

## 基于先进先出的新型结构健康监测系统设计

盛文娟, 郭爱煌

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

(wen.juan.sheng@hotmail.com)

**摘要:**高速实时地采集传感器信号以及精确测量结构的状态信息对结构健康监测至关重要。但传统的基于串行处理的结构健康监测在进行数据分析的同时必须停止数据采集,造成数据采集不连续,实时采集速率不高。为此,采用光纤光栅传感器设计一个新型的实时结构健康监测系统,通过先进先出(FIFO)缓存区的设计将串行模式下间断性的数据采集转化为连续性的数据采集,有效提高了监测系统的实时数据采集速率。系统通过实验证明FIFO缓冲技术的引入有效提高了实时数据采集速率,最大可提高100%;同时也消除了串行模式下间断性数据采集对系统测量精度的影响。

**关键词:**结构健康监测;实时数据采集;串行处理;先进先出;测量精度

**中图分类号:** TP911.72; TP212.9 **文献标志码:** A

### Design of new structural health monitoring system based on first in first out

SHENG Wen-juan, GUO Ai-huang

(School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** High-speed and real-time data acquisition and accurate measurement are very important to structural health monitoring. Traditional serial processing based structural health monitoring system has to stop data acquisition while it is analyzing sensing data, so the data acquisition process is discontinuous, and real-time data acquisition rate is limited. This paper designed a new structural health monitoring system with Fiber Bragg Grating (FBG) sensors, and the real-time data acquisition rate was improved greatly by introducing FIFO into serial processing mode. The experimental results demonstrate that the introduction of FIFO technology is effective to increase real-time data acquisition rate, and the maximum improvement is 100%. The impact of data acquisition on measurement accuracy has also been minimized at the same time.

**Key words:** structural health monitoring system; real-time data acquisition; serial operation; First In First Out (FIFO); measurement accuracy

## 0 引言

大型建筑结构在长期使用过程中,由于材料老化、环境腐蚀、自然灾害等原因,对土木结构造成了不同程度的损伤,使结构的安全性受到很大影响。结构健康监测是发现和um分析各种结构安全问题的主要手段,为结构的损伤和管理提供决策依据<sup>[1-4]</sup>。布拉格光纤光栅(Fiber Bragg Grating, FBG)传感器克服了电类器件的缺陷,以其监测精度高、重复性好和长期稳定性,以及易于实现分布式测量等特点,为结构监测提供了良好的技术手段,在大型土木工程结构健康监测中受到高度重视和广泛应用<sup>[5-8]</sup>。

基于光纤光栅的结构健康监测系统采用复用技术易于实现分布式测量,但系统需要采集包含大量数据的样本<sup>[9]</sup>,分析处理这些数据也需要大量的时间,因而存在实时采集速率低下的问题;同时,频繁地启动和停止数据采集,也将引起测量结果精确度不高的问题<sup>[10]</sup>。为了实现高采集速率和精确测量,本文设计了基于先进先出(First In First Out, FIFO)的结构健康监测系统,通过引入FIFO的设计将间断性数据采集转化为连续性数据采集,在数据分析的同时不停止数据采集,系统实时数据采集能力得到增强,测量精度也得到了提高。

## 1 系统模型

基于FBG传感的结构健康监测系统主要包括FBG传感网络、信号解调器、数据采集卡、服务器端和监测端五个部分<sup>[11-13]</sup>,系统总体结构如图1所示。

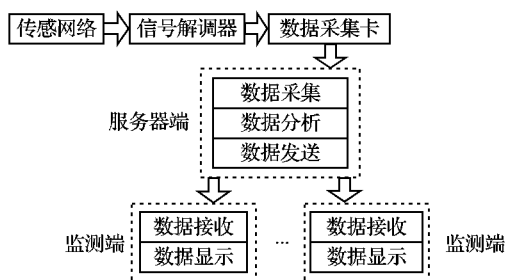


图1 结构健康监测系统总体结构

服务器端主要有3个功能:1)数据采集,从数据采集卡取得解调过的传感器数据;2)数据分析,采集到的原始数据经过数据平滑、峰值识别、偏移计算、温度补偿和物理量换算等一系列的分析处理计算出结构状态信息;3)数据发送,将计算出来的结构状态信息发送给监测端。监测端主要有两个功能:一是接收服务器端发送出来的数据;二是在用户界面上实

收稿日期:2011-06-16;修回日期:2011-08-16。 **基金项目:**国家留学基金委留学基金资助项目(2009102131)。

**作者简介:**盛文娟(1982-),女,湖北黄石人,博士,主要研究方向:光纤光栅传感、数据采集、实时监测;郭爱煌(1964-),男,江西九江人,教授,博士生导师,主要研究方向:光纤传感、数据采集、实时监控。

时显示监测到的结构状态信息。

本系统采用服务器端和监测端的 C/S 模式,数据采集、分析和发送这些大负载的任务都被放到服务器端执行,减轻了监测端的负载,实现客户端的轻量级。但是,服务器端如何同时高效地实现具有一定精度要求的数据采集、复杂的数据分析算法和频繁的结构状态信息发送,就成为了结构健康监测系统的一个关键问题。

## 2 关键技术

现有的结构健康监测系统大多依据数据流动的方向而采用串行处理的方式顺序执行服务器端的多个任务。监测系统中数据流动的方向是从采集到分析最后到发送,因而在串行模式下,服务器端对每一个样本数据将依次进行数据采集、分析和发送,如图 2 所示。计算机首先启动数据采集(Data Acquisition, DAQ)任务,指定输入输出通道、采样速率和采样点数等参数,然后从数据采集卡取数据,接着停止 DAQ 任务开始数据分析。每一次取得的原始数据样本经过一系列数据分析算法后得到相应的结构应变状态信息,最后,结构信息经过服务器端的网络端口被发送给监测端。串行处理模式是依据监测过程中数据流方向设计,具有实现简单、稳定性好的特点,因而在很多实际的结构健康监测系统中得到了广泛应用。

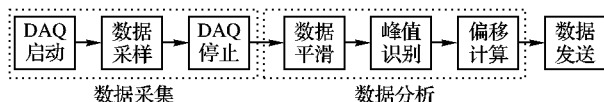


图2 串行模式的数据采集和分析

在串行模式下,数据分析时必须停止采样,监测系统将会丢失大量的实时信息;同时,由于样本数据量较大,处理需要较长的时间,系统的运行效率受到影响,实时数据采集速率也受到限制。而且频繁的启动和停止 DAQ 任务导致光路解调仪不能连续工作,系统测量的精度不佳。基于这些原因,本系统将 FIFO 缓冲区的设计引入到串行模式的监测系统中,使得数据采集在计算机上不间断进行,数据分析时不终止数据采集。引入 FIFO 后串行模式下系统工作过程如图 3 所示。

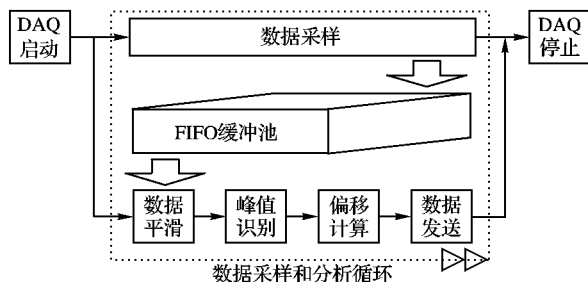


图3 引入 FIFO 后串行模式下的数据采集和分析

引入 FIFO 后,监测系统的数据采集与数据分析不再是顺序执行的运行方式,而是转化为了并行执行的运行方式。数据采集和数据分析都放在同一个循环中并行执行,而 DAQ 启动和停止被放在此循环外,因而系统在数据采集的过程中避免了频繁地执行 DAQ 任务,只在开始工作时执行一次 DAQ 启动和结束工作时执行一次 DAQ 停止。

监测系统在开始运行之后,首先启动 DAQ 任务配置各种数据采样参数,随后数据采集和数据分析同时开始连续不断的运行。数据采集循环按照设置的采样参数周期性地连续不断地从数据采集卡取回样本数据,并将样本数据放入到 FIFO 缓冲池。数据分析循环持续检测 FIFO 缓冲池中是否有等待处理的样本数据,如果有待处理的样本数据就将其取出进行

数据平滑、峰值识别和偏移计算等分析计算,并将计算得到的结构应变状态信息发送给远程监测端。

监测系统第一次开始工作时,数据采集循环采样第一个样本数据,而数据分析循环没有检测到 FIFO 中有等待处理的样本数据。系统在第一次循环结束后进入第二次循环时,数据采集循环采样第二个样本数据,而数据分析循环检测到上一次循环结束时被放入 FIFO 的第一个样本数据,因而对第一个样本数据进行分析计算并发送出结构状态信息。监测系统如此循环工作下去,数据采集连续进行,数据分析和发送也能够及时对采集到的传感数据进行处理。系统运行过程中引入 FIFO 前后串行模式下数据流动方式如图 4 所示。

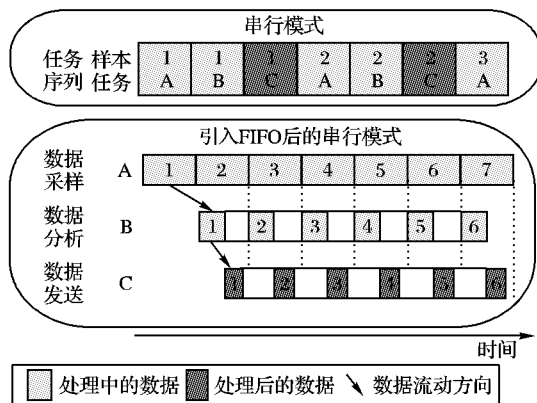


图4 引入 FIFO 前后串行模式下的数据流动方式比较

在串行模式下,对每一个样本数据依次采集和分析。在引入 FIFO 后串行模式的监测系统通过操作不同的样本数据,采样和分析实现了并列执行的处理方式,每一次系统分析的数据都是上一次系统采集到的样本数据。数据采集处于连续不断的执行状态,不需要为了数据分析而停止采集。从图 4 可以看到,在相同的时间段里,引入 FIFO 前串行模式的监测系统只能完成 3 个样本数据的采样和 2 个样本数据的分析与发送,而引入 FIFO 后的串行模式监测系统已经完成了 7 个样本数据的采样和 6 个样本数据的分析与发送。由此可知,引入 FIFO 后串行模式下数据采集、分析和发送的速率整体都比引入 FIFO 前的串行模式快,系统的整体运行效率得到提高。

## 3 实验结果与分析

本文设计了图 5 所示的基于 FBG 传感器的结构健康监测系统。系统在一根光纤上设置了四个 FBG 传感器(G0, G1, G2, G3)。宽带光源发出的光经过耦合器后进入光纤光栅,满足特定波长条件的光将分别被各个光纤光栅传感器反射并沿原路返回,经过耦合器后进入可调谐 F-P 滤波器。可调谐滤波器对通过波长有选择作用<sup>[14]</sup>,各个波长相对应的多个透过峰将被光电探测器探测到,随后探测到的光信号经放大后由数据采集卡输入计算机。计算机通过 Labview 对采集到的信号进行分析处理,每次采集和分析 20000 个数据点,计算得到 4 个应变测量结果后传输给远端进行实时监测。

实验系统的服务器端和监测端的计算机配置如下: Window XP 操作系统, 256 MB 内存, P4 CPU 3.00 GHz 处理器, 100 Mbps 网络适配器。

实验的目的是为了验证系统在引入 FIFO 后串行模式下的以下特点: 1) 系统的高实时数据采集能力; 2) 系统对外界应变变量测量的精确性和稳定性。

为了测试系统测量的精确性和稳定性, 4 个 FBG 都被放

入室温下的水桶中,处于较为稳定的应变环境下。为了测试系统的实时数据采集能力,应尽可能加大系统的采样速率设置值。本实验将系统的采样速率依次设置为 6 Hz, 12 Hz, 18 Hz, 24 Hz, 30 Hz。

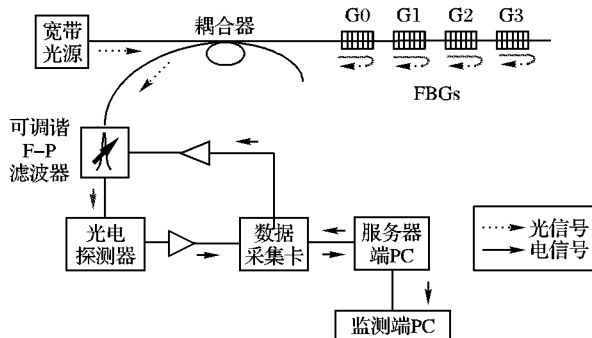


图5 结构健康监测实验系统结构

图6是引入FIFO前后串行模式下系统实时数据采集速率的比较。由图中可以看出,引入FIFO后的串行模式下,系统的实时数据采集速率等于采样速率设置值,即系统能够按照采样速率的设置值进行正常的数据采集。而串行模式下,系统无法按照采样速率的设置值进行正常数据采集,实时数据采集速率低于采样速率设置值。这是因为串行模式下系统的运行周期由数据采集、分析和发送所需要的总时间来决定,当采样速率的要求较高时,系统无法在很短的时间内完成采集、分析和发送,因而只能以低于采样速率的实时采集速率运行。

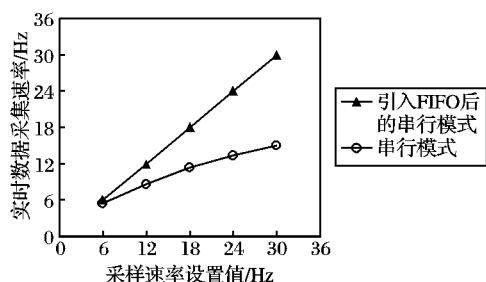


图6 引入FIFO前后串行模式下实时数据采集速率比较

由以上实验结果可以看出,引入FIFO后的串行模式下,系统的实时数据采集速率得到大幅提高,而且当采样速率要求越高时,采集速率提高的幅度越大。采样速率设置值为 30 Hz时,引入FIFO后的串行模式下系统实时数据采集速率(30 Hz)比引入FIFO前的串行模式下的实时数据采集速率(15 Hz)提高了100%。

当采样速率设置为 10 Hz时,系统在引入FIFO前后串行模式下的实时的数据采集速率分别为 7.54 Hz和 10 Hz(如图6所示),而系统实时测量到的应变结果如图7所示。

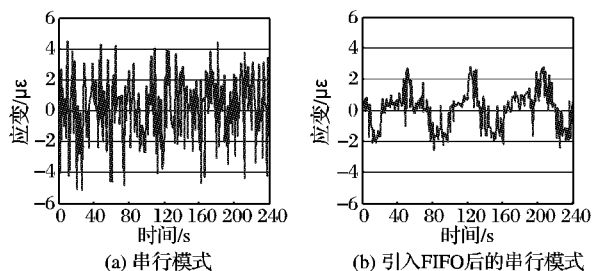


图7 引入FIFO前后串行模式下系统应变测量结果比较

置于室温下的水中应变状态应该是稳定的小幅波动,而串行模式下系统测量结果波动非常频繁并且幅度较大,显示

出测量的不稳定性和不精确性。这是因为串行模式下间断性的数据采集使得可调谐F-P滤波器的腔长定位精度低下,从而导致光纤光栅波长测量误差较大。同时,当系统引入FIFO后,数据分析和发送的同时数据采集不停止,可调谐F-P滤波器连续工作,具有更好的腔长定位精度,因而消除了数据采集本身对系统测量精度的影响。

## 4 结语

本文基于FIFO技术,设计并实现了一个光纤光栅传感的结构健康实时监测系统。系统在同一时刻分别针对不同的样本数据进行数据采集和数据分析,实现了串行模式下的连续数据采集,实时数据采集速率和测量精度都得到了大幅提高。监测系统采用光纤光栅传感技术,易于实现对土木结构的分布式多点测量,但光谱中大量数据的实时采集和分析会降低系统运行效率。本文引入了FIFO技术到串行操作模式中,有效提高实时数据采集速率,同时引入FIFO后串行模式下的连续数据采集也克制了光纤光栅解调系统的非线性性,系统测量的稳定性和精确度得到了提高。下一步的研究重点是如何将FIFO技术与分布式计算相结合,降低实时数据分析对采集的影响,进一步提高系统实时数据采集速率和测量精度。

## 参考文献:

- [1] LI Z X, CHAN T H T, KO J M. Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data - part I: methodology and strategy[J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23(1): 45-53.
- [2] CHAN T H T, LI Z X, KO J M. Fatigue analysis and life prediction of bridges with structural health monitoring data-part II: application[J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23(1): 55-64.
- [3] MASRI S F, SHENG L H, CAFFREY J P, et al. Application of a Web-enabled real-time structural health monitoring system for civil infrastructure systems[J]. Smart Materials and Structures, 2004, 13(6): 1269-1283.
- [4] 董辉, 李烈彪, 刘实践, 等. 桥梁监测数据的数据挖掘模型[J]. 计算机应用, 2006, 26(6): 100-102.
- [5] KISTER G, BADCOCK R A, GEBREMICHAEL Y M, et al. Monitoring of an all-composite bridge using Bragg grating sensors[J]. Construction and Building Materials, 2007, 21(7): 1599-1604.
- [6] 田德宝, 张大煦, 孙俊良, 等. 光纤布拉格光栅应变测量在天津奥体中心工程中的应用[J]. 施工技术, 2008, 37(11): 64-66.
- [7] 吕辰刚, 张瑞峰, 李可佳, 等. 光纤光栅传感网络对桥桩结构的健康检测[J]. 光电子·激光, 2010, 21(11): 1668-1671.
- [8] BETZ D C, THURSDAY G, CULSHAW B, et al. Structural damage location with fiber Bragg grating rosettes and lamb waves[J]. Structure Health Monitoring, 2007, 6(8): 299-308.
- [9] 高鹏, 桑恩方. 数字图像声纳的数据采集与处理系统[J]. 数据采集与处理, 2003, 18(4): 470-474.
- [10] 李营, 张书练. 基于可调谐F-P滤波器的光纤光栅解调系统[J]. 激光技术, 2005, 29(3): 237-240.
- [11] 陈一鸣, 陈进, 伍星. 基于网络的远程监测和故障诊断系统的数据库系统[J]. 震动与冲击, 2003, 22(1): 75-78.
- [12] 李慧, 周文松, 欧进萍. 考虑温度和风速影响的桥梁模态参数分析[J]. 土木工程学报, 2009, 42(4): 100-106.
- [13] 李宏男, 高东伟, 伊挺华. 土木工程结构健康监测系统的研究状况与进展[J]. 力学进展, 2008, 38(2): 86-91.
- [14] KERSEY A D, BERKOFF T A, MOREY W W. Multiplexed fiber Bragg grating strain sensor system with a fiber Fabry-Perot wavelength filter[J]. Optics Letters, 1993, 18(16): 1370-1372.