

光纤布拉格光栅超大容量传感网络分析仪

汤小娇

(唐山学院 机电工程系, 河北 唐山 063000)

摘要:根据大型复杂结构的监测需求,研究了超大容量光纤布拉格光栅传感网络的传感器查询与波长解调原理,基于虚拟仪器技术设计了光纤光栅传感网络系统。虚拟仪器软件实现了信号分析与处理、网络通信、数据存储等功能。经实验验证,该分析仪单台仪器的测量点数达到 1 000 点以上,应变量程 $\pm 800 \times 10^{-6}$,温度量程 $\pm 100^\circ\text{C}$ 。

关键词:光纤布拉格光栅;超大容量;传感网络;虚拟仪器

中图分类号:TN247 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-349X(2011)03-0021-02

Super Capacity Sensing Network Analyzer of Fiber Bragg Grating

TANG Xiao-jiao

(Department of Electrical & Mechanical Engineering, Tangshan College, Tangshan 063000, China)

Abstract: According to the requirement of large complex structure monitoring, research has been done about the principle of sensor detection and wavelength demodulation in super capacity fiber Bragg grating (FBG) sensing network and the system of fiber Bragg grating (FBG) sensing network has been designed based on virtual instrument. The functions of signal analysis and processing, network communications and data storage are realized by Virtual Instrument Software. Experimentation has proved that the single analyzer can measure more than 1000 points, the strain range of the equipment is $\pm 800 \times 10^{-6}$ and the temperature range of the equipment is $\pm 100^\circ\text{C}$.

Key Words: fiber Bragg grating; super capacity; sensing net; virtual instrument

0 引言

光纤光栅是在光纤内形成一种空间周期性折射率分布的光纤,根据光纤光栅周期的长短,通常把周期小于 $1 \mu\text{m}$ 的光纤光栅称为短周期光纤光栅,又称为光纤布拉格光栅(fiber Bragg grating—FBG)^[1]。光纤布拉格光栅目前在通讯、传感领域应用广泛。采用光纤布拉格光栅作为传感元件的主要优势之一,是可以在单路光纤制作上百个传感器,组成大型分布式监控网络,因此特别适合工程实践中迫切需要的大型复杂结构的安全监测,例如水坝、隧道的变形监测,电力、石化等设备的多点测温等^[2]。分析仪是 FBG 传感网络的核心设备,目前现有 FBG 传感网络分析仪容量不够,而在大型测试网络中需要多台分析仪协同工作,因此使得系统结构复杂、性能降低、成本提高。笔者研究了高速解调的软件算法,应用虚拟仪器技术开发了功能丰富、性能可靠、结构坚固的超大容量传感网络分析仪。

1 系统硬件设计

超大容量 FBG 传感网络分析仪的硬件结构原理如图 1 所示。采用放大自发辐射(ASE)高功率宽带光源,经光转换开关切换接通 1 路标准波长信号和第 1 组 7 路 FBG 传感器。FBG 传感器反射回的光经过 3 dB 耦合器引入到可调谐 F-P(法布里—珀罗)腔中,滤波后再由光探测器转换为电信号,电转换开关把 8 路信号一起接入数据采集卡,信号被模数转换后由 LabVIEW 程序进行分析处理,得到被测量的物理量以后进行显示、存储和传输。第 1 组传感器信号采样以后,由程序控制光转换开关和电转换开关依次切换到后面各组传感器。

可调谐 F-P 腔是系统的关键部件之一,来自 FBG 的反射光入射到 F-P 腔,出射光汇聚到探测器上。利用可调谐 F-P 腔对 FBG 波长进行解调,具有体积小、价格低、灵敏度高、光能利用率高、并能直接将波长信号转换为电信号的特

收稿日期:2011-03-03

作者简介:汤小娇(1971-),女,副教授,硕士,主要从事先进测控技术的教学与研究工作。

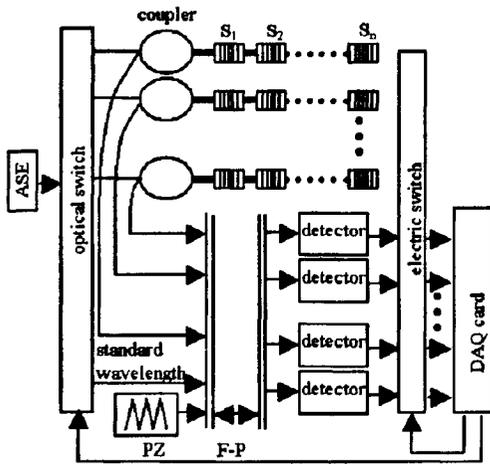


图 1 超大容量 FBG 传感网络分析仪硬件结构原理

点。构成 F-P 腔的两个高反射镜一个固定,另一个可以在外力的作用下移动。PZT(压电换能器)在外加电动势的作用下可产生形变,给 PZT 施加一个扫描电压使其产生伸缩,驱动 F-P 腔长变化,从而使 F-P 腔的透射波长随之发生改变。若入射光波长与 F-P 腔的透射波长重合,则探测器能探测到最大光强。本文采用虚拟仪器技术对电信号进行处理。虚拟仪器的硬件可以采用 PCI,USB 或 PXI 等各种总线的数据采集卡,其中采用 PXI-4472 多通道同步数据采集卡,不仅能保持参考光和 FBG 反射光的正确相位关系,而且内部带有抗混滤波器和高达 24 位的分辨率,可以实现精密的测量;每通道 200 k 的采样率足够满足应变和温度的测试速度要求。

仪器总容量为 $P=N \times 7 \times n$ 。N 是 FBG 组数,设计 $N=10$;n 是每路串接 FBG 数,设计 $n=20$;因此设计总容量为 $P=10 \times 7 \times 20=1400$ 点。系统工作在 1520 nm~1570 nm 这 50 nm 的窗口范围内,因为 $n=20$,所以每个 FBG 波长间隔 2.5 nm。根据温度变换因子 10 pm/°C,应变变换因子 $1.2 \text{ pm}/10^{-6}$,再考虑到 FBG 的制造误差和留有适当的安全裕度,确定设备温度量程 $\pm 100^\circ\text{C}$,应变量程 $\pm 800 \times 10^{-6}$ 。

2 仪器软件设计

对于庞大的数据采集和数据处理工作,超大容量 FBG 传感网络分析仪的虚拟仪器软件采取了分时数据传输、分页数据管理方式。系统将所有数据按 3 维数组进行组织,每个通道的数据为数组中的一行,每组传感器的数据为数组中的一页。数据传输和数据处理放在程序中两个独立运行的线程中,线程之间的通信采用队列技术。采集数据的程序每次将一组传感器的数据写入这组传感器独占的一个数据队列;处理数据的程序分别读出各队列的数据,并将读过的数据擦除。这样解决了大量数据处理与工作速度要求的矛盾,而且数据的实时显示、历史趋势分析、分级报警,以及存储、远传都非常容易管理,超大容量 FBG 传感网络分析仪主程序框图如图 2 所示。

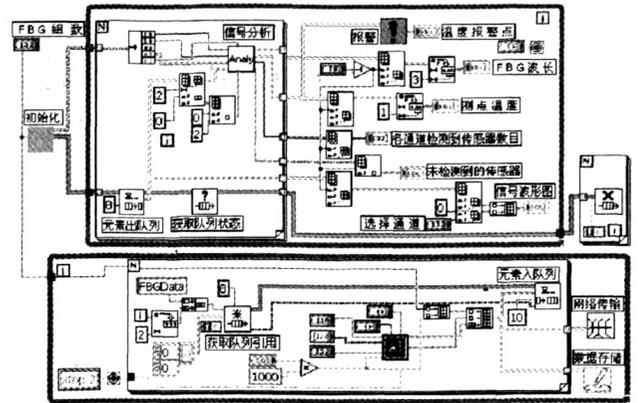


图 2 超大容量 FBG 传感网络分析仪主程序框图

由于光纤布拉格光栅传感器是通过外界参量对其布拉格中心波长的调制来获取传感信息的,因此是一种波长调制型传感器。FBG 分析仪器的核心任务是查询传感网络上每个传感器并对其进行波长节调。从光探测器采集到的 FBG 信号的形式是光强分布的时间序列,它的每个波峰来自一个传感器,根据波峰在时间序列中的序号,可以寻址到每一个传感器。将传感器波峰与参考光波峰位置对比可以进行每一个传感器的波长解调。将传感器实际波长与原始波长对比就得到在被测量影响下的波长偏移,从而解出被测量的物理量。本文用 LabVIEW 的“以阈值插值—维数组”函数求得每个传感器波峰在标准波峰位置序列中的分数索引值,按照此索引值用 LabVIEW 的“一维数组插值”函数在标准波长序列中插值得到波长数值,进而求出被测量,完成 FBG 传感器的分析。FBG 信号波峰定位的程序框图如图 3 所示。

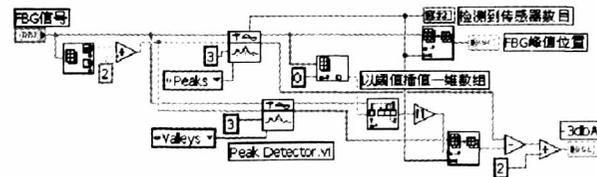


图 3 FBG 信号波峰定位程序框图

程序中用 LabVIEW 的“信号处理→信号运算”函数子选板的“波峰检测(Peak Detector)”VI 在输入的 FBG 信号序列中查找每个峰值的位置和幅度^[3]。Peak Detector VI 的“阈值”参数设置为 FBG 信号最大值的二分之一,“宽度”参数设置为 3。Peak Detector VI 用指定“宽度”内的数据拟合一段二次曲线,根据拟合曲线定位波峰位置。

显然“宽度”的不同会影响波峰定位的精度,根据试验,取 -3 dB 功率的位置拟合曲线定位波峰比较准确。因此我们设计的算法是在用波峰检测 VI 查找“Peaks”初步确定波峰位置以后,再根据初步确定的波峰位置求每个波峰和与它相邻的波谷(Valley)幅值之差,以此差值的二分之一,即 0.5 倍电压幅值以上的数据做为拟合宽度二次定(下转第 25 页)

换, 不仅增加了破矿成本, 而且降低了生产率, 增大了工人劳动强度, 因此, 提高颧板耐磨性问题已引起了人们的重视。北京冶金设备研究院为河南黄河金矿生产了一批高铬铸铁颧板, 用于破碎金矿石, 使用寿命是高锰钢的三倍以上。江西科学研究所研制的高铬铸铁颧板在游坑钨矿试用表明, 其耐磨性比高锰钢提高两倍以上^[4]。

4 高铬铸铁的发展

高铬铸铁中总是希望得到(Cr, Fe)₇C₃ 碳化物, 以增加高铬铸铁的耐磨性。合金元素钛、铌的加入, 可以细化碳化物, 改善过高铬铸铁的力学性能和耐磨性, 但用合金元素细化过共晶高铬铸铁时, 合金元素的加入量并不是越多越好。目前对钛、铌加入量研究和应用的报道很少, 因此, 合金元素加入量的精细控制, 及其对高铬铸铁性能的影响将成为研究的方向。

高铬铸铁以其优越的耐磨性得到了越来越广泛的应用, 但高铬铸铁生产成本高, 探索新工艺新方法, 在满足使用条件下, 降低成本亦将成为研究的方向。

参考文献:

[1] 苏元机. 特高铬铸铁的研制及其在磨球中的应用[J]. 广西轻工业, 2010(1): 17-18.
 [2] 子澍. 展望高铬铸铁的发展[J]. 铸造技术, 2008, 29(10): 14-17.
 [3] 陈祖欣. 高铬铸铁的应用[J]. 有色金属(选矿部分), 1991(2): 32-33.
 [4] 符寒光, 吴建中, 许军. 高铬铸铁在矿山行业应用的进

展[J]. 四川有色金属, 1995(3): 40-44.

[5] 符寒光, 陈补高. 高铬铸铁在冶金行业的应用[J]. 钢铁研究, 1990(4): 101-102.
 [6] 杨威, 潘健, 黄智泉. 高铬铸铁合金研究与发展的探讨[J]. 新世纪水泥导报, 2010(1): 42-45.
 [7] 智小慧, 韩彦军, 彭纪云, 等. 钛细化过共晶高铬铸铁的研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2008, 37(1): 101-103.
 [8] 朱洪波, 周文彬, 华勤, 等. 高铬铸铁中铌的研究综述[J]. 上海金属, 2010, 32(1): 43-45.
 [9] 徐流杰, 魏世忠, 邢建东, 等. 高碳化物铁碳合金的磨粒磨损性能研究[J]. 金属热处理, 2006, 31(12): 38-39.
 [10] 郑中甫, 孟祥东, 张茂勋, 等. 淬火温度及保温时间对低碳高铬铸铁耐磨性能的影响[J]. 现代铸铁, 2006(6): 38-40.
 [11] 管一非, 高立爱, 刘江义. 球磨机用高铬铸铁球的变质处理工艺研究[J]. 机械管理开放, 2005(2): 8-9.
 [12] 方斌. 高铬铸铁磨球的生产工艺[J]. 中国铸造装备与技术, 2011(1): 23-24.
 [13] 宛农, 董建新, 谢锡善. 渣浆泵过流件用高铬铸铁材料特性分析与选择[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(6): 223-226.
 [14] 蒋业华, 李祖来, 戚亭, 等. 氧化铝矿用渣浆泵过流件高铬铸铁 Cr28 的腐蚀磨损性能[J]. 铸造技术, 2006, 27(4): 333-336.

(责任编辑: 李聪明)

(上接第 22 页)位波峰。这样显著降低了信号中的噪声对波峰定位的影响。用同样的方法定位标准波长信号中各个波峰的位置。标准波长信号中包含 52 个波峰, 对应的波长为 1 520 nm~1 570 nm。因此标准波峰的位置就是 1 520 nm~1 570 nm 之间的波长标记。用求得的每个传感器波峰在标准波峰位置序列中的分数索引值, 在标准波长序列中插值得到波长数值。实际波长位置与标准状态下标定得到的初始波长位置对比, 再乘以一个转换系数, 就可以求出被测量, 完成 FBG 传感器的解调。FBG 信号波长解调程序框图如图 4 所示。

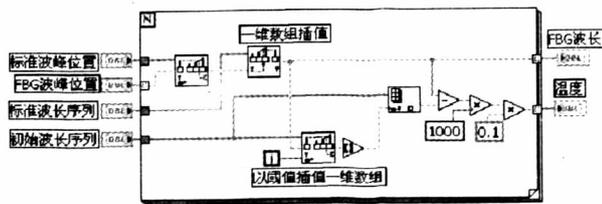


图 4 FBG 信号波长解调程序框图

3 结论

鉴于目前 FBG 传感网络分析仪容量不能满足复杂结构工程需求的现状, 本人设计了超大容量光纤光栅传感网络分析仪, 它采用虚拟仪器技术, 不仅使光纤光栅传感网络的数据采集、分析、显示等功能更加完善, 而且实现了海量数据的自动存储、管理、检索, 以及多种形式的远程传输和共享。通过实验验证, 单台仪器的测量点数达到 1 000 点以上, 分析速度在 1 s 之内, 波长分辨率为 ±10 pm, 应变量程 ±800 × 10⁻⁶, 温度量程 ±100℃, 能够满足大型复杂结构监测的工程要求, 具有良好的应用前景。

参考文献:

[1] 常天英, 贾磊, 隋青美. 基于虚拟仪器的光纤光栅温度传感系统设计[J]. 半导体光电, 2008, 29(1): 140-142.
 [2] 滕峰成, 蔡亚楠, 李志全, 等. 一种改进型光纤光栅振动检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 17-19.
 [3] 雷振山. LabVIEW 7 Express 实用技术教程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004: 211-215.

(责任编辑: 夏玉玲)

微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



微波射频测量仪器操作培训课程合集

搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>