

·光电系统与·设计·

FBG 光纤传感器的同步探测技术

赵溪林,程航,刘涛,郭奉凯

(烟台大学光电信息学院,山东 烟台 364005)

摘要:光纤光栅传感解调系统的波长校准技术是人们关注的焦点,通常是将固定波长的FBG固定在恒温箱中,以此作为光纤光栅传感解调系统的参考元件.此方法占用了宽带光源的某个波长范围,从而制约了解调系统的波长扫描范围.构建的光纤光栅传感解调系统,将FP滤波器的驱动锯齿信号转变为方波信号,以此作为同步处理所需参考信号,省去了这个固定波长的FBG传感器,充分地利用了宽带光源的波长范围,并使得解调技术简单,同时提高了外接FBG传感器的数量.

关键词:光纤光栅;FP滤波器;同步处理技术

中图分类号:TN256

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2010)01-0016-03

Synchronous Detection Technology of FBG Optical Fiber Sensor

ZHAO Xi-lin, CHENG Hang, LIU Tao, GUO Feng-kai

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

Abstract: Fiber Bragg Grating Sensor Demodulation System for wavelength calibration technology is the focus of attention, usually FBG sensor with fixed wavelength is fixed in a constant temperature box, as a fiber Bragg grating sensor demodulation system's reference components. This method takes up a broadband light source wavelength range, thereby constraining the scope of the wavelength scanning of the demodulation system. The fiber Bragg grating sensor demodulation system was built, which can change the filter driver Saw FP signal into a square wave signal as a reference signal needed for synchronization processing, eliminating the need for the fixed-wavelength FBG sensors, fully using the broadband light source wavelength range, and making the demodulation technique to become simple, while increasing the number of external FBG sensors.

Key words: fiber bragg grating; FP filters; synchronous processing technology

目前,如何提高光纤光栅传感解调技术的测量范围、测量分辨率以及测量速度是制约光纤光栅传感技术广泛发展的因素.在国内外已经报道的解调方法有:非平衡 Mach-Zehnde 干涉仪解调法、波分复用(WDM)光纤耦合器解调法、锁模解调法及可调谐 Fabry-Perot 滤波器解调法等等^[1].现在比较广泛采用的是 FBG 滤波器解调方法,但无一例外地采用固定波长的 FBG 传感器作为参考元件^[2].文中设计的这套光纤光栅解调仪,首次将 FP 滤波器的驱动锯齿信号转变为方波信号,以此作为同步处理所需参考信号,省去了固定波长的 FBG 作为参考元件.波

长扫描范围为 1 525~1 570 nm,采用分辨率可以达到皮米量级,成本适中,可以满足大部分工程应用的要求.

1 工作原理

光路原理图见图 1.由宽带光源发出的光经过隔离器,耦合器后进入光纤光栅,满足特定波长的光将分别被光纤光栅 FBG1,FBG2,⋯,FBG_n 以及固定光栅 FBG0 反射并沿原路返回,经过耦合器后进入可调谐 FP 滤波器,由于可调谐滤波器对通过光波具有选择作用.因此,光电探测器将探测到与各个

收稿日期:2009-12-20

作者简介:赵溪林(1985-),男,山东诸城人,硕士研究生,主要研究方向为光纤光栅传感解调.

波长相对应的多个透峰、波形发生电路产生锯齿波,驱动可调谐 FP 滤波器的压电陶瓷,进行腔长扫描,FBG1,FBG2,⋯,FBGn 所对应的波长位移量即是所对应的外界物理变化量.光电探测器探测到的光信号经放大、整形后传给信号处理模块,然后通过解调出对应的光信号就能得到外界信号的物理变化量^[3].

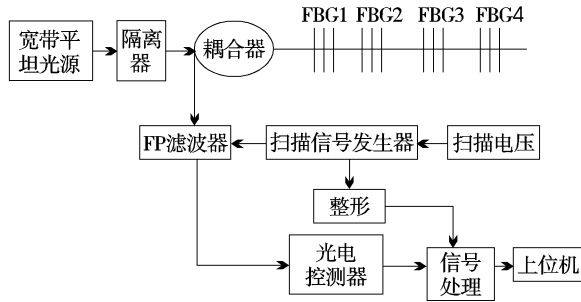


图 1 光路原理框图

2 硬件电路设计

2.1 FP 滤波器的解调原理

对于 FP 滤波器,通过调节腔长可选择不同透过波长.因为 FP 是由压电陶瓷驱动,因此,周期性地施加电压来改变腔长,则可实现对确定区域的波

长进行周期性的滤波扫描.选用具有一定带宽的 FP 滤波器,施加均匀的周期性的锯齿波,则滤波器在自由行程内进行波长扫描时的波长范围能够覆盖整个传感光纤光栅的波长,然后将传感光栅的信号滤波后经线性光电转换器转换成电信号,经放大后作为扫描信号的起始依据.传送到示波器不仅可以对 FBG 传感单元的波长信息进行依次扫描,而且将所测波长信息与漂移前波长信息进行比较,利用得到各传感单元的波长漂移量与所测量间的变化关系,则可判断出对应传感元件所感测物理变化的大小,实现解调.

2.2 FP 滤波器驱动信号的电路结构

可调谐 FP 滤波器驱动信号的电路如图 2,主要由 ICL8038、LM358 组成. ICL8038 集成函数发生器是美国英特西尔公司的产品,具有频率范围宽、频率稳定度高、外围电路简单、输出波形失真小、占空比调节范围宽等特点,它可以产生 $0.001 \sim 3 \times 10^5$ Hz 高质量的正弦波、矩形波、三角波等函数波形. ICL8038 产生的三角波,经过 LM358 运算放大器后,变为幅度可以通过可调电阻 R11 调节的信号,基准电平可以通过可调电阻 R9 调节.

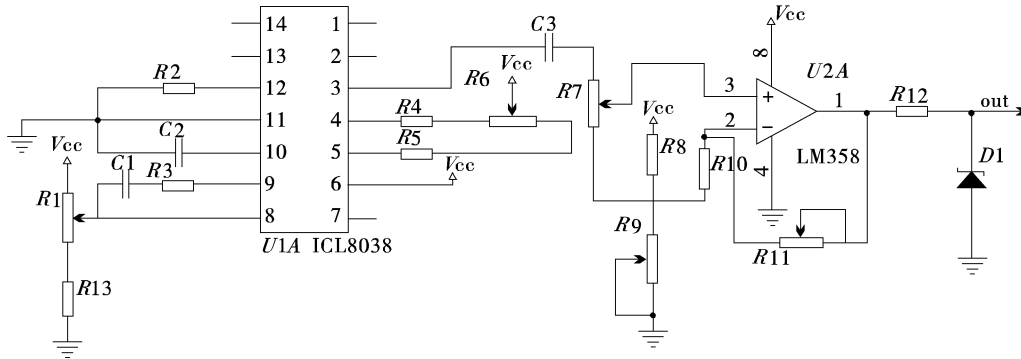


图 2 FP 滤波器驱动信号的电路原理图

2.3 同步处理信号电路结构

同步处理信号电路见图 3,图 3 中的“Input”代表 FP 滤波器驱动的三角波信号,经电容 C1 滤波,LM358 构成的同相比例运算,将三角波的直流电平消掉,并将三角波信号的幅度放大,即 $U_1 = \frac{1}{2} \times (1 + \frac{R_3}{R_2}) V_i$,并且是关于地对称的.此信号输入到由 U1A 构成的滞回比较器,从 U1A 集成运放输

出端的限幅电路可以看出, $U_2 = +3.3$ V,集成运放反相输入端电位为 $U_n = V_i$,同相输入端电位为 $\frac{R_5}{R_5 + R_6} \cdot U_2$,因为运放的两输入端“虚短路”,即 $U_n = U_p$,求出 V_i 就是阈值电压 UT : $UT = \frac{R_5}{R_5 + R_6} U_2$,可以通过合理的调节 R5、R6 得到想要的不同阈值电压 UT.假设 $U_1 < -UT$,那么 U_n 一定小于 U_p ,因而输出端 $U_2 = +3.3$ V,只有当输入电压 U_1 增大到 $+UT$ 后,那么 U_n 一定大于 U_p ,

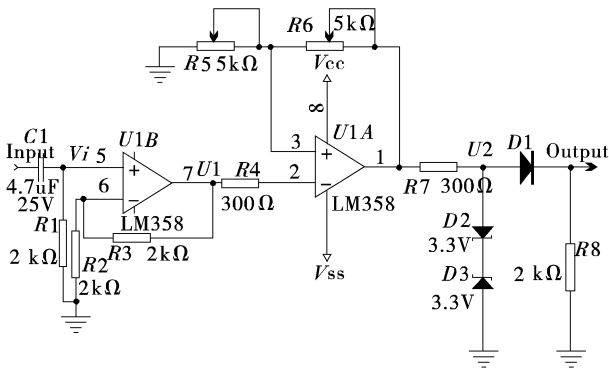


图 3 同步处理信号电路原理图

输出端 $U2 = -3.3\text{ V}$ ， $U2$ 经 $D1$ 半波整流（高电平导通，低电平截止）后，Output 输出端，就是想要的方波信号，作为同步处理信号^[5]。图 4 所示为通过示波器观察到的图形，通道 2 是输入的三角波，频率为 100 Hz。通道 1 所示就是要参考的同步处理信号。

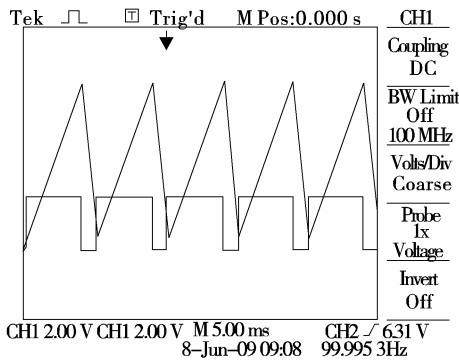


图 4 同步处理信号

3 上位机检测信号的方法

FBG 传感器信号经光电探测器转换为电信号传给上位机时，由于其信号很微弱几乎淹没在外界噪声中，因此，当编写上位机的程序时，要根据不同信号、不同的要求，以及不同的条件采用不同的检测方法。以使用窄带滤波器为例，窄带滤波器滤掉宽带噪声并只让窄带宽信号通过。外界的噪声一般为高斯白噪声，以对 $1/f$ 噪声进行分析为例。设 $1/f$ 噪声，其功率谱密度为 $K_0(1/f)$ 通过带宽 $B = f_2 - f_1$ 的滤波器后，则输出噪声的电压均方值为

$$E_{no}^2 = \int_{f_1}^{f_2} K_v^2 [K_0 \frac{1}{f}] df = K_v^2 K_0 L_n (1 + \frac{B}{f_1}) \quad (1)$$

通过式(1)可以看出 B 越小，既带宽越窄，则噪声电压均方值就越小，抑制噪声的能力就越强。可以把信

号检测出来，对于任何单个脉冲信号带宽可认为 Δt ，为了检测单次信号，滤波器 $B \geq \Delta f = 1/\Delta t$ ，且信号比改善 $SNIR \leq \Delta f m \Delta t$ ($\Delta f m$ 为噪声带宽)。

4 实验初步结果

实验中，室内温度为 $23.3\text{ }^\circ\text{C}$ ，宽带光源的波长范围为 $1\ 550 \sim 1\ 570\ \text{nm}$ ，FP 滤波器驱动信号电压为 $3 \sim 22\ \text{V}$ ，频率调低到 17 Hz，如通道 1 所示。外界 3 个 FBG 传感器波长分别为： $1\ 539$ 、 $1\ 541$ 、 $1\ 546\ \text{nm}$ 。探测到的 FBG 传感波形如图 5 中的通道 2 所示。

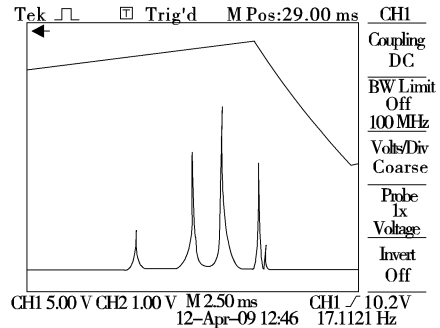


图 5 FP 滤波器驱动信号以及光电探测信号

5 结束语

在分析了传统的采用 FP 滤波器和固定波长的 FBG 作为参考元件的解调方法后，提出了将 FP 滤波器的驱动信号变为方波信号，作为同步处理信号，完全省去了固定波长的 FBG 参考元件，同时成功地利用了宽带光源的波长范围。实验表明，此方法完全满足设计要求。

参考文献

- [1] 赵勇. 光纤光栅及其传感技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 沈卫国, 肖立志, 张元中, 等. 基于单片机实现 FBG 传感器的数据采集[J]. 仪器仪表学报, 2006, S1(6): 122 - 124.
- [3] 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.
- [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] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.