

基于物联网的桥梁压力信息采集系统^①

卜范玉¹, 王 鑫², 赵 亮³, 张清辰³

¹(内蒙古财经大学 职业学院, 呼和浩特 010051)

²(内蒙古农业大学 信息与网络中心, 呼和浩特 010018)

³(大连理工大学 软件学院, 大连 116620)

摘 要: 桥梁的压力信息采集是监测桥梁建筑健康状况监测的重要组成部分. 针对传统桥梁建筑压力信息采集系统存在的缺陷, 设计一套基于物联网桥梁建筑压力信息采集系统, 该系统利用 CAN 总线将压力传感器采集到的信息传输到数据处理中心, 以满足压力信息传输实时性的需求. 在将压力信息存入到数据库之前, 对不完整信息进行有效填充, 为桥梁建筑专家提供有意义的压力信息. 仿真实验表明, 该系统能够实时采集桥梁建筑的压力信息并满足桥梁专家的需求.

关键词: 桥梁信息采集; 数据填充; CAN 总线; 物联网

Pressure Information of Bridges Collection System Based on IoT

BU Fan-Yu¹, WANG Xin², ZHAO Liang³, ZHANG Qing-Chen³

¹(Vocational College, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Huhhot 010051, China)

²(Information and Network Center, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

³(School of Software Technology, Dalian University of Technology, Dalian 116620, China)

Abstract: The pressure information collection of bridge buildings is important to monitor the healthy status of the bridge buildings. For the defects of traditional pressure information collection system, the paper designs a system for collecting the pressure information of bridges based on the IoT. To meet the demand of real time, the system sends the pressure information collected by pressure sensors to the data processing center through the CAN bus. Before storing the pressure information into the database, the system will fill the incomplete pressure information to provide the bridge experts with useful information. Simulation experiments show the system can collect the pressure information of bridges in real time and meet the demand of bridge experts.

Key words: information of bridges collection; data filling; CAN bus; internet of things

桥梁设施是一个国家的重要基础设施, 是交通运输网络的重要节点. 桥梁的安全直接关系到人民的生命安全, 同时桥梁设施在国民经济生活中具有十分重要的地位. 桥梁建成通车后, 经过长期使用, 其结构难免因为各种原因使结构发生损伤, 致使其安全程度降低^[1]. 一旦桥梁局部失效或整体运载能力不足, 势必会影响桥梁结构的正常使用, 甚至造成灾难性的重大事故, 造成重大的人员和经济损失. 及时对桥梁健康状况进行监测, 利用监测得到的信息分析结构的健

康状况、评价大桥承受静、动态荷载的能力和结构的安全可靠性, 以其尽早发现结构的损伤、预测结构功能的退化, 使人们能够及时采取有效的技术措施和手段来确保桥梁结构或局部的安全性、可靠性, 避免事故的发生, 以保证大桥的运营安全^[2].

物联网体系主要可以分为感知识别层、网络构建层、管理服务层和综合应用层^[3,5].

桥梁的压力信息采集是桥梁健康状况监测的重要组成部分, 目前常用的桥梁压力信息采集方法主要包括超

① 基金项目: 大连市科学技术局科技计划(2011A17GX076)

收稿时间: 2012-09-12; 收到修改稿时间: 2012-10-27

声波探伤技术、声波检测技术和雷达检测技术等^[4]。然而目前我国桥梁压力信息监测监控系统存在明显的缺点和不足：(1) 数据传输速率低，当下端出现异常时，数据不能立即上传，系统灵活性差，实时性不够高。(2) 压力传感器在无人工操作环境下采集数据，由于各种原因可能导致其采集数据不完整，当前的压力信息监测系统没有考虑对数据进行处理，尤其是对不完整数据进行填充。无法为桥梁鉴定专家提供有意义的信息。

针对以上问题，本文设计一套基于物联网桥梁建筑压力信息采集系统，该系统利用 CAN 总线搭建物联网的数据传输网络，将压力传感器采集到的信息传输到数据处理中心，以满足压力信息传输实时性的需求。在将压力信息存入到数据库之前，对压力信息进行必要的处理，重点是填充不完整的压力信息以及缺损信息，为桥梁建筑专家提供有意义的压力信息。仿真实验表明，该系统能够实时采集桥梁建筑的压力信息并满足桥梁专家的需求。

1 桥梁压力信息采集系统设计

1.1 系统总体构架

基于物联网的桥梁压力信息采集系统从下到上分为三个层次：CAN 压力传感器采集层、CAN 总线数据传输层、云端数据分析处理层。CAN 压力传感器采集层实时采集桥梁压力信息，并通过 CAN 总线将采集的压力信息发送到中间层主 CAN 节点。CAN 总线数据传输层通过 CAN 总线协调、接收下层 CAN 压力传感器采集的数据，并对采集到的信息进行临时存储备份，然后发送信息到上层云处理中心，备份数据定期清空。云端数据分析处理层接收中间层主 CAN 节点发送过来的数据，并对不完整数据进行填充处理，存储数据到数据库中以供相关领域专家使用。图 1 展示了基于物联网的桥梁压力信息采集系统的整体框架。

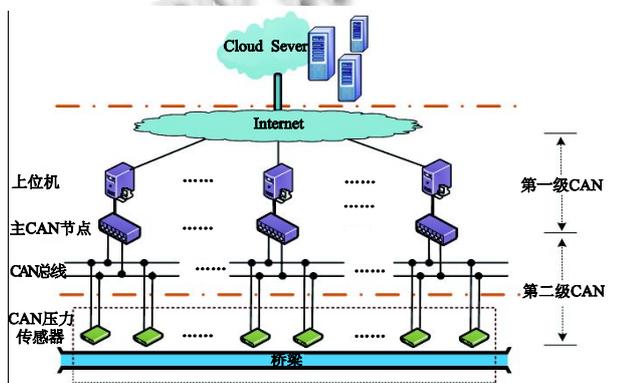


图 1 系统整体框架图

1.2 CAN 压力传感器采集层

CAN 压力传感器采集层主要包括 CAN 压力传感器节点，CAN 压力传感器节点主要包括压力传感器、AD 模数转换放大电路、微控制器、CAN 控制器和 CAN 驱动器等。各部分连接图如图 2 所示。



图 2 CAN 压力传感器节点组成图

微控制器控制传感器采集压力数据，传感器采集的数据经 AD 模数转换放大电路传给微控制器，微控制器将数据转送给 CAN 控制器，CAN 控制器经 CAN 驱动器将数据发送到 CAN 总线。AD 模数转换放大电路采用 HX711 24 位 A/D 转换芯片，该芯片集成了包括稳压电源、片内时钟振荡器等其它同类型芯片所需要的外围电路，具有集成度高、响应速度快、抗干扰性强等优点。该芯片与后端 MCU 芯片的接口和编程非常简单，所有控制信号由管脚驱动。芯片内提供的稳压电源可以直接向外部传感器和芯片内的 A/D 转换器提供电源，系统板上无需另外的模拟电源。芯片内的时钟振荡器不需要任何外接器件。上电自动复位功能简化了开机的初始化过程。HX711 转换芯片应用方案如图 3 所示。

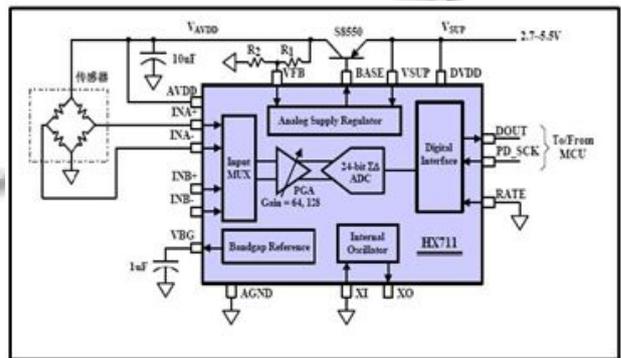


图 3 HX711 转换芯片应用方案图

微控制器采用基于 8051 内核的 P89C668 单片机，配置接收前端数模转换放大电路数字信号，通过 CAN 总线转发采集数据。CAN 采用 MCP2515 控制器和 TJA1050T 收发器，MCP2515 是一款独立 CAN 控制器，可简化需要与 CAN 总线连接的应用。

CAN 模块的功能是处理所有 CAN 总线上的报文接收和发送。

通过与其他模块连接, 控制逻辑模块控制 MCP2515 的设置和运行, 以便传输信息与控制. 所提供的中断引脚提高了系统的灵活性. 器件上有一个多用途中断引脚及各接收缓冲器的专用中断引脚, 用于指示有效报文是否被接收并载入接收缓冲器. 可选择使用专用中断引脚. 通用中断引脚和状态寄存器(通过 SPI 接口访问)也可用来确定何时接收了有效报文. 器件还有三个引脚, 用来启动将装载在三个发送缓冲器之一的报文立即发送出去. 是否使用这些引脚由用户决定; 若不使用, 也可利用控制寄存器(通过 SPI 接口访问)来启动报文发送.

MCU 通过 SPI 接口与该器件连接. 使用标准的 SPI 读/写指令以及专门的 SPI 命令来读/写所有的寄存器.

1.3 CAN 总线数据传输层

CAN 总线数据传输层主要包括主 CAN 节点和上位机. 每个 CAN 总线分系统一主多从分布式结构. 主节点为主 CAN 节点, 从节点为 CAN 压力传感器. 主 CAN 节点用于完成 CAN 总线与上位机之间通信, 上位机通过 Internet 与云端数据分析处理中心联网, 实现桥梁压力现场数据采集、信息处理和网络化控制. 由于主 CAN 节点的数据处理量相对较大, 采用 TI 公司内置 CAN 驱动器的 DSP 处理器 TMS320LF2407.

1.4 云端数据分析处理层

本系统的第三层为云端数据分析处理层, 主要负责收集由 CAN 总线发送过来的桥梁压力信息并将这些信息存储到数据库中, 以便桥梁专家的查看和使用. 在存储数据库之前, 系统首先对收集的数据进行处理, 包括去除噪声数据、删除冗余和重复数据与填充不完整数据. 本系统主要考虑对不完整数据的填充.

目前主要的不完整数据填充算法需要用到对象的多个属性, 利用概率的方法对缺失值进行填充. 在本系统中只采集压力属性数据, 无法直接利用传统的方法对缺失值进行填充. 本系统采用多节点协同的方法构造插值函数, 计算缺失值并进行填充. 插值函数构造过程如下(设某一时刻某一桥梁上共有 N 个传感器节点, 其中有 M 个传感器节点没有采集到数据):

设实值函数 $f(x, y)$ 定义在 N 个节点经纬度信息所划定的矩形区域 $D=\{a \leq x \leq b, c \leq y \leq d\}$, (x 为节点维度, y 为节点经度). 插值节点集: $Z = \{(x_i, y_j) / a \leq x_0 \leq x_1 \leq \dots \leq x_n \leq b, c \leq y_0 \leq y_1 \leq \dots \leq y_m \leq d\}$. 取在 Z 上线性无关的函数组 $\{\varphi_{kr}(x, y) / k=0, 1, \dots, n; r=0, 1, \dots,$

$m\}$. 其中, $\varphi_{kr}(x, y)$ 是次数关于 x 不高于 n 次、关于 y 不高于 m 次的二元多项式. 在函数空间 $D = Span\{\varphi_{00}, \dots, \varphi_{0m}, \dots, \varphi_{n0}, \dots, \varphi_{nm}\}$ 上寻找二元插值多项式

$$p_{nm}(x, y) = \sum_{k=0}^n \sum_{r=0}^m c_{k,r} \varphi_{k,r}(x, y)$$

使其满足插值条件

$$p_{nm}(x_i, y_j) = f(x_i, y_j), \quad i = 0, 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m$$

取插值基函数

$$\varphi_{kr}(x, y) = l_k(x) \tilde{l}_r(y), \quad k = 0, 1, \dots, n; r = 0, 1, \dots, m$$

其中

$$l_k(x) = \prod_{t=0, t \neq k}^n \frac{x - x_t}{x_k - x_t}, \quad \tilde{l}_r(y) = \prod_{t=0, t \neq r}^m \frac{y - y_t}{y_r - y_t}$$

这样的 $\varphi_{kr}(x, y)$ 满足

$$\varphi_{kr}(x_i, y_j) = \begin{cases} 1, & (i, j) = (k, r) \\ 0, & (i, j) \neq (k, r) \end{cases}$$

因此, $\varphi_{kr}(x, y)$ 在点集 (x_i, y_j) 上线性无关, 得到的插值多项式为:

$$p_{nm}(x, y) = \sum_{k=0}^n \sum_{r=0}^m l_k(x) \tilde{l}_r(y) f(x_k, y_r), \quad \text{近似式 } f(x, y) \approx$$

$p_{nm}(x, y)$.

这样, 根据丢失数据的 M 个节点的经纬度坐标信息, 就可估算出其大概的压力值.

3 实验仿真

在实验室建立模拟桥梁, 使用汽车模型在桥梁上通过, 将压力传感器与模拟桥梁连接, 通过将 CAN 总线连接到数据处理中心.

首先进行数据传输实时性需求测试, 验证数据传输时间是否满足实时性要求. 实验结果如表 1 所示(其中*的数据为采集的不完全数据).

表 1 数据采集时间表

N \ T	1	2	3	4	5	Average delay
1	64.1	18.1	5.26	2.64	*	0.05s
2	*	64.1	*	7.91	1.98	0.02s
3	7.62	12.0	63.9	*	8.01	0.06s
4	2.11	*	19.1	64.1	18.1	0.10s
5	0.97	1.03	3.64	17.9	64.0	0.06s

接下来利用数据填充方法对缺失数据进行填充, 填充结果如表 2 所示.

表 2 不完整数据填充结果表

N \ T	1	2	3	4	5	Average delay
1	64.1	18.1	5.26	2.64	1.01	0.05s
2	18.2	64.1	18.3	7.91	1.98	0.02s
3	7.62	12.0	63.9	19.1	8.01	0.06s
4	2.11	2.17	19.1	64.1	18.1	0.10s
5	0.97	1.03	3.64	17.9	64.0	0.06s

经过与真实数据对比, 得出数据填充准确率曲线如图 4 所示。

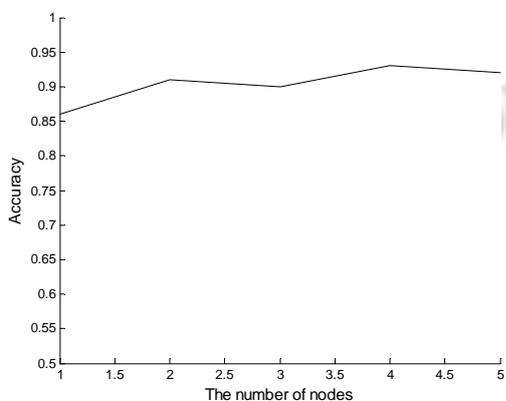


图 4 数据填充准确率统计曲线

通过仿真实验结果可以看出, 本文提出的桥梁信息采集系统的实时性能满足要求, 同时数据填充准确度满足专家的分析 and 采集需要。

4 结论

桥梁的安全直接关系到人民的生命安全, 桥梁健康状况监测是保障桥梁安全的有效措施。桥梁的压力信息采集是桥梁健康状况监测的重要组成部分, 为了能够实时、有效的采集桥梁的压力信息, 本文设计并实现一套基于物联网桥梁建筑压力信息采集系统, 该系统利用 CAN 总线将压力传感器采集到的信息传输到数据处理中心, 以满足压力信息传输实时性的需求。在将压力信息存入到数据库之前, 对不完整信息进行有效填充, 为桥梁建筑专家提供有意义的压力信息。仿真实验表明该系统能够实时采集桥梁建筑的压力信息并满足桥梁专家的需求。下一步工作主要是研究如何根据桥梁压力特点构建压力分布模型, 以精确填充未采集到得压力数据。

参考文献

- 1 李萍. 桥梁健康状况监测系统研究现状及对策分析. 福建建筑, 2010, (3): 99-101.
- 2 张启伟. 大型桥梁健康监测概念与监测系统设计. 同济大学学报, 2001, 29(1): 65-69.
- 3 刘云浩. 物联网导论. 北京: 科学出版社, 2010.
- 4 王金辉, 王桃芳, 周捐玉. 桥梁结构安全检测方法. 中国水运, 2011, (11): 192-193.
- 5 Wang KQ, Cai K. Farmland information gathering and monitoring system based on IOT. 2010 Second Pacific-Aisa Conference on Circuits, Communications and System. Aug. 2010: 253-256.

(上接第 63 页)

参考文献

- 1 王春燕. 浅析我国企业物流信息化的建设. 科技资讯, 2011, (4).
- 2 骆正茂, 王娟. 机械产品资源共享平台. 工程设计, 2011, (2).
- 3 李伯虎, 张霖, 王时龙, 等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 1-7, 16.
- 4 骆正茂. 基于云制造模式的零件库系统. 计算机系统应用, 2012, 21(4): 41-45.
- 5 骆正茂, 吴建平. 基于 Web 的机械零部件 CAx 在线集成系统. 计算机系统应用, 2012, 21(5).
- 6 徐向荣. 基于 Web 服务的分布式零件库系统开发与应用研究. 杭州: 浙江大学, 2006.
- 7 张霖, 罗永亮, 陶菲, 等. 制造云构建键技术研究. 计算机集成制造系统, 2010, 16(11): 2511-2520.
- 8 韩燕波, 王桂玲, 刘晨, 等. 互联网计算的原理与实践. 北京: 科学出版社, 2010.
- 9 朱立达, 梁伟立, 董圣广, 等. 基于 Web 的数控机床动态仿真系统的研究. 计算机集成制造系统, 2009, 15(5): 954-958.
- 10 骆正茂. 基于 Silverlight 的机械零部件在线制图系统. 现代制造工程, 2008, 31(3): 461-465.