

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2008.05.029

# 基于虚拟仪器技术的基坑光纤光栅监测系统

徐洪钟,陈 祺,黄广龙,陈 巧

(南京工业大学土木工程学院,江苏 南京 210009)

**摘要** 结合使用光纤光栅传感器进行基坑监测过程中遇到的监测结果直观表现性差、综合管理功能弱等问题,研发了一套基于虚拟仪器技术的基坑光纤光栅监测系统.该系统集监测数据采集与管理、监测结果实时动态显示、远程访问控制以及报警监控等功能于一体,是一套实现了智能化与网络化的多功能管理系统.在应用该系统对某通信中心基坑进行监测的过程中,系统运行良好,各功能模块均顺利通过了测试,为工程的顺利进行提供了技术保证.

**关键词** 光纤光栅 虚拟仪器 基坑 监测系统

**中图分类号** :TU413.62

**文献标识码** :A

**文章编号** :1000-1980(2008)05-0718-04

随着城市建设的迅猛发展,高层建筑、大型市政工程以及地下工程大量涌现,必然会产生相应的基坑工程.为保证基坑工程施工的安全可靠,必须进行现场监测.监测的内容主要包括基坑支护的位移、支护结构体系的应力和孔隙水压力等.测量仪器主要采用电测系统,如常见的支护结构内力测量主要采用钢弦式或电阻应变式钢筋计进行.而这些监测方法由于普遍存在抗干扰能力弱,长期稳定性差,相对误差、零漂和动漂较大等缺点,不能准确、及时地反映实际工程所处的状态,对于基坑各个危险部位不能实时监测,因而很难满足实际需要<sup>[1]</sup>.光纤光栅传感技术作为近年来发展迅速的一项新型传感技术,与常规的监测技术原理不同,具有实时性、精度高和耐久性长等特点,恰好弥补了传统监测技术的不足.而虚拟仪器技术拥有强大的信号处理能力,在优化人机交互界面、扩展仪器功能方面具有很大的优势<sup>[2-5]</sup>,因此将这两项技术结合起来用于基坑监测具有重要的意义.

由于光纤光栅传感器及解调仪采集到的监测结果为波长数据,存在以下一些缺陷<sup>[6]</sup>:(a)直观表现性较差,未经过系统培训的工程技术人员很难读懂其监测结果;(b)无法即时转换为实际所需的监测值(如应变、位移、应力等),而且没有考虑温度补偿等因素,不利于实时掌握现场情况;(c)监测数据量较大,特别是进行多点监测,多个通道数据同时出现,当某点出现异常情况时,监测人员很难及时发现;(d)综合管理功能弱,只能提供基本的数据采集与保存功能,无法满足实际监测需要.基于此,本文提出了一套比较切合工程实际的解决方案,并结合具体工程实例设计和开发了一套监测系统.实践表明,该系统可以很好地实现对监测数据的采集与管理、监测结果的可视化显示、自动报警及远程访问等功能.

## 1 光纤光栅(FBG)传感技术原理

1978年,加拿大的Hill制作出了第一根光纤光栅,30年来,光纤光栅迅速发展成为传感领域一项引人瞩目的技术,并逐渐在工程实践中得到广泛应用.

利用紫外光从光纤侧面直接在光纤材料芯区写入一段轴向布喇格光栅,当光源发出的连续宽带光通过传输光纤射入时,如果入射光波的波长 $\lambda$ 满足布喇格衍射条件<sup>[7]</sup>:

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

式中: $\lambda_B$ ——布喇格反射波波长; $n_{\text{eff}}$ ——有效纤芯的折射率; $\Lambda$ ——布喇格传感器光栅的栅距.

收稿日期:2008-05-18

基金项目:江苏省普通高校自然科学研究计划(05KJB560040);江苏省自然科学基金(BK2006565);江苏省科研院所技术开发专项基金(BM2005517)

作者简介:徐洪钟(1974—),男,江苏高邮人,副教授,博士,主要从事岩土工程安全监控研究.

该波长的光波将沿来路发生反射,该反射光就是布喇格反射光,而其余波长的光波透射后仍然照常. 反射光的中心波长随着作用于光纤光栅的应变和温度变化成线性变化,同时考虑应变  $\epsilon$  与温度变化  $\Delta T$  时,所引起的波长移动  $\Delta\lambda$  为

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - P_e)\Delta\epsilon + (\alpha + \zeta)\Delta T = k_\epsilon\Delta\epsilon + k_T\Delta T \tag{2}$$

式中: $P_e$ ——有效光弹系数; $\alpha$ ——光纤的热膨胀系数; $\zeta$ ——光纤的热光系数.

根据式(2),只要测出布喇格反射波波长  $\lambda_B$  的变化  $\Delta\lambda$ ,就可以得到外界的应变或温度扰动. 由于布喇格反射光的光谱只占入射光光谱中很小的一部分,调整各光纤光栅传感器的栅距  $\Lambda$ ,使它们具有不同的  $\lambda_B$ ,且其布喇格反射光光谱互不重叠,就可以将若干个光纤光栅传感器串联起来,实现对待测结构定点的准分布式的测量.

相对于传统监测手段及其他光纤传感器而言,光纤光栅传感器具有不少优势,如灵敏度高,抗电磁干扰,稳定性和可靠性好,传输损耗低,容易实现对被测信号的远距离检测,可用于一些恶劣环境的测量,可级联,进行准分布式测量等.

## 2 虚拟仪器技术

20 世纪 80 年代,美国国家仪器公司首先提出了虚拟仪器的概念. 这是一个全新的仪器概念,是利用计算机的硬件资源、标准数字电路以及计算机软件资源,经过有针对性的开发测试,使之成为一套相当于为使用者自己专门设计的传统仪器. 相对于传统仪器,它有性能高、扩展性强、开发时间少和完美的集成功能等四大优势. 虚拟仪器是计算机技术和仪器测量技术相结合的产物,它具有可变性、多层性、自助性的面板,拥有强大的信号处理能力,其功能、性能、指标均可由用户定义,具有标准的、功能强大的接口总线、板卡及相应软件,以及开发周期短、成本低、维护方便、易于应用等特点. 目前最流行的虚拟仪器软件开发环境是由美国国家仪器公司推出的 LabVIEW.

## 3 基于虚拟仪器技术的基坑光纤光栅监测系统设计

基于虚拟仪器技术的基坑光纤光栅监测系统分为硬件和软件部分. 硬件部分包括:(a) 控制器,即计算机,实现对仪器的控制并进行数据处理;(b) 测试仪器,即解调仪和传感器,实现数据采集. 软件部分主要是指采用 LabVIEW 编制、运行于计算机上对光纤光栅传感器采集到的数据进行分析处理和发布的应用软件.

### 3.1 监测系统组成

由现场的光纤光栅传感器与解调仪相连进行测量,再通过网线将计算机与解调仪相连,计算机通过数据采集系统从解调仪采集数据,并通过实时管理程序对数据进行处理和保存,并提供给需要的用户. 数据采集和实时管理均可通过网络发布,由远程的监测中心进行控制.

### 3.2 软件设计

软件部分包括数据采集程序和实时管理程序 2 个模块,均采用 LabVIEW 开发<sup>[8-10]</sup>.

数据采集程序主要实现对监测数据采集的控制和显示. (a) 控制部分包括选择相应的传感器通道、设定采集参数、侦测波峰、开始与停止数据采集、调整数据显示形式以及对采集到的数据进行存储. (b) 显示部分实现对监测数据以波长、峰值和光谱图的形式直观地显示.

数据实时管理程序包括仪器配置、传感器配置、数据管理、数据保存、报警通知设定、会话管理等子模块.

a. 仪器配置. 配置与解调仪连接的参数,并在开启监测数据采集软件之后与解调仪进行连接,获取波长数据. 和解调仪 SM125 成功连接以后在计算机上直接显示传感器所监测的峰值.

b. 传感器配置. 配置传感器及设定监测报警值,并与解调仪相连接后,可以显示所有传感器的波长峰值. 可为每个传感器分配 ID 号,并根据 ID 号编写标定方程,使在数据实时管理部分输出所测量的实时变化量,满足实时监测的要求.

同时根据实际工程的情况,对所监测的变量设定报警边界值,当监测过程中所测变量的数值超过报警边界值时,即触发报警条件,实时监测程序中显示的该测量值会变为红色,并发出预先设定的报警声以提醒现场监测人员及时采取措施,避免引起工程事故,如图 1 所示.

c. 数据保存. 对数据保存相关各项进行设定,如数据保存的模式(连续保存或报警激活保存. 连续保存是保

存监测得到的所有应变、应力、温度等变化值,而报警激活保存仅保存超过报警边界值的数据,大大减少了数据的保存量)、保存的频率、显示保存数据文件的路径等.同时也可以通过载入以往保存的数据文件,对以往的监测过程进行实时回放,观看当时波长数据及测量值的变化情况,再次模拟数据的曲线变化过程,如图 2 所示.

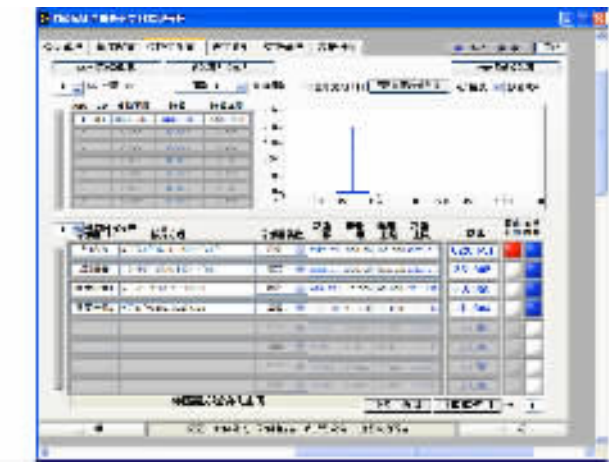


图 1 传感器配置模块报警时的界面

Fig.1 Sensor configuration interface for alarm

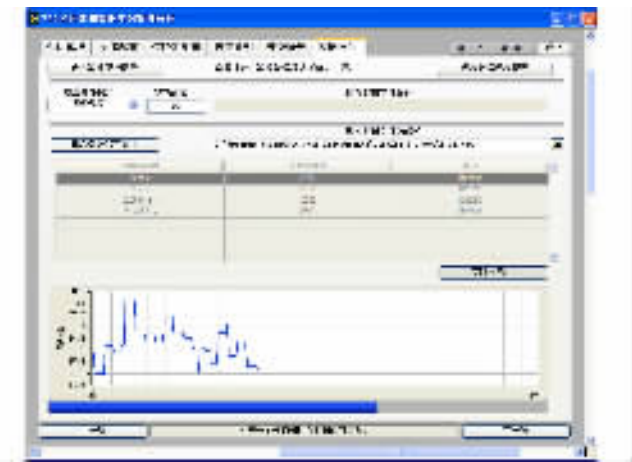


图 2 监测数据实时回放

Fig.2 Real-time replay of monitoring data

d. 数据管理. 实时监测的主要可视化界面分为 2 种视图:(a) 带状图视图,显示的是根据传感器的测量结果生成的以时戳为横轴,以所测量的变量为纵轴的波形图;(b) 图像视图,可以将工程结构图或现场图片载入作为背景图片,并在传感器埋设的相应位置作出标识,放置指示器,以在指示器中实时显示该测点的监测数据,如应变值、温度变化值等,在数据超过报警边界值时,所显示的数据会变为红色以作警示(图 3),使监测工作更加直观形象,也便于向相关工作人员介绍现场情况.

e. 通知设定. 实现实时监测时,触发了报警条件后,程序通过发送邮件通知预先设定的收件人,配置的项目包括收件人列表、邮件服务器、返回地址以及报警声音文件的路径选择和是否打开报警声音等.

f. 会话管理. 调用数据实时管理程序各子模块的配置文件,可以方便地对不同监测项目的仪器、传感器、通知、数据绘图、图像浏览和数据保存配置快速调入.

此外,系统利用虚拟仪器强大的网络功能,方便监测人员进行远程监控. 根据实际工程情况,可以选择局域网或者互联网的接入形式,先使用 HTML 设计网页,通过 LabVIEW 的网页发布功能直接把光纤监测数据采集系统和光纤监测数据管理程序的 VI 嵌入到所设计的网页上. 网络上的任何客户机只要安装 LVRunTimeEng 插件和使用浏览器就可以打开网页,查看实时监测情况、监测数据和相应的曲线,并可以进行数据保存和分析等操作,如图 4 所示. 同时,该系统对登入的用户可以进行身份认证,权限不同的监测人员,所获得的权限大小不同,以确保监测工作的正常进行以及监测数据的安全.



图 3 图像视图模块报警时的界面

Fig.3 Image view interface for alarm

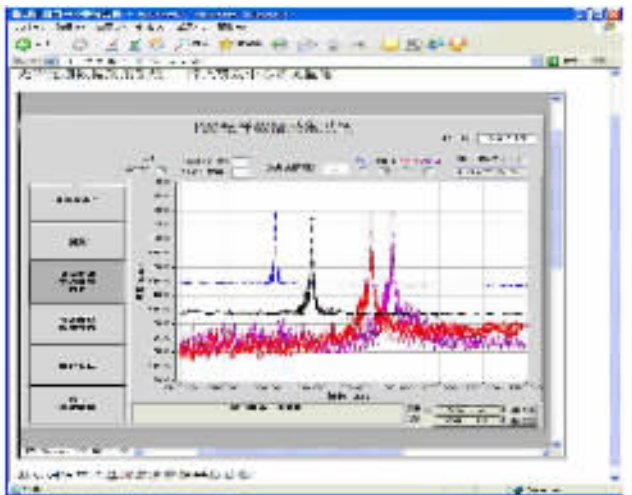


图 4 光纤光栅传感系统远程客户端网页访问界面

Fig.4 Web access interface of FBG sensing system's remote client

## 4 工程应用

某通信中心总用地面积约 13 336 m<sup>2</sup>. 该中心由 2 幢主楼、裙房及联体地下车库组成,总建筑面积约 8.3 万 m<sup>2</sup>,框架结构. 该中心基坑挖深为 8.35 m,基坑平面形状基本为边长 110 m 的正方形. 考虑到便于监测,将传感器布设在基坑西南角支撑内,距基坑边缘 5 m 处. 基坑开挖深度标高为 -9.05 m,支撑中心线标高为 -2.6 m. 支撑 1 和支撑 2 均为主撑,混凝土强度等级为 C30,截面尺寸为 550 mm×700 mm,单侧纵向钢筋为 5 根直径 25 mm 的二级钢. 支撑 1 内部纵向钢筋上布设 3 个光纤光栅钢筋计和 1 个光纤光栅温度传感器,支撑 2 内部纵向钢筋上布设 2 个光纤光栅钢筋计和 1 个光纤光栅温度传感器.

2007 年 8 月 18~19 日完成了传感器的安装,2007 年 8 月 22 日至 11 月 6 日对基坑开挖至基坑底板施工完成的全过程进行了监测. 在支撑梁混凝土浇筑时和浇筑完成 14 d 时分别进行了 2 次 24 h 连续不间断监测.

在整个监测过程中,系统运行良好,数据采集、存储十分方便. 同时也测试了几种数据显示方式以及报警功能. 受工地条件所限,在局域网环境下测试了远程访问功能,各项功能模块均能顺利通过测试,实现了实时准分布式测量,为工程的顺利进行提供了技术保证.

## 5 结 语

基于虚拟仪器技术的基坑光纤光栅监测系统具有监测数据采集与存储、监测结果实时动态显示以及报警监控等功能,系统具有友好的用户界面,操作简便,同时突出了结果输出的形象化,可以使用户更直观地获取监测信息,报警功能能有效地提醒监测人员及时采取措施. 同时也实现了用户在网络环境下的远程访问、了解监测进程并进行操作的功能,以及监测系统的网络化和智能化,有效地实现了对监测对象的多点实时动态监测. 工程应用表明,系统运行良好,可以为工程的顺利进行提供技术保证.

## 参考文献:

[1] 刘艳. 深基坑监测技术及进展[J]. 山西建筑,2007,33(32):117-118.  
[2] 李宏男. 结构健康监测[M]. 大连:大连理工大学出版社,2004.  
[3] MOYO P, BROWNJOHN J M W, SURESH R, et al. Development of fiber Bragg grating sensors for monitoring civil infrastructure[J]. Engineering Structure, 2005, 27(12):1828-1834.  
[4] 雷振山, 张凤梅, 刘兆妮. 基于光纤光栅和虚拟仪器的桥梁监测技术研究[J]. 微计算机信息, 2005, 21(9-1):128-130.  
[5] 李新华, 徐伟弘, 梁浩, 等. 基于虚拟仪器的 BOTDR 光纤应变监测系统[J]. 光通信技术, 2007(4):58-59.  
[6] 索文斌, 王宝军, 施斌, 等. 基于 GIS 的大型工程分布式光纤传感监测系统研究[J]. 水文地质工程地质, 2005(4):88-92.  
[7] 李川, 张以谟, 赵永贵, 等. 光纤光栅:原理、技术与传感应用[M]. 北京:科学出版社, 2005.  
[8] 张玲, 王玉, 隋青美. LabVIEW 在光纤 Bragg 光栅解调系统中的应用[J]. 信息技术, 2007(6):36-39.  
[9] 高占风, 杜彦良. 基于虚拟仪器技术的光纤应变测试系统[J]. 传感技术学报, 2006, 19(6):2395-2398.  
[10] 宋蕴璞, 阎子嘉, 严钊钊, 等. 基于 LabVIEW 的基坑开挖监测管理系统[J]. 机电一体化, 2006(2):53-55.

# Foundation pit monitoring system using Fiber Bragg Grating sensor based on virtual instrument technology

XU Hong-zhong, CHEN Qi, HUANG Guang-long, CHEN Qiao

(College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

**Abstract:** In consideration of the poor intuition and weak comprehensive management function existing in foundation pit monitoring using the Fiber Bragg Grating sensor, a foundation pit monitoring system that utilizes Fiber Bragg Grating sensors based on virtual instrument technology was developed. The system has many functions, including data acquisition and management, real-time dynamic display of monitoring results, remote access and control and intelligent alarm. It is an intelligent multi-function network system. The application of the system to the foundation pit monitoring of a communication center shows that the system runs well and various function modules are tested. The system provides a technical guarantee of success for the construction of the project.

**Key words:** Fiber Bragg Grating (FBG); virtual instrument; foundation pit; monitoring system