

基于虚拟仪器的超大容量光纤光栅传感网络分析仪

汤小娇¹, 雷振山¹, 戴世杰²

(1. 唐山学院 唐山市机电一体化重点实验室, 河北 唐山 063000; 2. 河北工业大学 机器人及自动化研究所, 天津 300130)

摘要: 根据大型复杂结构监测的工程需求, 研究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, 设计了与虚拟仪器技术相结合的系统模型; 在信号分析与处理、网络通信、数据存储等主要环节提出了与超大容量光纤光栅传感网络分析相适应的技术方案。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 $\pm 800 \times 10^{-6}$, 温度量程 ± 100 °C。实验表明, 仪器的量程、精度、速度等指标均满足工程实践的要求。

关键词: 光纤布拉格光栅; 传感网络; 超大容量; 分析仪; 虚拟仪器

中图分类号: TP212.2; TN247 文献标志码: A 文章编号: 1671-024X(2011)03-0065-04

Super capacity fiber bragg grating sensing net analyzer based on virtual instrument

TANG Xiao-jiao¹, LEI Zhen-shan¹, DAI Shi-jie²

(1. Tangshan Key Laboratory of Mechantronics, Tangshan College, Tangshan 063000, China; 2. Institute of Robotics and Automation, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: According to the requirement of large complex structure monitoring, the principle of sensor detection and wavelength demodulation in super capacity fiber Bragg grating (FBG) sensing net was researched, and a model of the system that based on virtual instrument was designed. The technology scheme were proposed which adapt to super capacity FBG sensing net in main aspect, for example, signal processing, communication, data storage, etc. By experimentation, the single equipment can measure exceed 1 000 points, and the time to analyze those sensor is less than 1 s, the equipment gives a wavelength accuracy of about ± 10 pm, the strain range the equipment can measure is $\pm 800 \times 10^{-6}$, the temperature range the equipment can measure is ± 100 °C. The results show that the range, precision and velocity of the instrument can all meet the engineering practice demands.

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

采用光纤布拉格光栅(FBG-fiber Bragg grating)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^[1-2]。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,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。本文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的传感网络分析仪。以LabVIEW

为代表的虚拟仪器融合了现代信号处理理论与网络通信、数据库存储等方面的计算机技术最新成果,采用高效率的图形编程方式和良好的软硬件集成环境,是超大容量传感网络分析设备理想的开发平台^[3]。

1 系统结构原理

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ASE(放大自发辐射)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

收稿日期: 2011-04-08 基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2007000118)

通信作者: 汤小娇(1971—),女,硕士,副教授。E-mail: xiaojiaotang@sina.com

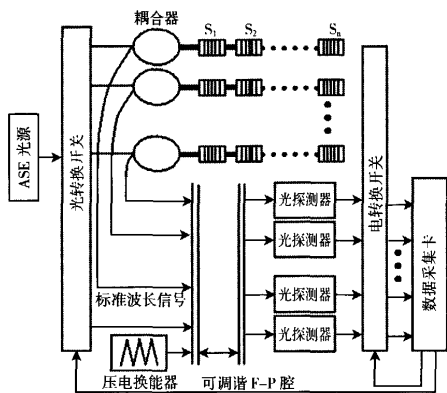


图 1 超大容量 FBG 传感网络分析仪硬件结构原理

Fig.1 Principle of hardware structure of super capacity FBG sensing net analyze instrument

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^[4],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、能直接将波长信号转换为电信号的特点^[5-6]。构成 F-P 腔的 2 个高反射镜一个固定,另一个可以在外力的作用下移动。压电换能器(PZT)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,可以实现精密地测量;每通道 100 kS/s 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 $P=N \times 7 \times n$ 。其中: N 是 FBG 组数,设计 $N=10$;7 代表每组 7 路信号; 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 1 520~1 570 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 $10 \text{ pm}/^\circ\text{C}$,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,确定设备温度量程为 $\pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$,应变变量程为 $\pm 800 \times 10^{-6}$ 。

2 信号分析与处理

FBG 分析仪器的核心任务是查询到传感网络上每个传感器并对其进行波长解调。图 2 所示为光探测器采集到的 FBG 信号,其表现形式是光强分布的时间序列。

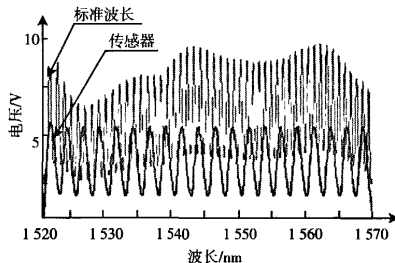


图 2 标准波长和传感器的信号

Fig.2 Signal of standard wavelength and sensors

图 2 中粗线是传感器信号,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;细线是作为参考的标准波长信号,每个波峰代表一个标准波长。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。

采用虚拟仪器进行信号分析主要是准确定位每一个波峰在时间序列中的位置和精确对比 FBG 传感器波峰位置与参考光波峰位置。对于在时间序列中检测波峰位置,LabVIEW 软件开发环境提供的“波峰检测”函数可以根据指定的阈值从输入信号序列中查找到每个峰值的位置和幅度。这个函数的算法是对一组数据拟合一个二次多项式,用拟合曲线定位波峰,这样就降低了信号中的噪声对波峰定位的影响,如图 3 中 a 点所示。拟合曲线所用的数据量由“宽度”参数确定。拟合以后高度小于“阈值”参数的波峰被忽略掉。

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。

图 4 所示为 FBG 信号波峰定位的程序框图。

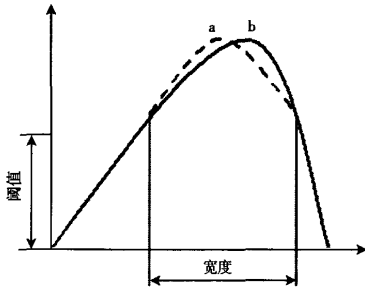


图 3 FBG 信号波峰定位方法

Fig.3 Method of locating peak of FBG signal

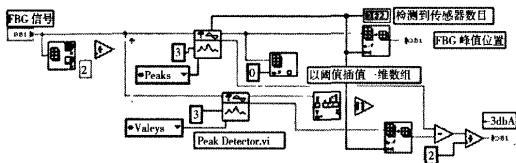


图 4 FBG 信号波峰定位程序框图

Fig.4 Program diagram of locating peak of FBG signal

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^[7]。Peak Detector VI 的“阈值”参数设置为 FBG 信号最大值的 1/2,“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。因此本文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 1/2,即 0.5 倍电压幅值以上的数据做为拟合宽度二次定位波峰。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,如图 5 所示。

标准波长信号中包含 52 个波峰,对应的波长为 1 520~1 570 nm。因此标准波峰的位置就是 1 520~1 570 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。

对于庞大的数据采集和数据处理工作,超大容量

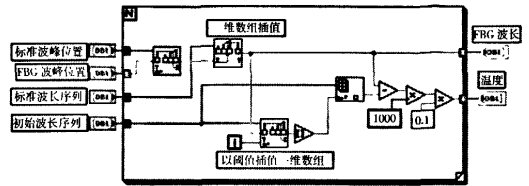


图 5 FBG 信号波长解调程序框图

Fig.5 Program diagram of wavelength demodulation of FBG signal

FBG 传感网络分析仪采取了分组数据采集、分时数据传输、分页数据管理的策略。系统所有数据按 3 维数组进行组织,每通道传感器的数据为数组中的 1 行,每组传感器的数据为数组中的 1 页。数据采集和数据处理放在程序中 2 个独立运行的线程,线程之间的通信采用 LabVIEW 的 Queue 技术。采集数据的程序每次采集 1 组传感器的数据,写入这组传感器独占的 1 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。当采用采样率 100 kS/s 的数据采集卡,每组传感器采样 10 000 点,采样时间 100 ms,10 组传感器采样用时 1 s。当采样完成时,数据分析也在另一个线程同时完成。

FBG 传感网络分析仪的数据记录功能包括定时记录、异常情况记录和手工记录。FBG 传感网络分析仪使用 LabVIEW 外挂的数据库链接工具套件 DCT (Database Connectivity Toolset) 与数据库建立动态链接,实现了大量数据的有序管理,并且为企业的信息集成提供了条件。

为了实验数据的信息共享,FBG 传感网络分析仪采用 LabVIEW 的 DataSocket 技术进行远程数据传输。通过计算机网络以自己特有编码格式向多个远程的终端同时广播现场测量数据。可以利用局域网、宽带网和无线公用网络等各种形式实现数据传输。

3 模拟试验

利用该光纤光栅传感网络分析仪进行了地质构造物理模拟实验,实验在大型构造变形物理模拟综合试验台进行,实验台的结构如图 6 所示。

实验台两侧各有 1 个液压缸作用在档板上,可以进行单侧加载或双侧加载。档板间装有 0.2 mm 细砂作

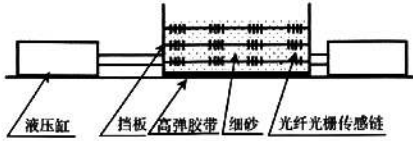


图 6 地质构造变形物理模拟实验系统

Fig.6 Geologic structure modelling experiment equipment

为实验介质. 实验过程中按照事先编制的程序, 采用步进电机精确控制操作. 要求精确实时测量实验介质内部各点的变形.

根据测试要求, 在细砂中每隔 30 mm 铺设 1 层 FBG 传感链, 同一层内各传感链之间相隔 40 mm, 所有传感链构成 1 个三维传感网络, 均匀分布在全部实验介质中. 当实验介质在外力作用下产生变形后, FBG 传感网络测出各个点的应变, 然后经过在线数据处理求出各点的位移, 进而实时描绘出整个实验对象的三维变形, 图 7 所示为其中一层的重构图形.

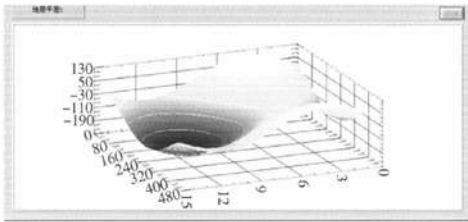


图 7 地质构造三维变形

Fig.7 Geologic structure modeling deformation in three dimension

4 结束语

本文根据安全监测的工程需求设计了超大容量光纤光栅传感网络分析仪, 采用虚拟仪器与光纤光栅相结合代表新一代测试技术的重要发展方向之一, 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, 具有良好的应用前景. 经过地质构造物理模拟实验检验, 设备的量程、精度、速度等指标满足工程实践的严格要求.

参考文献:

- [1] 杨吉祥, 陈东, 余尚江, 等. 埋入式 FBG 应变传感器的设计及其传感特性研究 [J]. 仪表技术与传感器, 2010, (11): 32-34.
- [2] DAVIS M A, KERSEY A D. Matched filter interrogation technique for fibre Bragg grating arrays[J]. Electron Lett, 1995, 31 (10): 822-823.
- [3] 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(2): 140-142.
- [4] 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): 25-27.
- [5] 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, 34(8): 6-8.
- [6] 杨广学, 李岩峰, 康守强. 光纤 F-P 和 FBG 传感器通用解调系统的研究[J]. 光电技术应用, 2010, 25(1): 18-20.
- [7] 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, 392-394.

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>