

基于 LabVIEW 的光纤光栅传感的动态解调

胡辽林*, 张卫超, 华灯鑫, 汪丽, 狄慧鸽

(西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 西安 710048)

(* 通信作者电子邮箱 huliaolin@163.com)

摘要:设计了一种基于 LabVIEW 和可调谐光滤波器的光纤光栅传感动态解调系统。用 LabVIEW 编写虚拟仪器(VI)程序,通过硬件接口由计算机控制可调谐光滤波器,使其在固定波长范围内扫描;采集电路对光电转换后的信号进行采集并送到计算机中分析处理,得到传感信号的反射波长以获得应变变量。最后把传感解调系统的测试结果和光谱仪的测试结果进行比较,两者基本一致,说明了解调系统的设计是正确的。

关键词:光纤光栅;传感;解调;可调谐滤波器;LabVIEW

中图分类号: TN252; TP399 **文献标志码:** A

Dynamic demodulation of fiber Bragg grating sensing based on LabVIEW

HU Liaolin*, ZHANG Weichao, HUA Dengxin, WANG Li, DI Huige

(School of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi 710048, China)

Abstract: A dynamic Fiber Bragg Grating (FBG) sensing demodulation system was designed by using tunable optical filter based on LabVIEW. With the use of Visual Instrument (VI) program of LabVIEW software, tunable filter was controlled by a computer through hardware interface to scan the fixed wavelength range. Photoelectric signal was collected by acquisition circuits and sent to the computer to be analyzed, so reflection wavelength and FBG's strain could be obtained. Results of dynamic sensing demodulation experiments were identical with the results from spectrum analyzer, which has verified the correctness and feasibility of the designed scheme.

Key words: fiber Bragg grating; sensing; demodulation; tunable filter; LabVIEW

0 引言

光纤光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)传感器广泛用于应变和温度等参量的测量^[1]。当外界参量作用于光纤光栅时,其谐振波长会产生漂移,外界参量的变化和光栅的谐振波长变化有一定的对应关系。光纤光栅传感系统的解调就是检测光栅反射信号波长的变化,与光源的偏振态、相位和强度无关,对外界参量的测量精度主要由波长解调系统的精度决定^[2-10]。采用光谱仪虽然能够直接观测光纤光栅波长的变化,但此类仪器一般价格昂贵,很难用于工程实际。对于分布式光纤光栅传感阵列系统,通常要求解调系统具有很高的解调速度和精度,并可长期稳定工作。

本文设计了一种基于可调谐光滤波器的动态传感解调系统,通过 LabVIEW 编写虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)程序,采用计算机通过硬件接口控制光可调谐滤波器,使其在固定波长范围内扫描,由采集电路对光电转换后的信号进行采集并送到计算机分析处理,得到传感信号的反射波长,获得应变变量^[11-14]。最后把传感解调系统的实验结果和光谱仪测得的结果进行比较,以评定解调系统的性能。

1 光纤光栅传感动态解调的总体设计

光纤光栅传感解调系统的总体框图如图 1 所示。通过 LabVIEW 编写程序控制可调谐滤波器(OTF-930)工作,同时采集可调谐滤波器的数据信息和光电检测的信号信息,实现

数据的分析处理,获得传感解调信息。

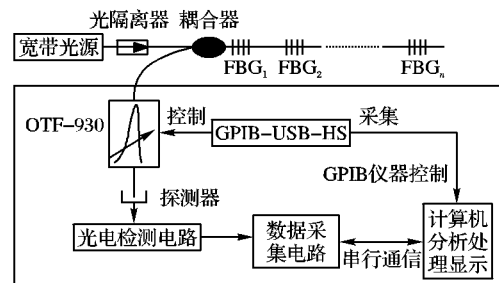


图 1 传感解调系统总体框图

实验时选用放大自发辐射(Amplified Spontaneous Emission, ASE)宽带光源作为系统光源,光通过光隔离器进入耦合器,再进入光纤光栅传感阵列。采用高反射率的光纤光栅作为传感元件,当光纤光栅的外界环境(温度或应变)发生变化时,其反射谱的中心波长也随之发生漂移。反射光波通过耦合器进入由通用接口总线(General-Purpose Interface Bus, GPIB)与计算机相连的可调谐光滤波器,当反射波中心波长与可调谐滤波器的中心波长重合时,输出光信号强度最大,光电探测器的输出电压也最大,此时可调谐滤波器的选通透射中心波长就是光栅反射波的中心波长。计算机通过硬件接口控制可调谐光滤波器,使其在固定波长范围内扫描,并实时记录数据;使用 LabVIEW 编写 VI 程序,控制计算机采集光电转换后的信号,图形化界面读取解调数据并处理。GPIB 控制器为 NI 公司生产的 GPIB-USB-HS 控制器,可调谐光滤波

收稿日期:2012-12-06;修回日期:2013-01-04。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61275185);陕西省教育厅科学研究计划项目(2010JK716)。

作者简介:胡辽林(1968-),男,四川岳池人,副教授,博士,主要研究方向:光纤传感、光纤通信;张卫超(1986-),男,陕西西安人,硕士,主要研究方向:光纤传感;华灯鑫(1964-),男,浙江萧山人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:激光雷达、光纤传感。

器为 SANTEC 公司的 OTF-930, 光电探测器为海特光电的 PIN3-07-13, 光电检测电路和数据采集电路均为自行设计。

2 系统的 LabVIEW 编程

在设计软件前, 首先能侦测到仪器, 保证计算机与仪器的正常通信。先对计算机与可调谐滤波器进行通信测试, 将 OTF-930 通过 GPIB-USB-HS 与计算机相连, 打开 NI 公司的设备管理 MAX (Measurement & Automation), 选中设备与接口 (Device and Interface) 下的 GPIB 设备, 扫描设备后便可看到已连接到 GPIB 卡上的仪器信息。仪器成功连接, 并不代表仪器能够正常响应指令, 还要使用仪器通信器进行测试。在 NI 488.2 通信器中, 可以对仪器写入命令, 然后再读取结果, 以测试仪器对命令响应是否成功。

在 LabVIEW 编程中, GPIB 仪器之间进行通信, 可以使用 VISA (Virtual Instrument Software Architecture) 函数或传统的 GPIB 函数。传统的 GPIB 函数比 VISA 标准早, 但使用复杂, 特殊应用时才使用它来进行 GPIB 仪器的通信, 一般情况下都使用 VISA。使用 VISA 可以使仪器之间的通信和设置大大简化, 只要在 VISA 资源字符串中告诉 VISA 仪器的物理连接类型和连接位置, 就可实现仪器通信。VISA 能控制各种仪器, 可根据仪器类型调用适当的仪器驱动程序。VISA 一般有 VISA 写入、VISA 读取、VISA 关闭等函数。对一个仪器操作完成后, 使用 VISA 关闭函数关闭资源接口, 释放系统内存资源。在进行仪器控制操作时, 通常是发送一个指令对其操作的同时读取其内部的状态, 以获知仪器是否工作正常。当控制指令比较多时, 写入和读取的操作非常繁杂, 通常把每个指令的读写操作作为一个子 VI 保存起来, 方便调用。LabVIEW 中通过 VI 层次结构可方便地查看各个 VI 之间的关系, 本文设计了 VI 程序的层次结构, 最终的解调应用程序是通过多次和多级调用子 VI 实现的, 包括控制指令子 VI、信号处理子 VI、输出显示和数据保存子 VI。

光纤光栅传感信号处理软件的流程如图 2 所示。可调谐滤波器的扫描输出和对应的检测电压峰值有一定的对应关系。在一个周期内扫描时, 检测到的电压是一组左右对称的波形, 而在编写软件时在每一个扫描周期内只是截取了前半周期 (上升部分) 的数据, 后续的数据分析处理比较方便, 波形输出更加直观清晰。为了更直观地看到采集到的扫描波长和检测电压之间的关系, 在获取两路信号的数据后, 先进行分析比对, 通

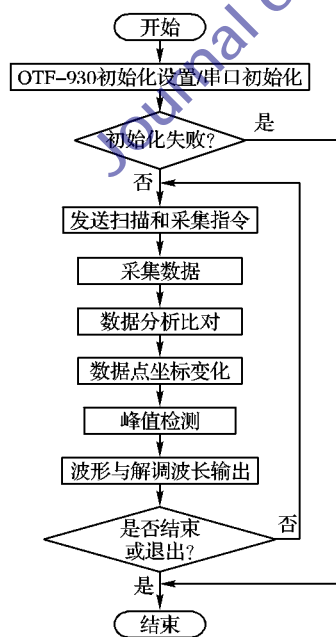


图 2 解调处理软件流程

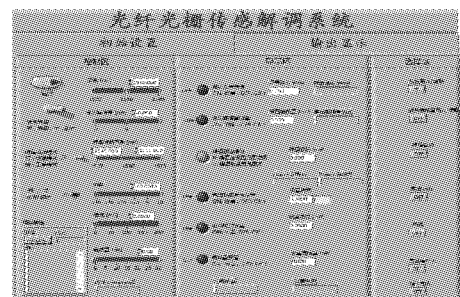
定。使用二次拟合查找波峰, 实际是在数据点之间进行插值, 这样可以减小噪声对峰值检测的影响, 从而更加准确地获得波长峰值信息。在峰值检测过程中还设置了阈值判断, 对于每个波峰, 二次拟合结果与设定的阈值进行比较, 低于阈值的波峰将被忽略。

3 系统测试

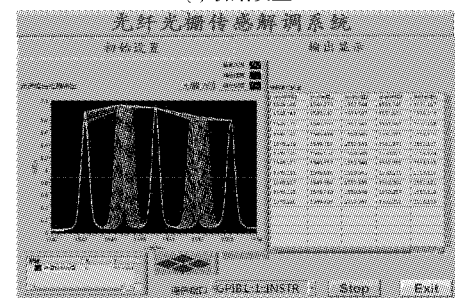
基于 LabVIEW 的动态解调系统设计完成后, 使用 5 根光纤光栅构成的传感阵列做悬臂梁应变实验, 验证系统设计是否正确。表 1 为实验用光纤光栅参数 (无载荷)。图 3 为光纤光栅传感解调系统的用户界面: 图 (a) 为仪器控制的初始设置, 包括工作方式、波长扫描范围等; 图 (b) 为波长解调的输出显示界面, 左边是添加砝码 (0~9 kg) 过程中输出的波形变化, 可以看出随着砝码的增加, 粘贴于悬臂梁的 FBG2 和 FBG4 的波长都向右 (长波长方向) 移动, 而其余三个处于自由状态的 FBG 的波长基本处于原位置, 波长没有发生变化。表 1 是解调得到的 5 根光纤光栅各自的中心波长, 从上到下依次对应加载 0~9 kg 砝码时的中心波长。

表 1 测试用光纤光栅参数

光纤光栅	出厂		实测	
	中心波长	3 dB 带宽	中心波长	3 dB 带宽
FBG1	1548.085	0.160	1548.137	0.161
FBG2	1549.279	0.160	1549.259	0.156
FBG3	1550.471	0.157	1550.542	0.160
FBG4	1551.733	0.150	1551.744	0.155
FBG5	1553.049	0.157	1553.121	0.159



(a) 初始设置



(b) 显示部分

图 3 传感解调系统用户界面

将图 3(b) 中检测波长输出表格中 FBG2 和 FBG4 的波长漂移量 $\Delta\lambda$ 与加载砝码的质量 m 线性拟合后如图 4 所示, 拟合方程分别为:

$$\Delta\lambda_2 = 48.8m - 8.0 \quad (1)$$

$$\Delta\lambda_4 = 56.8m - 3.8 \quad (2)$$

由 FBG2 和 FBG4 的拟合直线和拟合方程可以看出, 设计的解调系统对 FBG2 和 FBG4 的应变测量结果有很好的线性度, 线性系数分别为 48.8 pm/kg 和 56.8 pm/kg。取光纤光栅

的应变灵敏度 $K_\varepsilon = \Delta\lambda/\Delta\varepsilon = 1.2 \text{ pm}/\mu\varepsilon$, 将测量结果代入, 由解调系统得到 FBG2 和 FBG4 应变结果分别为 $40.7 \mu\varepsilon/\text{kg}$ 和 $47.3 \mu\varepsilon/\text{kg}$ 。由于光谱仪工作稳定, 测量精度高, 为了把解调系统的测量结果和光谱仪测量的结果进行比较, 使用光谱仪 AQ6317C 在相同加载条件下测量 FBG2 和 FBG4 各自的应变传感特性, 它们的波长漂移量随加载砝码质量的线性拟合如图 5 所示, 拟合方程分别为:

$$\Delta\lambda_2 = 47.5m + 4.8 \quad (3)$$

$$\Delta\lambda_4 = 56.1m + 0.9 \quad (4)$$

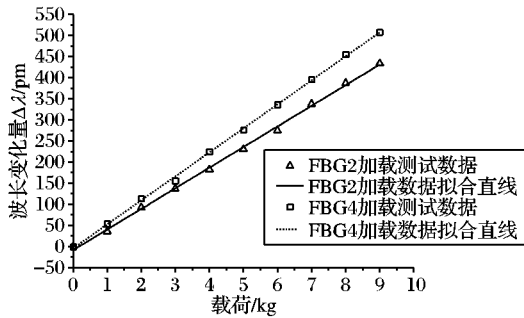


图4 FBG2与FBG4动态解调结果

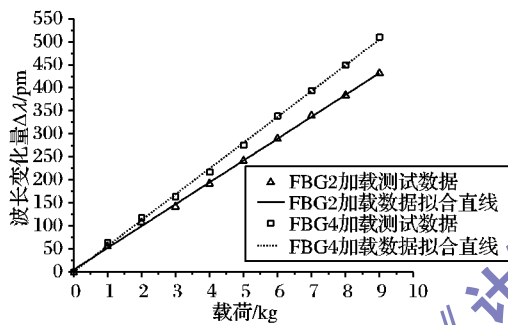


图5 用光谱仪测量 FBG2 和 FBG4 结果

光谱仪测量结果表明, FBG2 和 FBG4 的应变线性系数分别为 $47.5 \text{ pm}/\text{kg}$ 和 $56.1 \text{ pm}/\text{kg}$, 同理其应变特性分别为 $39.6 \mu\varepsilon/\text{kg}$ 和 $46.8 \mu\varepsilon/\text{kg}$ 。

通过设计的动态解调系统的测量结果和光谱仪的测量结果比较, 两者几乎一致, 细微的偏差是由于在动态测量时可调谐滤波器的非线性误差和其他因素引起的, 在以后的工作中将对其进行校正, 提高解调精度。

4 结语

根据光纤光栅传感光信号的特点, 设计了解调系统中的光电检测电路和信号采集电路, 利用 LabVIEW 编写 VI 程序,

通过硬件接口用计算机控制可调谐光滤波器, 使其在固定波长范围内扫描, 采集电路对光电转换后的信号进行采集后送到计算机中分析处理, 得到信号的反射波长, 最终获得应变量。测试结果表明, 解调系统的测量结果与光谱仪的测量结果几乎一致, 说明动态解调系统的设计是正确的。

参考文献:

- [1] MAJUMDER M, GANGOPADHYAY T K, CHAKRABORTY A K, *et al.* Fiber Bragg grating in structural health monitoring - present status and application[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2008, 147(1): 150 - 164.
- [2] NUNES L C S, VALENTE L C G, BRAGA A M B. Analysis of a demodulation system for fiber Bragg grating sensors using two fixed filters[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2004, 42(5): 529 - 542.
- [3] CRUNELLE C, WUILPART M, CAUCHETEUR C, *et al.* Original interrogation system for quasi-distributed FBG-based temperature sensor with fast demodulation technique[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2009, 150(1): 192 - 198.
- [4] 王敏, 乔学光, 贾振安, 等. 光纤布拉格光栅传感系统信号解调技术研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2004, 41(12): 54 - 58.
- [5] 张卫华, 童峥嵘, 苗银萍, 等. 基于倾斜光纤光栅的传感解调技术[J]. *纳米技术与精密工程*, 2008, 6(4): 284 - 287.
- [6] 乔学光, 冯宏飞, 贾振安, 等. 光纤光栅传感信号解调硬件电路的研究[J]. *光电子·激光*, 2009, 20(11): 1426 - 1429.
- [7] 詹亚歌, 裴金成, 杨熙春, 等. 双光栅匹配解调系统线性解调模型的研究[J]. *仪器仪表学报*, 2008, 29(12): 2612 - 2616.
- [8] 王云新, 刘铁根, 江俊峰. 便携式光纤 Bragg 光栅波长解调仪的研制[J]. *仪器仪表学报*, 2007, 28(6): 1104 - 1107.
- [9] LI E B, PENG G D, YAO J Q. Low-cost high-resolution wavelength demodulator for multi-channel dynamic FBG sensing[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2007, 28(1): 1 - 5.
- [10] ZHU P Y, DHILLON B S, LI X J, *et al.* Reliability analysis of an interrogation instrument for optical fiber Bragg grating sensing[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2008, 29(4): 673 - 678.
- [11] 陈明星, 朱灵, 张龙, 等. 基于 LabVIEW 的光纤傅里叶变换光谱仪数据处理技术[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(3): 488 - 492.
- [12] 邝业成, 余有龙, 胡亮, 等. 基于 LabVIEW 的光纤光栅传感干涉解调系统仿真设计[J]. *仪表技术与传感器*, 2008(4): 19 - 20.
- [13] 沈小燕, 林玉池, 付鲁华, 等. LabVIEW 实现光纤光栅传感解调[J]. *传感技术学报*, 2008, 21(1): 61 - 65.
- [14] 朱小平, 吴晓冬, 陈军. 基于 DWDM 和 LabVIEW 的新型光纤光栅传感技术[J]. *光学仪器*, 2004, 26(5): 21 - 25.

(上接第 1438 页)

- [5] BOYKOV Y Y, JOLLY M P. Interactive graph cuts for optimal boundary and region segmentation of objects in N-D images[C]// ICCV 2001: International Conference on Computer Vision. Vancouver, Canada: IEEE, 2001: 105 - 112.
- [6] ROTHER C, KOLMOGOROV V, BLAKE A. GrabCut - Interactive foreground extraction using iterated graph cuts[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004, 24(3): 309 - 314.
- [7] von NEUMANN J. Theory of self-reproducing automata [M]. Urbana-Champaign, Illinois, USA: University of Illinois Press, 1966
- [8] THOMAS C D. Evolution of cellular automata for image processing [D]. Birmingham, UK: University of Birmingham, 2000
- [9] VEZHNEVETS V, KONOUCHINE V. GrowCut - interactive multi-

label ND image segmentation by cellular automata [C]// *Graphicon-2005*. Novosibirsk Akademgorodok, Russia: [s. n.], 2006: 231 - 234.

- [10] GHOSH P, ANTANI S K, LONG R, *et al.* Unsupervised Grow-Cut: cellular automata-based medical image segmentation [C]// 2011 First IEEE International Conference on Healthcare Informatics, Imaging and Systems Biology. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 40 - 47.
- [11] 张新明, 李振云, 郑颖. 融合 Fisher 准则和势函数的多阈值图像分割[J]. *计算机应用*, 2012, 32(10): 2843 - 2847.
- [12] 康家银, 纪志诚. 利用 FCM 聚类结合直方图分析进行牙齿斑量化[J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(20): 213 - 215.