

基于 LabVIEW 的支架结构安全监控系统设计

褚彬潜¹, 刘岳鹏², 龚一朋¹, 刘增华², 干啸洪³, 高铁成³, 何存富²

(1. 浙江省交通运输厅工程质量监督局, 杭州 311215; 2. 北京工业大学机电学院, 北京 100124;

3. 慈溪市公路建设工程指挥部, 浙江 慈溪 315300)

摘要: 针对路桥施工过程中支架结构的安全性能问题, 设计开发一套基于 LabVIEW 的安全监控系统, 通过采集应变和倾角信息, 全面地监测支架结构所承受的载荷与稳定性; 软件的开发融合了多种技术, 利用 LabVIEW 软件实现串口通信、GPRS 网络通信、数据库访问、数据报警以及 Web 发布等功能, 将无线传感器网络采集到的数据信息实时地反映给操作人员, 并同时具备数据报警、查询等功能; 测试结果显示, 系统构建了一个包含 10 个传感器节点的 ZigBee 网络, 并准确地获得了支架结构在受力变化时参数的变动, 且实现了 GPRS 远程监控的功能, 说明系统能够稳定、准确地对支架的应变和倾角信息进行监测, 并具有良好的后续开发空间和应用前景。

关键词: 安全监控; LabVIEW; 串口通信; GPRS 通信; 数据库访问

Design of a Support Structure Safety Monitoring System Based on LabVIEW

Chu Binqian¹, Liu Yuepeng², Gong Yipeng¹, Liu Zenghua², Gan Xiaohong³,
Gao Tiecheng³, He Cunfu²

(1. Communications Engineering Quality Supervision Bureau of Zhejiang Province, Hangzhou 311215, China;

2. College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology,

Beijing 100124, China; 3. Cixi City Expressway Construction Headquarter, Cixi 315300, China)

Abstract: In view of safety performance problem of the support structures in the highway bridge's construction process, a safety monitoring system based on LabVIEW is proposed. The system collects the strain and angle information, by which, is used to monitor the loading and stability of the support structure. The development of software uses a variety of techniques. The software achieves serial communication, GPRS network communication, database access, Web publishing features by LabVIEW. The software system shows the data information, which is collected by the wireless sensor networks, to the operators in real time, and also has data alarm, data query, and other functions. As the test results show, this system builds a ZigBee network of ten transducers, gets the change of parameters when the support structure has a change in the force accurately, and realizes the function of GPRS remote monitoring. Therefore, this system is able to monitor the strain and angle of the support structure stably and accurately. At the same time, the system has good prospects of the subsequent development.

Keywords: safety monitoring; LabVIEW; serial communication; GPRS communication; database access

0 引言

近年来, 支架法施工在桥梁建设中受到了广泛的关注, 并在实际工程应用中取得了较好的效果。支架虽是临时搭建的结构, 但其具有拆装灵活、承载性能好、施工快捷、造价低廉、维护简单及使用安全可靠等诸多优点^[1]。

支架作为承载结构, 承担着桥梁预压和浇筑过程中设备和材料的全部载荷, 而且是保证工人安全施工的基础。但由于支架是循环利用的施工设备, 多次利用后会对其力学性能和质量造成不同程度的影响或损伤, 往往只能通过离线抽样测试来确定其损伤程度; 而且, 现阶段对支架结构进行在役监测领域的研究仍鲜有报道, 一般只能根据工人的经验来判断, 不仅增加了监理人员的工作强度, 也不能客观地反映出实际情况^[2]。因此, 设计开发一套支架结构安全监控系统, 对支架整

体结构和安全性能进行实时、全面地监测, 在实际工程中是十分必要的。

LabVIEW 是美国 NI 公司推出的一种图形化编程软件, 其开发环境不同于传统的 C 和 Basic 语言, 源程序完全是图形化的框图, 采用数据流的方式编程, 没有文本的代码, 这也是其区别于传统编程语言的最显著特点。这款软件可以编写出界面美观、功能强大的程序, 在测试测量、控制、仿真等各领域都有着广泛的应用^[3]。

1 系统设计构架

本系统利用 ZigBee 无线传感器网络采集支架结构在承载过程中的应变和倾角信息, 将网络协调器与上位机建立连接, 可以直接通过 RS232 串口协议发送数据, 或者通过 GPRS 网络的方式来实现数据的传输; 软件采集到数据后, 将监测结果实时地显示给操作人员, 并保存至 Microsoft Access 数据库中, 以使用户随时查询历史数据。同时, 采用分级阈值报警机制, 对采集到的数据进行分类, 当超过规定阈值时, 对监测人员发出警示信息, 以便及时采取应对措施, 避免事故的发生^[4]。另外, 系统可将软件界面发送至 Web, 其他用户可根据服务器主机的 IP 地址进行访问和查看。

收稿日期: 2013-11-09; 修回日期: 2014-01-21。

基金项目: 国家自然科学基金项目(11272021); 浙江省交通运输厅科技计划项目(2012H02); 北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目(CIT&TCD201304048)。

作者简介: 褚彬潜(1973-), 男, 江西宜春人, 工程师, 主要从事公路桥梁方面的研究。

2 系统硬件设计

本系统硬件部分借助 ZigBee 技术搭建无线传感器网络，并与 GPRS 无线传输网络相结合，实现数据的采集和远程传输。其中，ZigBee 网络由一个协调器节点、若干个路由器和传感器节点构成^[5]。每个传感器节点负责采集其所在区域中支架的应变和倾角，并将数据发送给协调器；当传感器节点与协调器相距较远时，可通过中间路由器节点进行数据的转发；协调器节点将数据汇总后通过 RS232 串口发送给上位机，或由 GPRS DTU 设备，通过 GPRS 网络将数据发送到远程数据监控中心的计算机上，本系统硬件结构如图 1 所示。

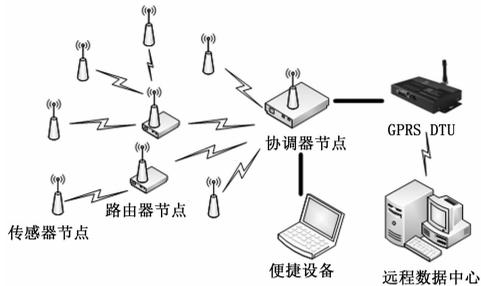


图 1 系统硬件结构

组建 ZigBee 网络的协调器和传感器节点，均以 CC2530 芯片为核心构建电路，它是一个集成的射频核心模块，其中包含了一个标准的 51 单片机内核，编程方便，可以通过美国 TI 公司提供的 Z-stack 协议栈编写程序，简单、高效地实现无线数据通信^[6]。

3 系统软件设计

本系统的上位机监测软件在 LabVIEW 开发环境下进行编写，系统的软件结构如图 2 所示。

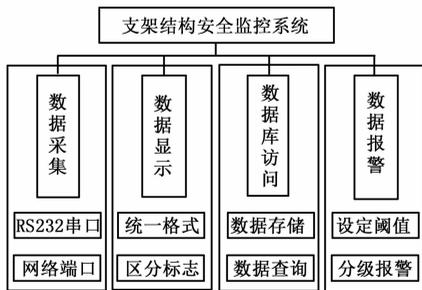


图 2 系统软件结构框图

本软件在设计中采用模块化设计思路，将总体结构分成数据采集、数据显示、数据库访问和数据报警共 4 部分。作为完整的支架结构安全监控系统，各部分模块之间相互关联，实现系统对支架结构的综合监控和管理。数据采集和显示的作用是将现场的测试结果实时、清晰地反映给操作人员，让其能够随时了解施工现场的实际情况；软件中提供了与 Access 数据库的接口和阈值判断过程，为用户提供数据库访问和报警功能。系统工作流程图如图 3 所示，为方便用户操作，同样采用模块化思路设计软件主监测界面，其包括以下几个部分：

1) 菜单栏：通过“参数设置”菜单对系统监测的传感器节点数量、串口配置参数、报警阈值等进行设置；“操作”菜

单中包含对监测结果的截图、查询等功能。

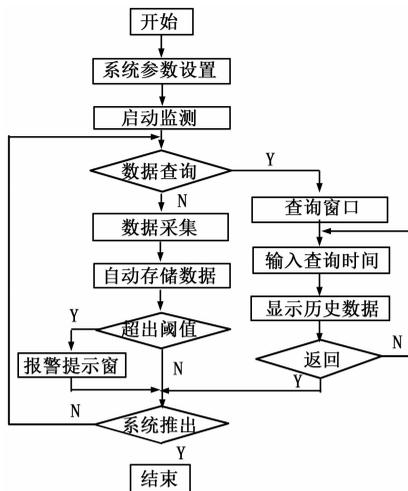


图 3 系统工作流程图

2) 工具按钮区：为了方便操作，软件设计中为用户提供了几个常用的工具按钮，“开始监测”和“暂停”按钮可以对系统的监测状态进行更改；“串口监测”和“网络监测”按钮用于切换采集数据的方式；另外，还可以通过工具按钮打开查询窗口、改变监测结果的显示方式等。

3) 状态显示区：用指示灯来显示系统当前的运行状态、执行的操作和数据采集方式。

4) 参数显示区：配置好的串口参数和报警阈值等信息会在主监测界面中显示出来，且监测数据出现问题时，会通过报警提示灯来提醒操作人员。

5) 监测结果显示区：监测结果可以通过实时曲线和表格数据显示出来。实时曲线部分可以绘制任何一个传感器节点的应变和倾角数据及变化趋势；表格数据能够清晰地反映出全部传感器节点的详细信息，把支架结构的整体监测结果显示出来。

3.1 数据采集

3.1.1 串口通信

CC2530 芯片作为无线传感器的射频模块，其外置通信接口采用串口方式，LabVIEW 软件为了方便用户在程序开发过程中使用串口进行通信，为用户封装了串口调用的 VI 作为通信节点，用户只需在计算机上安装 NI 公司提供的 VISA 驱动程序，就可以在程序开发时调用相应的函数，通过串口与下位机进行通信，而不必编写底层的通信代码，为程序的开发带来了极大的便利^[7]。

在施工现场进行系统测试时，将 ZigBee 网络协调器节点直接与计算机进行连接，并按照硬件识别的串口号对 VISA 资源名称、波特率、数据位及校验位等参数进行设置，就可以通过串口方式采集施工现场的数据。

3.1.2 网络通信

当在远程数据中心接收施工现场的数据时，可将协调器节点与 GPRS DTU 设备连接，把数据通过 GPRS 网络发送到 Internet 上，上位机软件即可通过网络采集数据，实现远程监控的目的。

在 LabVIEW 中，可以采用 TCP/IP 节点来实现网络通信，TCP 协议提供了可靠的网络连接，由服务器端通过 IP 地

址与端口号, 建立侦听, 等待客户端连接; GPRS DTU 根据服务器主机的 IP 地址和端口号发出连接请求, 建立连接后, 软件通过读写函数即可实现远程通信^[8]。

3.2 数据显示

为了实现对大型支架结构的综合监控, 需要设置多组传感器, 才能全面、系统地反映出支架的实际情况, 所以建立网状的 ZigBee 网络拓扑结构, 所有传感器节点采集的数据最终都汇聚到协调器节点处, 再转发给上位机。

对于大量的数据信息, 采用 LabVIEW 的表格控件和柱状图的方式, 能够全面地将结果呈现给操作人员, 并能清晰地对比出各节点数据的大小关系。

3.3 数据库访问

利用数据库访问技术, 用户可以创建一个数据库文件来管理复杂、庞大的测试任务, 存储试验数据。在 LabVIEW 软件中, 可以借用第三方开发的工具包 LabSQL 来进行数据库访问。该工具包支持 Windows 操作系统中任何基于 ODBC 的数据库, 将复杂的底层数据库语言封装成一系列 LabSQL VIs 模块, 便于软件模块化的设计^[9-10]。

在软件设计中, 采用导入注册表的方式在操作系统中动态配置 ODBC 数据源^[11], 并创建一个 DSN (Data Source Name), 与设计好的 Microsoft Access 数据库建立连接, 将部分内容封装成一个子 VI, 每次运行程序时进行调用, 就可避免手动添加数据源的麻烦。

在 LabVIEW 中要实现数据的存储和查询, 只需要调用相关函数, 并通过 SQL 语句实现向数据库中添加和查询历史数据的功能。

3.4 数据报警

设计支架结构监控系统的目的, 在于对施工过程中可能出现的临时问题进行及时地提醒和报警, 本系统中采用分级阈值报警机制, 分别对应变和倾角设置两级报警阈值, 对应于提醒和报警界限, 以便操作人员能够及时、详细地了解现场状况。

为了使结果显示更为清晰简洁, 系统会在对数据的处理后将其进行分类, 对于安全数据、提醒数据和报警数据, 分别以不同颜色显示。

3.5 Web 发布

为了让操作人员能够随时随地了解施工现场的情况, 可以选择给系统开启远程前面板功能, 将服务器中心的程序发布到 Web 上, 用户可以在任意联网的计算机上通过服务器的 IP 地址来访问软件的前面板。

在使用这种方式之前, 需要在发布程序的计算机上启动 Web 服务器, 并将要发布到 Web 上的 VI 或应用程序加载到内存中, 客户机就可以通过浏览器远程查看和控制 VI 的前面板; 当客户端远程打开一个前面板时, Web 服务器将前面板发送到客户端, 但程序框图和所有的子 VI 仍保留在服务器计算机上^[12]。

4 系统测试

经过了前期的开发和调试, 将系统应用到实际现场中进行测试分析, 利用 ZigBee 技术组建的无线传感器网络负责采集支架结构各区域的应变和倾角数据, 采用全桥形式连接应变电桥, 将倾角传感器连同节点电路一起固定在支架立杆上, 根据支架预压沉降观测点的分布情况, 在 25 m×16 m 的支架范围

内共布置 8 个传感器节点, 各传感器节点分布如图 4 所示。

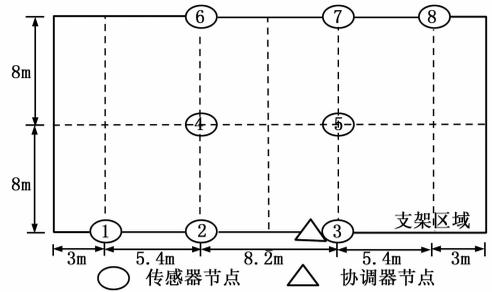


图 4 传感器节点分布示意图

通过串口方式在现场环境下进行系统的调试工作, 实现了对现场数据的采集和分析, 现场监测到的各传感器节点的数据结果如表 1 所示。

从表 1 中的结果可以看出, 在不借助路由器节点的情况下, 协调器节点顺利采集到了 8 个传感器节点的数据, 所以 ZigBee 网络的通信距离足以满足本系统所应用的现场试验。同时 LabVIEW 的表格控件将各传感器节点的数据清晰地显示出来。由于实验过程中, 支架顶部正在进行预压加载, 但初始阶段加载并不均匀, 且加载过程是从传感器 1、2、3 一侧开始, 所以该侧载荷更大, 支架的应变也就越大, 表 1 中传感器 3 的应变为 473 $\mu\epsilon$, 是 8 个节点中应变最大的。从倾角的数据发现, 在进行动态加载过程中, 支架会有微小倾斜, 不过各支架的倾斜方向不完全一致, 所以结果中会有正负之分, 但都在安全稳定的范围内。

表 1 各传感器节点的数据结果

| 传感器节点 | 应变/ $\mu\epsilon$ | 倾角/ $^\circ$ |
|-------|-------------------|--------------|
| 1 | -103 | -2.0 |
| 2 | -245 | -3.0 |
| 3 | 473 | 3.0 |
| 4 | 81 | -3.0 |
| 5 | 15 | 3.0 |
| 6 | 53 | -3.0 |
| 7 | -41 | -4.0 |
| 8 | 174 | 1.0 |

将软件运行到远程服务器中心, 采用 TCP 网络侦听的方式采集数据。设置好侦听端口后, 等待由 GPRS DTU 设备发送的现场数据。并将软件运行前面板发布到 Web 上, 通过其它客户端进行访问和查看。

从试验的结果分析, 系统通过稳定的无线传感器网络获得了准确的数据, 并及时地发送到了数据监控中心。上位机软件也能够实时、快速地将现场采集的数据结果显示给操作人员, 以满足对支架结构稳定、长期监测的要求。

5 结论

综上所述, 本文讲述的支架结构安全监控系统, 能够通过无线传感器网络和 GPRS 通信技术实时、有效地采集远程数据, 并通过内容丰富、功能全面的上位机监控软件对监测结果进行分析和处理。且系统能够承担长期、全面的现场监测任务, 并实现数据采集、存储、查询、

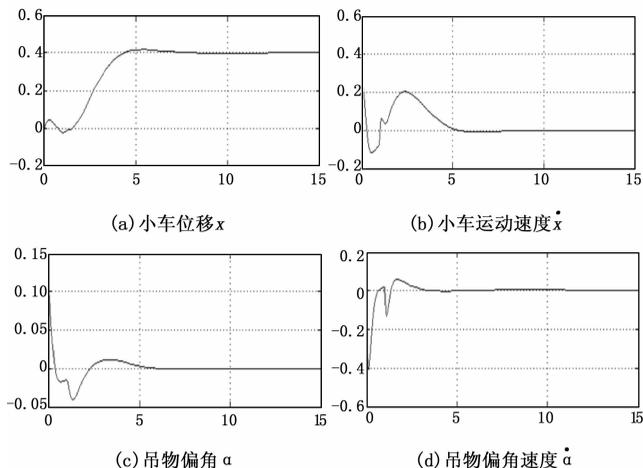


图 2 桥式起重机控制仿真结果

由仿真结果可以看出, LQ 最优反馈控制律作用于被控对象时, 系统具有良好的动态性能指标。当吊钩初始状态具有 0.1 rad 的偏角, 小车从原点运动 400 mm 的距离时, 5 s 就能够实现桥式起重机实验装置的精确定位和消除吊钩游摆, 说明了该算法能够获得满意的实际控制效果。

在试验调试中, 采用了固高科技公司的一款 GTS-400 四轴运动控制板卡来实现上述最优控制策略。经过空载试验和负载调试, 当设定大小车运动位移后, 大小车能够在较短的时间内同时运动到位, 并有效地消除吊钩运动过程中产生的游摆。试验结果如表 2 所示, 表中的试验数据以小车运动为例, 均是 10 次试验结果的平均值。

表 2 试验数据

| 大车位移/mm | 位移误差/mm | 调节时间/s | 偏角误差/rad |
|---------|---------|--------|----------|
| 200 | ±2.30 | 4.4 | ±0.01 |
| 400 | ±4.40 | 6.7 | ±0.01 |
| 600 | ±6.40 | 8.8 | ±0.01 |

(上接第 2427 页)

报警以及远程访问等多种功能, 使得对支架的监测工作变得简便易行, 弥补了该领域现有技术应用的局限性, 具有较好的发展前景。

参考文献:

[1] 陈建. 门式钢管模板支架受力性能研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2010.

[2] 冀江红. 施工用临时支架结构中支撑作用分析 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.

[3] 郑对元. 精通 LabVIEW 虚拟仪器程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

[4] 王泽林, 褚彬潜, 干啸洪, 等. 基于 ZigBee 和 GPRS 的支架结构安全监测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2013, 36 (24): 90-93+98.

[5] 朱斌, 谭勇, 黄江波. 基于 ZigBee 无线定位技术的安全监测

4 结论

本文从桥式起重机精确定位和消除吊钩游摆的控制问题出发, 针对设计过程中出现的 LQ 问题进行了深入地探讨, 并给出了合理的解决方案, 获得了被控系统的 LQ 逆问题加权矩阵 Q 的解析解, 从而求得指定闭环极点的最优状态反馈矩阵 K。仿真和实物对象的试验结果表明控制器设计是有效的, 完全能够安全、快速地实现了桥式起重机精确定位和消除吊钩的游摆, 且算法简单、易于实现桥式起重机无人值守的远程控制。

参考文献:

[1] 曾昭龙, 田凯, 李文秀. 舰载特种起重机轨迹跟踪吊重防摆控制 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005, 26 (4): 457-461.

[2] 董明晓, 郑康平, 张明勤. 桥式起重机消摆控制仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17 (6): 1459-1461.

[3] 杨斌, 刘惠康, 代文蕤. 桥式起重机抗扰动跟踪控制器的设计 [J]. 电气传动, 2011, 41 (4): 39-42.

[4] 杨斌, 刘惠康, 代文蕤. 桥式起重机防摆控制器的设计 [J]. 制造业自动化, 2012, 34 (1): 122-131.

[5] 吕强, 王珂珂, 王国胜. 基于两轮自平衡机器人的 LQR 控制器设计与实现 [A]. 2009 Chinese Control and Decision Conference [C]. 2009: 2343-2348.

[6] Lee T T, Liwa G T. The inverse problem of linear optimal control for constant disturbance [J]. Int. J. Control, 1986, 43 (2): 233-246.

[7] 王耀青. LQ 最优控制系统加权矩阵 Q 的一种数值算法 [J]. 控制与决策, 2000, 15 (5): 513-517.

[8] 王耀青. LQ 逆问题解的一种有效算法 [J]. 控制理论与应用, 1992, 9 (1): 10-14.

[9] 吴受章. 最优控制理论与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008, 3.

[10] 武俊峰, 张继段. 两轮自平衡机器人的 LQR 改进控制 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012, 17 (6): 1-5.

系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (6): 1247-1249, 1252.

[6] 高守玮, 吴灿阳. ZigBee 技术实践教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.

[7] 梁国伟, 陈方泉, 林祖伟. 基于 LabVIEW 的串口数据采集的实现及应用 [J]. 现代机械, 2009, 5: 57-58, 72.

[8] 姚娟, 张志杰, 李丽芳. 基于 LabVIEW 和 TCP 的数据采集系统设计与实现 [J]. 电子技术应用, 2012, 38 (7): 72-74.

[9] 程文, 孙金立, 张海兵, 等. 基于 LabVIEW 的航空电缆故障检测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (3): 446-448.

[10] 唐亚鹏, 侯媛彬. 基于 LabVIEW 的实践教学平台与 Access 数据库的开发 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21 (5): 219-222.

[11] 朱后, 彭宇宁. 在 LabVIEW 中动态配置 ODBC 数据源的方法 [J]. 工业控制计算机, 2006, 19 (7): 45-46.

[12] 李继容, 何湘初. 用 LabVIEW Web 服务器发布网页的两种方法 [J]. 仪表技术, 2003, 5: 13-15.