

Design and Implementation of Data Acquisition System for Bridge Health Monitoring

Zhanghong Hao, Lin Zhao, Binbin Han

School of Information Science and Engineering, Tianshi College, Tianjin
Email: hzh_0515hzh@163.com

Received: Mar. 23rd, 2020; accepted: Apr. 8th, 2020; published: Apr. 15th, 2020

Abstract

Whether the bridge is health or not directly affects the normal operation of the transportation networks, even threatens the safety of people's life and property. Therefore, the health monitoring of the bridge has a very important social value. Data acquisition is the key to the bridge health monitoring and the basis of the bridge health diagnosis and assessment. A data acquisition system based on NI ELVIS II hardware platform and Labview is developed. It can acquire the environment temperature, wind speed, strain response, tilt posture, vibration response of bridge. Those data are displayed on the monitoring interface which compiled by Labview. The software and hardware implementation of the data acquisition system are introduced in detail. The test results show that the system features the characteristics such as real time capability, simple operation and so on, which may be a useful try for designing bridge health monitoring system in the future.

Keywords

Bridge Health Monitoring, Virtual Instrument, Data Acquisition, Labview

桥梁健康监测数据采集系统的设计与实现

郝张红, 赵琳, 韩彬彬

天津天狮学院信息科学与工程学院, 天津
Email: hzh_0515hzh@163.com

收稿日期: 2020年3月23日; 录用日期: 2020年4月8日; 发布日期: 2020年4月15日

摘要

桥梁工程健康与否直接影响交通运输网的正常运行,甚至威胁人民的生命和财产安全,因此,对桥梁进行健康安全监测具有十分重要的社会价值。数据采集是桥梁健康监测系统的核心,是对桥梁进行健康评估的基础。本文基于NI ELVIS II硬件平台和图形化编程语言Labview,开发了桥梁监测的数据采集系统。该系统采集了环境温度、风速、桥梁的应变响应、倾斜姿态、振动响应等信息,并通过Labview编写的监测界面进行数据显示。本文对数据采集系统的软硬件设计进行了详细介绍。试验测试结果表明,本系统具有实时性强、操作简单等特点,不失为桥梁健康监测系统的研究提供了一种有益尝试。

关键词

桥梁健康监测, 虚拟仪器, 数据采集, Labview

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

桥梁是交通线路的重要组成部分,桥梁建设在我国国民经济中一直发挥着非常重要的作用,随着我国经济的迅猛发展,国家对桥梁更新建设的投入不断加大,大型桥梁的数量也随之增多[1]。虽然桥梁的使用期可以长达几十年,甚至上百年,但是,在使用的过程中,由于环境的侵蚀、材料的老化和荷载的长期效应、疲劳效应等多种灾害因素的耦合作用,导致桥梁结构和系统的损伤积累和抗力衰减[2] [3],当损伤积累到一定程度后导致桥梁结构的损坏甚至坍塌。一旦发生桥梁事故,将严重影响人民生命安全和财产安全,因此,对桥梁进行安全监测具有十分重要的实际意义和社会价值。

传统的桥梁监测多采用人工巡检的方式[4],这种方式不仅需要大量的人力和物力,而且时效性较差,不能实时客观地反映桥梁运营情况。随着现代传感技术、计算机网络与通讯技术的发展,基于互连网技术和传感器技术相结合的桥梁监测系统成为学术界和工程界的研究热点[5] [6] [7] [8] [9]。文献[10]利用桥梁应变响应统计信息对桥梁损伤进行识别,在损伤定位和定量上均表现出良好的效果。文献[11]针对桥梁监测系统中海量数据处理问题,引入了大数据技术,提出了一种基于K线图时间片驱动的滑动串口数据流处理模型,减少了专家系统的分析评估时间。而桥梁健康安全监测系统的第一步是如何采集桥梁的环境荷载、局部性态、整体性态等信息,然后对数据进行传输和处理。因此,本文着重研究数据采集系统的设计与实现。文献[12]采用DSP2812对桥梁健康监测数据进行采集,通过232总线将数据传送给上位机。文献[13]提出了一种智能化的用于桥梁测试的数据采集设备,该设备内部集成了FPGA、ARM和DSP模块,分别负责前端数据调理、整个采集设备的运行和后期的数据处理。文献[14]采用数字摄影技术对桥梁变形点进行三维监测,利用图像匹配-时间基线视差法分析桥梁的三维变形情况。

伴随着信息自动化产业的运行与发展,虚拟仪器技术应运而生。其利用计算机、模块化硬件、专用软件等将测量、存储、处理与控制功能集于一体[15]。虚拟仪器技术具有开发难度小、实用性强、后期维护简便等特点[16],在现阶段,虚拟仪器技术已被广泛应用于自动检测系统、工程设计以及电子测量等领域。

本文基于虚拟仪器技术设计了桥梁健康监测数据采集系统。本系统使用美国 NI 公司的虚拟仪器平台 ELVIS II 作为数据采集核心控制单元，使用图形化编程语言 Labview 开发上位机数据显示界面。详细介绍了数据采集系统的软硬件设计方法，并搭建桥梁健康监测模型，验证了本系统的可行性。

2. 系统整体架构

本系统主要包括传感器子系统、核心控制单元、数据显示三部分。系统整体架构如图 1 所示。传感器子系统主要负责将桥梁结构的待采集的物理量转化为电信号，在本系统中采用温度传感器、风速传感器、应变传感器、加速度传感器和振动传感器，实现对桥梁环境温度、风速、应变响应、倾斜姿态和振动响应等信息的采集。核心控制单元采用美国 NI 公司的 ELVIS II 硬件平台，该平台具有丰富的模拟和数字输入/输出口(I/O 口)，根据传感器类型的不同，用户可以选择不同的 I/O 口。数据显示部分采用图形化编程语言 Labview 实现，通过调用 DAQmx 的 API (Application Programming Interface, 应用程序接口)，对每个传感器设置不同的通道，实现对多路数据的采集和显示。在上位机监测显示界面可以实时显示采集的温度、风速、应力变化、倾斜姿态和振动响应等信息。

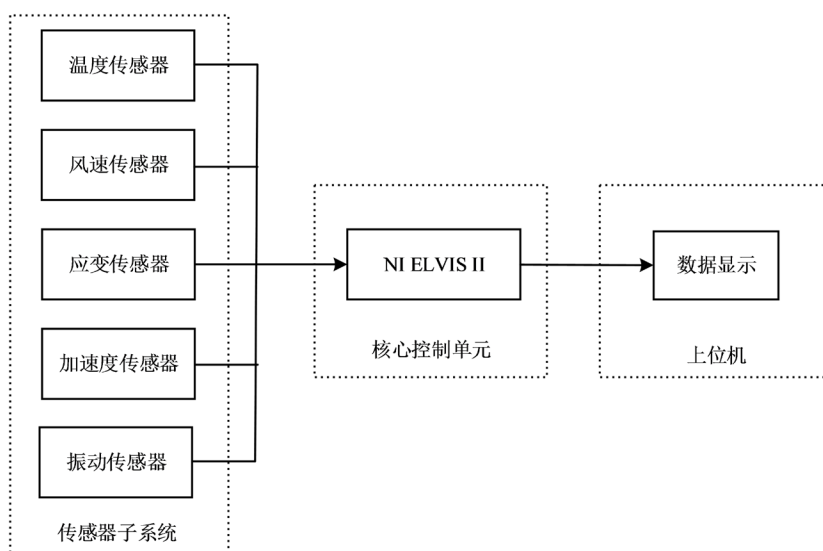


Figure 1. System framework
图 1. 整体架构

3. 系统设计

系统设计包括硬件设计和软件设计两部分。硬件设计主要介绍 NI ELVIS II 硬件平台、传感器的电路设计以及与硬件平台的连接方式。软件设计部分主要介绍如何通过 Labview 的 DAQmx 控件实现对多个传感器数据的采集。

3.1. 硬件设计

3.1.1. 硬件平台

NI ELVIS II 平台采用开放式的硬件结构，将示波器、信号发生器、数字电源、动态信号分析器等 12 种常用仪器集成在一起，并支持 Labview 图形化编程，传感器的输出经过信号调理及转换之后，连接至数据采集卡，通过 USB 数据线送入计算机进行处理。NI ELVIS II 硬件平台如图 2 所示，主要由多功能数据采集设备、软面板仪器和用户自定义工作台 3 大部分构成，其中用户自定义工作台具有一块原型实

验面包板，用户可以在此设计电路。



Figure 2. NI ELVIS II hardware platform

图 2. NI ELVIS II 硬件平台

3.1.2. 传感器子系统设计

传感器子系统由温度传感器、风速传感器、振动传感器、应变片和加速度传感器组成。用于采集环境温度、风速、桥梁的振动响应、应变响应和桥梁倾斜姿态等信息。

(1) 温度传感器

桥梁作为一个工作在自然环境中的结构体，自然会受到各种自然环境的影响，比如风、雨、温度等。温度对桥梁的影响主要表现在横向、纵向位移的变化和梁体裂缝的出现，被普遍认为是混凝土桥梁出现裂缝的主要因素之一。在本系统中，温度传感器采用 NTC(Negative Temperature Coefficient,负温度系数)热敏电阻采集环境温度。在电路设计中，使用 10k 电阻与热敏电阻连接成分压式电路，输入电压连接至 NI ELVIS II 的 VPS+和 GND 端，热敏电阻两端电压连接至 NI ELVIS II 的 AI7+端和 AI7-端。

(2) 风速传感器

风荷载是引起桥梁结构振动的激励源之一。桥梁的跨度越大，柔度越大，对风荷载的作用越敏感[17]。风对桥梁的作用受到风的自然特性、结构的动力性能、风与结构的相互作用三个方面的影响。当风绕过一般为非流线型截面的桥梁结构时，会产生旋涡和流动的分流，形成复杂的空气作用力，当桥梁结构的刚度较大时，结构会保持静止不动，但是当桥梁结构的刚度较小时，结构振动受到激发。因此，对风荷载进行监测对桥梁设计和运营都有重要的意义。风速传感器用于采集风速的大小，以便分析风速对于桥梁的影响。在本系统中采用 ST-FS 系列风速传感器，遵从 RS485 通信协议。将传感器的信号输出端与 NI ELVIS II 的 AI3+端相连，传感器的 GND 端与 NI ELVIS II 的 AI3-端相连。

(3) 应变片

桥梁应变是衡量桥梁性能和损伤识别的重要指标。常用的桥梁应变监测方法主要有应变片、光纤光栅法、导电膜法、振弦式应变片等[18]。在本系统中，采用应变片监测桥梁在外部车辆荷载情况下的应变响应信息。将其与 10 K 电阻连接成分压式电路，输入电压连接至 NI ELVIS II 的 VPS+和 GND，应变片两端电压连接至 AI0+端和 AI0-端。

(4) 加速度传感器

桥梁的倾斜角度也是桥梁健康监测的一个重要因素。目前常用的方法有倾角仪、GPS 等。在本系统中，使用加速度传感器采集桥梁的加速度响应信息，用于分析桥梁在 X 轴和 Y 轴两个维度的倾斜角度变化。将加速度传感器的 X 输出端与 NI ELVIS II 的 AI2+端相连，加速度传感器的 Y 输出端与 NI ELVIS II 的 AI1+端相连，加速度传感器的 GND 端与 NI ELVIS II 的 AI2-和 AI1-相连。

(5) 振动传感器

桥梁结构的振动是桥梁结构分析的一项重要内容，在车辆荷载、人群荷载、风力和地震等运动作用下，桥梁结构都有可能产生振动，继而引起结构局部疲劳损伤。在本系统中，采用振动传感器监测桥梁的振动响应信息，由于采用的是数字振动传感器，所以将其输出端与 NI ELVIS II 的数字输入端 DI0+端相连。在系统中设置了报警阈值，一定监测到的振动数据超过阈值，系统会自动报警。

3.2. 软件设计

上位机监测界面采用图形化的编程语言 Labview 实现。Labview 可用于仪器控制、数据采集、数据分析和数据显示等领域。Labview 提供了多种强有力的工具箱和函数库，并集成了很多仪器硬件库。在本系统中，利用 DAQmx 库实现对各种数据的采集。DAQmx 具有丰富的应用程序编程接口(API)，一个多功能设备的所有功能都可以通过同一个功能集(模拟输入、模拟输出、数字 I/O)进行编程。利用 DAQmx 创建的一个数据采集程序设计如图 3 所示。本系统通过在 While 循环结构中嵌套条件结构，使用移位寄存器对条件结构中的各个分支程序进行顺序调用，对每个传感器采集的数据设置不同的通道，从而达到对多个传感器数据的采集。

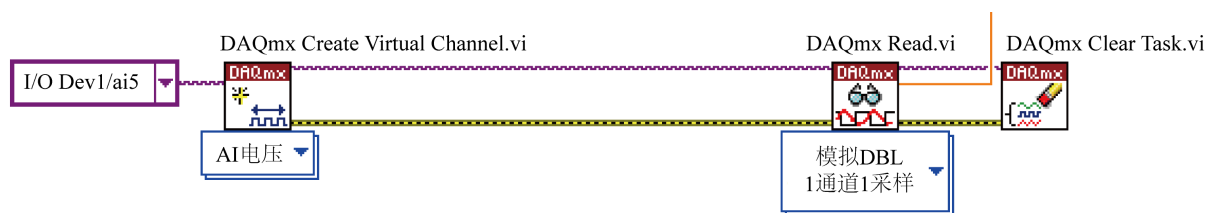


Figure 3. Data acquisition program
图 3. 数据采集程序

4. 试验结果和分析

为了验证数据采集系统的可行性，搭建了桥梁监测系统模型。将不同的传感器放置在桥梁的不同位置，监测系统模型如图 4 所示。使用 Labview 编写的监测系统显示界面如图 5 所示。数据显示界面可以实时显示环境温度、风速、桥面应力变化以及桥梁的姿态。此外，系统还设置了报警功能。当桥梁倾斜角度、外力引起的振动或者桥梁承受的压力超过设定的阈值时，系统可以进行报警提醒。

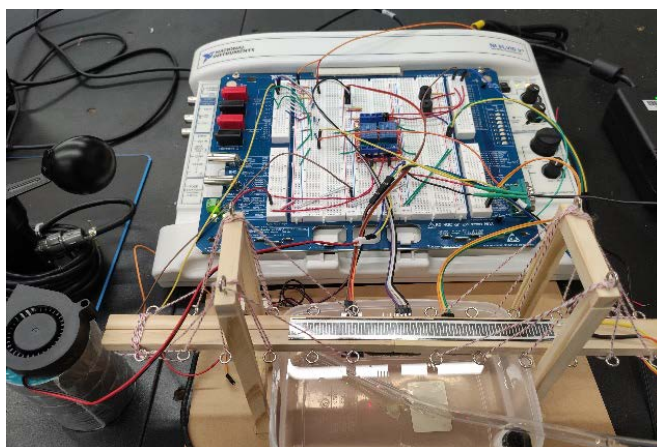


Figure 4. Bridge monitoring system model
图 4. 桥梁监测系统模型

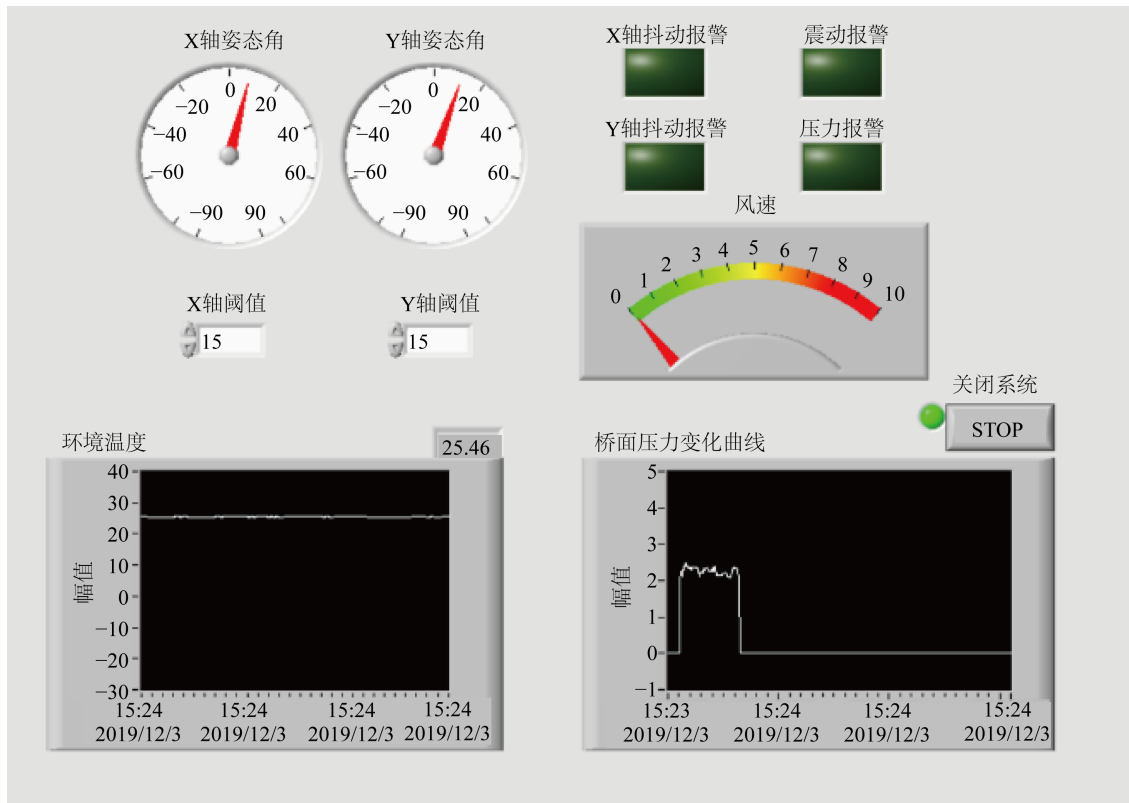


Figure 5. System display interface
图 5. 监测系统显示界面

5. 结论

本文基于 NI ELVIS II 硬件平台和图形化编程语言 Labview, 开发了桥梁健康监测数据采集系统。本系统可以实时采集和显示桥梁的环境温度、风速、桥梁的应变响应、振动响应以及倾斜姿态等信息, 如果采集的某一数据超过设定的安全阈值, 系统还可以进行报警提醒。在此基础上, 该平台还易于扩展更多维数据的采集和显示, 为后续的数据处理分析、桥梁安全评估提供数据支持。在下一步工作中, 将对数据分析处理以及远程传输进行研究。

基金项目

教育部产学合作协同育人项目(20171220005)。

参考文献

- [1] 王岩. 桥梁施工中有关裂缝问题的研究[J]. 低碳世界, 2018(1): 255-256.
- [2] 李思阳. 公路桥梁健康监测与安全预警研究简述[J]. 四川建筑, 2019(6): 110-111.
- [3] 周超. 基于区域分布光纤传感的桥梁健康监测技术综述[J]. 现代交通技术, 2019(6): 1-8.
- [4] 董忠波, 李富年, 杜荣武. 融合虚拟现实技术的桥梁监测系统设计与实现[J]. 现代电子技术, 2019(16): 44-48.
- [5] 杜彦良. 大型结构健康监测与“互联网+”[J]. 建筑, 2017(4): 10-15.
- [6] 刘家成. 光纤传感技术在桥梁监测中的应用研究[J]. 工程建设与设计, 2019(11): 200-202.
- [7] 蒋孝鹏, 邓清禄, 胡晓磊, 等. 分布式光纤在桥梁监测中的应用研究[J]. 建筑结构, 2018(s1): 617-620.
- [8] 李政, 张圣, 张卢喻, 等. 基于物联网技术的桥梁监测系统[J]. 物联网学报, 2018(3): 104-110.

-
- [9] 徐东亮. 基于 zigbee 的桥梁远程监测系统的开发与设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2018(7): 156-159.
- [10] 蒋雍建, 刘逸平, 周立成, 等. 基于桥梁响应统计信息的智能损伤识别方法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2019(12): 1667-1671.
- [11] 向阳, 杜君. 桥梁健康监测系统中的大数据分析与研究[J]. 铁路计算机应用, 2020(1): 44-48+54.
- [12] 田凯. 基于 DSP2812 桥梁健康监测数据采集系统的设计[J]. 机械工程与自动化, 2017(5): 147-148.
- [13] 高倩, 李旭杰, 潘少军, 等. 一种智能化数据采集设备在桥梁测试中的应用[J]. 测控技术, 2017(9): 24-26+30.
- [14] 于承新, 张国建, 赵永谦, 等. 基于数字测量技术的桥梁监测及预警系统[J]. 山东大学学报(工学版), 2020(1): 115-122.
- [15] 郑茂江. 虚拟仪器在电子测量领域的应用[J]. 电子制作, 2020(1): 55-56+5.
- [16] 邓召文, 袁野. 基于虚拟仪器的声级计测试系统开发[J]. 拖拉机与农用运输车, 2019(6): 23-27.
- [17] 徐曼. 风与列车荷载作用下大跨度公铁两用斜拉桥静动力响应分析[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- [18] 张弛, 高震, 薛丽. 桥梁应变监测技术及应变数据解耦研究[J]. 中外公路, 2019(1): 140-144.