

# Study on analysis of FBG sensor using neural network

その他（別言語等）のタイトル	ニューラルネットワークを用いたFBGセンサの解析に関する研究
著者	YUAN Lili
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第422号
研究科・専攻	工学専攻
学位授与年月日	2018-03-23
URL	<a href="http://doi.org/10.15118/00009643">http://doi.org/10.15118/00009643</a>

氏 名 袁 莉莉

学 位 論 文 題 目 ニューラルネットワークを用いた FBG センサの解析に関する研究

論 文 審 査 委 員 主査 准教授 佐藤 信也  
教授 酒井 彰  
教授 宮永 滋己

## 論文内容の要旨

豪雨や台風による自然災害が多く発生しているため、土木・建築分野における構造物の管理の高度化による安心で安全な暮らしの実現が求められている。土木・建築構造物の管理の高度化において、光ファイバセンサによる線的及び面的な歪み計測が着目され、多くの技術開発が行われている。

これらの建築構造物等の歪みを測定するための一つの技術としてファイバブラッググレーティング (FBG) 歪みセンサが注目され、研究されている。しかし、従来の FBG 歪みセンサでは、広帯域波長光源と光スペクトラムアナライザを用いて FBG の反射スペクトルを測定し、その中心波長の変化を測定する方法が一般的であり、測定システムが大型且つ高価になっている。また、掃引時間が遅いため、測定間隔が長くなり、温度に伴う FBG の反射スペクトルの変化を補償するのは困難である。そこで、本研究では、狭帯域波長光源とパワーメータを用いた FBG 歪みセンサを提案した。提案したセンサは、外部の歪みや温度の変化により FBG の反射光の変化を測定する。この方法では広帯域光源と光スペクトラムアナライザを使用しないため、システムを小型化でき、安価に構成することができる。また、反射型デバイスである FBG の特性を利用し、複数の縦続接続された FBG にパルス光を入射させ、各 FBG からの反射光に遅延が生じることを利用して広範囲に渡る歪み分布を測定するための多点計測システムが構築できる。歪みや温度と反射パワーの関係を近似するには、フィードフォワード型ニューラルネットワークを用いて行う。それは、入力層、隠れ層、出力層の 3 層からなるフィードフォワード型ニューラルネットワークがすべての関数を高精度で近似することができるからである。関数フィッティングで計算した結果と比較し、ニューラルネットワークを使用することで精度を高めることができた。

今回、直列に接続された二つの FBG を用いて温度補償実験を行った。実験では、1 つの FBG を温度測定に使用し、もう 1 つの FBG を歪み測定に使用した。実験では、両方の FBG を加熱して 1 つの FBG のみに歪みを加えた。歪みや温度と反射パワーの関係を近似するために、測定された FBG の反射パワーをニューラルネットワークの入力として使用され、実験で加えた歪み及び温度をニューラルネットワークの出力として使用される。ニュー

ラルネットワークを用いて得られた温度及び歪みは、実験で実際に加えられた温度及び歪みと比較して、ほぼ同じである。また、関数フィッティングにより計算された歪みや温度とニューラルネットワークによって計算された歪みと温度を比較して、ニューラルネットワークを用いることによって精度が大幅に改善されることが分かった。さらに、測定されたパワー以外のパワーに対して出力も正しく得られた。そこで本研究で提案したひずみセンサシステムの実現可能性のみならず、ニューラルネットワークを用いたデータ処理方法についても実験結果により実証された。

## Abstract

In recent years, fiber Bragg grating (FBG) sensors have attracted much attention because of their excellent properties and potential use in a wide range of applications. The excellent properties include small size, lightweight, remote sensing, wide bandwidth, immune to electromagnetic interference, lack of need for electrical power, and so on, which makes FBG sensors play an important role in monitoring and measuring the strain conditions of infrastructures.

However, since the conventional FBG strain sensors analyze reflected spectrum and measure the shift of reflected wavelength due to strain changes, a broadband light source, and an optical spectrum analyzer are indispensable devices, which make the measurement system large and expensive. In this research, we proposed a strain sensor system that measures strains from reflected power changes of FBGs. A laser diode as a light source and a power meter as a measurement device are used in the system, which makes the FBG strain sensor system miniaturized and low-cost over to conventional FBG sensors. In addition, multipoint strain measurements can be implemented by using the time delay of reflected pulses of a series of FBG sensors with the reported method. When there are two or more FBGs, an oscilloscope is used as the measurement instrument since it can perform multipoint measurements. In order to approximate the relationship between strains or temperatures and reflected power, a feedforward neural network is used. This is because a feedforward neural network composed of three layers of an input layer, a hidden layer, and an output layer, can approximate any function with high accuracy. Comparing with the results calculated by function fitting, accuracy was pretty improved by using a neural network.

A temperature compensation experiment was conducted using two FBGs connected in series in this study. In the experiment, one FBG was used for temperature measurement, and the other one was used for strain measurement. We heated both FBGs, and applied strains to only one FBG in the experiment. In order to model the strain-temperature-power relationship of the FBGs, the measured power of the FBGs was used as the input layer of the neural network, while the strains and temperatures were used as the output layer. The temperatures and strains obtained using the neural network agree well with the actually applied temperatures and strains in the experiment. In comparison with the strains and temperatures calculated using function fitting and that calculated by the neural network, it is found

that the accuracy was greatly improved using the neural network. Furthermore, the output was also correctly obtained for the power other than the measured power. Therefore, not only the feasibility of the strain sensor system proposed in this research but also the data processing method using a neural network have been demonstrated by experimental results.

## 論文審査結果の要旨

豪雨や台風による自然災害が多く発生しているため、土木・建築分野における構造物の管理の高度化による安心で安全な暮らしの実現が求められている。土木・建築構造物の管理の高度化において、光ファイバセンサによる線的及び面的な歪み計測が着目され、多くの技術開発が行われている。

これらの建築構造物等の歪みを測定するための一つの技術としてファイバブラッググレーティング (FBG) 歪みセンサが注目され、研究されている。しかし、従来の FBG 歪みセンサでは、広帯域波長光源と光スペクトラムアナライザを用いて FBG の反射スペクトルを測定し、その中心波長の変化を測定する方法が一般的であり、測定システムが大型且つ高価になっている。また、掃引時間が遅いため、測定間隔が長くなり、温度に伴う FBG の反射スペクトルの変化を補償するのは困難である。そこで、本研究では、狭帯域波長光源とパワーメータを用いた FBG 歪みセンサを提案した。提案したセンサは、外部の歪みや温度の変化により FBG の反射光の変化を測定する。この方法では広帯域光源と光スペクトラムアナライザを使用しないため、システムを小型化でき、安価に構成することができる。また、反射型デバイスである FBG の特性を利用し、複数の縦続接続された FBG にパルス光を入射させ、各 FBG からの反射光に遅延が生じることを利用して広範囲に渡る歪み分布を測定するための多点計測システムが構築できる。また、歪みや温度と反射パワーの関係を近似するには、フィードフォワード型ニューラルネットワークを用いて行う。それは、入力層、隠れ層、出力層の 3 層からなるフィードフォワード型ニューラルネットワークがすべての関数を高精度で近似することができるからである。

今回、提案した測定方法をもとに、直列に接続された二つの FBG を用いて温度補償実験を行った。実験では、1 つの FBG を温度測定に使用し、もう 1 つの FBG を歪み測定に使用した。実験では、両方の FBG を加熱して 1 つの FBG のみに歪みを加えた。歪みや温度と反射パワーの関係を近似するために、測定された FBG の反射パワーをニューラルネットワークの入力として使用され、実験で加えた歪み及び温度をニューラルネットワークの出力として使用される。ニューラルネットワークを用いて得られた温度及び歪みは、実験で実際に加えられた温度及び歪みと比較して、ほぼ同じである。また、関数フィッティングにより計算された歪みや温度とニューラルネットワークによって計算された歪みと温度を比較して、ニューラルネットワークを用いることによって精度が大幅に改善されることが分かった。さらに、測定されたパワー以外でも正しい出力が得られた。本研究で提案したはず

みセンサシステムの実現可能性のみならず、ニューラルネットワークを用いたデータ処理方法についても実験結果により実証された。また、本論文で述べた **FBG** センサシステムは、従来の **FBG** センサと比較して安価でコンパクトであり、**FBG** センサの普及に有利と考えられる。よって本論文は博士論文に値すると判断した。