

基于 LabVIEW 的 FBG 应变解调信号 数据采集与处理方法*

吴小蓉¹ 顾金良¹ 刘明² 夏言¹

(1. 南京理工大学瞬态物理国家重点实验室 南京 210094; 2. 内蒙古北方重工业集团有限公司 包头 014033)

摘要: 为了简化光纤布拉格光栅应变测试解调,提出了基于 LabVIEW 的应变测试系统数据采集软件的构架框架和流程以及数据分析处理软件的流程。首先介绍了光纤布拉格光栅传感器的测试原理,其次结合实际测量情况确定了基于三步移相解调算法的光纤布拉格光栅波长解调方案,对具有周期性的相位进行相位解包,得到实际与应变成线性关系的相位值,最终解算出应变变量。最后,采用悬臂梁与电阻应变仪试验进行验证。

关键词: 光纤布拉格光栅; LabVIEW; 数据采集; 数据处理; 应变测试

中图分类号: TP302 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Data acquisition and processing of FBG strain signal based on LabVIEW

Wu Xiaorong¹ Gu Jinliang¹ Liu Ming² Xia Yan¹

(1. National Key Laboratory of Transient Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Inner Mongolia North Heavy Industries Group Corp. Ltd, Baotou 014033, China)

Abstract: In order to simplify the fiber Bragg grating strain test demodulation, this paper presents a LabVIEW-based strain test system data acquisition software and data analysis and processing software. Firstly, the test principle of the fiber Bragg grating sensor is introduced. Secondly, the fiber Bragg grating wavelength demodulation scheme based on the three-step phase shift demodulation algorithm is determined according to the actual measurement. The phase unwrapping phase phase is solved and the actual Into a linear relationship between the phase value, the final solution of the strain. Finally, the cantilever beam and resistance strain gauge test to verify.

Keywords: fiber Bragg grating; LabVIEW; data acquisition; data processing; strain testing

0 引言

光纤布拉格光栅作为一种波长调制性的传感器,可以将外界待测的变化量转换为其反射波长的变化量,具有抗电磁干扰能力强,灵敏度系数高、电绝缘性好等特点^[1-4],常被用于应变量的测试,而应变解调信号的数据采集和数据处理是整个系统的重要环节。由美国 NI 公司开发的 LabVIEW 是虚拟仪器领域中极具代表性的图形编辑开发编程语言,使用传统的编程语言比如 C、C++ 等编写程序需要花费大量的时间,而使用 LabVIEW 只需要几个小时就可以完成。使用 LabVIEW 可根据需要创建所需的任何类型的虚拟仪器,当需求变化时,可以马上修改虚拟仪器,大大节约了成本^[5-7]。对于光纤布拉格光栅应变解调系统的解调算法部分通过软件编写实现,提高了解调系统的稳

定性。因此本文提出了一种基于 LabVIEW 的应变解调信号的数据采集和数据处理方法。

1 光纤光栅应变测试系统

1.1 测试原理

光纤布拉格光栅传感器在埋入材料或粘贴在材料表面时,外界的压力、温度等测量作用于光纤使得光纤的中心波长发生偏移^[8-9],通过对偏移量的解调能感知外界的信息,从而实现了对外界待测量的测量。

1.2 测试系统构成

如图 1 所示,测试系统主要是以悬臂梁产生的应变量为测试对象建立的光纤布拉格光栅应变测试系统。由系统框图可知首先由 ASE 宽带光源发出光信号,通过光隔离器,使得光信号反相输入时基本无光功率输出。经过光隔离的光信号到达 1×8 耦合器, 1×8 耦合器将光信号均分

为 8 路光信号,每一路光信号再经过 2×2 耦合器到达粘贴在悬臂梁结构上的光纤布拉格光栅,其反射光再次通过 2×2 耦合器进入由 2×2 耦合器和 3×3 耦合器构成的非平衡 M-Z 干涉仪中。当外界压力作用于悬臂梁的自由端时,光纤布拉格光栅会与悬臂梁表面都发生弯曲,产生轴向形变,使得反射回来的光中心波长发生了变化,从而导致了干涉信号的相位发生变化。通过 pin 管将光信号转换为电信号,通过调理电路进行多级放大,然后数据采集卡进行数据采集后送至上位机进行数据处理,最终得到待测的应变变量^[10-12]。

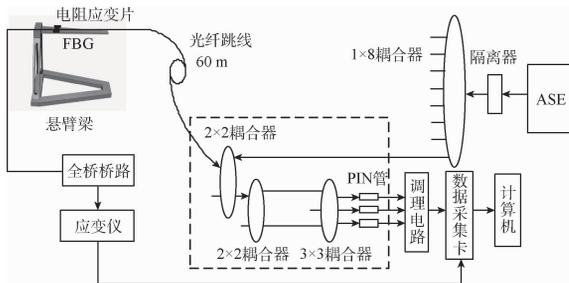


图 1 应变测试系统框图

2 解调数据采集软件设计

数据采集^[13]的对象是放大之后的电压信号。带有应变成分的光信号经过光电二级管进行光电转换,由于光信号很微弱,则需要进行多级放大电路进行放大便于数据采集。首先对数据采集卡进行各种设置和测试,数据采集卡采用的是 NI 公司的 PXI5105,这款数据采集卡的最大采样率为 60 MHz,满足奈奎斯特采样定律,可以不失真的对电信号进行采集,除此之外单个数据采集卡具有 8 个独立的用于时域和频域分析的 12 位输入采集通道以及大于 72 dBc 的无杂散动态范围,每个独立通道具有从 50 mVpp~30 Vpp 的可选输入范围以及 $50 \Omega \sim 1 M\Omega$ 的可选输入阻抗。通过调用 NI-DAQ 的函数直接实现数据采集软件的编写。数据采集软件架构框如图 2 所示。

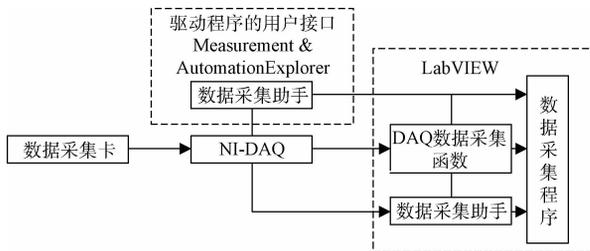


图 2 数据采集软件架构框图

由图 3 数据采集界面所示,需要设置通道量程、采样率、采样时间、触发方式、触发电平、触发沿及等待触发时间等参数,然后进行数据采集,数据采集完成后在数据采集软件界面上显示实时的数据并且保存存盘。数据采集流程如图 4

所示。将超时时间设置为 10 s,若超时,采集程序停止。

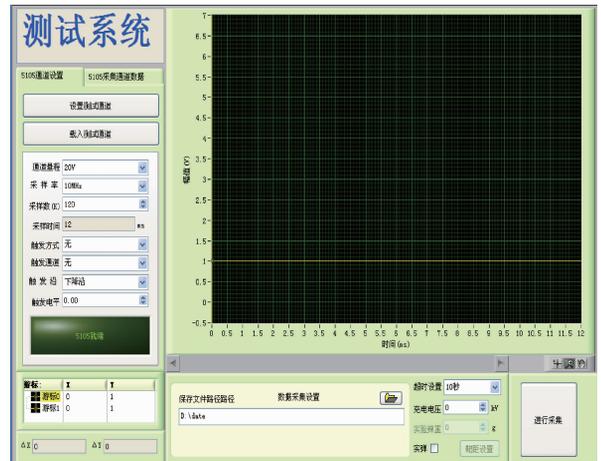


图 3 数据采集界面

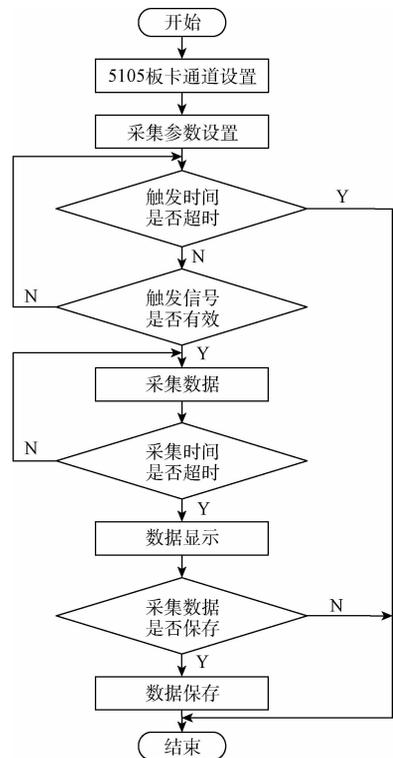


图 4 数据采集流程

3 解调数据处理软件设计

数据处理实现的功能是将采集到的电压信号还原为应变变量,软件设计的程序流程如图 5 所示。首先载入一个通道的采集数据波形,然后进行滤波处理,接着进行相位提取和相位解包将三路数据波形转变为一路相位的变化,最后通过应变拉伸系数 K_{e1} 将相位进一步转变为实际应变的大小。根据这些思想设计的软件界面如图 6 所示。

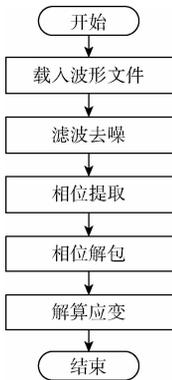


图 5 数据处理流程



图 6 数据处理界面

数据处理软件的采用 3 步移相算法实现。首先将采集的三组电压信号根据公式^[14]：

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\sqrt{3}(I_1 - I_3)}{2I_2 - I_1 - I_3}\right)$$

进行解算,可得到相位的大小。由于反三角函数存在多值性,不进行相位解包处理的情况下提取的相位值总是在 $\pm 90^\circ$ 范围内呈周期性变化,无法解算出实际的相位,还需进行相位解包。

相位解包的基本算法思想为:在进行相位解包之前,测试点的应变不断增大时,解调相位 φ 从 $-90^\circ \sim +90^\circ$ 逐渐增加,并在到达 $+90^\circ$ 时瞬间跳变为 -90° ,然后继续增加。因此,当采集到的数据之间相差大于 100° 时,从跳变数据开始之后在它后面的数据依次加 π ,即为 $\varphi_r = \varphi + \pi$ 。当测试点的应变减少时,情况正好相反,参照应变增加的解包思想即能还原出实际的相位值。

4 实验结果与分析

本次测试实验研究采用的光纤光栅为 1 550 nm 的掺锗石英光纤刻写而成,它的应变灵敏度系数 k_ε 为 1.209 pm/ $\mu\varepsilon$,运用压电陶瓷的逆压电效应标定方法得到第一测试通道的应变拉伸系数 $K_{\varepsilon 1} = 0.15^\circ/\mu\varepsilon$ ^[15]。

为了验证应变测试系统的准确性以及解调软件的正确

性,对悬臂梁上同一点的应变采用光纤布拉格光栅和电阻应变片进行对比试验,如图 1 所示。当外界压力作用于悬臂梁的自由端时,悬臂梁表面会发生弯曲,光纤布拉格光栅感应到相应的应变,产生轴向形变,通过解调系统输出电压信号。电阻应变仪在悬臂梁表面也能检测到相应的应变,通过电阻应变仪输出检测到的应变。最后将两者的应变进行对比。在进行测试系统的数据采集时,采集软件采样频率设置为 10 MHz,采样时间设置为 12 ms,触发方式设置为模拟下降沿触发,等待触发时间设置为 10 ms,触发电平设置为 1 V。图 7 所示为光纤布拉格光栅应变测试系统解调出的应变量和电阻应变仪测应变量的对比。

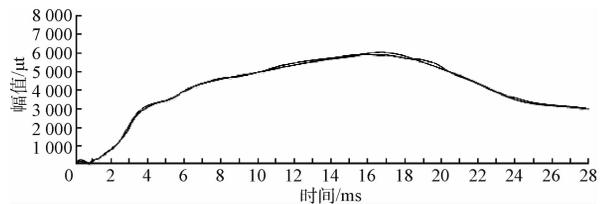


图 7 应变解调系统解调出的应变量和电阻应变仪测应变量的对比

从图 7 中可以看出光纤布拉格光栅应变系统解调出的应变曲线与电阻应变仪所测的应变曲线非常相似,但存在一定的偏差。这是因为光纤布拉格光栅传感器灵敏性很高,对环境的影响非常敏感,所以造成了检测到的动态应变和电阻应变仪检测到的应变存在一定误差,但是两者存在的误差很小,证明应变测试系统的软件设计具有一定的可靠性和实效性。

5 结 论

本文提出采用 LabVIEW 图形编辑开发平台来实现光纤布拉格光栅应变解调信号的数据采集与处理,大大简化了源程序的复杂程度,使得源代码更加直观。通过悬臂梁应变测试实验结果可知,本文研究的应变测试系统以及数据采集和处理程序具有较好的实用性和可靠性,为接下来的研究鉴定了良好基础。

参考文献

- [1] 王志国. 光纤 Bragg 光栅应变检测技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2011.
- [2] LI J Z, SUN B C, DU Y L. Union self-compensated packaging of FBG strain sensor[J]. Optoelectronics Letters, 2014, 10(1): 30-33.
- [3] 吴晶, 吴晗平, 黄俊斌. 光纤光栅传感信号解调技术研究进展[J]. 中国光学, 2014, 7(4): 519-531.
- [4] 徐国权, 熊代余. 光纤光栅传感技术在工程中的应用[J]. 中国光学, 2013, 6(3): 306-317.
- [5] 马新强, 姜光辉, 黄丹羽, 等. 基于 LabVIEW 的梁分

- 布动载荷识别系统设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(12): 83-87.
- [6] 沈岚. 基于 Labview 编程的光纤应变数据采集与处理系统的设计[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2010.
- [7] 邱银瑞. 基于 LabVIEW 的光纤布喇格光栅传感信号解调系统的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2011.
- [8] 钱牧云, 余有龙, 李慧, 等. 基于光纤光栅的机械手指触滑觉传感研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4): 730-736.
- [9] KERROUCHE A, LEIGHTON J, BOYLE W J O, et al. Strain measurement on a rail bridge loaded to failure using a fiber Bragg grating-based distributed sensor system [J]. IEEE Sensors Journal, 2009, 8(12): 2059-2065.
- [10] 周琳. 光纤 Bragg 光栅瞬态应变信号检测技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [11] 何勇, 李建欣, 朱日宏. 炮管瞬态应变测试仪[J]. 东南大学学报, 2009, 39(S2): 20-25.
- [12] 任宇. 光纤光栅传感器解调系统设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [13] 王力. 基于 LabVIEW 的高速数据采集系统的软硬件设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [14] 吴小蓉, 顾金良, 王康, 等. 基于耦合器的 FBG 应变解调系统[J]. 光通信技术, 2016, 40(1): 19-21.
- [15] 王康, 顾金良, 罗红娥. 布拉格光栅应变测试系统的动态标定[J]. 应用光学, 2015(6): 913-917.

作者简介

吴小蓉, 硕士研究生, 主要研究方向为传感技术与应用。
E-mail: 398846001@qq.com