải siêu văn bản (HTTP).

+ 1992: TCP/IP cho phép PLCs kết nối với máy tính.

+ 2002: Máy chủ Amazon Web Services phát hành, và điện toán đám mây bắt đầu được đưa vào sử dụng.

+ 2006: Chuẩn OPC UA thúc đẩy các kết nối an toàn giữa các thiết bị, nguồn dữ liệu và các ứng dụng.

+ 2006: Các thiết bị chuyên dụng dần dần trở nên phổ biến và có giá trị kinh tế hơn. Các thiết bị cũng được thiết kế và sản xuất với kích thước nhỏ hơn, sử dụng năng lượng pin hoặc năng lượng mặt trời.

+ Từ 2010-nay: Các cảm biến có giá các phải chăng hơn, thúc đẩy việc sử dụng rộng rãi các thiết bị này trong mọi mặt của đời sống.

1.1.3. Các thành phần chính trong hệ thống IoT

Một hệ thống IoT sẽ bao gồm 4 thành phần chính:

+ Thiết bị: gồm các thiết bị cuối tham gia vào mạng. IoT (đồng hồ đeo tay, tủ lạnh, điện thoại thông minh,...), mỗi thiết bị sẽ được tích hợp một cảm biến không dây thông minh hoặc các thiết bị có thể nhận lệnh trực tiếp từ người dùng.

+ Trạm kết nối hay cổng kết nối: Là cầu nối giữa các công nghệ truyền thông khác nhau. Nó là một máy tính nhúng làm cầu nối kết nối giữa các cảm biến, tác nhân tới mạng Internet hoặc mạng nội bộ Intranet.

+ Hạ tầng mạng hay các điện toán đám mây: Các trung tâm dữ liệu và hạ tầng điện toán đám mây gồm một hệ thống lớn các máy chủ, hệ thống lưu trữ và mạng ảo hóa được kết nối. Đám mây đóng vai trò như “bộ não” của mô hình IoT vì chúng chịu trách nhiệm xử lý, chỉ huy và phân tích các dữ liệu thu thập được.

+ Bộ phân tích và xử lý dữ liệu: dữ liệu thô sẽ được thu thập, phân tích và chuyển đổi thành các thông tin hữu ích, có khả năng hỗ trợ người dùng đưa ra các quyết định quan trọng.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống IoT được thực hiện thông qua bốn bước như mô tả trong Hình 1.2 [12].



Hình 1.2: Nguyên lý cơ bản của IoT [12]

+ Thu thập dữ liệu: Các cảm biến, thiết bị thu thập dữ liệu (nhiệt độ, độ ẩm, âm thanh...) từ môi trường.

+ Chia sẻ dữ liệu: nhờ cảm biến, thiết bị được kết nối Internet, dữ liệu được chia sẻ thông qua bộ lưu trữ đám mây.

+ Xử lý dữ liệu: Dữ liệu trên bộ lưu trữ đám mây được hệ thống máy tính xử lý và đưa ra quyết định hoặc gửi kết quả đến người dùng.

+ Đưa ra quyết định: Người dùng nhận dữ liệu thông qua email, thông báo... và đưa ra quyết định thông qua một bộ giao diện nào đó.

1.1.4. Kiến trúc của hệ thống IoT

Công nghệ Internet vạn vật (IoT) có rất nhiều ứng dụng và việc sử dụng Internet vạn vật ngày càng phát triển nhanh hơn. Tùy thuộc vào các lĩnh vực ứng dụng khác nhau của IoT, nó hoạt động tương ứng theo nó đã được thiết kế/phát triển. Nhưng nó không có một kiến trúc làm việc được xác định tiêu chuẩn được tuân thủ nghiêm ngặt trên toàn cầu. Kiến trúc của IoT phụ thuộc vào chức năng và cách triển khai của nó trong các lĩnh vực khác nhau. Tuy nhiên, có một luồng quy trình cơ bản dựa trên đó IoT được xây dựng gồm 4 giai đoạn chính như Hình 1.3 [13].



Hình 1.3: Kiến trúc hệ thống IoT [13]

+ Lớp cảm biến:

Lớp này bao gồm các cảm biến, thiết bị chấp hành và các bộ điều khiển như vi xử lý/vi điều khiển, PLC, FPGA đến các máy tính nhúng. Thực hiện đo lường và thu thập dữ liệu các đại lượng vật lý thông qua các cảm biến, điều khiển các thiết bị chấp hành và có thể truyền và nhận dữ liệu từ các thiết bị khác qua mạng

+ Lớp mạng:

Chức năng lớp mạng xác định các giao thức truyền thông khác nhau được sử dụng cho việc kết nối mạng và thực hiện điện toán biên.

Lớp mạng bao gồm các thiết bị liên kết mạng như Hub, Switch, Router; các thiết bị chuyển đổi giao thức mạng như Gateways, hệ thống thu thập dữ liệu (DAS). DAS thực hiện chức năng tổng hợp và chuyển đổi dữ liệu (Thu thập dữ liệu và tổng hợp dữ liệu sau đó chuyển đổi dữ liệu tương tự của các cảm biến sang dữ liệu số, v.v.). Các công nghệ nâng cao chủ yếu mở ra kết nối giữa các mạng Cảm biến và Internet cũng thực hiện nhiều chức năng công cơ bản như bảo vệ phần mềm độc hại và lọc đôi khi cũng đưa ra quyết định dựa trên dữ liệu đầu vào và dịch vụ quản lý dữ liệu, v.v.

+ Lớp xử lý dữ liệu:

Đây là đơn vị xử lý của hệ sinh thái IoT. Tại đây, dữ liệu được phân tích và xử lý trước khi gửi đến trung tâm dữ liệu từ đó dữ liệu được truy cập bởi các ứng dụng phần mềm thường được gọi là ứng dụng kinh doanh nơi dữ liệu được theo dõi và quản lý cũng như các hành động tiếp theo cũng được chuẩn bị.

+ Lớp ứng dụng:

Đây là lớp cuối cùng trong 4 giai đoạn của kiến trúc IoT. Trung tâm dữ liệu hoặc đám mây là giai đoạn quản lý dữ liệu nơi dữ liệu được quản lý và được sử dụng bởi các ứng dụng của người dùng cuối như nông nghiệp, chăm sóc sức khỏe, hàng không vũ trụ, nông nghiệp, quốc phòng, v.v.

1.1.5. Xu hướng phát triển IoT

IoT sẽ là một lĩnh vực được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ trong giai đoạn tiếp theo. Một số xu hướng phát triển của IoT gồm:

- Kiến trúc dựa trên sự kiện:

Các thực thể, máy móc trong IoT sẽ phản hồi dựa theo các sự kiện diễn ra trong lúc chúng hoạt động theo thời gian thực. Một số nhà nghiên cứu từng nói rằng một mạng các cảm biến chính là một thành phần đơn giản của IoT.

- Là một hệ thống phức tạp:

Trong một thế giới mở, IoT sẽ mang tính chất phức tạp bởi nó bao gồm một lượng lớn các đường liên kết giữa những thiết bị, máy móc, dịch vụ với nhau, ngoài ra còn bởi khả năng thêm vào các nhân tố mới.

- Kích thước:

Một mạng IoT có thể chứa đến 50 đến 100 nghìn tỷ đối tượng được kết nối và mạng này có thể theo dõi sự di chuyển của từng đối tượng.

- Vấn đề không gian, thời gian:

Trong IoT, vị trí địa lý chính xác của một vật nào đó là rất quan trọng. Hiện nay, Internet chủ yếu được sử dụng để quản lý thông tin được xử lý bởi con người. Do đó những thông tin như địa điểm, thời gian, không gian của đối tượng không mấy quan trọng bởi người xử lý thông tin có thể quyết định các thông tin này có cần thiết hay không, và nếu cần thì họ có thể bổ sung thêm. Trong khi đó, IoT về lý thuyết sẽ thu thập rất nhiều dữ liệu, trong đó có thể có dữ liệu thừa về địa điểm, và việc xử lý dữ liệu đó được xem như không hiệu quả. Ngoài ra, việc xử lý một khối lượng lớn dữ liệu trong thời gian ngắn đủ để đáp ứng cho hoạt động của các đối tượng cũng là một thách thức hiện nay.

- Vấn đề bảo mật và an ninh được tăng cường mạnh mẽ:

Cùng với việc phát triển của IoT, các cuộc tấn công mạng cũng ngày càng trở nên phổ biến hơn, và vấn đề an ninh và bảo mật dữ liệu trong IoT cũng được đặt ra một cách nghiêm trọng. Một số cuộc tấn công mạng dẫn đến việc xâm nhập vào các thiết bị IoT, đánh cắp thông tin cá nhân của người dùng và tiềm tàng gây ra các rủi ro an toàn cho hệ thống. Do đó, các nhà sản xuất và nhà cung cấp IoT cần phải có nỗ lực để đảm bảo rằng dữ liệu được mã hóa và bảo vệ khỏi các cuộc tấn công. Điều này có thể đảm bảo rằng người dùng có thể yên tâm sử dụng các thiết bị IoT mà không phải lo lắng về việc đánh cắp thông tin cá nhân hoặc rủi ro an toàn.

Để đảm bảo an toàn và bảo mật cho các thiết bị IoT, các nhà sản xuất cần thiết kế các giải pháp bảo mật hiệu quả để ngăn chặn các cuộc tấn công mạng. Một trong số đó là việc sử dụng mã hóa để bảo vệ dữ liệu truyền tải qua mạng. Các thiết bị IoT nên được trang bị các phần mềm mã hóa mạnh mẽ để ngăn chặn các hacker xâm nhập vào hệ thống.

Ngoài ra, các nhà sản xuất cũng cần phải cung cấp các bản vá và nâng cấp phần mềm thường xuyên để khắc phục các lỗ hổng an ninh có thể được tìm thấy trong các

phiên bản phần mềm. Đồng thời, các thiết bị IoT cần có các cơ chế bảo vệ an ninh, nhưng cũng không ảnh hưởng đến trải nghiệm của người dùng khi sử dụng chúng.

- Tăng cường kết hợp Trí tuệ nhân tạo AI:

Trí tuệ nhân tạo (AI) là một trong những công nghệ tiên tiến và phát triển nhanh chóng nhất hiện nay. Nó giúp cho các máy tính và các thiết bị thông minh có khả năng học hỏi, phân tích và dự đoán các hành vi, kết quả từ các trải nghiệm và dữ liệu thu thập được.

Trong ngành IoT, AI sẽ được áp dụng rộng rãi để cải thiện hoạt động của các thiết bị thông minh. Với sự phát triển của IoT, các thiết bị thông minh như điều khiển nhiệt độ, bộ lọc không khí, hệ thống đèn chiếu sáng, các cảm biến... đang trở nên phổ biến hơn bao giờ hết. Tuy nhiên, những thiết bị này cần phải được giám sát và điều khiển liên tục để đảm bảo hoạt động hiệu quả và an toàn.

Sử dụng trí tuệ nhân tạo sẽ giúp cho các thiết bị thông minh có khả năng tự động học hỏi và cải thiện hoạt động của chúng. Các thiết bị sẽ thu thập dữ liệu từ môi trường xung quanh, học từ dữ liệu đó và điều chỉnh hoạt động của chúng để phù hợp với nhu cầu sử dụng. Ví dụ, một hệ thống điều khiển nhiệt độ có thể tự động điều chỉnh nhiệt độ phù hợp với các trường hợp sử dụng khác nhau hoặc thay đổi theo thời tiết.

Bên cạnh đó, AI còn giúp cho các thiết bị thông minh có khả năng phân tích dữ liệu và tạo ra các dự đoán. Các thiết bị có thể thu thập thông tin từ các nguồn khác nhau và phân tích dữ liệu để tạo ra các dự đoán về các sự kiện, hiện tượng trong tương lai. Ví dụ, một hệ thống cảm biến có thể phân tích dữ liệu về môi trường xung quanh để dự đoán thời tiết trong ngày tiếp theo hoặc tình trạng giao thông trên đường.

1.2. Vai trò của cảm biến sợi quang trong IoT [5]

Sự phát triển của công nghệ sợi quang đánh dấu một bước tiến quan trọng trong công nghệ truyền thông toàn cầu. Vào những năm 70, sự xuất hiện của sợi quang có suy hao thấp cho phép truyền thông cự li dài với băng thông cao. Kể từ những tiên bộ này, khối lượng sản xuất tiếp tục tăng và đến năm 2000, cáp quang đã nhanh chóng được lắp đặt trên toàn thế giới.

Sự phát triển của công nghệ sợi quang cũng cho phép phát triển các thiết bị xử lý quang hoàn toàn bằng sợi quang, giảm suy hao xen và cải thiện chất lượng xử lý. Một yếu tố góp phần vào sự chuyển đổi hoàn toàn của công nghệ sợi quang là việc xác định các sợi quang nhạy sáng. Phát hiện này được thực hiện vào năm 1978 bởi Hill và các cộng sự và dẫn tới sự phát triển của cách tử Bragg sợi quang (FBG). Song song với sự quan tâm và sử dụng trong truyền thông quang học, cách tử Bragg đã đạt được vị trí nổi bật trong các cảm biến sợi quang do tính linh hoạt của chúng trong các ứng dụng cảm biến khác nhau.

Sợi quang cung cấp giải pháp cảm biến cho nhiều loại ứng dụng và môi trường với hiệu suất cao. Thiết kế của cảm biến sợi quang có thể tận dụng một hoặc một số thông số quang học của ánh sáng dẫn hướng, chẳng hạn như cường độ, pha, độ phân cực và bước sóng. Sợi quang có chức năng kép: đo một số thông số thông qua những thay đổi về tính chất của ánh sáng truyền qua sợi; và hoạt động như một kênh truyền thông, do đó cung cấp một kênh truyền thông chuyên dụng bổ sung và do đó mang lại lợi thế cho tất cả các công nghệ cảm biến khác.

Ưu điểm chính của cảm biến sợi quang so với cảm biến khác là cảm biến sợi quang thụ động về mặt điện từ. Đặc tính này rất quan trọng cho phép sử dụng các cảm biến sợi quang mà các loại cảm biến khác không thể sử dụng được, như trong môi trường điện trường cao và biến thiên, nơi có nguy cơ cháy nổ. Hơn nữa, hợp chất silica, là vật liệu truyền dẫn cơ bản của sợi quang, có khả năng chống lại hầu hết các tác nhân hóa học và sinh học và do đó có thể được sử dụng trong loại môi trường và vật liệu này. Một ưu điểm khác là cảm biến sợi quang có thể nhỏ và nhẹ.

Sợi có độ suy hao quang thấp cho phép truyền trên khoảng cách xa giữa các trạm giám sát. Suy hao thấp cũng rất quan trọng để thực hiện các phép đo ghép kênh. Bằng cách sử dụng một nguồn quang và bộ thu duy nhất, có thể vận hành các mảng lớn cảm biến phân tán mà không cần các thành phần quang điện tử hoạt động trong khu vực đo. Đổi lại, tính thụ động điện từ và sức cản môi trường có thể được duy trì.

Hệ thống cảm biến sợi quang thường được sử dụng ở các vị trí được xác định trước. Do đó, cáp quang có độ dài lớn là cần thiết để kết nối tất cả các cảm biến và

tạo ra mạng cáp quang, điều này có thể tốn kém và không thực tế. Trong những năm gần đây, Mạng cảm biến không dây (WSN) đã thu hút được sự chú ý đáng kể về tính hiệu quả của chúng trong việc thu thập thông tin về các thông số như nhiệt độ, áp suất, gia tốc hoặc độ rung. Tuy nhiên, hầu hết các hệ thống WSN không tích hợp các cảm biến sợi quang và không tận dụng được các đặc tính và ưu điểm đặc biệt của chúng. Do đó, việc tích hợp các cảm biến sợi quang trong WSN mang lại những lợi ích và khả năng mới cho việc thiết kế các hệ thống cảm biến lai tiên tiến.

1.3. Ứng dụng của cảm biến sợi quang trong IoT

Do sợi quang được làm bằng vật liệu phi kim loại nên nó có khả năng chống chịu các yếu tố môi trường tốt hơn và có thể được sử dụng trong các điều kiện khắc nghiệt như nhiệt độ và độ ẩm cao/thấp. Ngoài ra, nó còn có khả năng miễn nhiễm với nhiễu điện và điện từ cũng như các lỗi tín hiệu trong quá trình truyền tải. Do đó, mạng cảm biến sợi quang (OFSN) đã được sử dụng trong một số lĩnh vực để theo dõi các thông số khác nhau. Chức năng kép của sợi quang (đồng thời cảm biến phân tử và kênh liên lạc) với giới hạn thấp (khoảng cách so với băng thông) cho phép triển khai mạng cảm biến mở rộng. Các phương pháp tiếp cận lai dựa trên cảm biến sợi quang kết hợp với giao tiếp không dây bên ngoài cơ thể cũng rất thú vị trong lĩnh vực này.

Phần này trình bày tóm tắt các ứng dụng của mạng cảm biến sợi quang trong các lĩnh vực khác nhau, đặc biệt là xem xét cảm biến đa điểm và cảm biến phân tán. Trong một số ứng dụng, có thể sử dụng sự kết hợp giữa cảm biến phân tán và cảm biến đa điểm, ví dụ: trong các hệ thống cảm biến chăm sóc sức khỏe.

Tuổi thọ của cơ sở hạ tầng rất dài, từ vài thập kỷ đến hơn một trăm năm. Tùy thuộc vào loại kết cấu, một loạt các thông số như biến dạng, nhiệt độ, độ ăn mòn và độ giảm độ dày, âm học rò rỉ và áp suất có thể quan trọng để định lượng. Mặc dù có một số phương pháp phát hiện thiệt hại trong cơ sở hạ tầng dân dụng, hầu hết chúng đều có những nhược điểm khác nhau như thiếu tính di động, dễ bị nhiễu điện từ và thiếu khả năng giám sát liên tục và từ xa trên khoảng cách lớn. Năm 1989, cảm biến sợi quang được giới thiệu như thiết bị giám sát kết cấu bê tông và trở thành một phần tử rất quan trọng trong cơ sở hạ tầng dân dụng, chẳng hạn như cầu hoặc đường ống.

Sau đó, nhiều nhóm nghiên cứu bắt đầu triển khai cảm biến sợi quang trong nhiều cấu trúc khác nhau.

Cảm biến biến dạng sợi quang đã được chứng minh là lựa chọn tốt nhất để theo dõi tình trạng lâu dài của cầu bê tông do kích thước nhỏ, trọng lượng nhẹ, khả năng chống nhiễu điện từ, khả năng chống chịu với môi trường khắc nghiệt, khả năng nhúng bên trong và khả năng ghép kênh. Những cảm biến này đã được sử dụng để đo biến dạng trong các kết cấu bê tông và thép lớn, để theo dõi tình trạng trong các kết cấu hỗn hợp và đường sắt, để theo dõi các đám cháy kết cấu và để theo dõi biến dạng/chuyển vị của các cấu trúc địa kỹ thuật (đập, mái dốc, đường hầm hoặc kỹ thuật khai quật. Ngoài ra, OFSN có khả năng truyền dẫn đường dài, do đó chúng phù hợp hơn để giám sát biến dạng từ xa hơn bất kỳ kỹ thuật cảm biến biến dạng nào khác.

FBG với cấu hình mạng cảm biến đa điểm đã được sử dụng để tạo bản đồ địa chấn đáy biển và những bản đồ này ngày nay được sử dụng để giám sát các bể chứa dầu khí. Điều này đạt được bằng cách phân tích sự lan truyền của sóng địa chấn gây ra bởi các vụ nổ có kiểm soát. Các hệ thống cảm biến sợi quang giao thoa kế được sử dụng để cảm nhận sóng địa chấn và có thể cần hơn 30.000 cảm biến, sử dụng sự kết hợp cụ thể giữa ghép kênh thời gian và bước sóng.

OSFN cung cấp các giải pháp cảm biến cho hầu hết các loại ứng dụng và trong môi trường dễ cháy, phóng xạ hoặc ăn mòn hóa học, nhờ vào các đặc tính bên trong của sợi quang. Sau đây, một vài ứng dụng bổ sung được liệt kê [5]:

- Điện trường và từ trường: Tổng quan tóm tắt về cảm biến sợi quang để đo điện trường và từ trường, được sử dụng trong cấu hình cảm biến điểm đơn cho các phép đo cục bộ.
- Định vị các nguồn nhiệt: FBG được chirped đã được sử dụng để định vị các nguồn nhiệt và phát hiện sóng xung kích, cùng với các ứng dụng khác.
- Quản lý pin: Một nghiên cứu đánh giá khả năng tích hợp cảm biến sợi quang để theo dõi tình trạng pin (nhiệt độ, độ căng và độ ẩm) đã được thực hiện.
- Giám sát tình trạng cấu trúc của phương tiện trên không: Trong ngành hàng không, mạng FBG được khám phá để theo dõi tình trạng cấu trúc của máy bay và theo dõi tình trạng cấu trúc của tàu vũ trụ (nhiệt độ và độ căng).

- Chăm sóc sức khỏe: Cảm biến nhịp tim và nhịp thở dựa trên FBG thực hiện cảm biến đa điểm trong. Việc xem xét các cảm biến sợi quang cho các phép đo có độ phân giải không gian dưới centimet đã trình bày các ứng dụng của các cảm biến này trong nhiều lĩnh vực, chẳng hạn như liệu pháp nhiệt, đặt ống thông cho mục đích chẩn đoán thông qua nội soi dạ dày, chẩn đoán tiết niệu và dệt may thông minh.

1.4. Kết luận chương

Nội dung chính của chương 1 đã trình bày khái quát về IoT và cảm biến sợi quang. So với các công nghệ cảm biến khác, cảm biến sợi quang có một số lợi thế cho nhiều ứng dụng có tiềm năng sâu rộng trong các ứng dụng cảm biến. Một số ưu điểm của sợi quang liên quan đến cảm biến bao gồm kích thước nhỏ, tuổi thọ dài, không cần nguồn điện ở vị trí từ xa và nhiều cảm biến có thể được ghép dọc theo chiều dài của sợi. Ngoài ra, cảm biến sợi quang không bị nhiễu điện từ và không dẫn điện nên chúng có thể được sử dụng trong môi trường nguy hiểm, nơi có thể có điện áp cao hoặc vật liệu dễ cháy như nhiên liệu máy bay phản lực. Cảm biến sợi quang cũng có thể được thiết kế để chịu được nhiệt độ cao. Vì những lý do này, môi trường ứng dụng bao gồm từ các tình huống nguy hiểm trong đó có các mối nguy hiểm về phóng xạ, hóa học và các mối nguy hiểm khác trong công nghiệp cho đến các mục đích sử dụng phổ biến và đơn giản hơn. Đây chính là tiền đề để xây dựng các hệ thống cảm biến sợi quang trong tương lai.

CHƯƠNG 2 – CẢM BIẾN QUANG FBG

Trong chương 2 giới thiệu về cấu trúc và nguyên lý hoạt động của cách tử Bragg sợi quang (FBG) và phương pháp chế tạo FBG. Trên cơ sở đó trình bày cụ thể về cảm biến quang FBG, trong đó đã phân tích và khảo sát cụ thể các tham số đặc tính của cảm biến quang FBG.

2.1. Tìm hiểu về FBG

2.1.1. Cấu trúc và nguyên lý hoạt động của FBG

Cách tử sợi Bragg (FBG) là thành phần chính trong hệ thống thông tin sợi quang và hệ thống cảm biến sợi quang. Các ứng dụng của FBG trong truyền thông quang học bao gồm bù tán sắc, phản xạ bước sóng băng hẹp trong bộ khuếch đại Raman, khóa bơm trong bộ khuếch đại sợi quang, v.v. FBG cũng được sử dụng phổ biến làm thành phần cảm biến do những ưu điểm vốn có của nó như khả năng miễn nhiễm EMI, tính chất mã hóa bước sóng, khả năng ghép kênh và kích thước nhỏ và nhẹ [8].

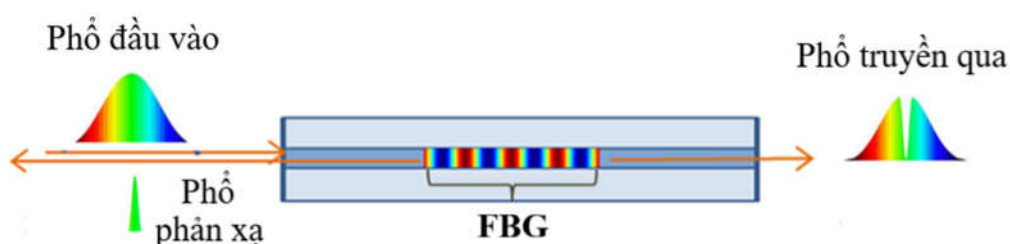
Nguyên lý cơ bản của FBG là điều chỉnh chiết suất dọc theo lõi sợi để tạo ra nhiễu loạn tuần hoàn. Điều này có thể được thực hiện bằng cách cho sợi quang tiếp xúc với mẫu giao thoa quang học cường độ cao. Hình 2.1 cho thấy các cách tử Bragg đều, với phổ phản xạ và phổ truyền dưới ánh sáng tới băng thông rộng. Bước sóng của phổ phản xạ cụ thể này được đặt tên là bước sóng Bragg. FBG có thể được sử dụng làm bộ lọc quang để chặn các bước sóng không mong muốn trong hệ thống truyền thông quang học hoặc được sử dụng làm bộ phản xạ bước sóng để chọn một kênh liên lạc cụ thể.

Năm 1978, Hill và cộng sự. đã trình diễn các cách tử sợi quang cố định đầu tiên tại Trung tâm Nghiên cứu Truyền thông Canada [7], [9]. Với bức xạ của tia laser ion argon nhìn thấy được, các cách tử được tạo ra trong sợi silica pha tạp Germania và được gọi là “Cách tử Hill”. Khi phơi sợi pha tạp ra ánh sáng tia cực tím với năng lượng và bước sóng phù hợp, sự thay đổi chiết suất vĩnh viễn trong lõi sợi sẽ được tạo ra. Hiện tượng này được gọi là nhạy cảm với ánh sáng và được cho là chỉ liên quan đến “cách tử Hill”, nhưng nó đã được quan sát thấy qua sự kích thích ảnh ở các bước sóng UV khác nhau ở nhiều loại sợi khác nhau trong những năm nghiên cứu tiếp theo. Hiện

nay, nhiều kỹ thuật khác nhau có thể được sử dụng để ghi các cấu trúc cách tử Bragg khác nhau trong sợi quang nhạy sáng bằng cách sử dụng phương pháp 'viết cạnh' trong đó tia UV được chiếu từ mặt bên của sợi. Và phương pháp mặt nạ pha là một phương pháp thường được sử dụng để khắc các cách tử Bragg.

Các cách tử đồng nhất với chu kỳ cách tử không đổi và các mặt pha vuông góc với trục dọc của sợi là khối xây dựng cơ bản trong hầu hết các cấu trúc cách tử Bragg. Khi chế độ sợi dẫn hướng xuất hiện trên cách tử sợi, một tỷ lệ nhất định ánh sáng tới sẽ bị phản xạ ngược khi đi qua các mặt phẳng cách tử. Theo điều kiện được gọi là điều kiện Bragg, các phản xạ được tạo ra bởi mỗi wavelet sẽ cùng pha và tạo thành một mode di chuyển ngược mạnh.

Như được biểu diễn trong Hình 2.1, cách tử Bragg đơn giản nhất là sự điều chế tuần hoàn chiết suất dọc theo lõi trong một sợi quang đơn mode. Những cách tử này được gọi là cách tử đều do các mặt phẳng tuần hoàn không đổi của chúng vuông góc với hướng truyền ánh sáng [4].



Hình 2.1: Cấu trúc của cách tử Bragg sợi cùng với phổ truyền qua và phổ phản xạ

Tại mỗi mặt phẳng cách tử, một phần ánh sáng lan truyền sẽ tán xạ và kết quả là ánh sáng tán xạ có thể truyền qua hoặc phản xạ ở các mặt phẳng cách tử. Nếu các tia phản xạ lệch pha nhau, chúng sẽ triệt tiêu lẫn nhau do giao thoa triệt tiêu. Khi các tia sáng phản xạ từ mỗi mặt phẳng cách tử cùng pha, sóng phản xạ giao thoa tăng cường và phản xạ ngược thỏa mãn điều kiện Bragg. Để thỏa mãn điều kiện Bragg, cần bảo toàn cả năng lượng và động lượng. Sự bảo toàn năng lượng được tính bởi cùng một lượng phát xạ tới và phản xạ như sau [4]:

$$hf_f = hf_i \quad (2.1)$$

Trong đó h là hằng số Planck, f_f là tần số sóng phản xạ và f_i là tần số sóng tới.

Sự bảo toàn động lượng được đưa ra bởi sự kết hợp giữa vector sóng tới (k_i) và vector sóng cách tử (K) bằng vector sóng phản xạ (k_f), như sau [4]:

$$k_i + K = k_f \quad (2.2)$$

Vector sóng tán xạ có độ lớn bằng nhưng ngược dấu với độ lớn của vector sóng tới và hướng của vector sóng K vuông góc với các mặt phẳng cách tử có độ lớn $2\pi/\Lambda$; do đó, phương trình (2.2) chuyển thành phương trình (2.3) [4]:

$$2 \left(\frac{2\pi n_{eff}}{\lambda_m} \right) = \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (2.3)$$

Rút gọn phương trình (2.3) được phương trình (2.4):

$$\lambda_m = \frac{2n_{eff}\Lambda}{m} \quad (2.4)$$

Trong đó λ_m là bước sóng phản xạ bậc $m=1,2,3,\dots$, Λ là chu kỳ cách tử ($\Lambda pm/2$) và n_{eff} là chiết suất mode hiệu dụng của sợi. Đối với sợi quang đơn mode, mode duy nhất được truyền là LP01. Do đó, khi $m = 1$, phương trình (2.4) trở thành Phương trình (2.5) [4].

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (2.5)$$

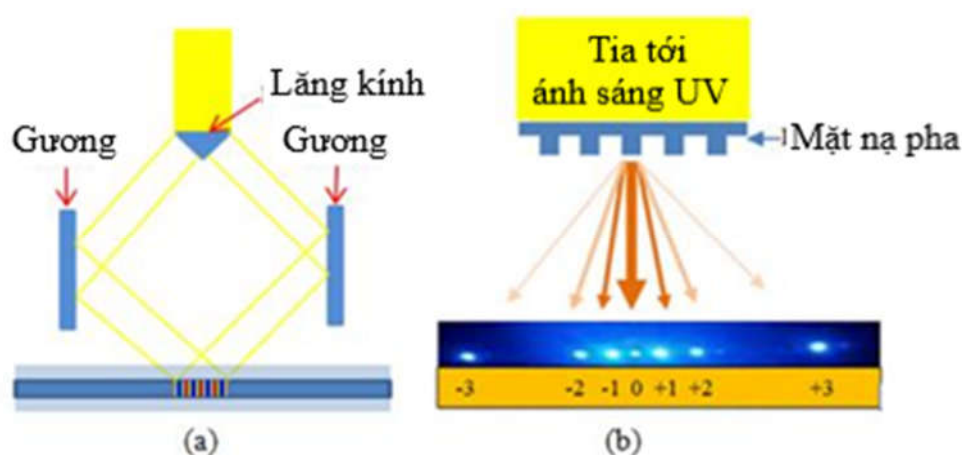
λ_B được biết đến rộng rãi là bước sóng Bragg dựa trên sự phản xạ chính của các cách tử và điều kiện thu được được gọi là điều kiện Bragg bậc nhất.

Sự dịch chuyển bước sóng phản xạ Bragg (λ_B) là nguyên tắc giám sát hoạt động của FBG, như là một hàm của tham số được giám sát theo mối quan hệ như trên phương trình (2.5). Do đó, các yếu tố ảnh hưởng đến sự thay đổi bước sóng phản xạ Bragg là chiết suất hiệu dụng của lõi sợi quang hoặc chu kỳ cách tử. Sự thay đổi của chiết suất hiệu dụng của lõi sợi quang và chu kỳ cách tử chủ yếu phụ thuộc vào sự thay đổi của nhiệt độ và độ biến dạng của FBG.

2.1.2. Phương pháp chế tạo FBG [4]

Có một số phương pháp chế tạo FBG đã được công bố cho các cách tử tiêu chuẩn và phức tạp trong sợi quang từ năm 1978 (Hill, 2000): Giao thoa kế số lượng lớn (Meltz, Morey & Glenn, 1989), phương pháp mặt nạ pha (Hill và cộng sự, 1993), khắc từng điểm một (Malo và cộng sự, 1993), giao thoa kế gương Lloyd (Limberger và cộng sự, 1993) và giao thoa kế lăng kính (Kashyap và cộng sự, 1990) được biết đến nhiều

nhất. Trong số đó, phương pháp giao thoa kế và phương pháp mặt nạ pha đã trở nên phổ biến hơn các phương pháp khác. Phương pháp giao thoa kế sử dụng bộ tách chùm tia để tách chùm tia UV đơn lẻ và cho phép các chùm tia này giao thoa với sợi quang như trong Hình 2.2 (a), trong khi phương pháp mặt nạ pha sử dụng nguồn liên tục hoặc nguồn xung trên mặt nạ pha định kỳ (cách tử nhiễu xạ) để chiếu tia UV theo kiểu tuần hoàn trên sợi quang để chế tạo FBG, như trên Hình 2.2 (b).



Hình 2.2: Hệ thống quang học ghi giao thoa kế của FBG

(a) phương pháp chụp ảnh ba chiều ngang và (b) phương pháp mặt nạ pha

Trong nghiên cứu này, trọng tâm là khắc FBG bằng cách sử dụng mặt nạ pha theo chu kỳ phù hợp với các chi tiết sản xuất, vì đây là phương pháp chế tạo FBG phổ biến nhất. Như được hiển thị trong Hình 2.2 (b), mặt nạ pha bao gồm các đường và khoảng trống, được gọi là các cách tử nhiễu xạ, được sắp xếp một cách tuần hoàn. Đường tuần hoàn và không gian (cách tử) được xác định dựa trên mẫu FBG sẽ được tạo ra trong sợi thủy tinh. Khi ánh sáng tia cực tím chiếu tới mặt nạ pha, tại mỗi khe, ánh sáng bị nhiễu xạ và tạo thành hình ảnh giao thoa vì nó bao gồm vô số cách tử. Kết quả là, nó gây ra sự thay đổi theo chu kỳ của chiết suất trong vùng lõi của sợi quang, được gọi là cách tử Bragg.

Lịch sử của các cách tử nhiễu xạ kéo dài từ năm 1785 khi nhà thiên văn học người Mỹ David Rittenhouse giải thích sự nhiễu xạ ánh sáng bằng cách sử dụng một cách tử đơn giản có các sợi tóc xâu thành chuỗi giữa các ốc vít bằng đồng rất mảnh (Loewen & Popov, 1997).

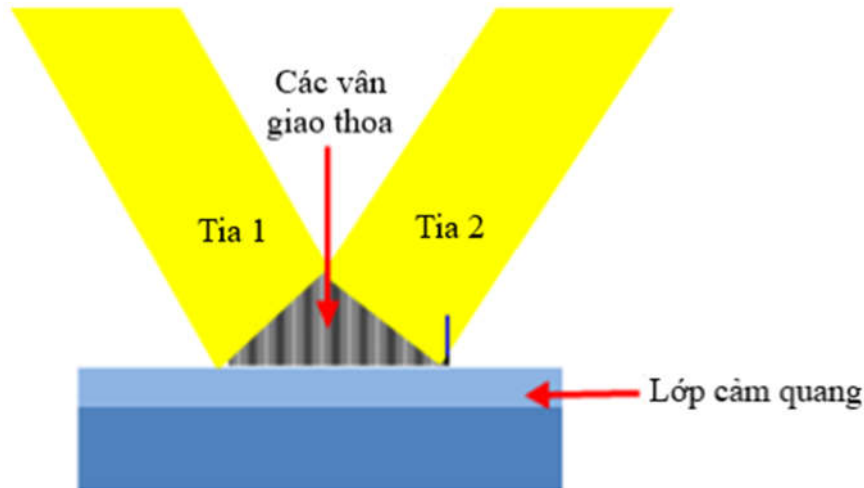
Trong những năm đầu, lưới được sản xuất thủ công bằng cách dùng thước kẻ vạch trên bề mặt trống. Tuy nhiên phương pháp này không phổ biến vì rất tốn kém, tốn thời gian và cũng có độ phân giải kém đối với phổ công suất cường độ thấp (Harrison, 1949). Tuy nhiên, nó chỉ trở nên thực tế từ giai đoạn đầu của những năm 1800 với việc phát minh lại cách tử nhiễu xạ bằng cách sử dụng động cơ điều khiển cách tử của Joseph von Fraunhofer. Sau đó, ông đã phát hiện ra các vạch hấp thụ trong quang phổ mặt trời bằng cách sử dụng các cách tử mịn mà ngày nay gọi là vạch Fraunhofer.

Nhu cầu về cách tử được sản xuất đã tăng lên do việc sử dụng quang phổ. Một số vấn đề đó đã được đề cập, được giải quyết bằng động cơ điều khiển cách tử được thiết kế bằng cách kết hợp điều khiển nhiệt độ và cách ly động học của Henry A. Rowland (1848-1901), người được mệnh danh là “cha đẻ của cách tử nhiễu xạ hiện đại”, và người kế nhiệm ông tại Johns Đại học Hopkins. Động cơ điều khiển của họ đã tạo ra hầu hết các lưới (dài tới 7,5 inch (19,05 cm)) cần thiết cho cộng đồng khoa học trong gần 50 năm (Harrison, 1949).

Sau đó Michelson (1852-1930) đã thành công trong việc tạo ra các cách tử lớn hơn (10 inch) và cải thiện độ phân giải so với Rowland. Hầu hết các vấn đề của động cơ điều khiển cách tử như lỗi trong chuyển động điều khiển và độ phân giải đã được Harrison và nhóm của ông giải quyết vì động cơ của họ được trang bị điều khiển phản hồi vị trí giao thoa kế. Nó đã trở thành thông lệ tiêu chuẩn trong các động cơ điều khiển hiện đại kể từ năm 1955 (Harrison & Loewen, 1976).

Mặc dù các cách tử chính xác đã được sản xuất thành công nhưng vẫn có một số trở ngại trong việc sử dụng quy trình điều khiển cách tử. Việc này rất tốn thời gian do quá trình xử lý chậm và do đó nó trở nên đắt hơn. Tuổi thọ của các công cụ động cơ điều khiển để lại một số nghi ngờ về khả năng sử dụng chúng cho các thủ tục khắc dài. Quá trình điều khiển động cơ cơ khí cũng được yêu cầu cách ly môi trường và độ rung (Loewen & Popov, 1997). Việc sản xuất lưới phản xạ bằng cách sử dụng động cơ điều khiển đã không thành công do không tạo ra được lưới truyền động hiệu suất cao.

Khái niệm về phương pháp in thạch bản để chế tạo lưới cách tử của Michelson đã mở ra một kỷ nguyên mới cho ngành chế tạo. Ngày nay, phương pháp in thạch bản giao thoa (IL) của ông là một công cụ phổ biến để chế tạo cách tử. Trong phương pháp IL, hai chùm ánh sáng kết hợp giao thoa với chất quang dẫn và tạo ra các vân bao gồm cường độ ánh sáng cao và thấp, như trong Hình 2.3.



Hình 2.3: Hệ thống quang học cho phương pháp in khắc giao thoa.

Những rìa này biến thành đường lưới sau khi hình thành những ướn. Sau đó, cấu trúc đường lưới này được chuyển vào chất nền vĩnh viễn bằng một quá trình hóa học gọi là ăn mòn hóa học. Quá trình IL sau đó đã được cải tiến với sự phát triển của tia laser và điện trở chất lượng cao. Có một số lợi ích khi sử dụng kỹ thuật mới này. Quá trình chế tạo rất nhanh so với phương pháp điều khiển và tạo ra tất cả các rãnh đồng thời trong một lần phơi sáng. Nó cải thiện chất lượng của biên dạng rãnh; do đó, nó làm tăng hiệu suất với hiệu suất nhiễu xạ cao. Vì sử dụng ánh sáng để chế tạo nên hệ thống trở nên tĩnh.

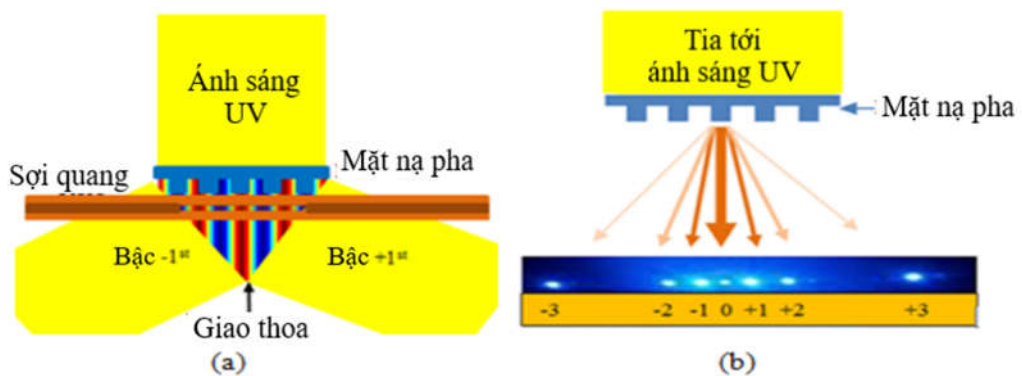
Do đó, không có khiếm khuyết quang phổ và các vấn đề môi trường như đã báo cáo trong phương pháp điều khiển. Nó đã trở thành một công cụ chế tạo mạnh mẽ hơn cũng như tiết kiệm hơn vì nó đã được sử dụng cùng với công nghệ bán dẫn trong nhiều thập kỷ qua. Ngày nay, sự kết hợp giữa công nghệ bán dẫn, công nghệ khắc và công nghệ ảnh ba chiều có khả năng tạo ra các cách tử truyền dẫn chất lượng cao và hiệu quả cao.

Nghiên cứu này đã sử dụng việc chế tạo mẫu FBG bằng cách sử dụng cách tử truyền silica nung chảy. Hai phương pháp được sử dụng để chế tạo silica nung chảy trong quy trình sản xuất:

1. Tạo khuôn cách tử trong chất cản quang: Hai phương pháp có thể được sử dụng để tạo khuôn cách tử trong chất cản quang là phương pháp ba chiều thông thường và phương pháp bước ba chiều. Phương pháp ba chiều thông thường sử dụng hai chùm ánh sáng chuẩn trực kết hợp giao thoa tại vùng quang dẫn trên nền silic nung chảy. Khi tiếp xúc với ánh sáng, cấu hình cách tử được phát triển trong chất quang dẫn (polymer). Phương pháp còn lại là sự kết hợp giữa phương pháp ba chiều với công nghệ bán dẫn có khả năng tạo ra cách tử chất lượng cao với chi phí sản xuất thấp. Ưu điểm của phương pháp này là sử dụng vật liệu bán dẫn thay vì vật liệu polymer, ổn định hơn.

2. Chuyển mẫu cách tử quang điện vào chất nền (silica nung chảy) - Trong phương pháp này, mẫu cách tử được tạo ra bằng các phương pháp có sẵn để tạo ra mẫu cách tử như mô tả ở trên. Mẫu cách tử được tạo ra sau đó được chuyển thành silica nung chảy số lượng lớn, bằng công nghệ ăn mòn bán dẫn. Ưu điểm của việc sử dụng silica nung chảy làm chất nền là do khả năng hấp thụ ánh sáng, tính chất điện môi rất thấp và khả năng sử dụng nó trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.

Hình 2.4 cho thấy sự sắp xếp của mặt nạ pha để tạo ra vân nhiễu xạ bậc nhất và vân của nó trên sợi quang ở tần số bình thường. Hình 2.4 (a) cho thấy một FBG tiêu chuẩn được tạo ra bởi sự giao thoa của các bậc ± 1 trong khi Hình 2.4 (b) cho thấy một FBG được hình thành bởi sự giao thoa của số bậc nhiễu xạ bao gồm các bậc $\pm 1, \pm 2, \pm 3$.



Hình 2.4: Phương pháp khắc FBG sử dụng mặt nạ pha

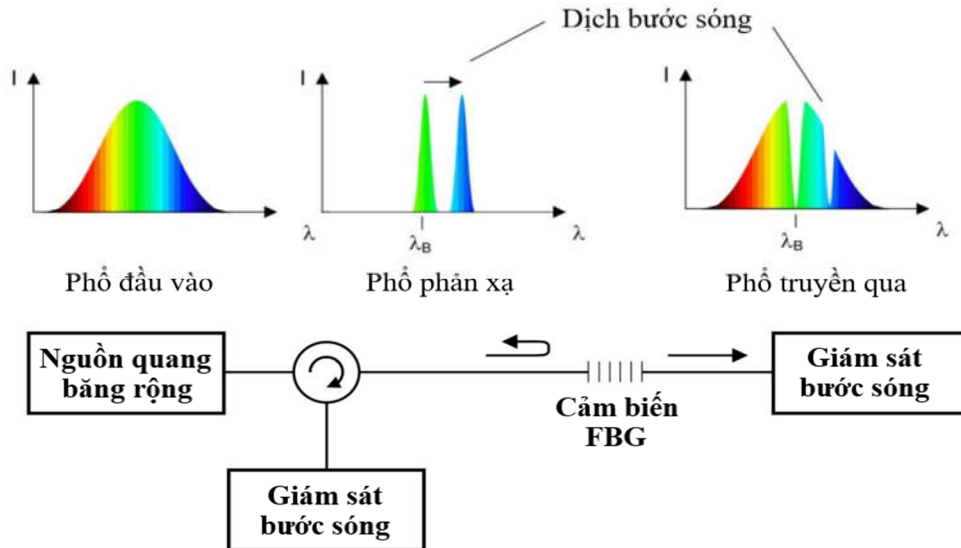
(a) Giao thoa nhiễu xạ bậc nhất, (b) Giao thoa của nhiễu xạ bậc cao

2.2. Cảm biến quang FBG

Trong những năm gần đây, cảm biến quang FBG sử dụng sợi quang đơn mode đã được xem xét và hiện đang nhận được ngày càng nhiều sự quan tâm nghiên cứu do cấu trúc đơn giản và tính nhạy cảm cao với các tham số vật lý cần giám sát. Bước sóng phản xạ từ FBG phụ thuộc vào các tham số vật lý như nhiệt độ và độ biến dạng. Bằng cách sử dụng một nguồn sáng băng rộng (được tạo ra bởi diode siêu phát quang, nguồn LED phát cạnh, nguồn siêu huỳnh quang EDF sợi pha tạp Erbium) phát tín hiệu ánh sáng truyền qua FBG, sự thay đổi bước sóng phản xạ cực đại có thể được sử dụng làm thước đo cho đặc tính vật lý. Trong môi trường phòng thí nghiệm, điều này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng máy phân tích quang phổ có độ chính xác cao. FBG thu hút sự chú ý rộng rãi nhờ các thuật toán dựa trên bước sóng, giúp cảm biến tự tham chiếu với tổn thất năng lượng rất nhỏ [8]. FBG là các phần tử cảm biến nội tại đơn giản, linh hoạt và nhỏ gọn, có tất cả các ưu điểm thường có của cảm biến sợi quang. Do thông tin cần đo được mã hóa theo bước sóng của cấu trúc, là một tham số tuyệt đối, nên cảm biến FBG có thể dễ dàng ghép kênh trong mạng cảm biến đa điểm. Trong một số nghiên cứu gần đây đã đưa ra các mô hình cảm biến quang FBG để đo giám sát các tham số trong lĩnh vực IoT như hàng không, hàng không vũ trụ, kỹ thuật dân dụng và sinh học hoặc giám sát môi trường [5].

Mô hình cảm biến quang FBG đơn cơ bản như mô tả trên Hình 2.5 [3]. Nguyên lý làm việc cơ bản của mô hình cảm biến FBG như sau: Khi ánh sáng băng rộng truyền qua FBG, tại FBG có sự thay đổi nhiệt độ hoặc biến dạng, thông qua hiệu ứng nhiệt độ lên chiết suất sẽ làm cho chiết suất hiệu dụng thay đổi gây ra dịch bước sóng Bragg hoặc thông qua sự biến dạng cơ học của sợi sẽ làm cho chu kỳ cách tử Bragg của sợi sẽ thay đổi gây ra dịch bước sóng Bragg. Đáng chú ý là độ nhạy của FBG với nhiệt độ hoặc biến dạng có thể tăng lên hoặc nhân lên bằng cách liên kết thích hợp với các vật liệu cảm nhiệt khác. Bước sóng phản xạ thể hiện độ nhạy cao đối với sự thay đổi độ giãn và nhiệt độ. Những cảm biến này có khả năng loại bỏ các vấn đề về sự thay đổi biên độ hoặc cường độ vì chúng được tích hợp vào lõi dẫn ánh sáng của sợi quang và được mã hóa bước sóng.

Quá trình chế tạo FBG đã được cải tiến liên tục trong những thập kỷ gần đây để cho phép FBG hoạt động chức năng trong môi trường khắc nghiệt với nhiệt độ rất cao, chẳng hạn như ngành công nghiệp dầu khí, động cơ máy bay, v.v.



Hình 2.5: Mô hình cảm biến quang FBG đơn [3].

Để đo từng thông số vật lý trong FBG, hiệu ứng nhiệt độ và biến dạng cần phải được tách biệt với nhau. Việc sử dụng cách tử tham chiếu thể hiện một cách tiếp cận thực tế và đơn giản để tách biệt các tác động do nhiệt độ và biến dạng gây ra. Cảm biến FBG yêu cầu bộ giải điều chế, còn được gọi là bộ dò tín hiệu, được sử dụng để trích xuất thông tin đo từ tín hiệu ánh sáng phát ra từ đầu cảm biến. Vì thông tin được mã hóa theo bước sóng Bragg nên bộ thăm vấn phải đọc những thay đổi trong bước sóng Bragg và cung cấp dữ liệu đo được.

2.3. Tham số đặc tính cảm biến quang FBG

2.3.1. Độ phản xạ (R)

Độ phản xạ tại một vị trí nhất định được xác định bằng tỷ lệ giữa công suất phản xạ ngược và công suất đầu vào [6]:

$$R = \frac{P_B}{P_{in}} \quad (2.6)$$

Trong đó: P_B là công suất ánh sáng phản xạ ngược, P_{in} là công suất ánh sáng đầu vào.

Chương trình tính toán độ phản xạ cho cả hai mode ghép cặp.

Đối với các tính toán truyền lan, độ phản xạ thu được ở mọi điểm dọc theo thiết bị cảm biến quang FBG. Trong trường hợp có nhiều thiết bị cảm biến quang FBG, thiết bị bắt đầu với thiết bị cảm biến quang FBG đầu tiên và kết thúc ở thiết bị cảm biến quang FBG cuối cùng:

$$R = P_B(z) \quad \text{với } 0 \leq z \leq \text{end of device}; \lambda = \text{const} \quad (2.7)$$

Đối với tính toán Phổ, độ phản xạ nhận được ở thiết bị cảm biến quang cuối cùng:

$$R = \frac{P_B(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} \quad z = 0; \lambda = (\lambda_{min}, \lambda_{max}) \quad (2.8)$$

2.3.2. Độ truyền qua (T)

Độ truyền qua tại một vị trí nhất định được xác định bằng tỷ lệ giữa công suất truyền qua và công suất đầu vào [6]:

$$T = \frac{P_F}{P_{in}} \quad (2.9)$$

Trong đó: P_F là công suất ánh sáng truyền qua, P_{in} là công suất ánh sáng đầu vào

Chương trình tính toán độ truyền qua cho cả hai mode ghép cặp.

Đối với các tính toán truyền lan, độ truyền qua thu được ở mọi điểm dọc theo thiết bị cảm biến quang FBG. Trong trường hợp có nhiều thiết bị cảm biến quang FBG, thiết bị bắt đầu với thiết bị cảm biến quang FBG đầu tiên và kết thúc ở thiết bị cảm biến quang FBG cuối cùng:

$$T = P_F(z) \quad \text{với } 0 \leq z \leq \text{end of device}; \lambda = \text{const} \quad (2.10)$$

Đối với tính toán phổ, độ truyền qua nhận được ở thiết bị cảm biến quang cuối cùng:

$$T = \frac{P_F(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} \quad z = 0; \lambda = (\lambda_{min}, \lambda_{max}) \quad (2.11)$$

2.3.3. Độ dịch bước sóng Bragg $\left(\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B}\right)$

Nhiệt độ và biến dạng làm thay đổi chu kỳ cách tử cũng như chiết suất cách tử. Do đó, phản ứng của thiết bị cách tử bị thay đổi khi phân bố nhiệt độ và biến dạng thay đổi.

*** Hiệu ứng biến dạng quang học của cách tử sợi Bragg**

Sự thay đổi hàm chỉ tiêu quang học do biến dạng là [6]:

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_t = \sum_{j=1}^6 P_{ij} \varepsilon_j \quad (2.12)$$

Trong đó $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\nu\varepsilon$, $\varepsilon_3 = \varepsilon$, $\varepsilon_4 = \varepsilon_5 = \varepsilon_6 = 0$ (không có biến dạng cắt), và ε là biến dạng dọc trục trong sợi quang. Ký hiệu ν biểu thị tỷ lệ Poisson của sợi.

Tenxơ quang biến dạng của vật liệu đẳng hướng đồng nhất là:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{12} \\ P_{12} & P_{11} & P_{12} \\ P_{12} & P_{12} & P_{11} \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

Trong đó P là hằng số quang biến dạng.

$$\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_{x,y} = \Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_{1,2} = \varepsilon P_{12} - \varepsilon\nu(P_{11} + P_{12}) \quad (2.14)$$

Sự thay đổi chiết suất là:

$$\begin{aligned} \Delta n &= -\frac{1}{2}n^3\Delta\left(\frac{1}{n^2}\right)_{x,y} = -\frac{1}{2}n^3\varepsilon[P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})] \\ &= n \cdot y \cdot \varepsilon \end{aligned} \quad (2.15)$$

Trong đó hệ số quang biến dạng được định nghĩa là:

$$y = \frac{1}{n} \frac{dn}{d\varepsilon} = -0.5 * n^2 [P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})] \quad (2.16)$$

Chu kỳ cách tử thay đổi là:

$$\Delta\Lambda = \varepsilon \cdot \Lambda \quad (2.17)$$

Các phân bố biến dạng mặt định có thể được áp dụng cho cách tử sợi được liệt kê dưới đây:

a) Phân bố đều:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \quad (2.18)$$

Trong đó ε_0 là biến dạng hằng số

b) Phân bố tuyến tính:

$$\varepsilon(z) = \varepsilon(0) + \frac{\varepsilon(L) - \varepsilon(0)}{L} \cdot z \quad (2.19)$$

Trong đó L là độ dài lưới, $\varepsilon(0)$ là biên dạng tại $z = 0$, và $\varepsilon(L)$ là biên dạng tại $z = L$

c) Phân bố Gaussian:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \cdot \left[\frac{2 \cdot (z - L/2)}{w \cdot L} \right]^2 \right\} \quad (2.20)$$

Trong đó ε_0 là giá trị biên dạng cực đại và w là giá trị chuẩn hóa của FWHM.

Các phân bố biên dạng khác có thể được xác định bởi các chức năng của người dùng.

*** Hiệu ứng quang nhiệt của cách tử sợi Bragg**

Sự thay đổi chiết suất do nhiệt độ gây ra là:

$$\Delta n = n \frac{dn}{n \cdot dt} \Delta T = \xi \cdot n \cdot \Delta T \quad (2.21)$$

Trong đó ξ là hệ số nhiệt quang của sợi và ΔT là sự thay đổi nhiệt độ.

Sự thay đổi chu kỳ cách tử do nhiệt độ gây ra là:

$$\Delta \Lambda = \Lambda \cdot \frac{d\Lambda}{\Lambda dT} \Delta T = \eta \cdot \Lambda \cdot \Delta T \quad (2.22)$$

Trong đó η là hệ số giãn nở nhiệt quang.

Sự phân bố nhiệt độ mặc định có thể áp dụng cho sợi quang được liệt kê dưới đây:

a) Phân bố đều:

$$\Delta T = \Delta T_0 \quad (2.23)$$

Trong đó ΔT_0 là nhiệt độ không đổi.

b) Phân bố tuyến tính:

$$\Delta T(z) = \Delta T(0) + \frac{\Delta T(L) - \Delta T(0)}{L} \cdot z \quad (2.24)$$

Trong đó L là chiều dài cách tử, $\Delta T(0)$ là nhiệt độ tại $z = 0$ và $\Delta T(L)$ là nhiệt độ tại $z = L$.

c) Phân bố Gaussian:

$$\Delta T = \Delta T_0 \cdot \exp \left\{ -\ln 2 \cdot \left[\frac{2 \cdot (z - L/2)}{w \cdot L} \right]^2 \right\} \quad (2.25)$$

Trong đó ΔT_0 là giá trị nhiệt độ cao nhất và w là giá trị chuẩn hóa của FWHM.

Các phân bố nhiệt độ khác có thể được xác định bởi các chức năng của người dùng.

Độ dịch bước sóng Bragg phụ thuộc độ biến dạng của cách tử Bragg sợi như sau:

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} = (1 - \rho_e) \Delta \varepsilon \quad (2.26)$$

Trong đó, $\Delta \lambda_B$ đại diện cho sự dịch chuyển của bước sóng Bragg, $\Delta \varepsilon$ là sự thay đổi áp suất, ρ_e là hệ số quang đàn hồi hiệu dụng của lõi sợi và được tính bằng [6]:

$\rho_e = \frac{n_{eff}^2[(1-\mu)p_{12}-\mu p_{11}]}{2}$, với μ là tỉ số Poission, p_{11} và p_{12} là hệ số Pockel của tensor quang biến dạng.

Độ dịch bước sóng Bragg phụ thuộc nhiệt độ của cách tử Bragg sợi như sau [5]:

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_B} = (\alpha + \xi) \Delta T \quad (2.27)$$

Trong đó, α là hệ số quang nhiệt, ξ là hệ số giãn nở nhiệt và ΔT là sự thay đổi nhiệt độ.

2.3.4. Kết quả khảo sát các tham số đặc tính và thảo luận

Trong phần này sẽ đưa ra các kết quả khảo sát các đặc tính của FBG đã được nghiên cứu thông qua phần mềm OptiGrating. OptiGrating là phần mềm cho phép lập mô hình các thiết bị tích hợp và cáp quang có kết hợp cách tử quang. OptiGrating sử dụng Lý thuyết ghép mode để mô hình hóa ánh sáng và cho phép phân tích cũng như tổng hợp các cách tử. Điều này cung cấp cho người thiết kế thông tin cần thiết để kiểm tra và tối ưu hóa các thiết kế cách tử [6].

Các kết quả khảo sát liên quan đến đặc tính của FBG và cảm biến quang FBG có các tham số được chọn như sau (minh họa tương ứng trong Hình 2.6 và Hình 2.7):

Chiều dài cách tử 50000 μm và chu kỳ cách tử 0,53381599 μm ; Hệ số Pockel của tensor quang biến dạng $p_{11} = 0,121$; $p_{12} = 0,27$; Tỷ số Poisson $\mu = 0,17$; Hệ số quang nhiệt $\alpha = 8,3 \cdot 10^{-6}$ (1/C); Hệ số giãn nở nhiệt $\xi = 5,5 \cdot 10^{-7}$.

The 'Grating Definition' dialog box contains the following settings:

- ☐ Surface Grating
- Grating Shape: sine
- Order: 1
- Average Index: uniform
- Tilt angle [deg]: 0
- Period Chirp: linear
- Apodization: user defined
- Index Change: 0
- Total Chirp (nm): 2
- Period (μm): 0.53381599 (with 'Auto' checked)
- Length (μm): 50000
- Autocorrect: ☐
- Sensors: ☐
- Ind. Mod.: 0.0006
- Shift: 0
- Number of segments: 101

Buttons: Define, Apply, Cancel, OK.

Hình 2.6: Các tham số của FBG.

The 'Fiber Bragg Grating Sensor' dialog box is divided into two main sections:

- Strain - optic parameters:**
 - ☒ Strain - optic coefficient [1/ $\mu\text{ε}$]: -0.2145
 - ☒ Photoelastic coefficients:
 - P11: 0.121, P12: 0.27
 - Poisson ratio: 0.17
- Thermo - optic parameters:**
 - ☒ Thermo - optic parameters
 - Thermal Expansion Coefficient [1/C]: 5.5e-007
 - Thermo - optic coefficient [1/C]: 8.3e-006
 - Reference Temperature [C]: 30

Additional settings on the right:

- Micro-strain: uniform
- Constant: 0
- Temperature: linear
- From [C]: 35, To [C]: 50

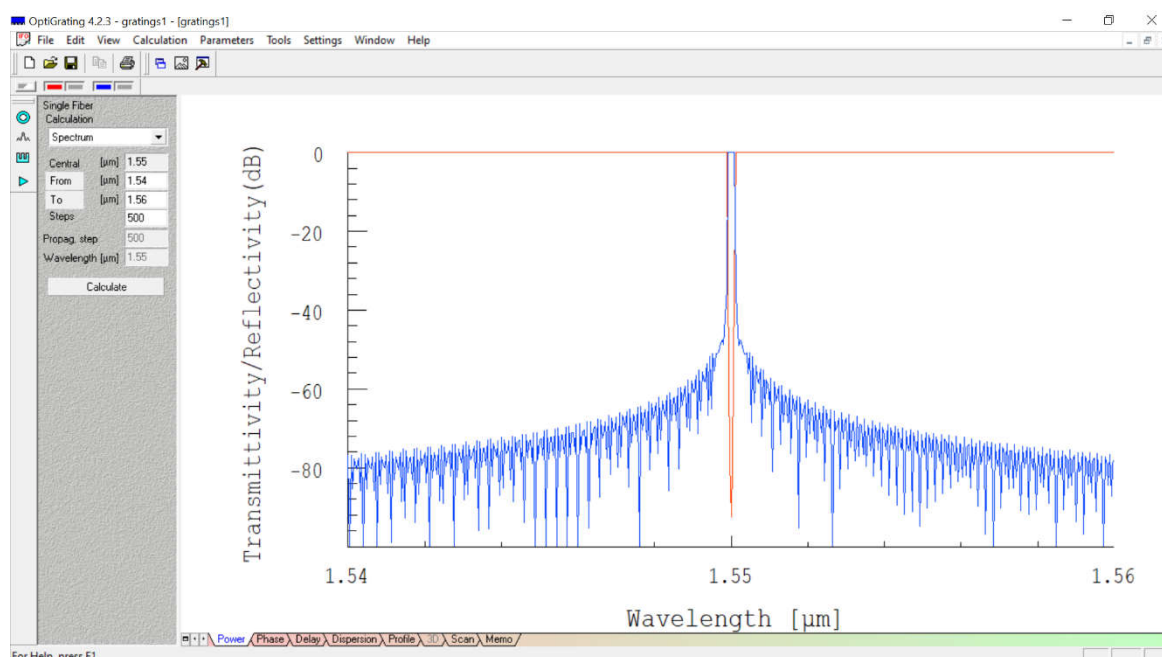
Buttons: Cancel, OK.

Hình 2.7: Các tham số của cảm biến quang FBG.

Chiều dài của cách tử được lựa chọn bất kỳ trong khoảng từ hàng nghìn đến hàng chục nghìn lần bước sóng. Qua nghiên cứu các tài liệu ứng dụng cảm biến quang FBG, các cảm biến đo nhiệt độ và áp suất thường sử dụng cách tử với chiều dài khoảng $50000\mu\text{m}$ [6]. Với thông số độ dài cách tử đưa ra, hệ thống OptiGrating sẽ tính toán tối ưu chu kỳ cách tử là khoảng $0,5338\mu\text{m}$. Các thông số còn lại bao gồm Hệ số Pockel của tensor quang biến dạng, tỉ số Poisson, hệ số quang nhiệt, hệ số giãn nở nhiệt là thông số chuẩn của sợi quang làm bằng vật liệu sợi thủy tinh (Silica).

Thông số Total Chirp được đưa vào để thể hiện sự tăng giảm tần số theo thời gian của hệ thống, tương ứng với các hệ thống trong thực tế. Ở đây, dải nhiệt độ khảo sát nằm trong khoảng từ 35°C đến 50°C .

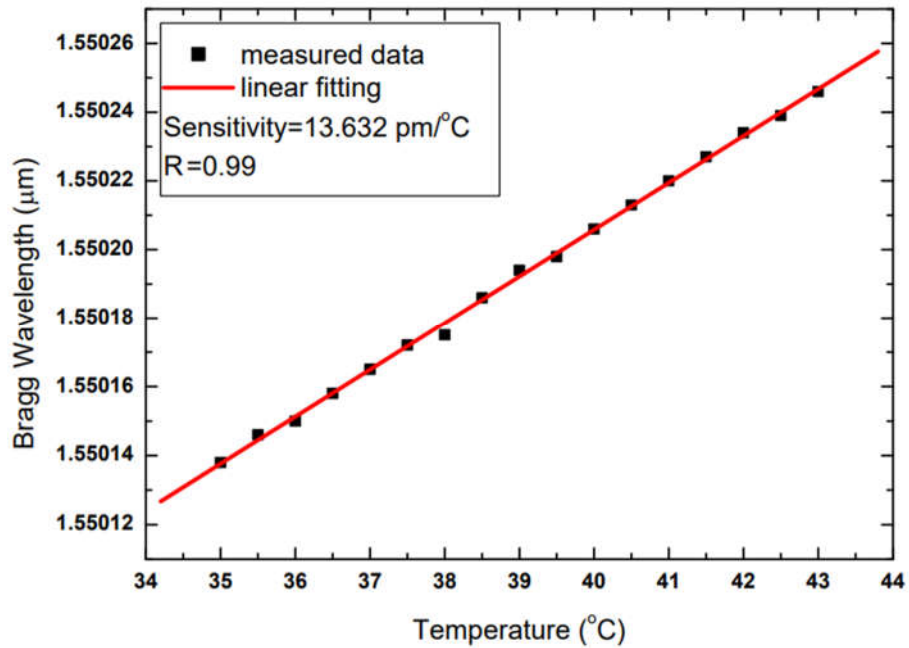
Hình 2.8 là các đặc tính phổ phản xạ và phổ truyền qua của FBG ở bước sóng Bragg 1550 nm .



Hình 2.8: Phổ phản xạ (màu xanh) và phổ truyền qua (màu đỏ) của FBG.

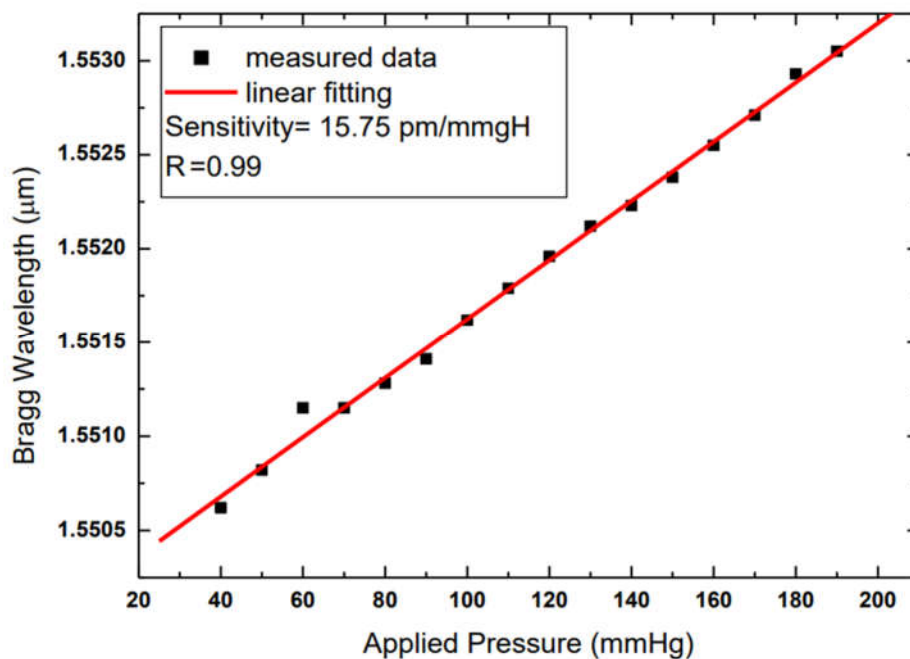
Mối quan hệ tuyến tính giữa nhiệt độ áp dụng và bước sóng Bragg dịch chuyển được minh họa trong Hình 2.9.

Từ Hình 2.9 có thể thấy rõ độ nhạy được tính toán là $13,632\text{ pm}/^\circ\text{C}$. Như vậy FBG được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ, khi nhiệt độ càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



Hình 2.9: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo nhiệt độ.

Hình 2.10 mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa áp suất khác nhau và bước sóng Bragg dịch chuyển. Từ Hình 2.10 cho thấy độ nhạy được tính toán là 15,75 pm/mmHg. Như vậy FBG được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của áp suất, khi áp suất càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



Hình 2.10: Quan hệ tuyến tính giữa áp suất và bước sóng Bragg dịch chuyển

2.4. Kết luận chương

Trong chương này, đã trình bày cụ thể về cấu trúc và nguyên lý hoạt động của cách tử Bragg sợi quang. Ngoài ra còn giới thiệu các phương pháp chế tạo cách tử Bragg sợi quang. Trên cơ sở đó, trong phần cuối của chương đã trình bày cụ thể mô hình và cơ chế hoạt động của cảm biến quang FBG. Các kết quả khảo sát đối với cảm biến quang FBG cho thấy mối quan hệ giữa dịch bước sóng do ảnh hưởng của nhiệt độ hoặc của biến dạng do áp suất là tuyến tính. Độ nhạy của FBG là rất nhạy cảm với sự thay đổi nhỏ của nhiệt độ và áp suất được áp dụng. Vì vậy, cảm biến quang FBG một ứng viên rất tốt cho các ứng dụng trong IoT đặc biệt là cho ứng dụng trong y tế.

CHƯƠNG 3 - ỨNG DỤNG CẢM BIẾN QUANG FBG CHO IoT

Trong chương 3 trình bày lý thuyết chung về hệ thống cảm biến quang FBG và đề xuất các mô hình cảm biến quang FBG ứng dụng cho IoT, trong đó có phân tích rõ nguyên lý làm việc cơ bản của mô hình đưa ra. Ngoài ra, còn trình bày cụ thể về thiết lập mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đã đề xuất và các kết quả đánh giá liên quan tới tham số đo giám sát nhiệt độ và biến dạng.

3.1. Hệ thống cảm biến quang FBG

Trong nhiều ứng dụng, việc đo biến dạng và nhiệt độ ở nhiều vị trí cùng một lúc là điều mong muốn hoặc thậm chí bắt buộc. Cảm biến không dây ra đời để giải quyết một số khó khăn. Tuy nhiên, nguồn điện cần thiết để hoạt động liên tục và việc không thể mở rộng quy mô trong các kịch bản lớn gây ra một số nhược điểm cho các hệ thống không dây. Những vấn đề này đều được khắc phục nhờ mạng cảm biến sợi quang (OFSN), mang lại khả năng hỗ trợ một số lượng lớn cảm biến trong một sợi quang duy nhất với các cảm biến có phạm vi truyền lớn, băng thông cao, tổn thất điện năng thấp và nâng cao quyền riêng tư dữ liệu. Ngoài cảm biến một điểm, OFSN có thể được phân phối hoặc đa điểm [5].

3.1.1. Hệ thống phân tán

Nguyên lý của một hệ thống cảm biến phân tán là sự tán xạ ánh sáng truyền trong lõi sợi, đặc biệt là tán xạ ngược để cho phép truyền ánh sáng tán xạ trở lại bộ phận phát hiện. Phép đo phản xạ miền thời gian quang học được sử dụng trong cảm biến phân tán để xác định vị trí của các biến đổi dọc theo chiều dài của sợi. Raman-OTDR được sử dụng để đo nhiệt độ phân tán và Brillouin-OTDR được sử dụng để đo nhiệt độ hoặc biến dạng phân tán. Các hệ thống cảm biến dựa trên tán xạ Brillouin và Raman được sử dụng để phát hiện biến dạng và nhiệt độ cục bộ, cho phép giám sát hàng trăm km dọc theo cấu trúc chỉ bằng một thiết bị duy nhất và với độ chính xác khoảng 1 m. Khả năng đo nhiệt độ và biến dạng tại hàng nghìn điểm dọc theo một sợi quang đặc biệt thú vị để theo dõi các cấu trúc lớn như đập nước, đường hầm, đường ống, cầu và lỗ đất, nơi nó cho phép phát hiện và định vị chuyển động, các vùng rò rỉ, độ lệch và rò rỉ, với độ nhạy và độ chính xác định vị không thể đạt được bằng các kỹ

thuật đo thông thường. Hình 3.1 minh họa một hệ thống cảm biến phân tán, trong đó phần tử sợi cảm biến liên tục được sử dụng để giám sát các thông số như biến dạng hoặc nhiệt độ trong đường hầm.



Hình 3.1: Hệ thống cảm biến phân tán trong một đường hầm.

Ngoài ra, OTDR được sử dụng rộng rãi trong các mạng cáp quang phân tán như một công cụ chẩn đoán để giám sát các liên kết truyền thông cáp quang.

3.1.2. Hệ thống cảm biến đa điểm

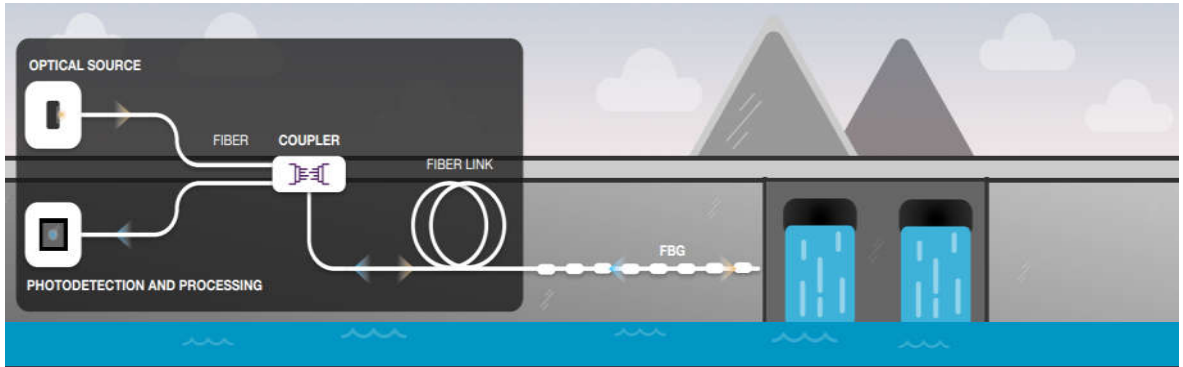
Hệ thống cảm biến đa điểm chỉ phát hiện các biến thể trong vùng lân cận của cảm biến cục bộ. Các phép đo được thực hiện tại các điểm riêng biệt có thể nằm dọc theo một khu vực rộng lớn được bao phủ bởi OFSN được coi là cảm biến đa điểm với các cảm biến điểm ghép kênh.

Trong cảm biến đa điểm, có nhiều loại cấu trúc liên kết: nối tiếp, song song và bậc thang. Cấu trúc liên kết nối tiếp bao gồm một nguồn quang, bộ điều biến, mảng cảm biến và bộ khôi phục tín hiệu, bộ giải điều chế và cuối cùng là bộ dò quang. Cảm biến có thể phản xạ hoặc truyền phát, có nghĩa là các cấu hình khác nhau sẽ ảnh hưởng đến cách tín hiệu được chuyển hướng đến máy dò. Cảm biến phản xạ phản chiếu ánh sáng theo hướng của máy dò và cảm biến truyền dẫn sẽ chuyển hướng tín hiệu đến máy dò.

Cấu trúc liên kết song song là cách sắp xếp đơn giản nhất và bao gồm một nguồn quang (có thể có nhiều nguồn) được ghép vào mạng cáp quang và nguồn được phân phối qua bộ ghép hướng nhiều cổng thành một tập hợp các đường xuống song song. Tín hiệu truyền qua từng đường xuống có chứa cảm biến và sau đó được chuyển hướng đến mảng máy dò.

3.1.3. Ứng dụng của hệ thống cảm biến quang FBG

Mạng FBG (Hình 3.2) là một trong những ví dụ nổi tiếng nhất về cảm biến đa điểm. Để sử dụng các cảm biến ở khoảng cách rất lớn, bộ khuếch đại quang có thể được sử dụng dọc theo mạng cáp quang. Trong hình minh họa một ví dụ đơn giản, trong đó mạng cảm biến FBG được áp dụng để giám sát biến dạng trong đập.



Hình 3.2: Mạng cảm biến quang đa điểm giám sát đập nước.

Ở Bồ Đào Nha, công nghệ này đã được áp dụng để giám sát thời gian thực các công trình và môi trường. Năm 2004, OFSN đã được triển khai trên cầu Luis I ở Porto. Hơn 120 điểm cảm biến đã được xử lý bằng FBG nằm trong các tuyến cáp quang được thiết kế đặc biệt trải dài vài km.



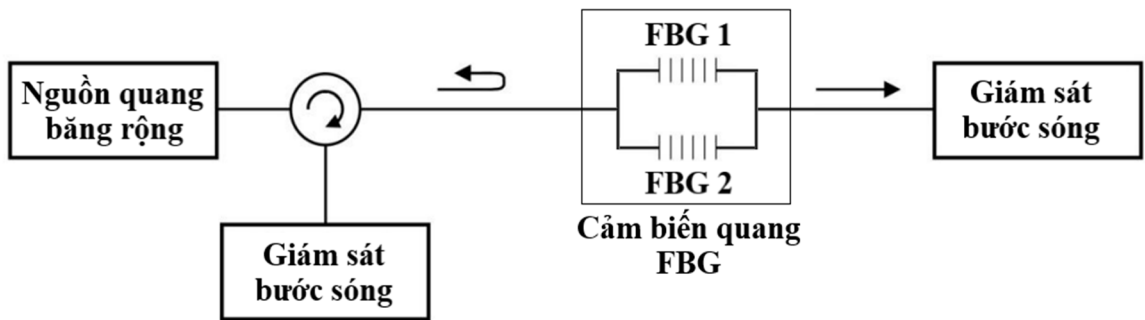
Hình 3.3: Mạng cảm biến đa điểm dựa trên FBG

Năm 2002, mạng cảm biến dựa trên FBG đã được triển khai tại Ria de Aveiro (Bồ Đào Nha) để theo dõi sự phân bố nhiệt độ nước dọc theo đoạn mở rộng 12 km. Hình 3.3 minh họa một kịch bản ứng dụng tương tự, trong đó một chuyển mạch quang cho phép làm việc với các FBG khác nhau.

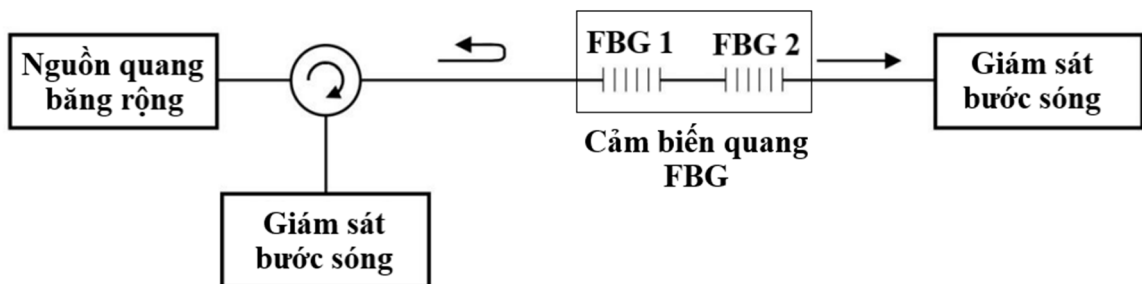
3.2. Mô hình ứng dụng cảm biến quang FBG cho IoT

Trong một số nghiên cứu gần đây đã đưa ra các mô hình cảm biến quang FBG để đo giám sát các tham số trong lĩnh vực IoT như hàng không, hàng không vũ trụ, kỹ thuật dân dụng và sinh học hoặc giám sát môi trường. Tuy nhiên trong các mô hình cảm biến quang FBG này hoặc chỉ sử dụng một FBG hoặc sử dụng nhiều FBG đặt phân tán để đo giám sát một tham số yêu cầu [10]. Ngoài ra, để đo đồng thời nhiều tham số mô hình cảm biến sử dụng một FBG kết hợp với một phần tử cảm biến loại khác nên suy hao ghép nối khá lớn.

Hình 3.4 mô tả mô hình cảm biến quang đề xuất.



(a) FBG mắc song song



(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.4: Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất.

Để khắc phục những hạn chế này, đề án đề xuất một mô hình cảm biến quang FBG gồm hai FBG có bước sóng Bragg khác nhau lớn hơn 4nm để tránh nhầm lẫn trong các phép đo được thực hiện bởi mỗi tham số ảnh hưởng, trong đó hai cảm biến FBG được kết nối song song với nhau hoặc kết nối liên tiếp nhau. FBG thứ nhất có chức năng để giám sát nhiệt độ và FBG thứ hai sử dụng để giám sát biến dạng (áp suất).

Nguyên lý làm việc cơ bản của mô hình cảm biến FBG đề xuất như sau:

- Khi ánh sáng băng rộng truyền qua FBG 1, tại FBG 1 giả sử có sự thay đổi nhiệt độ, thông qua hiệu ứng nhiệt độ lên chiết suất sẽ làm cho chiết suất hiệu dụng thay đổi gây ra dịch bước sóng Bragg. Đáng chú ý là độ nhạy của FBG thứ nhất với nhiệt độ có thể tăng lên hoặc giảm xuống bằng cách liên kết thích hợp với các vật liệu cảm nhiệt khác. Như vậy khi xác định được độ dịch bước sóng Bragg sẽ giám sát được tham số nhiệt độ.

- Khi ánh sáng băng rộng truyền qua FBG 2, tại FBG 2 giả sử có sự biến dạng do sợi bị kéo căng và nén gây bởi áp suất, thông qua sự biến dạng cơ học của sợi sẽ làm cho chu kỳ cách tử Bragg của sợi sẽ thay đổi gây ra dịch bước sóng Bragg. Như vậy khi xác định được độ dịch bước sóng Bragg sẽ giám sát được tham số áp suất.

Ưu điểm của mô cảm biến quang FBG đề xuất là khả năng giám sát đồng thời nhiệt độ và áp suất. Ngoài ra, trong hệ thống cảm biến chỉ sử dụng một nguồn quang băng rộng do đó làm giảm giá thành sản phẩm.

Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất có thể được sử dụng trong ngành y để đo nhiệt độ và huyết áp của con người (đo tại chỗ) hoặc được sử dụng để giám sát từ xa nhiệt độ và áp suất của các giếng dầu và các hầm lò...

Phần khảo sát dịch bước sóng do ảnh hưởng của nhiệt độ và áp suất sẽ tập trung vào mô hình cảm biến ứng dụng trong ngành y thông qua phần mềm mô phỏng OptiGrating (V.4.2.3). Cảm biến nhiệt độ ứng với FBG 1 có bước sóng Bragg là 1548 nm với nhiệt độ ban đầu 30°C, được thực hiện mô phỏng ở các giá trị nhiệt độ khác nhau trong khoảng từ 35°C (hạ thân nhiệt) đến 40°C (tăng thân nhiệt) để mô phỏng các giá trị nhiệt độ bình thường của con người. Cảm biến áp suất ứng với FBG 2 có bước sóng Bragg là 1552 nm, được thực hiện mô phỏng các giá trị từ 40 mmHg (tâm trương) đến 190 mmHg (tâm thu) đại diện cho giới hạn của giá trị huyết áp ở người.

Phần tiếp theo sẽ tiến hành thiết lập mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đề xuất cho các ứng dụng trong IoT.

3.3. Mô phỏng và đánh giá

3.3.1. Mô hình mô phỏng

Mô hình cảm biến quang FBG đề xuất đo giám sát nhiệt độ và áp suất ứng dụng trong IoT được thiết kế và mô phỏng bằng phần mềm OptiSystem chuyên dụng. Phần mềm Optisystem của hãng Optiwave là một phần mềm thiết kế toàn diện cho phép người sử dụng lập kế hoạch và kiểm tra các liên kết quang trong một lớp truyền dẫn mạng mới. Công cụ này cung cấp nhiều loại thành phần quang học 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 [1], [2].

Để thiết kế cảm biến quang FBG đề xuất, phần mềm mô phỏng OptiSystem (V.21) đã được sử dụng. Mô hình mô phỏng được hiển thị trong Hình 3.5 là cho ứng dụng đo giám sát tại chỗ nhiệt độ, áp suất và Hình 3.6 là cho các ứng dụng đo giám sát từ xa nhiệt độ, áp suất trong trường hợp kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.

Bảng 3.1 mô tả các thông số của các thành phần trong mô hình cảm biến quang FBG mô phỏng.

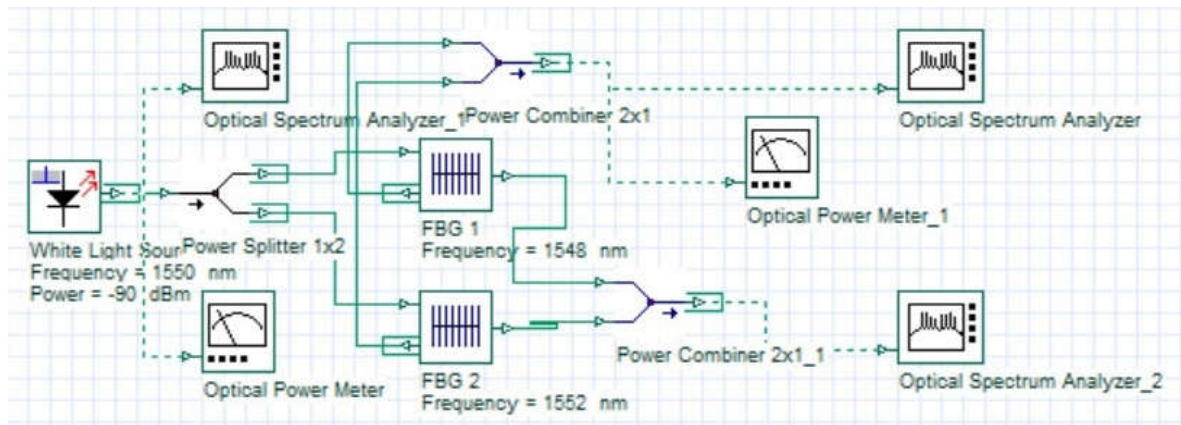
Bảng 3.1: Các thông số của các thành phần được thiết kế.

Các thành phần	Các thông số
White light source	Power = -90dBm, peak wavelength = 1550nm
FBG 1	Bragg wavelength = 1548 nm, reflectivity = 0.99, bandwidth = 125 GHz
FBG 2	Bragg wavelength = 1552 nm, reflectivity = 0.99, bandwidth = 125 GHz
WDM Transmitter	8 channel, Frequency = 192.1 THz, Frequency spacing = 100 GHz, power = 10 dBm, bit rate = 10Gbps/channel
Tuyến quang	L = 100Km (Mô hình kết hợp với mạng cự li dài WDM)

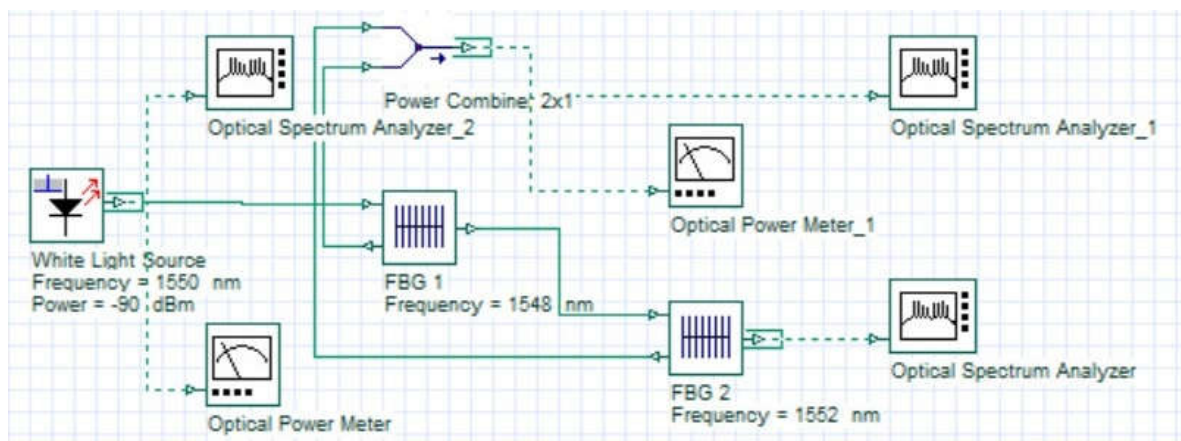
Có thể thấy rằng trong các mô hình cảm biến quang FBG mô phỏng, để đo giám sát nhiệt độ, áp suất có các thành phần chính như sau: Nguồn phát băng rộng, cảm biến quang FBG và Máy phân tích phổ quang (OSA). Nguồn là nguồn ánh sáng trắng phát ra bước sóng 1550 nm và công suất -90dBm. Kết nối nguồn này với cảm biến quang FBG, trong đó FBG 1 có bước sóng 1548 nm và FBG 2 có bước sóng 1552 nm, độ phản xạ

của FBG 1 và FBG 2 là 0,99 cho tín hiệu truyền qua. Một phần tín hiệu truyền đi được phản xạ (bước sóng Bragg), phần này được kết nối với OSA để theo dõi tín hiệu sau mỗi lần thay đổi nhiệt độ hoặc áp suất tiếp xúc với vùng cảm biến trong mỗi FBG.

Việc sử dụng hai bước sóng mô phỏng cho hai cảm biến khác nhau nhằm mục đích phân biệt kết quả mô phỏng giữa cảm biến nhiệt độ và cảm biến áp suất. Trên thực tế, phần sợi quang sử dụng cho cảm biến nhiệt độ thường được bọc bởi các lớp vật liệu dẫn nhiệt tốt và chống chịu va đập như kim loại, hợp kim... trong khi phần sợi quang sử dụng cho cảm biến áp suất thường được bọc bởi các vật liệu cách nhiệt và đàn hồi tốt. Các thông số và cự ly tuyến của hệ thống WDM được sử dụng tương ứng với các hệ thống trên thực tế đang triển khai hiện nay.

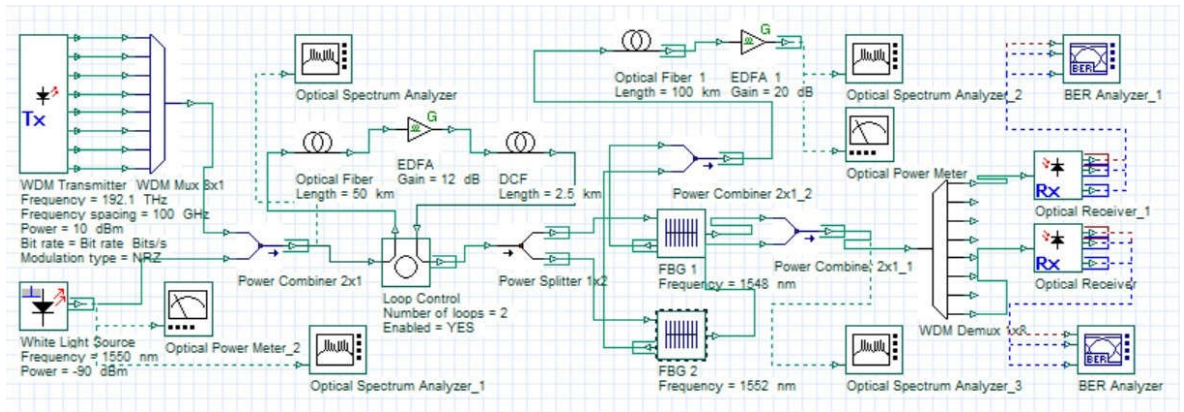


(a) FBG mắc song song

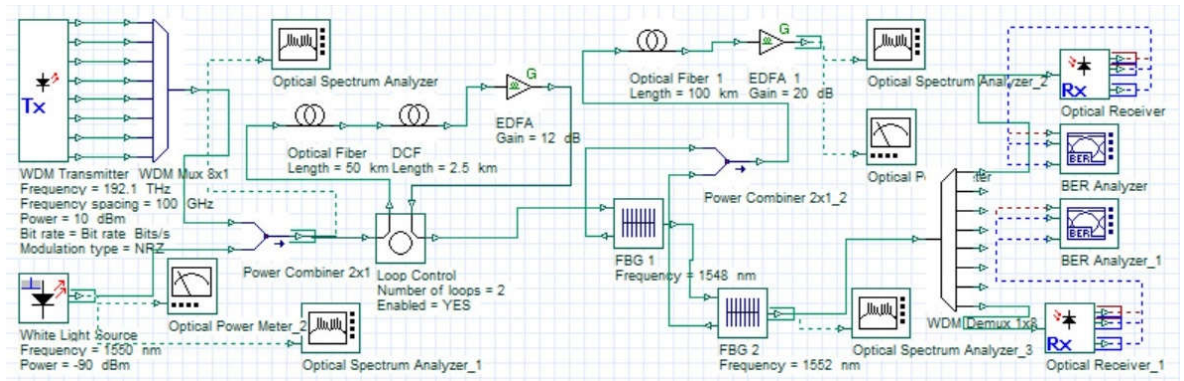


(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.5: Mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.



(a) FBG mắc song song



(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.6: Mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.

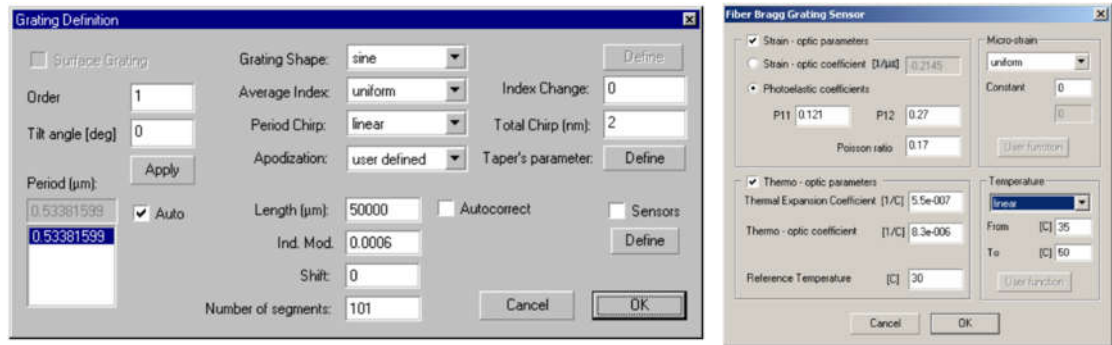
Ngoài các thành phần cơ bản phục vụ mô phỏng, đề sát với thực tế, trên tuyến quang 100 km được bổ sung thêm bộ bù tán sắc (DCF) và bộ khuếch đại EDFA để bù lại các suy hao trên đường truyền và của DCF gây ra với mức suy hao khoảng 12 dB.

3.3.2. Kết quả mô phỏng

Trong phần này sẽ đưa ra các kết quả khảo sát các đặc tính của FBG đã được nghiên cứu thông qua phần mềm OptiGrating và các kết quả mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG thông qua phần mềm OptiSystem.

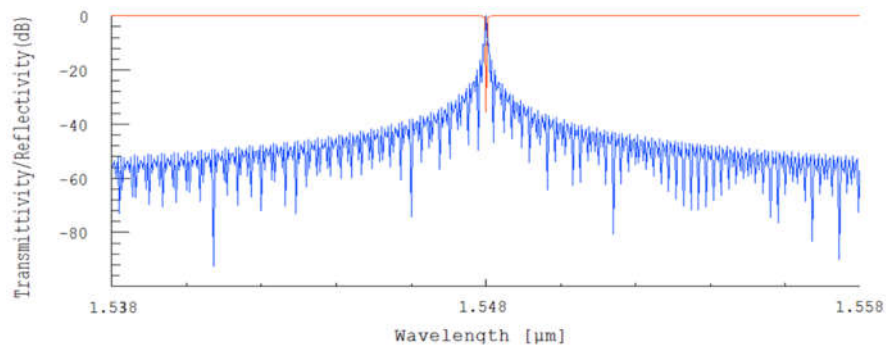
Các thông số lựa chọn tương tự như mục 2.3.4, tuy nhiên hai cảm biến sử dụng hai bước sóng mô phỏng cho hai cảm biến khác nhau là 1448nm và 1552nm nhằm mục đích phân biệt kết quả mô phỏng.

Các kết quả khảo sát liên quan đến đặc tính FBG và cảm biến quang FBG có các tham số được chọn như sau (minh họa trong Hình 3.7): Chiều dài cách tử 50000 μm và chu kỳ cách tử 0,53381599 μm ; Hệ số Pockel của tensor quang biến dạng $p_{11} = 0,121$; $p_{12} = 0,27$; Tỉ số Poisson $\mu = 0,17$; Hệ số quang nhiệt $\alpha = 8,3 \cdot 10^{-6}$ (1/C); Hệ số giãn nở nhiệt $\xi = 5,5 \cdot 10^{-7}$ [4], [6].

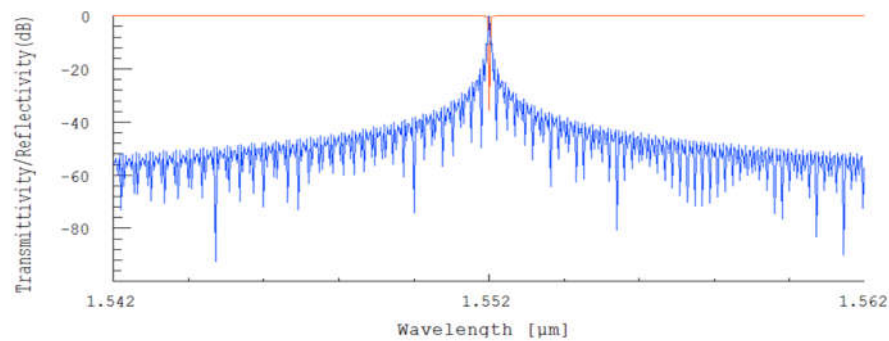


Hình 3.7: Các tham số của FBG và của cảm biến quang FBG

Hình 3.8 là các đặc tính phổ phản xạ và phổ truyền qua của FBG ở bước sóng Bragg 1548 nm và 1552 nm.



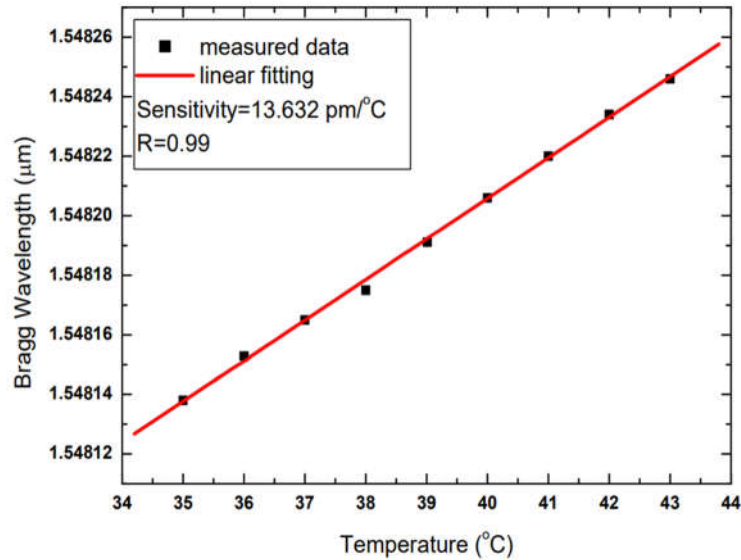
(a) Bước sóng Bragg 1548 nm



(b) Bước sóng Bragg 1552 nm

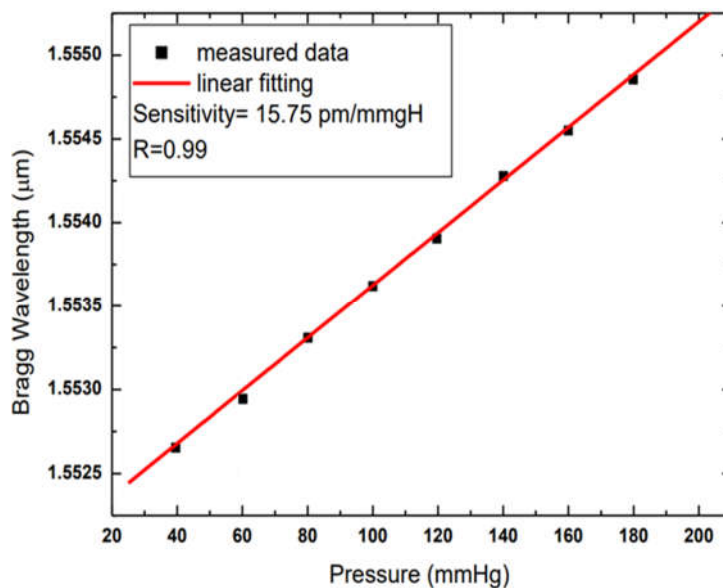
Hình 3.8: Phổ phản xạ (màu xanh) và phổ truyền qua (màu đỏ) của FBG.

Mối quan hệ tuyến tính giữa nhiệt độ áp dụng và bước sóng Bragg dịch chuyển được minh họa trong Hình 3.9. Từ Hình 3.9 có thể thấy rõ độ nhạy được tính toán là 13,632 pm/°C. Như vậy FBG 1 được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của nhiệt độ, khi nhiệt độ càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



Hình 3.9: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo nhiệt độ.

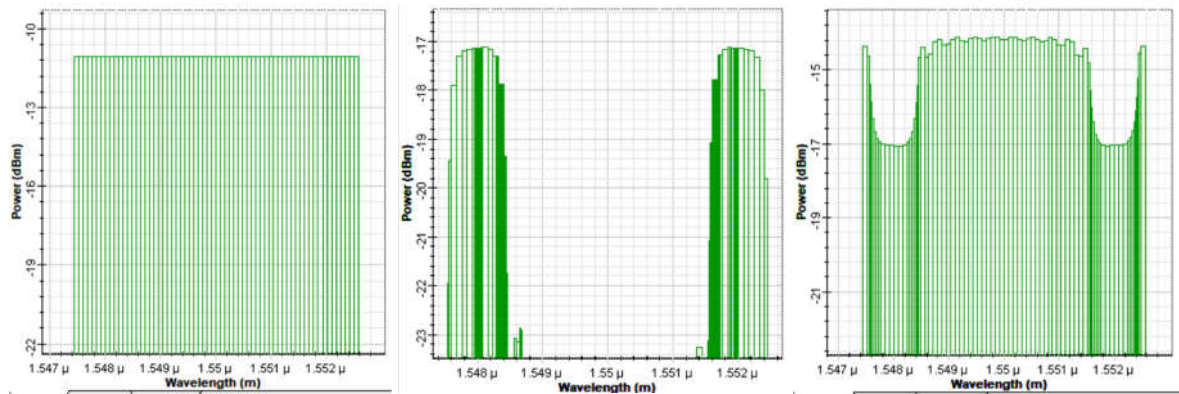
Hình 3.10 mô tả mối quan hệ tuyến tính giữa áp suất khác nhau và bước sóng Bragg dịch chuyển. Từ Hình 3.10 cho thấy độ nhạy được tính toán là 15,75 pm/mmHg. Như vậy FBG 2 được sử dụng trong nghiên cứu là rất nhạy cảm với sự thay đổi của áp suất, khi áp suất càng tăng thì độ dịch bước sóng càng lớn.



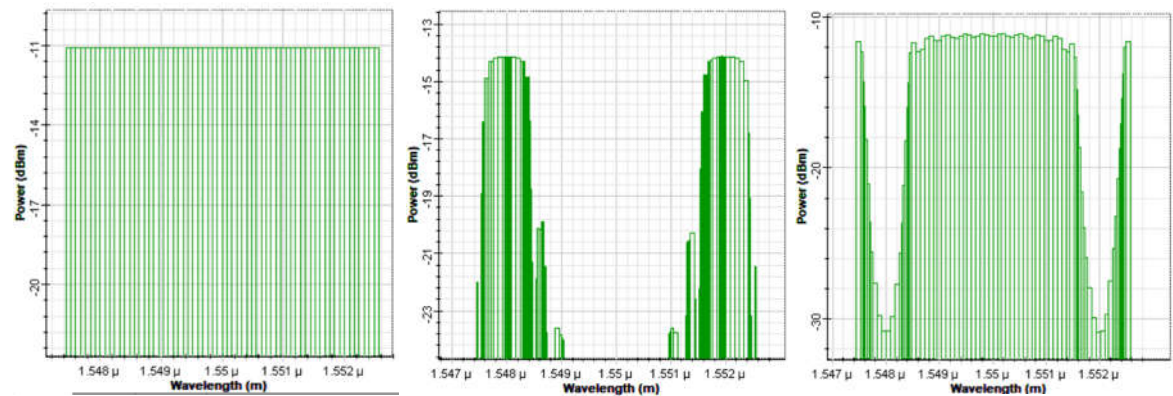
Hình 3.10: Sự thay đổi bước sóng Bragg theo áp suất.

Theo lý thuyết đã nghiên cứu tại Mục 2.3, các yếu tố ảnh hưởng đến sự thay đổi bước sóng phản xạ Bragg là chiết suất hiệu dụng của lõi sợi quang hoặc chu kỳ cách tử. Hiệu ứng biến dạng quang học và hiệu ứng quang nhiệt của cách tử sợi Bragg sẽ dẫn tới sự thay đổi của chiết suất hiệu dụng của lõi sợi quang và chu kỳ cách tử do đó sự thay đổi của nhiệt độ và độ biến dạng của FBG sẽ dẫn tới sự dịch chuyển của bước sóng Bragg. Kết quả mô phỏng đưa ra là hoàn toàn phù hợp với lý thuyết đã nghiên cứu.

Hình 3.11 là phổ của nguồn băng rộng, phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.



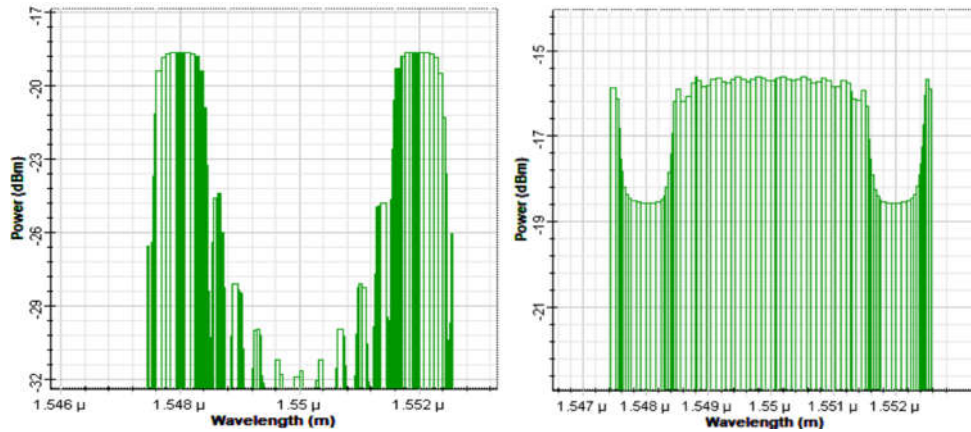
(a) FBG mắc song song



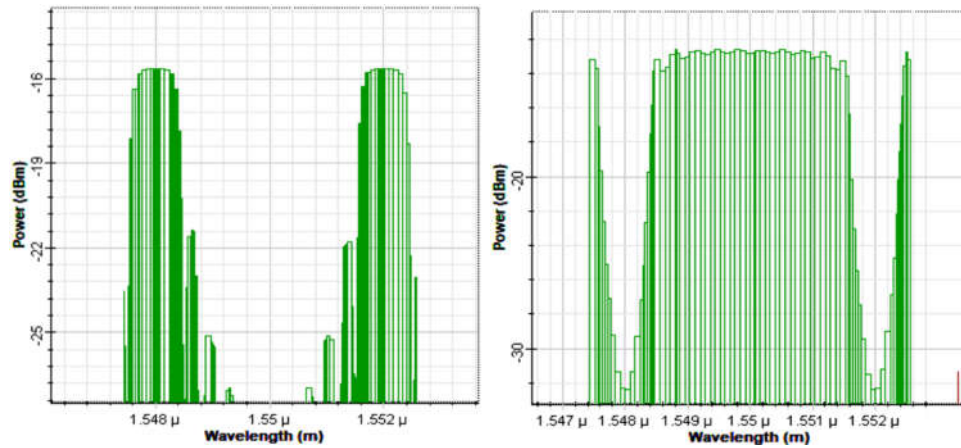
(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.11: Phổ nguồn băng rộng, phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát tại chỗ.

Hình 3.12 là phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.



(a) FBG mắc song song



(b) FBG mắc nối tiếp

Hình 3.12: Phổ phổ phản xạ và phổ truyền qua của mô hình cảm biến quang FBG đo giám sát từ xa kết hợp với mạng cự li dài WDM 8 kênh.

Từ kết quả mô phỏng có thể thấy, tại các bước sóng 1548 và 1552 tương ứng với FBG thiết kế, năng lượng bị phản xạ lại đầu phát và suy hao tại đầu thu của hệ thống cho thấy FBG đã phản xạ lại năng lượng tại bước sóng Bragg phù hợp với lý thuyết đã nghiên cứu tại Mục 2.3.

Từ phổ phản xạ của mô hình cảm biến quang FBG trên các Hình 3.11, Hình 3.12, có thể thấy rõ với mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp có công suất quang phản xạ cải thiện khoảng 3 dBm so với mô hình cảm biến quang FBG mắc song song. Việc cải thiện này là do khi ghép thụ động hai cảm biến song song, công suất quang được phân bố đều trên hai nhánh dẫn tới trên mỗi nhánh công suất giảm đi một nửa so với ban đầu tương ứng với 3dBm.

Vì vậy mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp là rất phù hợp cho việc đo giám sát từ xa trong các hệ thống trên thực tế.

Như vậy, trên cơ sở phân tích về tham số đo kiểm tra nhiệt độ của cảm biến quang FBG cho thấy mối quan hệ giữa dịch bước sóng do ảnh hưởng của nhiệt độ hoặc là tuyến tính. Độ nhạy của FBG là rất nhạy cảm với sự thay đổi nhỏ của nhiệt độ và áp suất được áp dụng. Vì vậy, cảm biến quang FBG một lựa chọn rất tốt cho các ứng dụng trong IoT đặc biệt là cho ứng dụng trong y tế. Bên cạnh đó, các kết quả mô phỏng cho thấy mô hình cảm biến quang FBG đề xuất rất phù hợp với các ứng dụng đo tại chỗ và đo từ xa khi kết hợp với mạng truyền thông quang NG-PON hoặc mạng quang WDM cự li dài. Đặc biệt khi sử dụng mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp.

3.4. Kết luận chương 3

Nội dung chương 3 đã trình bày cụ thể mô hình cảm biến quang FBG đề xuất. Một phần nội dung của chương cũng đã trình bày chi tiết về thiết lập mô phỏng mô hình cảm biến quang FBG đề xuất. Phần cuối của chương là phần kết quả khảo sát và thảo luận liên quan đến các tham số đo giám sát của cảm biến quang FBG trong các mô hình hệ thống khác nhau. Các kết quả mô phỏng cho thấy mô hình cảm biến quang FBG đề xuất rất phù hợp với các ứng dụng đo tại chỗ và đo từ xa khi kết hợp với mạng truyền thông quang WDM cự li dài. Đặc biệt khi sử dụng mô hình cảm biến quang FBG mắc nối tiếp.

KẾT LUẬN

Đề án đã nghiên cứu tổng quan về các khái niệm, lịch sử phát triển, kiến trúc và các thành phần chính của một hệ thống IoT từ đó tìm hiểu về vai trò cũng như ứng dụng của cảm biến sợi quang trong hệ thống. Cùng với đó, đề án cũng đã đi sâu nghiên cứu về công nghệ FBG, cảm biến quang FBG và khảo sát các tham số đặc trưng của nó làm cơ sở để đề xuất các mô hình sử dụng cảm biến cho hệ thống IoT. Từ các kết quả nghiên cứu, học viên đã đề xuất một số mô hình sử dụng cảm biến quang FBG cho hệ thống IoT, mô phỏng hệ thống với cảm biến đo nhiệt độ và khảo sát các tham số đo giám sát của cảm biến quang FBG trong các mô hình hệ thống khác nhau.

Hướng nghiên cứu tiếp theo: Sau Đề án này, học viên định hướng nghiên cứu sâu hơn về các mô hình ứng dụng của cảm biến quang FBG sử dụng chuyên biệt trong các hệ thống IoT khác nhau.

DANH MỤC CÁC TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt:

- [1] TS. Cao Hồng Sơn, Phan Văn Khấn, “*Cảm biến sợi quang cho ứng dụng IoT*”, Báo cáo CĐKH cấp HV, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông, 2023.
- [2] Cao Hồng Sơn, “*Mô hình cảm biến quang FBG cho IoT*”, Tạp chí khoa học công nghệ thông tin và truyền thông, 2023.

Tiếng Anh:

- [3] Stephen J. Mihailov, “Fiber Bragg Grating Sensors for Harsh Environments,” Sensors 12, no. 2: 1898-1918, 2012.
- [4] Nithila Dediyağala, “Optical Fiber Bragg Grating Analysis through FEA and Its Application to Pressure Sensing”, Victoria University, 2019.
- [5] Pendão C, Silva I, “Optical Fiber Sensors and Sensing Networks: Overview of the Main Principles and Applications”, Sensors 22, no. 19: 7554, 2022.
- [6] Optiwave, "OptiGrating User's Reference and Tutorials", 2008.
- [7] Laura Alberio Blanquer, “Operando optical sensing for battery diagnosis”, Sorbonne Université, 2022.
- [8] Rohan, R., Venkadeshwaran, K. & Ranjan, P, “Recent advancements of fiber Bragg grating sensors in biomedical application: a review”, Journal of Optics, 2023.
- [9] Pospori, Andreas, Andreas Ioannou, and Kyriacos Kalli, “Temperature and Humidity Sensitivity of Polymer Optical Fibre Sensors Tuned by Pre-Strain”, Sensors 22, no. 19: 7233, 2022.
- [10] Mohamed J. Ali, Alaa Hussein Ali, Aseel I. Mahmood, Mohammed A. hussien, “The Design and Simulation of FBG Sensors for Medical Application”, IJCCCE, vol 20, no.4, pp. 1-8, 2020.

Internet:

- [11] <https://ifactory.com.vn/lich-su-hinh-thanh-va-phat-trien-iot-trong-san-xuat/>, truy cập ngày 10/2/2024.
- [12] <https://intalents.co/iot-la-gi-1645005967/>, truy cập ngày 12/2/2024.
- [13] <https://thietbimang.com/tin-tuc/IoT-la-gi-Kien-truc-he-thong-mang-IoT.html>, truy cập ngày 15/2/2024.

PHỤ LỤC

Phụ lục A: Giới thiệu phần mềm mô phỏng OptiGrating 4.2

OptiGrating 4.2 là một phần mềm thiết kế mạnh mẽ và thân thiện với người dùng để mô hình hóa các thiết bị tích hợp và cáp quang được hỗ trợ bởi các cách tử quang. Hoạt động của nhiều thiết bị viễn thông và cảm biến dựa trên cách tử quang học làm thay đổi sự ghép nối giữa các mode dẫn quang. Ví dụ, công nghệ cách tử ống dẫn sóng đã được sử dụng trong mạng quang WDM, ổn định bằng laser, cảm biến nhiệt độ và biến dạng. Một thiết bị hỗ trợ cách tử có thể được phân tích và thiết kế bằng cách tính toán sự truyền ánh sáng, phổ phản xạ và truyền qua, độ trễ nhóm pha và độ phân tán. Trong khi các kết quả tính toán phụ thuộc vào các thông số ống dẫn sóng và cách tử, nhiệm vụ thiết kế có thể được hỗ trợ rất nhiều bằng cách sử dụng phần mềm máy tính thích hợp: OptiGrating 4.2. OptiGrating 4.2 cung cấp cho bạn các tùy chọn khác nhau để phân tích và thiết kế các sợi và ống dẫn sóng được hỗ trợ cách tử điển hình. Có thể chọn một trong các tùy chọn và đặt thông số thiết bị. Ví dụ, thiết kế của bộ lọc cách tử sợi Bragg bao gồm việc điều chỉnh hình dạng cách tử, chiều dài, độ apodization và điều chế chỉ số, theo đường kính sợi và chỉ số khúc xạ. Sau khi hoàn tất thiết lập thiết bị như vậy, có thể sử dụng chương trình để thực hiện mô phỏng số. Những mô phỏng như vậy dựa trên việc giải các phương trình chế độ kết hợp mô tả sự tương tác của các chế độ được hướng dẫn. Các phương trình mode kết hợp được giải bằng Phương pháp ma trận truyền (một phương pháp ma trận cơ bản).

1. Các tính năng mới của OptiGrating 4.2

1.1. Giải bài toán tán xạ ngược

Một mô-đun mới mạnh mẽ giải quyết vấn đề tán xạ ngược của cách tử Bragg. Tính năng mới này có thể được sử dụng theo một trong hai cách. Đầu tiên, nó có thể được sử dụng để tái tạo lại cách tử chưa biết từ kiến thức về phổ phản xạ. Thứ hai, nếu người dùng có các đặc tính quang phổ cần thiết nhất định và muốn thiết kế cách tử như vậy, tính năng này có thể hỗ trợ quá trình tổng hợp thiết bị.

1.2. Bộ tính toán mode sợi và ống dẫn sóng tấm nâng cao

Bộ tính toán có thể được sử dụng để tìm các mode dẫn khuếch đại/suy giảm và mode rò. Các mode này có các chỉ số mode phức tạp nên việc tìm kiếm lời giải khó khăn hơn vì không gian tìm kiếm là hai chiều. Tuy nhiên, OptiGrating 4.2 sử dụng một kỹ thuật nâng cao để tìm các giải pháp này. Một vùng được xác định trong mặt phẳng phức bằng cách đưa ra các giới hạn cho các giá trị ảo cũng như giá trị thực, xác định đường viền hình chữ nhật trong mặt phẳng phức. OptiGrating thực hiện một loạt các phép tích hợp đường bao số để xây dựng một đa thức có các số 0 ở nghiệm và sau đó giải bài toán đa thức bằng các kỹ thuật tiêu chuẩn. Kết quả là một giải pháp nhanh chóng, chính xác và rất đáng tin cậy.

1.3. Công cụ phân tích độ trễ nhóm

Tính năng mới này là kỹ thuật hồi quy khớp đường cong với giao diện đồ họa. Có thể thấy công cụ khớp các đường cong thứ tự tuyến tính, bậc hai hoặc tùy ý với độ trễ nhóm được tính toán. Bằng cách này, người dùng có thể nhanh chóng nhận được dữ liệu để mô tả độ trễ nhóm, GDD và gợn sóng một cách tự động.

1.4. Tăng tùy chọn xuất dữ liệu

OptiGrating hiện cung cấp cho người dùng một tùy chọn khác khi xuất dữ liệu phổ phức tạp. Ngoài các lựa chọn văn bản và BPM_CAD Xem 2D, OptiSystem hiện cũng có sẵn. Tùy chọn OptiSystem cho phép người dùng xuất cả sự truyền và phản xạ thành một tệp duy nhất chứa bước sóng, phần thực độ truyền qua, phần ảo độ truyền qua, phần thực độ phản xạ và phần ảo độ phản xạ. Tệp này có thể được sử dụng làm tệp đầu vào cho OptiSystem.

1.5. Cải thiện chức năng

OptiGrating 4.2 cải thiện chức năng tổng thể trong một số lĩnh vực, bao gồm các lệnh mới cho phép người dùng làm việc trong Fiber/Waveguide dễ dàng hơn.

Phụ lục B: Giới thiệu phần mềm mô phỏng OptiSystem

OptiSystem là phần mềm mô phỏng hệ thống và mạng thông tin quang. Phần mềm này có khả năng thiết kế, đo kiểm tra và thực hiện tối ưu hóa rất nhiều loại tuyến thông tin quang, dựa trên khả năng mô hình hóa các hệ thống thông tin quang trong thực tế. Bên cạnh đó, phần mềm này cũng có thể dễ dàng mở rộng do người sử dụng có thể đưa thêm các phần tử tự định nghĩa vào.

1. Các ứng dụng của Optisystem

Optisystem cho phép thiết kế tự động hầu hết các loại tuyến thông tin quang ở lớp vật lý, từ hệ thống đường trục cho đến các mạng LAN, MAN quang. Các ứng dụng cụ thể như thiết kế hệ thống thông tin quang từ mức phần tử đến mức hệ thống ở lớp vật lý, thiết kế mạng OTDM/WDM, CATV, FTTx dựa trên mạng quang thụ động (PON), thiết kế hệ thống ROF (radio over fiber), thiết kế bộ thu/phát quang, bộ khuếch đại quang, thiết kế sơ đồ bù tán sắc, đánh giá BER và thiết thời công suất của hệ thống quang với các mô hình bộ thu khác nhau và tính toán BER và quỹ công suất tuyến của các hệ thống có sử dụng khuếch đại quang.

2. Các đặc điểm chính của Optisystem

- Thư viện các phần tử (*Component Library*):

Optisystem có một thư viện các phần tử phong phú với hàng trăm phần tử được mô hình hóa để có đáp ứng giống như các thiết bị trong thực tế. Cụ thể bao gồm các thư viện như nguồn quang, bộ thu quang, sợi quang, bộ khuếch đại (quang, điện), bộ MUX/DEMUX, bộ lọc (quang, điện), phần tử FSO, phần tử truy nhập, phần tử thụ động (quang, điện), phần tử xử lý tín hiệu (quang, điện), phần tử mạng quang và thiết bị đo (quang, điện).

Ngoài các phần tử đã được định nghĩa sẵn, Optisystem còn có các phần tử Measured components (cho phép nhập các tham số được đo từ các thiết bị thực của các nhà cung cấp khác nhau) và các phần tử User-defined Components.

- Khả năng kết hợp với các công cụ phần mềm khác của Optiwave: Optisystem cho phép người dùng sử dụng kết hợp với các công cụ phần mềm khác của Optiwave

như OptiAmplifier, OptiBPM, OptiGrating, WDM_Phasar và OptiFiber để thiết kế ở mức phần tử.

- Các công cụ hiển thị: Optisystem có đầy đủ các thiết bị đo quang, đo điện. Cho phép hiển thị tham số, dạng, chất lượng tín hiệu tại mọi điểm trên hệ thống.

- Mô phỏng phân cấp với các hệ thống con (*subsystem*): Để việc mô phỏng được thực hiện một cách linh hoạt và hiệu quả, Optisystem cung cấp mô hình mô phỏng tại các mức khác nhau, bao gồm mức hệ thống, mức hệ thống con và mức phần tử.

- Ngôn ngữ Script mạnh: Người sử dụng có thể nhập các biểu diễn số học của tham số và tạo ra các tham số toàn cục. Các tham số toàn cục này sẽ được dùng chung cho tất cả các phần tử và hệ thống con của hệ thống nhờ sử dụng chung ngôn ngữ VB Script.

- Thiết kế nhiều lớp (*multiple layout*): Trong một file dự án, Optisystem cho phép tạo ra nhiều thiết kế, nhờ đó người sử dụng có thể tạo ra và sửa đổi các thiết kế một cách nhanh chóng và hiệu quả. Mỗi file dự án thiết kế của Optisystem có thể chứa nhiều phiên bản thiết kế khác nhau. Mỗi phiên bản được tính toán và thay đổi một cách độc lập nhưng kết quả tính toán của các phiên bản khác nhau có thể được kết hợp lại, cho phép so sánh các phiên bản thiết kế một cách dễ dàng.

- Trang báo cáo (*report page*): Trang báo cáo của Optisystem cho phép hiển thị tất cả hoặc một phần các tham số cũng như các kết quả tính toán được của thiết kế tùy theo yêu cầu của người sử dụng. Các báo cáo tạo ra được tổ chức dưới dạng text, dạng bảng tính, đồ thị 2D và 3D. Cũng có thể kết xuất báo cáo dưới dạng file HTML hoặc dưới dạng các file template đã được định dạng trước.

- Quét tham số và tối ưu hóa (*parameter sweeps and optimizations*): Quá trình mô phỏng có thể thực hiện lặp lại một cách tự động với các giá trị khác nhau của tham số để đưa ra các phương án khác nhau của thiết kế. Người sử dụng cũng có thể sử dụng phần tối ưu hóa của Optisystem để thay đổi giá trị của một tham số nào đó để đạt được kết quả tốt nhất, xấu nhất hoặc một giá mục tiêu nào đó của thiết kế.

BẢN CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đã thực hiện việc kiểm tra mức độ tương đồng nội dung đề án qua phần mềm DoIT một cách trung thực và đạt kết quả mức độ tương đồng 13% toàn bộ nội dung đề án. Bản đề án kiểm tra qua phần mềm là bản cứng đề án đã nộp để bảo vệ trước hội đồng. Nếu sai tôi xin chịu các hình thức kỷ luật theo quy định hiện hành của Học viện.

Hà Nội, ngày 07 tháng 5 năm 2024

HỌC VIÊN CAO HỌC

(Ký và ghi rõ họ tên)

Phan Văn Khấn