

基于边缘滤波的FBG解调系统

张纪花,王砚波,王喜昌

(烟台大学光电信息学院,山东 烟台 264005)

摘要:实现了一种基于边缘滤波的FBG解调系统,系统采用宽带光源、隔离器、分束器、FBG、耦合器及边缘滤波器等光学元件,来采集变化的光信号,同时设计光电探测器进行光电信号转换及放大滤波处理,并采用NI USB-6361进行数据采集,将模拟信号转换为数字信号,最后采用Labview进行处理,最终得出所要测量值。

关键词:边缘滤波;FBG;光电探测器;NI USB-6361

中图分类号:TN256

文献标识码:A

文章编号:1673-1255-(2012)02-0014-03

FBG Demodulation System Based on Edge Filter

ZHANG Ji-hua, WANG Yan-bo, WANG Xi-chang

(College of Electro-optical Information Science and Technology, Yantai University, Yantai 264005, China)

Abstract: A fiber Bragg grating (FBG) demodulation system based on the edge filter is introduced, it uses several optical components, including broadband light source, isolator, beam splitter, FBG, coupler and edge filter to collect the change light signals. At the same time, a photoelectric detector is designed to complete the photoelectric signal conversion, and NI USB-6361 is adopted for the data acquisition and analog-to-digital conversion. The measured value is obtained by Labview.

Key words: edge filter; FBG (Fiber Bragg Grating); photoelectric detector; NI USB-6361

光纤 Bragg 光栅(FBG)自1989年首次被 Morey 用作传感以来^[1],在世界范围内光纤光栅传感器受到了广泛的重视,同时也得到了快速持续的发展,区别于传统应变传感器如压电陶瓷应变计、电阻应变片等,它具有寿命长、体积小、抗腐蚀、抗电磁干扰、结构简单等优点^[2],可很好地实现传感信息波长编码及参量绝对测量,从而为很多实际应用领域提供了有力的技术手段,目前对光纤光栅传感技术的研究已发展到了实际工程应用阶段^[3]。

多种物理量,如温度、应变、压力、加速度及强磁场等,均可采用光纤光栅传感器进行检测^[4],原理是相同的,即光纤光栅的中心波长偏移由待测的外界参量变化引起。基于这一思想,设计了基于边缘滤波的FBG解调系统,结构简单,光强探测,具有成本

低、易使用、响应快、功耗小等特点。

1 原理

1.1 FBG传感原理

光纤光栅的中心反射波长 λ_B 可表示为

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

式中, n_{eff} 为光栅的有效折射率, Λ 为光栅的周期。

当应变、温度等外界环境因素变化时,相应的参数 Λ 和 n_{eff} 会发生相应改变,从而引起 λ_B 的偏移。假定温度和应变引起的中心反射波长 λ_B 变化是独立的,则光纤光栅的中心反射波长 λ_B 变化为^[5]

$$\Delta\lambda_B = \alpha_\epsilon\Delta\epsilon + \alpha_T\Delta T \quad (2)$$

其中, α_ϵ 为光纤光栅的应变灵敏度系数; α_T 为温度

灵敏度系数; $\Delta\epsilon$ 为应变的变化量; ΔT 为温度变化量。外界温度变化信号作用于光栅时,就会导致光栅反射波长的变化,温度信息通过检测光强信号前后的变化即可得到^[6,7]。

1.2 解调原理

对于FBG解调,本系统采用边缘滤波检测法,这种方法利用边缘滤波器对光波长响应函数的线性,使得波长信息转变为强度信息。耦合器将传感光栅反射光等功率分成两部分,其一在进入探测器前先进入边缘滤波器,另一部分直接进入探测器放大,作为参考信号,其滤波曲线为

$$F(\lambda) = A(\lambda - \lambda_0) \quad (3)$$

式中, A 为线性滤波器斜率; λ_0 为零输出时的波长; 即 $F(\lambda_0) = 0$ 。当光纤光栅反射谱的移动范围处于滤波曲线线性区间内时,可根据式(3)得到传感光栅中心反射波长^[8,9]。

边缘滤波基本原理如图1所示。FBG的反射谱近似可以用高斯函数表示,光电探测器可探测到图1b中阴影部分信号的面积,即光强。外界温度发生变化时,FBG反射中心波长将发生变化,从而光电探测器探测到的光强也将随之变化^[10]。

图2所示即为系统解调原理框图,系统所用的宽

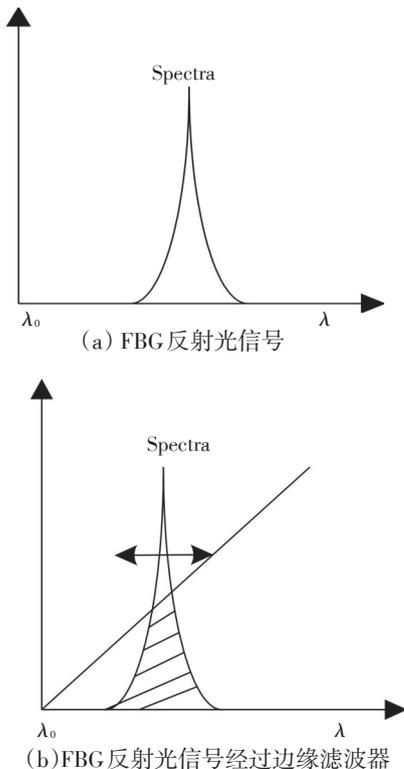


图1 边缘滤波器的滤波原理

带光源带宽为 1 520~1 570 nm,其发生的光经过隔离器,再经过 3 dB 耦合器 1 后经过 FBG,FBG 反射的光信号再经由 3 dB 耦合器 2 分为两束,一束直接送入光电探测器作为参考信号,得到参考光强信号;另一束通过边缘滤波器再送入光电探测器,得到变化的光强信号。当被测量温度发生变化时,FBG 反射波长会发生变化,同时通过边缘滤波器后的光强也会发生变化,再通过光电转换转变成电信号,然后利用 NI USB-6361 对两路电压信号进行采集,模数转换后采用上位机上 LABVIEW 进行处理,得到所要温度值。

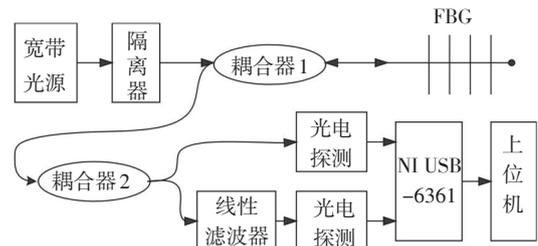


图2 系统解调原理框图

2 解调系统硬件设计

整个系统分为光路部分和电路部分。光路部分有宽带光源、隔离器、耦合器、光纤光栅传感器、边缘滤波器;电路部分包括光电转换与滤波放大部分,NI USB-6361,最后系统采用上位机进行数据处理。

2.1 光电转换及放大滤波电路

由光电探测器探测到的光功率信号非常微弱,需要通过电路的放大和滤波处理,才能被送到后级电路进行处理,光电转换前置放大电路的作用就是将光探测器输出的微弱电信号进行预处理,从噪声中提取有用信号并将其放大到所要求的电压幅度继续由后续处理器处理。系统中采用 InGaAs PIN 光电二极管作为光电探测器,在 1 100~1 650 nm 范围内其都具有良好的线性输出,封装为 FC / APC 拔插式;一级运放采用宽带单 J-FET 运算放大器 LF356,其具有低失调电压漂移、低失调电压和低噪声等性能特点,光电转换前置放大电路如图 3 所示。

如图 3 所示,光电二极管 $D1$ 和运算放大器 LF356N 的反向端相连,使得光电二极管处于无偏置的光伏模式,提高了灵敏度。

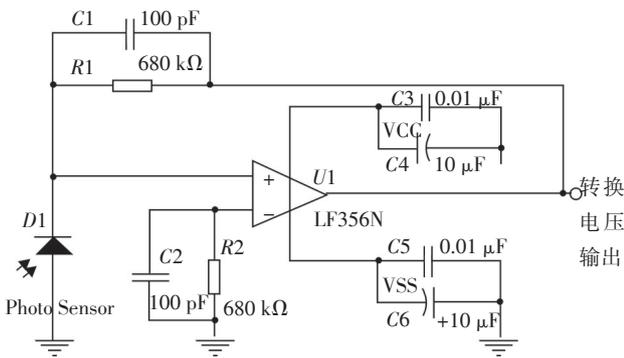


图3 光电转换的前置放大电路

二级放大电路采用低噪声J-FET双运算放大器TL072,具有高转换速率,低输入偏置及失调电流,以及低失调电压温度系数等性能,主放大及有源滤波电路如图4所示。

如图4所示,主放大电路采用同向比例放大电路进行两级放大,电阻R6和R10为反馈电阻,为了便于调试,R6采用阻值可调的电位器,通过调节电位器R6的阻值可以改变U2A运放电路的电压放大倍数^[11,12]。

光电探测电路须用金属外壳屏蔽,同时为了减少泄漏电流,还应注意线路板布线,必要时可悬浮

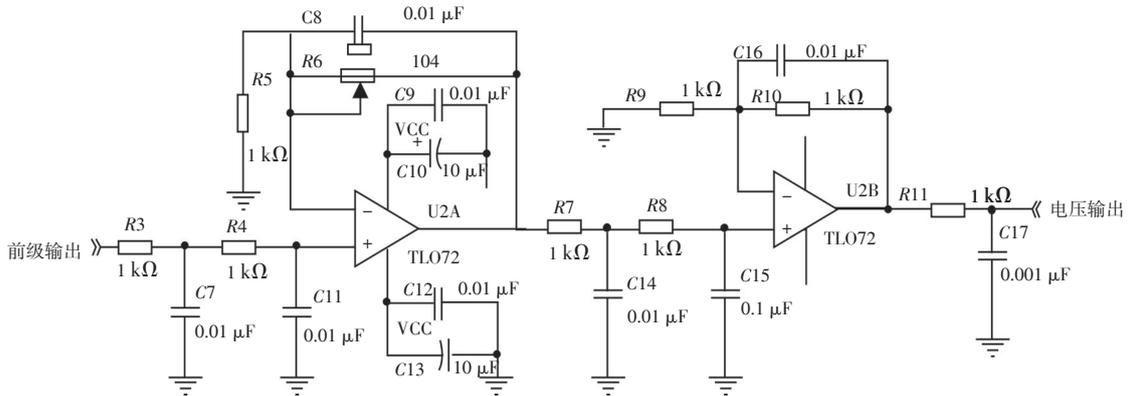


图4 主放大及有源滤波电路

PIN 光电二极管及反馈电阻,直接连接运放,从而减小泄漏电流,提高检测灵敏度。光电探测电路完成的是对微弱信号的放大,因此所需要的电源电路应具有高稳定度、低纹波等特性。

分束器,系统选用的光纤光栅中心波长为1 540 nm,采用电热恒温干燥箱对FBG进行加热,当边缘滤波器所处环境温度为15 °C时,可得到实验初步结果如图5所示。

2.2 数据采集

USB总线具有很多优点,如传输速度快、连接灵活、携带方便等,因此非常适合于现场测试,系统中,数据采集设备采用美国NI USB-6361数据采集模块,将探测处理的模拟信号转换为数字信号,这是一款X系列的数据采集模块,支持16路模拟输入通道输入,和2路模拟输出,2.86 MS/s,16位分辨率,±10 V;NI-DAQmx驱动程序和测量服务软件提供了简单易用的配置及编程界面,以USB-6361为硬件平台,借助其提供的USB接口和NI-DAQmx驱动软件,采用Labview图形化编程语言编程,完成数据采集功能^[13]。

3 上位机处理及实验初步结果

在系统中,光纤光栅解调系统的程序采用Labview来编写,宽带光源的波长范围为1 520~1 570 nm,光源功率设置为208.96 mW,并在系统中使用光

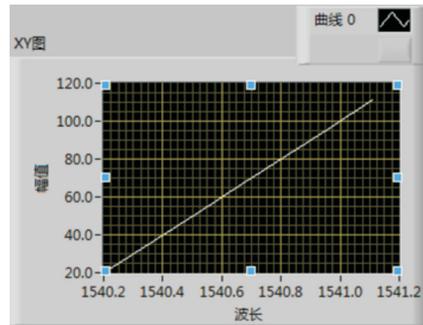


图5 FBG波长与温度的关系

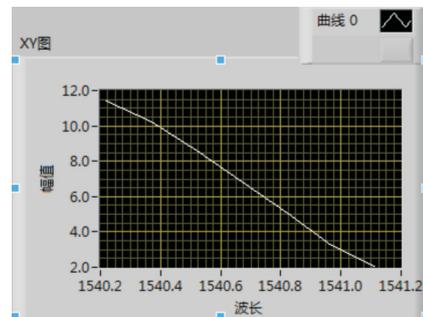


图6 信号比值与FBG波长的关系

(下转第82页)

[4] 姚禄玖. 烟幕理论与测试技术[M]. 北京:国防工业出版社.

(上接第16页)

信号经过NI USB-6361的采集后,由Labview处理,图6所示即为参考信号与探测信号的比值随光纤光栅波长变化的关系,这两路信号是由耦合器等功率分成,一路经过滤波器后被探测电路探测放大,作为探测信号,另一路直接经过探测电路,作为参考信号,而如图6所示,光纤光栅波长的变化是随着温度的变化而变化的,因此可以由其对对应关系得出所测环境温度。

4 结束语

FBG解调方案各有其优缺点,可根据场合的不同需要选择使用。在基于边缘滤波的FBG解调系统中,光源本身的强度波动及所处环境温度的变化会给系统测量带来不必要的影响,系统中通过引入参考光路消除了这种影响,同时系统体积可以做得很小。但它的分辨率不高,而且滤波曲线的线性近似会造成一定的误差,同时系统及实验过程中其他器件也会造成一定的影响,从而导致所得结果精度不高。文中所介绍的解调方案还需要在实验中不断改进和完善,以达到最优解调效果。

参考文献

[1] MOREY W W. Fiber optic Bragg grating sensors [C]//Proc SPIE, 1989, 1169:98-107.

(上接第20页)

- [8] 徐光辉. 基于FPGA的嵌入式开发与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [9] 田耕,徐文波. Xilinx FPGA开发实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [10] Xilinx 文档. 用户指南《UG018 (VxWorks2.1),PowerPC 440 Processor Block Reference Guide,Embedded Development Kit》,2005.

[5] 刘国生.微米铜粉对红外、10.6 μm激光的衰减性能研究[J]. 激光与红外,2009,39(6).

- [2] KERSEY A D,DAVIS M A. Progress towards the development of practical fiber Bragg grating instrumentation systems[C]//SPIE, 1996, 2839:40-63.
- [3] 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.
- [4] 胡勇勤.光纤光栅传感器的解调方法的研究[J]. 自动化与仪器仪表,2004,(5):11-14.
- [5] 李宏男,李东升,赵柏东.光纤健康监测方法在土木工程中的研究与应用发展[J]. 地震工程与工程震动,2002,22(6):76-83.
- [6] 刘杰,于海鹰,霍佃恒,等. 基于光纤光栅的加速度传感系统研究[J]. 山东建筑大学学报, 2009, 24(3): 203-207.
- [7] 赵勇. 光纤光栅及其传感技术[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [8] 康彦深,王友波,张栋,等. 基于WPM的高精度光纤 Bragg 温度传感系统研究与设计[J]. 仪表技术与传感器, 2010, (6): 12-15.
- [9] 周倩,宁提纲.光纤光栅传感器信号解调方法的研究[J].光通信技术,2010,(8):8-12.
- [10] 杜佳楠,刘泊. 基于MSP430单片机的光纤光栅匹配解调系统[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(增刊1): 16-19.
- [11] 杨素行. 模拟电子技术基础简明教程[M]. 3版. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [12] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 3版. 北京:高等教育出版社, 2001.
- [13] 孙玲. 基于USB-6281的高速数据采集系统的设计[J]. 电子设计工程, 2010, 18(11): 169-172.
- [11] 杨强浩. 基于嵌入式EDK的FPGA嵌入式系统开发[M]. 北京:机械工业出版社,2007:47-50.
- [12] 王静,刘蒙.基于FPGA的高可靠接口模块设计[J].光电技术应用,2009,24(1):58-61.