



Hugo Angel Barreda de la Cruz

**Análise da Calibração de Sensores a Rede
de Bragg em Fibras Ópticas Interrogados
através da Técnica de Filtros Fixos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientadores: Arthur Martins Barbosa Braga
Luiz Carlos da Silva Nunes

Rio de Janeiro
Dezembro de 2007



Hugo Angel Barreda de la Cruz

**Análise da Calibração de Sensores a Rede
de Bragg em Fibras Ópticas Interrogados
através da Técnica de Filtros Fixos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Arthur Martins Barbosa Braga

Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. Luiz Carlos da Silva Nunes

Universidade Federal de Fluminense

Prof. Luiz Carlos Guedes Valente

Gavea Sensors - Sistemas de Medição Ltda.

Profa. Paula Medeiros Proença de Gouvêa

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 21 de dezembro de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Hugo Angel Barreda de la Cruz

Graduou-se em Engenharia Elétrica na UNSA (Universidade Nacional de San Agustín de Arequipa – Perú) em 2004. Tem como áreas de interesse a óptica aplicada como sensores de medição. Recentemente participou como co-autor de trabalhos apresentados em congressos internacionais nas áreas de interesse.

Ficha Catalográfica

Barreda de la Cruz, Hugo Angel

Análise de calibração de sensores a rede de Bragg em fibras ópticas interrogados através da técnica de filtros fixos / Hugo Angel Barreda de la Cruz ; orientador: Arthur Martins Barbosa Braga. – 2007.

97 f.: il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007

Inclui bibliografia

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Rede de Bragg em fibras ópticas. 3. Técnica de demodulação. 4. Multiplexação de sensores. 5. Análise de calibração I. Braga, Arthur Martins Barbosa. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD: 621

Para meus pais, Miguel e Juliana,
para meus irmãos, Adolfo e Alberto,
pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

Aos meus orientadores Arthur Martins Barbosa Braga e Luiz Carlos da Silva Nunes pelo apoio total, conhecimentos transmitidos, incentivos e amizade.

A Alexandre, Carla e Roberth pelo apoio e conhecimento proporcionados.

Aos companheiros do Laboratório de Sensores a Fibra Óptica pelo apoio incondicional.

A todos os funcionários e professores que me ajudaram durante todo o curso de mestrado.

A meu amigo Hugo Jimenez pelo apoio e força incondicional.

Aos meus amigos do curso do mestrado que me apoiaram e ajudaram direta ou indiretamente.

A Capes pelo auxílio financeiro a mim concedido por meio da bolsa de estudos.

Meu agradecimento muito especial à bondade de Deus, por permitir-me conhecer pessoas afáveis que me ajudaram a encontrar forças para seguir adiante e concluir uma parte muito importante de minha vida.

Resumo

Barreda de la Cruz, Hugo Angel; Braga, Arthur Martins Barbosa. **Análise da Calibração de Sensores a Rede de Bragg em Fibras Ópticas Interrogados através da Técnica de Filtros Fixos**. Rio de Janeiro, 2007. 97p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nesse trabalho, descreve-se o desenvolvimento de uma calibração do sistema de interrogação dos espectros das redes de Bragg baseando-se em uma simulação numérica adotada de testes experimentais. O objetivo é calibrar a técnica de demodulação óptica utilizando dois filtros de transmissão fixos, procurando-se principalmente a posição verdadeira dos sensores. O espectro refletido de uma rede tem uma forte dependência com o espectro da luz incidente que resultará em uma deformação no espectro refletido da rede, gerando um desvio no sensor detectado. A metodologia é gerar uma perturbação na fonte de luz e analisar a leitura do espectro da rede. Esse desvio gerado na leitura espectral é associado à potência óptica lida nos fotodetectores com a posição do comprimento de onda do sensor; as leituras indicadas são proporcionais ao grau de superposição entre os espectros do sensor e dos filtros. A calibração é enfatizada em simulações comparando-se com resultados experimentais e será recuperado principalmente o espectro deformado da rede por um espectro indicado que fornecerá a informação correta da posição do sensor. A simulação conclui em uma recuperação do espectro deformado, diminuindo incertezas de medição e da posição do sensor comparando-se com medidas experimentais proporcionando bons resultados.

Palavras-chave

Rede de Bragg em fibras ópticas; técnica de demodulação; multiplexação de sensores; análise de calibração.

Abstract

Barreda de la Cruz, Hugo Angel; Braga, Arthur Martins Barbosa (Advisor). **Analysis of the Calibration to Bragg Grating Sensors in Fiber Optics Interrogated through Fixed Filters Technique.** Rio de Janeiro, 2007. 97p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The development of a calibration system for Fiber Bragg Grating sensors based on two fixed spectral filters has been described basing in adopted numeric simulation of experimental tests. The objective is to gage the technique of optical demodulation using two fixed transmission filters, being sought mainly the true position spectral of sensors. The reflected spectrum of a Bragg Grating has a strong dependence with the spectrum of the incident light that will result in a deformation to the reflected spectrum, generating a deviation in the sensor detected. The methodology will be to generate a disturbance in the light source and to analyze the reading of the spectrum Bragg Grating. That deviation in the position is associated to the potency optical work in the photodetectors with the position of wavelength sensor; the suitable readings in the photodetectors are proportional to the overlap degree among the spectra of the sensor and filters. The calibration will be emphasized in simulations being compared with experimental results, and to recover mainly the deformed spectrum of Bragg Grating sensor for a suitable spectrum that will give the correct information at the position of sensor. The simulation ends in a recovery of the deformed spectrum, reducing measurement uncertainties and of the position of sensor, being compared with experimental results.

Keywords

Bragg grating in optical fiber; demodulation technique; multiplexing of sensors; calibration analysis.

Sumário

1	Introdução	14
2	Conceitos Preliminares das redes de Bragg	17
2.1.	Definição e parâmetros das redes de Bragg em fibras ópticas	17
2.1.1.	Redes de Bragg	17
2.1.2.	Refletividade de rede de Bragg uniforme	18
2.1.3.	Sensibilidade da rede de Bragg	21
2.2.	Técnicas de Leitura	22
2.2.1.	Montagem óptica utilizando Multi-line Wavemeter Optical Channel Analyzer	23
2.2.2.	Técnicas de demodulação	25
2.2.3.	Técnica de demodulação utilizando um filtro fixo	26
2.2.4.	Técnica de demodulação utilizando dois filtros fixos	29
2.2.5.	Análise da técnica utilizando dois filtros fixos	32
2.2.6.	Detalhamento de simulação para a técnica com dois filtros fixos	33
2.2.7.	Análise da multiplexação dos sensores a rede de Bragg	35
3	Análise de simulação por modelo numérico	40
3.1.	Correção do ruído espectral na leitura experimental	41
3.2.	Simulação incluindo a fonte de luz	43
3.3.	Procedimento de programação	44
3.3.1.	Dados de entrada	44
3.3.2.	Ajustes com a largura de banda à meia altura	45
3.3.3.	Ajustes na varredura espectral do sensor	48
3.3.4.	Algoritmo seqüencial da varredura espectral do sensor	50
3.3.5.	Ajuste de convoluções	53
3.3.6.	Análise de incertezas	56
3.4.	Diagrama de blocos da simulação de varredura espectral	58

4	Análise de perturbação da fonte de luz	60
4.1.	Análise de espectro desviado	60
4.2.	Experimento para análise de perturbação	62
4.2.1.	Condições preliminares para montagem experimental	62
4.2.2.	Fonte de banda larga	62
4.2.3.	Analisador de espectros (<i>Wavemeter</i>)	63
4.2.4.	Demultiplexador de comprimentos de onda (<i>DWDM</i>)	64
4.2.5.	Medidor de potência óptica com dois canais	65
4.2.6.	Acondicionamento e aquisição da chave óptica	66
4.3.	Montagem experimental	67
4.4.	Simulação e validação da análise de perturbação	69
4.4.1.	Simulação experimental da análise de distúrbio da fonte perturbada	70
5	Correção e calibração do sensor com desvio	81
5.1.	Análise de calibração	81
5.2.	Procedimento de simulação de calibragem no espectro indicado	82
6	Análise de resultados	91
7	Conclusões	95
8	Referências bibliográficas	96

Lista de figuras

Figura 2.1 Representação de uma rede de Bragg a fibra óptica.	18
Figura 2.2 Variação do comprimento de onda de Bragg sujeita a uma força de tração e a uma fonte de calor.	21
Figura 2.3 Montagem da leitura de um sensor a rede de Bragg com um <i>Wavemeter</i> .	24
Figura 2.4 Visualização do espectro a rede de Bragg pelo <i>Wavemeter</i> .	25
Figura 2.5 Posicionamento por um filtro ajustável ao sensor a rede de Bragg.	26
Figura 2.6 Montagem de um sistema óptico de leitura utilizando um filtro fixo.	27
Figura 2.7 Convolução entre os espectros sensor – filtro fixo.	28
Figura 2.8 Razão das intensidades dos fotodetectores.	29
Figura 2.9 Montagem de um sistema óptico de leitura utilizando dois filtros fixos.	30
Figura 2.10 Curva de calibração para um sistema de dois filtros fixos.	31
Figura 2.11 Gráfica experimental de perturbação na fonte de luz.	32
Figura 2.12 Espectro de transmissão dos dois filtros fixos e o sensor.	34
Figura 2.13 Resultado numérico e experimental para uma função f em relação à posição espectral do sensor.	35
Figura 2.14 Multiplexação em uma única fibra óptica de sensores com espectros idênticos.	37
Figura 2.15 Deslocamento na intensidade transmitida da fonte de luz variando o número de sensores, o percentual de refletividade e a quantidade de sensores.	39
Figura 3.1 Esquema da região e posição da largura de banda à meia altura em uma curva gaussiana.	41
Figura 3.2 Espectro da fonte de luz lida experimentalmente do equipamento com seu respectivo ruído eletrônico.	42
Figura 3.3 Espectro da fonte de luz com ruído e corrigida por um filtro passa baixo.	43

Figura 3.4 Espectro da fonte de luz simulada.	46
Figura 3.5 Espectro do sensor, dos filtros fixos e a faixa dinâmica da fonte de luz para a varredura de simulação.	48
Figura 3.6 Fluxo de controle que representa o algoritmo de varredura espectral.	51
Figura 3.7 Simulação da varredura espectral do sensor com 12 posições diferentes.	53
Figura 3.8 Superposição de convoluções do sensor com os filtros quando muda a posição de varredura espectral.	54
Figura 3.9 Duas razões de convolução do sensor com cada filtro fixo.	55
Figura 3.10 Razão total de convolução do sensor com os filtros fixos (Numérico e experimental).	56
Figura 3.11 Fluxo de controle do calculo de incertezas da posição do sensor quando se avalia em uma varredura entre os filtros.	57
Figura 3.12 Análise de incertezas da posição do sensor quando se avalia em uma varredura entre os filtros.	58
Figura 3.13 Diagrama de blocos total da simulação da varredura do sensor.	59
Figura 4.1 Espectros do filtro ajustável, da fonte após passar pela rede de Bragg e, do resultado com distúrbio.	61
Figura 4.2 Fonte de banda larga.	63
Figura 4.3 Analisador de espectros para comprimentos de onda.	64
Figura 4.4 Demultiplexador com 16 espectros como filtros de transmissão.	65
Figura 4.5 Medidor de potência com dois detectores ópticos.	66
Figura 4.6 Arquitetura de acondicionamento da chave óptica.	67
Figura 4.7 Montagem experimental e arquitetura de instrumentação para a análise de perturbação.	68
Figura 4.8 Posições espectrais do sensor real e do filtro a rede de Bragg.	71
Figura 4.9 Espectro da fonte de luz perturbada como análise de desvio.	72
Figura 4.10 Espectro do sensor a RGB, dos filtros fixos e a faixa dinâmica da fonte de luz.	73

Figura 4.11 Fluxo de controle para a varredura do sensor com desvio.	74
Figura 4.12 Varredura do sensor simulado e experimental para 12 posições.	76
Figura 4.13 Intersecção do sensor com os filtros quando muda sua posição.	77
Figura 4.14 Comparação das razões do sensor sem desvio e com desvio.	78
Figura 4.15 Comparação da razão total com desvio e sem desvio.	79
Figura 4.16 Incertezas da interrogação sem desvio e com desvio.	80
Figura 5.1 Comparação espectral real e indicada do sensor.	83
Figura 5.2 Fluxo de controle para a varredura do espectro corrigido.	84
Figura 5.3 Simulação da varredura do espectro indicado limitada pelas posições dos filtros.	85
Figura 5.4 Validação da varredura do espectro real com dados experimentais.	86
Figura 5.5 Simulação das intersecções do sensor com os filtros fixos.	87
Figura 5.6 Comparações dos espectros reais e indicadas onde se mostram curvas de convoluções para cada filtro.	88
Figura 5.7 Comparação da Razão total de convoluções (real e indicado).	89
Figura 5.8 Gráfica da análise de incertezas da posição do sensor indicado.	90
Figura 6.1 Desvios na posição dos espectros: real, desviado e indicado.	92
Figura 6.2 Comparação dos desvios de leitura (utilizando dois métodos diferentes).	93

*Quando você nasceu, todos sorriam, só você chorava.
Viva a vida de modo que quando morrer,
todos chorem e só você sorria.*

Anônimo