

基于 Web 的桥梁健康监测系统设计及实现

薛昊¹, 马荣贵¹, 杨荣好², 骆磊¹

(1. 长安大学 信息工程学院, 陕西 西安 710000;

2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710000)

摘要:在桥梁健康监测的建设中,需要布置多种终端传感器设备,例如温湿度、应变传感器等。但是在现有的桥梁监测系统中,其传感器都是由多个厂商部署,其数据格式、接口不一,导致数据相对孤立。基于计算机技术,将多种协议转换成以太网,实现一种多传感器数据融合的桥梁健康监测系统。该系统具有传感器设备的注册修改删除,用户注册修改删除,传感器监测数据实时显示存储,桥梁结构安全的评估预警等功能。传感器通过串口、模拟信号、光纤光栅信号等连接至下位机,下位机通过单片机 A/D 采样以及解调仪等将多种信号转换为数字信号通过串口传至上位机,上位机采用 ARM Cortex-A9 运行主程序,实现多线程网络通信,通过协议转换网关后,经光纤发送至 Web 服务器以及 Oracle 数据库进行展示和存储。

关键词:桥梁健康监测;多传感器数据融合;Web 服务器;协议转换网关;多线程网络通信

中图分类号:TP23;TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)04-0126-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.04.024

Design and Implementation of Bridge Health Monitoring System Based on Web

XUE Hao¹, MA Rong-gui¹, YANG Rong-hao², LUO Lei¹

(1. School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710000, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710000, China)

Abstract: In the construction of bridge health monitoring, a variety of terminal sensor devices, such as temperature, humidity and strain sensors, need to be arranged. However, in the existing bridge monitoring system, its sensors are deployed by many manufacturers, whose data formats and interfaces are different, resulting in relatively isolated data. Based on computer technology, a bridge health monitoring system based on multi-sensor data fusion is realized by converting various protocols into Ethernet. The system has the functions of registration modification and deletion of sensor equipment, user registration modification and deletion, real-time display and storage of sensor monitoring data, evaluation and early warning of bridge structure safety, etc. Sensors are connected to the lower computer through serial port, analog signal, fiber Bragg grating signal and so on. The lower computer converts many kinds of signals into digital signals through microcontroller A/D sampling and demodulator, and transmits them to the upper computer through serial port. The upper computer uses ARM Cortex-A9 to run the main program to realize multi-threaded network communication. After protocol conversion gateway, the lower computer transmits them to Web server and Oracle number through optical fiber. The database is displayed and stored.

Key words: bridge health monitoring; multisensor data fusion; Web server; protocol conversion gateway; multithread network communication

0 引言

中国目前已成为世界上名符其实的桥梁结构建设大国,中国桥梁的设计和建设水平取得了令世界桥梁强国都为之惊叹的技术进步,目前中国正处于一个桥

梁设计、建造技术的创新、验证、积累、再沉淀的历史时期^[1]。但相对大桥的设计、建设而言,国内大型桥梁信息化、数字化监测技术刚处于一种起步发展状态,监测结果不尽如人意。桥梁健康监测的基本概念是通过各

收稿日期:2019-06-15

修回日期:2019-10-18

网络出版时间:2019-12-18

基金项目:陕西省技术创新引导专项基金(2018XNCG-G-16)

作者简介:薛昊(1996-),男,硕士研究生,CCF会员(C0496G),研究方向为物联网技术;马荣贵,教授,博导,研究方向为分布式计算机网络测控技术及应用。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190902.1645.006.html>

类传感器的铺设对桥梁结构状态进行实时监控与评估,为大桥在特殊气候、交通条件下或桥梁运营状况严重异常时触发预警信号,为桥梁维护、维修与管理决策提供依据和指导^[2]。为桥梁监测的建设中,需要布置多种终端设备,例如温度传感器、位移传感器、加速度传感器、应变传感器等等。但是现有的各类传感器系统,一般都是由多个厂商部署的,其数据传输标准、接口和数据格式不一^[3]。信息系统解决了应用数据级别的整合,但是,很难实现传感数据级别的整合,从而形成了一个传感数据信息孤岛。其直接的后果是系统的使用和管理较为繁琐、布设新的传感器困难,更重要的是由于数据相对孤立,难以实现多传感器数据融合,为深层次的决策做支持^[4]。

对此文中将传统桥梁健康监测与物联网技术相结合,实现不同接口、不同格式传感器的数据融合,实现桥梁健康监测与保存查询一体化,并且以网页形式进行查看,支持用户远程访问,方便日后维修,检查中在桥梁现场也能实时查看远程控制中心获取的数据,以及能够随时随地对桥梁监测数据进行查看监督,增强了桥梁监测系统的移动性^[5]。同时对传感器数据进行分析评估,对处于危险状态的桥梁给出维修,加固的建议。与此同时,后期二次开发过程中,支持传感器的添加注册,使整个系统的功能更加丰富。

1 系统总体设计

基于 Web 的桥梁健康监测系统(见图 1)由四部分组成,分别为 Web 服务器、上位机、下位机以及众多传感器部分^[6]。Web 服务器采用 B/S 架构,服务器端采用 J2EE+ORACLE 数据库的强大组合,前端采用 jquery UI 架构^[7],采用 echarts 插件更立体地显示桥梁监测数据的变化,Web 服务器主要实现用户以及管理员的注册,登陆,权限管理等^[8]。用户能够查看实时桥梁监测数据以及变化等。管理员能够查看以及更改桥梁监测数据阈值,并且能够对新传感器进行注册添加等。上位机由 ARM Cortex-A9 组成^[9],移植 Linux 3.14 内核和文件系统,主要负责将数据采集系统采集到的数据通过协议转换(RS232->TCP/IP)^[10],通过光纤传输给远程控制中心的 Web 服务器,方便处理分析^[11]。下位机由多个不同种类的信号采集模块构成,数量根据桥梁的大小以及布设传感器的密集程度决定。目前市场上传感器多由不同厂家生产部署,因此其信号类型不一,例如在应变以及位移等传感器方面多采用光纤光栅传感器,而在湿度、加速度等方面多采用模拟信号传输的传感器^[12]。因此采用 STM32 的 A/D 采集模块以及 SM125 光纤光栅解调仪分别将模拟信号以及光纤光栅信号转换为数字信号^[13],并将该

数据以 RS232 传输到上位机,实现不同信号的融合。系统最底端部分由各种传感器构成,包括应变、温湿度、加速度传感器等,实现监测数据实时传输。

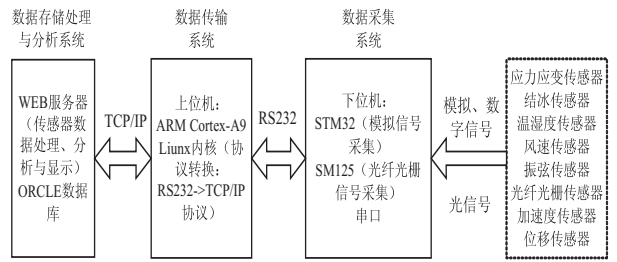


图 1 系统总体设计

2 硬件设计部分

基于 Web 的桥梁健康监测系统(见表 1)硬件部分由四部分组成,分别为 Web 服务器、上位机、下位机以及众多传感器部分。Web 服务器采用华为 2288HV5,上位机包含 ARM Cortex-A9 处理器,移植 Linux3.14 内核和文件系统,下位机则是采用 STM3 的 A/D 采集模块以及 SM125 光纤光栅解调仪将不同信号转换为数字信号,并将该数据以 RS232 传输到上位机,实现不同信号的融合。系统最底端部分由各种传感器构成,包括应变、温湿度、加速度传感器等,实现监测数据实时传输。

表 1 主要硬件

硬件	规格型号	数量
Web 服务器	华为 2288HV5	1
上位机	ARM Cortex-A9	1
下位机	STM32 单片机、SM125 解调仪等	N (由传感器分布决定)
各种传感器	GK-3700, GK-4200 等	N (由传感器分布决定)
PC 机	HUAWEI	1
摄像头	V5610	N

2.1 光纤光栅应变传感器

应变传感器采用的是 PI-FBG-E3000 光纤光栅表面式应变计,具有高稳定性以及高分辨率等特点。适合在桥梁等恶劣条件下安装,不易损坏。其工作原理如图 2 所示。

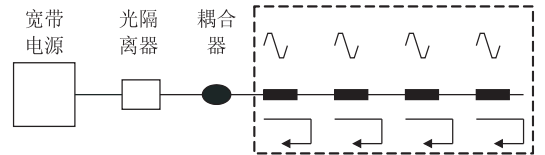


图 2 光纤光栅工作原理

2.2 温湿度传感器

温湿度传感器采用的型号为 DS18B20,具有体积小,开销小,精度高等特点。其电路简单,测量范围较

大。具体连接电路如图 3 所示。

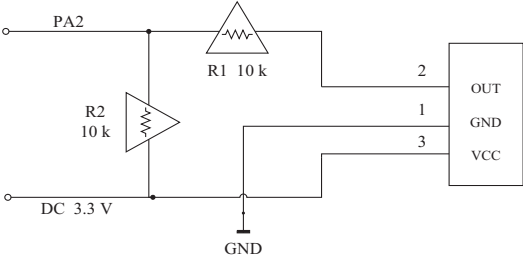


图 3 温湿度传感器电路图

3 软件设计部分

软件设计分为 3 部分：(1)由 Web 服务器构建的 Web 页面。Web 服务器采用 B/S 架构,服务器端采用 J2EE+ORACLE 的强大组合,前端采用 jquery UI 架构,采用 echarts 插件更立体地显示桥梁监测数据的变化。(2)上位机软件。基于 Linux 内核和文件系统,采用 C 语言编写,经交叉编译器编译后,在 ARM Cortex-A9 运行。(3)下位机软件。下位机软件主要包括模拟信号数据采集软件以及光纤光栅信号采集软件。采用 C++语言编写,QT 编写图形界面 GUI。

3.1 Web 页面设计

Web 的页面设计需要满足以下几个需求：

(1)实现用户与管理员的登陆,注册,权限管理,信息修改等。用户登陆后,能够查看到实时桥梁健康监测数据以及历史信息。管理员登陆后,能够查看到各传感器设置的警戒阈值并进行修改,能够对新旧传感器进行添加删除修改等,如图 4 所示。

编号	编码	传感器类型	测量类型	单位	传感器型号
130	RT-1-1	温度传感器	温度	℃	温度传感器
132	RT-2-1	温度传感器	温度	℃	温度传感器
131	RT-1-2	湿度传感器	湿度	%	湿度传感器
133	RT-2-2	湿度传感器	湿度	%	湿度传感器
121	AV-1	加速度传感器	加速度	g	加速度传感器
122	AV-2	加速度传感器	加速度	g	加速度传感器
123	AV-3	加速度传感器	加速度	g	加速度传感器
124	AV-4	加速度传感器	加速度	g	加速度传感器
134	WS-1-1	风速传感器	风速	m/s	风速风速仪
136	WS-2-1	风速传感器	风速	m/s	风速风速仪

图 4 管理员传感器管理界面

(2)从上位机传送进来的桥梁健康监测数据完成实时展示,能够直观展示出数据的变化(采用折线图),以及对高于危险阈值的数据发出警报,给出维修,加固的建议。同时保存到 Oracle 数据库,并且能够查询到最近 3 个月的历史数据,如图 5 所示。

3.1.1 Oracle 数据库

Oracle 是甲骨文公司的一款关系数据库管理系统。其在数据库领域一直处于领先地位。

Oracle 数据库支持多用户并发处理,用户之间的操作不会互相破坏,Oracle 数据库能在满足串行化的

前提下,将并发行提升最大。

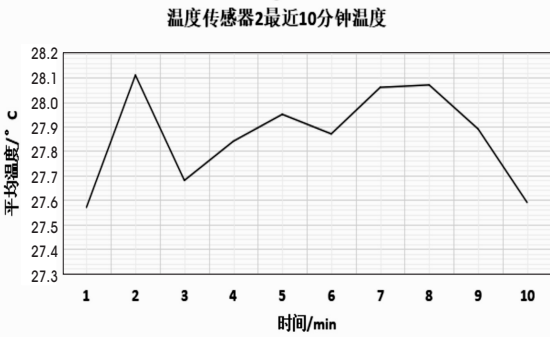


图 5 传感器数据折线图

Java 中提供 JDBC 的 jar 包,通过 Connection 创建 Statement 对象,可以完成与 Oracle 数据库的连接。通过 statement.executeUpdate(sql) 语句能够实现数据的增删查改,以及数据库的添加更改。

3.1.2 Socket 通信

在网络通信方面,Java 提供了强力的支持,针对 TCP 和 UDP 传输均提供了不同的类。通过比对,选择基于 TCP 的网络通信。它是一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输层数据通信协议,特别适合数据的连续传输。在 Java 中 Socket 通信实现步骤如下：

- (1)建立 ServerSocket 对象,通过 Socket accept() 建立监听,直至有客户端发送来连接请求;
- (2)建立 Socket 对象,通过 socket(host,port) 连接指定的服务器和端口,向服务器发出连接请求;
- (3)服务器通过 accept() 接收客户端的连接请求并且实现服务器与客户端的连接;
- (4)打开输入输出流 OutputStream,InputStream,按照一定的协议进行读写操作;
- (5)服务器处理数据后返回的结果;
- (6)客户端接收服务器返回的结果;
- (7)重复步骤 4~6;
- (8)结束连接,完成通信。

3.2 上位机软件设计

上位机采用 ARM Cortex-A9 处理器,在 Ubuntu 环境下完成 Linux 内核的配置和编译。搭建交叉编译环境以及文件系统以及串口的配置后,编译上位机软件。

为了满足桥梁健康监测的实时性,程序采用多线程编程,具体流程如下所示：

- (1)初始化串口,确定波特率、奇偶校验等,启动串口。
- (2)A 信号量开始接收,并判断是否达到接收最大值,如果没有,则继续接收,直至达到 A 信号量接收最大值,创建子线程 pthread creat()。
- (3)主线程:B 信号量开始接收,并判断是否达到

接收最大值,如果没有,则继续接收,直至达到 B 信号量接收最大值,重复步骤 2。

子线程:启动 TCP/UDP 通信,根据稳定性特点采用 TCP 面向连接通信,并释放 A 或者 B 信号量。

流程如图 6 所示。

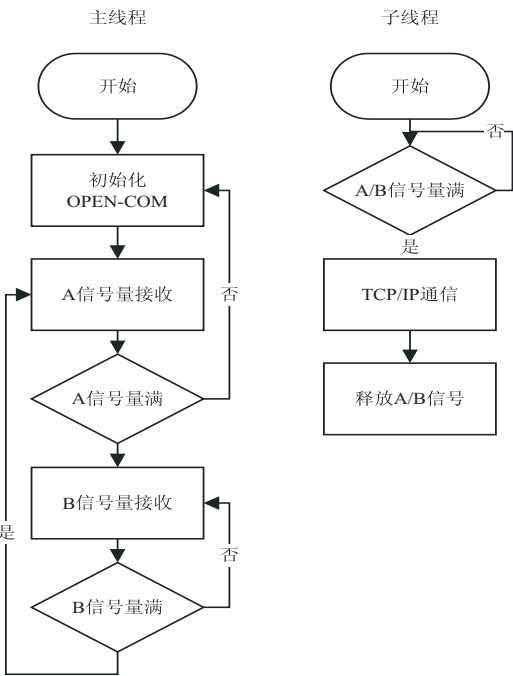


图 6 多线程流程

3.3 下位机软件设计

下位机采用 STM32 单片机以及 SM125 解调仪,连接至各传感器,根据不同传感器的不同量程,经 A/D 转换以及调制解调后,将模拟信号以及光纤光栅信号转换至数字信号,通过 RS232 传送给上位机,如图 7 所示。

采集配置

采样频率 100 HZ 通道方式 4

解调仪 IP 192.168.1.7 解调仪端口 1024 ☒ 自动运行

存储配置

存储目录 E: 修改 存储文件时长 2 分钟 ☒ 是否存文件

存储文件 xu 导入数据库时长 10 秒 ☐ 是否存库

远程配置

传输端口 上传进度 ☐ 开启远程传输

上传频率 上传时间 分钟

图 7 解调仪配置界面

4 结束语

根据传统桥梁健康监测存在的问题,设计了一种桥梁健康监测系统,对比传统桥梁健康监测系统^[14],解决了其数据相对孤立,布设新的传感器困难,难以实

现多传感器数据融合,为深层次的决策做支持等问题。该系统具有可靠,高移动性,远程访问网页,便于维护以及随时随地查看监督等特点,实现了数据融合。通过测试,网站运行流畅,支持在多个系统运行。

该系统能够完成用户以及管理员的注册与使用,按照等级进行权限管理,用户能够实时查看传感器数据以及桥梁健康情况,管理员能够对警戒阈值以及用户信息进行更改,并根据当前传感器数据进行数据分析,给出合理的维修保养建议。

系统分为桥梁现场部分和远程控制中心部分。其 中间通过光纤进行传输^[15],保证了其可靠性和准确性,具有较高的可移植性,支持传感器的添加注册以及二次开发。

参考文献:

[1] 高斯敏. 基于物联网的特大型桥梁健康监测系统设计[D]. 武汉:华中科技大学,2017.

[2] 何 磊. 基于物联网的桥梁健康监测系统设计[D]. 重庆:重庆交通大学,2016.

[3] 时 磊. 基于物联网技术的桥梁安全监测管理信息系统开发[D]. 成都:电子科技大学,2014.

[4] 梁 凯,袁卫声,王文海,等. 基于嵌入式 Web 服务器的双核水质监测系统[J]. 控制工程,2017,24(5):1053-1058.

[5] MEI Q, GÜL M, BOAY M. Indirect health monitoring of bridges using Mel - frequency cepstral coefficients and principal component analysis[J]. Mechanical Systems and Signal Processing,2019,119:528-546.

[6] 李 超,程小劲. 基于 Qt 的室内环境监测系统设计与实现[J]. 计算机技术与发展,2019,29(4):204-207.

[7] TEODOROVICI V. jQuery, jQuery UI and jQuery mobile[J]. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes,2013,38(5):68-69.

[8] 窦伟伟. 基于 Web 平台的数据库安全研究及应用[D]. 北京:北京邮电大学,2016.

[9] LI D, MEI H, SHEN Y, et al. ECharts: a declarative framework for rapid construction of web-based visualization[J]. Visual Informatics,2018,2(2):136-146.

[10] 唐 琳,廖先莉,程 皓. 串口到以太网的协议转换器的设计与实现[J]. 电子世界,2016(14):69.

[11] 罗名驹. 基于 ARM Cortex-A9 的嵌入式 Linux 内核移植研究与实现[D]. 广州:广东工业大学,2017.

[12] 张 通. 基于 ARM Cortex-A9 处理器的嵌入式实时控制平台的设计与实现[D]. 北京:北京邮电大学,2017.

[13] 梁家惜,游志宇,刘正锟,等. 基于 STM32 的 PEMFC 状态监测系统设计与实现[J]. 电子设计工程,2019,27(6):19-23.

[14] 陈 臻. 基于桥梁健康监测数据的异常检测与数据质量评估方法研究[D]. 重庆:重庆大学,2017.

[15] 罗 旭. 基于光纤传感技术的桥梁结构检测分析[J]. 公路交通科技:应用技术版,2018,14(12):202-204.