

文章编号: 1002-2082(2006)06-0581-04

双边缘均值光纤 Bragg 光栅波长解调技术

高雪清, 姜德生

(武汉理工大学 光纤传感技术与信息处理教育部重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 光纤 Bragg 光栅(FBG)传感器是一种波长调制型传感器,波长解调技术是 FBG 传感系统的关键,通常是对 FBG 反射谱进行波形采样,得到反射谱的峰值信号,以此作为 FBG 中心波长的特征值。这种方法需要实时采集大量数据,所以影响解调速度。通过对 FBG 反射谱的分析,得出 FBG 反射谱具有很好的对称性。在此基础上提出了采用反射波双边缘均值的方法测算中心波长。实验证明,采用这种方法进行波长解调,可以使 FBG 信号处理简单、动、静态波长时测算精度高,可以极大地提高解调系统处理 FBG 传感信号的速度。

关键词: FBG 解调;光纤传感技术;反射波谱;信号处理

中图分类号:TN25

文献标志码:A

FBG wavelength demodulation technology with double-edge average

GAO Xue-qing, JIANG De-sheng

(Key Laboratory of Fiber Optic Sensing Technology and Information Processing, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: The peak value of reflection spectrum can be measured and used as characteristic value for the central wavelength by sampling the reflection spectrum of FBG. With this method, a great deal of data need to be collected and processed, and the demodulation speed of the system is decreased. A simple but effective method is put forward to solve the problem. The analysis on FBG reflection spectrum indicates that the FBG reflection spectrum is very symmetrical. Based on this characteristic, the method to average the double edge of a wavelength is proposed for demodulating the central wavelength of FBG. The experiment proved that the demodulation system using this technique can process the reflection signal of FBG easily and obtain the central wavelength of FBG accurately. With this technique, the speed of demodulation for FBG sensing signal was improved.

Key words: FBG demodulation; fiber optic sensing technology; reflection spectrum; signal processing

引言

伴随着现代光纤通讯技术的发展,光纤传感技术这种新型信息技术应运而生(自 20 世纪 70 年代迅速发展起来)。它是光波为载体,光纤为媒质,感知和传输外界被测量信号的新型传感技术。当今

社会已进入了以光纤通信技术为主要特性的信息时代,光纤传感技术也代表了新一代传感器的发展趋势。

光纤光栅传感器对被测信息采用绝对波长量编码技术,免受电磁干扰和光强波动的影响,并且

收稿日期:2006-04-24; 修回日期:2006-06-01

基金项目:国家自然科学基金项目(60537050)

作者简介:高雪清(1965—),男,湖北人,高级工程师,主要从事光纤传感技术与信息处理方面的研究工作。E-mail:hxccagxq@sohu.com

容易在单根光纤上实现准分布式测量,因而备受关注^[1-2]。FBG 传感器走向实际应用要解决的关键技术有 2 项,一是 FBG 的制作技术,另一个是 FBG 波长解调技术。目前国内外的 FBG 制作技术都比较成熟,而波长解调技术是目前研究的热点和难点^[3]。光纤光栅波长解调技术包括 F-P (Fabry-Perot) 滤波器法、Mach-Zehnder 干涉法、可调波长激光器法以及光纤光栅匹配法等等^[4]。其中,可调谐 F-P 滤波法因为技术成熟、成本适中而在国内得到广泛应用。

在基于可调谐 F-P 滤波技术中,解调系统对反射波谱波形进行实时采样,通过数据比较找出峰值波长,以该峰值波长作为反射谱中心波长。本文提出以 FBG 反射谱双边边缘波长的平均值换算出 FBG 中心波长的方法,采用这种方法无须对 FBG 反射谱波形进行多次实时采样就可以通过简单的方法解调出 FBG 中心波长,极大地提高了波长解调速度。

1 解调方法

当宽带光源经过耦合器进入光纤光栅后,将有一个窄带光反射回来,窄带光中心波长满足条件:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (1)$$

式中: λ_B 为中心波长; n_{eff} 为 FBG 有效折射率; Λ 为光栅栅距^[5-6]。当被检测参数发生变化时, n_{eff} 和 (或) Λ 会发生变化,从而引起反射谱中心波长的变化。通过对中心波长的测算,传感系统可以检测出被测物理量的变化。

作为传感器 FBG 的反射谱可以很好地近似为高斯型,如(2)式:

$$B(\lambda) = b \exp\left[-4(\ln 2) \frac{(\lambda - \lambda_B)^2}{\Delta\lambda_B^2}\right] \quad (2)$$

式中: λ_B 为 FBG 的中心波长; b 和 $\Delta\lambda_B$ 分别为 FBG 高斯型的反射峰值和衰减达到峰值一半时的谱宽(FWHM)^[7-8]。可见 FBG 的反射谱是一个以中心波长为中心轴,左右对称的波形,如图 1 所示。

通过光谱仪观察,反射谱中存在一定的不对称现象,主要表现在反射谱底部在短波方向存在旁瓣(见图 3)。当将反射谱设定一个门槛值后,就可以滤掉一些小功率杂波和短波长方向的旁瓣,得到一个更完美的对称波形,对应于门槛与反射波谱的交点(如图 1 虚线所示),可以得到 2 个边缘波长值 λ_1 和 λ_2 , 均值的方法就是将反射谱中心波长设定为

$$\lambda_B = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad (3)$$

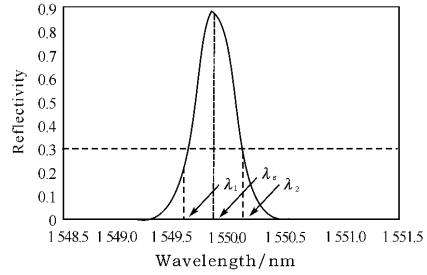


图 1 FBG 反射谱

Fig. 1 Reflection spectrum of FBG

实际应用中,通过数字信号处理器产生一个逐渐变化的三角波形作为调谐波,反射波经过光电转换和阈值处理后,得到一个标准的脉冲方波,如图 2 所示。

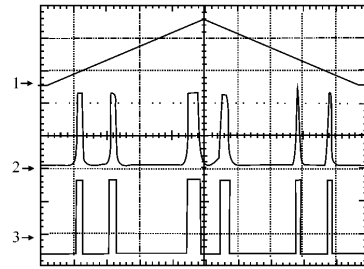


图 2 FBG 波长解调示波器图形

Fig. 2 Oscilloscope diagram of FBG wavelength demodulation

图 2 是在 Tektronix TDS2024 示波器上检测到的 6 个 FBG 传感信号经过光-电转换后的波形: 1 是调谐波; 2 是反射波形经过光-电转换后的波形; 3 是经过阈值处理后的标准脉冲方波。很显然,对应于标准脉冲方波的双边缘的调谐信号,就是反射波谱中的 λ_1 和 λ_2 对应的调谐信号。发出数字调谐信号的信号处理器,在标准脉冲方波发生跳变的时刻,采用中断或查询方式记录下双边缘数字调谐信号,通过均值计算得到反射波中心波长的数字调谐信号,进而使 FBG 反射波中心波长得到解调。

2 实验与讨论

实验中采用的 FBG 传感器中心波长为 1 291 nm, 经过封装后,温度灵敏度系数约为 28 pm/C, 反射谱阈值定在光功率为 15 nW 处。实验分两部分进行。

实验 1 是当反射波强度发生变化时,通过德国产光谱仪 ANDO AQ6317C, 比较采用双边缘均值

计算出的中心波长与实测中心波长的误差,如图3所示。

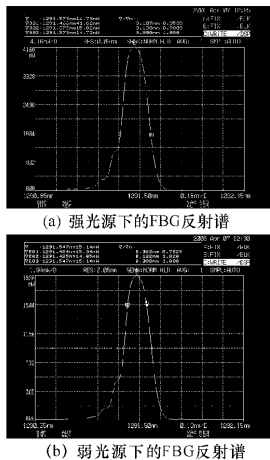


图3 强光源和弱光源下的FBG反射谱

Fig. 3 Reflection spectrum of FBG under powerful light source (a) and weak light source (b)

图3(a)中,反射波光功率为41.6 nW,相应的边缘波长 λ_1 和 λ_2 分别为1291.375 nm和1291.573 nm,计算得出的均值波长为1291.474 nm,与实测的中心波

长1291.466 nm相比较,误差为0.008 nm;当反射波光功率衰减到19.3 nW时,如图3(b)所示,相应的边缘波长 λ_1 和 λ_2 为1291.425 nm和1291.547 nm,计算得出均值波长为1291.486 nm,与实测的中心波长1291.484 nm相比,误差为0.002 nm。

实验2是将FBG传感器放置在可控的恒温槽中,调整不同的温度,使光栅的波长发生变化;观察当波长发生变化时,采用双边缘均值计算出的中心波长与实测中心波长的误差,如表1所示。

通过实验可以得出:

1) 通过设定一个合适的门槛可以剔除反射谱中杂波和短波长方向旁瓣的影响,使反射谱门槛值以上的波形具有很好的对称性;

2) 采用反射波双边缘均值的方法测算中心波长,其精度不受反射波光功率变化的影响,可以保证波长的静态测算精度;

3) 采用反射波双边缘均值的方法测算中心波长,其精度不受反射波波长变化的影响,这意味着采用这种方法可以保证波长的动态测算精度;

4) 若考虑到测量误差的影响(反射波双边缘的门槛值在实验中略有不同),采用反射波双边缘均值的方法测算中心波长,测算精度非常高。

表1 中心波长实测值与计算值比较

Table 1 Comparison of center wavelengths between calculated value and measured value

温度/°C	实测中心波长/nm	边缘波长 λ_1 /nm	边缘波长 λ_2 /nm	均值波长/nm	波长差值/nm
25	1291.500	1291.400	1291.616	1291.508	0.008
30	1291.618	1291.525	1291.723	1291.624	0.006
40	1291.892	1291.801	1292.001	1291.901	0.009
50	1292.173	1292.082	1292.282	1292.182	0.009
60	1292.456	1292.365	1292.565	1292.465	0.009
70	1292.748	1292.646	1292.847	1292.747	-0.001
80	1293.028	1292.932	1293.133	1293.033	0.005

3 结论

采用反射波双边缘均值的方法测算中心波长,在信号检测中不必对反射谱波形进行实时采样,而仅仅对反射谱的双边缘调谐信号进行采集;双边缘均值测算法,算法简单,对于中心波长的动、静态测算可以保证一定的精度。这些特点可以极大地提高解调系统信号检测和處理的能力,使解调系统可以对大量FBG传感信号进行高速解调和處理。目前,武汉理工光科股份有限公司生产的光纤 Bragg 光

栅波长解调仪就采用了上述方法,取得了很好的使用效果和经济效益。

参考文献:

[1] 陈长勇,乔学光,贾振安,等.基于光纤光栅级联调谐技术的波长检测系统[J].激光技术,2005,29(2): 150-152.

CHEN Chang-yong, QIAO Xue-guang, JIA Zhen-an, et al. Study on wavelength detection system based on tunable filters with a novel multiplexing

- structure[J]. Laser Technology, 2005,29(2): 150-152. (in Chinese)
- [2] PIETRO F, GIUSEPPE D N. On the possible use of optical fiber Bragg gratings as strain sensors for geodynamical monitoring[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2002,(37):115-130.
- [3] 黄俊斌,尹进,张心天,等. 波分复用分布式FBG传感网络[J]. 传感器技术,2003,22(12):9-11.
HUANG Jun-bin, YIN Jin, ZHANG Xin-tian, et al. WDM distributed FBG sensor network[J]. Journal of Transducer Technology, 2003, 22(12): 9-11. (in Chinese)
- [4] 李莹,张书练. 基于可调谐F-P滤波器的光纤光栅解调系统[J]. 激光技术,2005,29(3):237-240.
LI Ying, ZHANG Shu-lian. A novel fiber Bragg grating sensor interrogation system utilizing a tunable Fabry-Perot filter[J]. Laser Technology, 2005,29(3): 237-240. (in Chinese)
- [5] NOBUAKI T, KAZUTO Y, SUMIO T, et al. Development of an optical fiber hydrophone with Bragg grating[J]. Ultrasonics,2000,(38): 581-585.
- [6] STERKE C M, BRODERICK N G R, EGGLETON B J, et al. Nonline optics in fiber gratings [J]. Optical Fiber Technology,1996,(2):253-268.
- [7] FERREIRA L A,DIATZIKIS E V, MOREIRA P J, et al. Application of multimode laser diodes in the interrogation of fiber Bragg grating sensors [J]. Optical Fiber Technology, 2000,(6):365-387.
- [8] 范典,姜德生,梅加纯. 高速双边边缘光纤光栅波长解调技术[J]. 光子学报,2006,35(1):118-121.
FAN Dian, JIANG De-sheng, MEI Jia-chun. High-speed double-edged wavelength interrogation technology for fiber Bragg grating[J]. Acta Photonica Sinica, 2006,35(1):118-121. (in Chinese)
- [9] 丁雷,赵欢. 布拉格光栅传感信号的实时采集与分析[J]. 计算机技术与自动化,2004,23(1):97-99.
DING Lei, ZHAO Huan. The real-time sampling and analyzing of the signal of fiber Bragg grating sensors [J]. Computing Technology and Automation,2004,23(1):97-99. (in Chinese)
- [10] 李志全,许明妍,汤敬,等. 光纤光栅传感信号解调技术的研究[J]. 应用光学,2005,26(4):36-41.
LI Zhi-quan, XU Ming-yan, TANG Jing, et al. Study on techniques of signal demodulation in fiber Bragg grating sensing system[J]. Journal of Applied Optics, 2005, 26(4):36-41. (in Chinese)

德国将在未来战场上采取联合主动作战

联邦德国国防军已经开始积极组建联合火力支持队(JFST)来控制未来战场作战结果。

德国空军少校David Gesell 在Larkhill 皇家炮兵学院举行的Omega 进攻性空中支持会议上说,该工作是联邦德国国防军标志性项目,是德国武装部队改革的一部分,它反映了联军作战经验并介绍了联合火力支持的最新性能。

基本工作框架包括简介发射、电子战(EW)、陆军航空、海上和空中作战方法的实施应用,之后,联邦德国国防军正在研究一个平台上的炮兵前方观察员、迫击炮火力控制员、海军观察员以及空军控制员之间的联合能力,从而可以调动、协调和控制战场所有间接操作。联邦德国国防军目前提出方案的初步重点是在地对地和空对地的联合作战(在一个Puma 步兵履带运输车上安排双方的军官和军士)小型编队中,4人联合火力支持分队将分成2辆小型Fennek 轮式侦察车。

Puma 运输车上将安装用于协调各机动部队的甚高频无线电通信、一个Adler 炮兵指挥信息系统终端、将空军指挥与战术空中请求(TARN)链接在一起的战术卫星/高频无线电和用于地空通信的超高频/甚高频无线电。还装有可拆卸辅助无线电。Fennek 侦察车一方面适用于地对地通信(连接到Adler 数据网络,支持机动部队和火力支持话网),另一方面,还装有能进行地空通讯并与空军C2/TARN 连接的辅助无线电。

为使这些设备适用于JFST,设想Fennek 侦察车将安装激光目标指示器、昼夜瞄准具(具有热像、Seespot 性能)、桅杆式光电传感器(具有白昼、红外、热像和Seespot 观察性能)、激光标识器和激光测距仪。

(佚名 供稿)