

文章编号:1671-8879(2007)05-0070-05

# 大型桥梁健康无线监测系统

武奇生,王 丹,王秋才

(长安大学 信息工程学院,陕西 西安 710064)

**摘 要:**针对传统桥梁健康监测采用有线方式进行数据通信的缺点,提出基于 GPRS(通用分组无线业务)网络的大型桥梁无线监测系统,介绍了系统的工作原理,采用 32 位 ARM 微处理器 S3C44B0X 及 GPRS 模块 GR47,设计了具有 GPRS 功能的桥梁健康监测器,给出了桥梁健康监测器应用程序的实现流程,同时描述了监控中心的 GPRS 通信服务器软件的实现,并从荷载环境监测、几何监测、结构静动力监测、实时预报警、健康状态评估、系统管理及数据库服务器设置 7 个方面阐述了监控软件功能模块。实际测试结果表明,该系统具有实时性好、可靠性高等特点。

**关键词:**桥梁工程;桥梁健康;GPRS;监测系统

**中图分类号:**U446; TN98

**文献标志码:**A

## Wireless monitoring system of long-span bridge health

WU Qi-sheng, WANG Dan, WANG Qiu-cai

(School of Information Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Aiming at the limitation of traditional bridge health monitoring system with cable, a new wireless monitoring system of long-span bridge based on GPRS is presented. The principle of system is introduced. A bridge health monitor which adopting 32-bit microprocessor S3C44B0X and GPRS module GR47 is designed and its flowchart is given also. The realization of GPRS data communication service is described. And the function module of monitor software are also analyzed from seven aspects including environmental loading monitoring, geometrical monitoring, static and dynamic force of structure monitoring, run-time alarm, health statement assessment, system management, configure of database server. The result of test shows that this system has characters of good real-time and high reliability. 5 figs, 9 refs.

**Key words:** bridge engineering; bridge health; GPRS; monitor system

## 0 引 言

近年来,大型桥梁的健康监测已成为研究的热点<sup>[1,4]</sup>,国内外许多桥梁都建立了监测系统<sup>[5]</sup>。监测系统通过对桥梁荷载、环境、几何形状以及结构静动力等关键参数进行实时监测,对桥梁健康状态作出

智能化评估。长期以来,由于技术水平的限制,传统桥梁健康监测的数据传输主要采用有线电缆<sup>[6]</sup>或专用无线网络<sup>[7]</sup>方式,普遍存在着通信距离有限、安装造价高以及测量精度低等缺点,已不能满足分布式、数据处理分析和网络共享及移动性要求。通用分组无线业务 GPRS (General Packet Radio Service)作

收稿日期:2006-10-08

基金项目:国家自然科学基金项目(60472022)

作者简介:武奇生(1963-),男,陕西西安人,副教授,E-mail:qshwu@chd.edu.cn。

为一种高速、高效和经济的无线系统,具有网络覆盖范围广、接入迅速、按流量计费、实时在线和没有任何布线的优点<sup>[8]</sup>,特别适用于间断的、突发性的或频繁的、少量的数据传输,也适合短时的突发性大数据通信,完全满足分布式的桥梁健康监测、多点数据采集及监控的双向数据通信。为此,本文采用 32 位 ARM7TDMI 核 ARM 微处理器 S3C44B0X 及 GPRS 模块 GR47,设计了具有 GPRS 功能的桥梁健康监测器,实现了基于 GPRS 网络的大型桥梁健康监测无线监测系统,基本上克服了传统有线通信方式所造成的造价高、覆盖范围小和扩展性差等缺点。

## 1 系统组成及工作原理

基于 GPRS 网络的大型桥梁健康无线监测系统是集现代化传感技术、测试技术、计算机技术及现代网络通信技术,是一个分布式、网络化和全开放的监控系统,由监控中心、GPRS/Internet 通信网络以及具有 GPRS 功能的桥梁健康监测器组成,如图 1 所示。

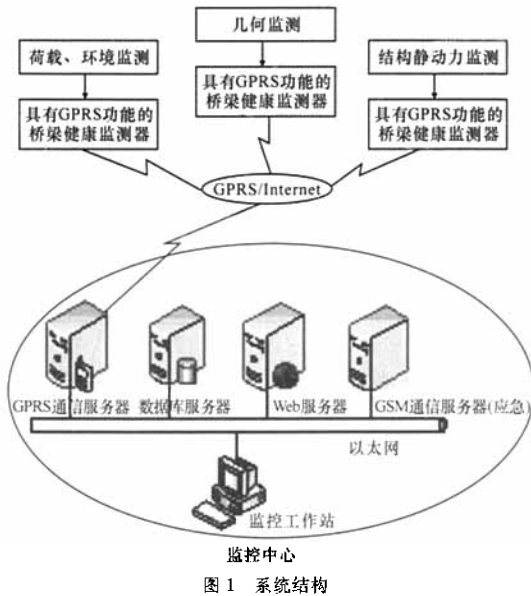


图1 系统结构

整个系统运行于客户/服务器模式中,监控中心内部通过局域网将 GPRS 通信服务器、数据库服务器及监控工作站等设备互连。监控中心在软件系统的控制下,实时接收处理来自各桥梁健康监测器的各种监测数据,在监控中心的 LED 多媒体显示屏及中心监控终端上显示桥梁位置、健康状态及相关信息。同时,监控中心的 GPRS 通信服务器也可以向各桥梁健康监测器下传各种控制指令和优化的监测参数,实现了大型桥梁健康状态的监视和控制。GPRS 通信服务器可以由已接入 Internet 的计算机

担当,完成 TCP/UDP 链路建立、维护、数据接收、存储和图像的监控等。

桥梁健康监测器为全自动智能设备,安装在现场,通过对应变、挠度、加速度、位移、风和温度等桥梁健康的关键数据的检测实现实时采集。通过短信、数据有无检测、响铃和预设时间等多种方式启动 GPRS 拨号程序接入 Internet,根据动态分配的 IP 地址主动与监控中心的 GPRS 通信服务器建立 TCP 或 UDP 连接,向通信服务器实时传输桥梁健康数据或图像,并且响应监控中心的实时命令,完成相应的任务,实现大型桥梁健康实时监测。

## 2 桥梁健康监测器

### 2.1 桥梁健康监测器硬件设计

桥梁健康监测器是整个无线监测系统的核心,具有 GPRS 功能的桥梁健康监测器主要由嵌入式 ARM 微处理器模块、GPRS 无线通信模块、图像采集模块、存储模块、电源晶振模块以及 JTAG 调试接口等模块组成,其结构如图 2 所示。

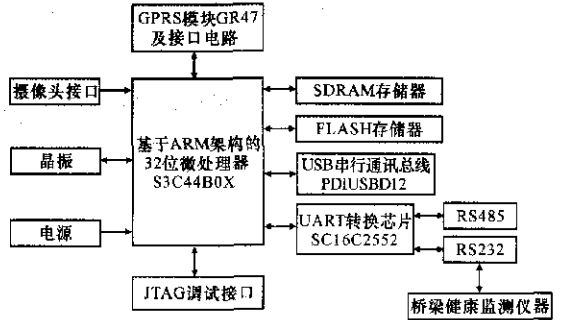


图2 基于 ARM 微处理器的桥梁健康监测器硬件结构

(1) 微处理器模块。嵌入式 ARM 微处理器模块是桥梁健康监测器的控制核心,负责桥梁健康监测数据的采集、处理、存储及 GPRS 无线通信等工作。根据低功耗的要求,选用三星公司的高性能、低成本的嵌入式芯片 S3C44B0X,它是一款基于 ARM7TDMI 内核精简指令系统的 32 位高速处理器,工作在 66 MHz,集成 2 路 UART 通道,具有丰富的硬件接口。

(2) GPRS 无线通信模块。GPRS 无线通信模块是整个系统的通信基础,采用 Sony-Ericsson 公司的可编程无线通信模块 GR47<sup>[9]</sup>,它提供 RS232 接口,可以用 AT 指令进行控制。GR47 具有 GPRS 和 SMS 两种无线数据传输通道,可以快速安全可靠地实现数据传输、语音传输和短消息服务,可以工作在 900 MHz 和 1 800 MHz 两个频段。在 GPRS 网

络状态良好的情况下,优先通过 GPRS 通信方式将桥梁健康监测器所在位置、交通流以及各种监测数据等信息传输到监控中心并接收来自监控中心的指令。与此同时,GR47 不断轮回检查 GPRS 网络状态,当出现网络拥塞、GPRS 未覆盖或者中心工作人员误操作导致 TCP/IP 连接断开时,会立刻切换到 SMS 方式,直至 TCP/IP 重新连接上。

(3) 图像采集模块。图像采集模块通过摄像头采集图像,并由 ARM 微处理器进行收集,图像采集模块采用标准压缩算法将原始图像压缩为 JPG 格式。摄像头是一个具备视频捕捉和压缩功能的摄像机,它的功能与数码像机十分相似。摄像头的接口是 8 位 I/O 模式并行接口,采用 +5 V 电源输入。

(4) 存储模块。FLASH 存储器存放系统启动代码、嵌入式操作系统、文件系统、应用程序的代码或其他在系统掉电后需要保护的用户数据等。SDRAM 存储器是系统运行时的主要区域,系统及用户数据、堆栈均位于 SDRAM 存储器中,其存储速度大大高于 FLASH 存储器,并且具有读/写的属性。

(5) 串口扩展芯片。为了实现与现场各种桥梁监测仪器连接,实现健康监测数据的读取,系统在原有的两个异步串口的基础上,在监测器上扩展了异步串行通讯口(用来实现 RS232 及 RS485)和通用串行通讯总线 USB。

监测器在数据总线上采用 UART 转换芯片 SC16C2552 实现并行数据与异步串行数据之间的相互转换。UART 扩展芯片的 8 位数据口与微处理器数据口的低 8 位相连,由微处理器控制 16C2552 的片选、通道选择和读写。芯片 16C2552 采用 +3.3 V 供电,RS232 协议芯片也是采用工作电压为 +3.3 V 的器件 MAX232,RS485 协议芯片同样采用工作电压为 +3.3 V 的器件 MAX3485 实现。同时采用 Philips 公司的 PDIUSB12 器件作为监测器的 USB 接口,PDIUSB12 的 DATA0~DATA7 与微处理器的 D0~D7 实现数据的双向通讯。ALE 为地址锁存,监测器中 ALE 接为低电平,表示采用独立的地址和数据总线配置。PDIUSB12 的 A0 脚可与微处理器的地址线 A0 相连,该端口控制 PDIUSB12 的命令和数据状态。

## 2.2 桥梁健康监测器软件设计及实现

桥梁健康监测器应用软件采用模块化的设计方案,主要由初始化、桥梁健康数据采集和 GPRS 无

线通信等模块组成。GPRS 无线通信模块包括呼叫监控中心建立通信链路、数据发送以及命令字分析等功能。命令字分析功能负责实时分析 GPRS 模块传送过来的命令字符,从而决定如何响应监控中心的请求,给予相应的应答信息。各模块之间通过相关联的参数进行调用。应用软件开发采用 C 语言和汇编语言混合编程,选用 ARM ADS(ARM Developer Suite)集成开发工具。源程序在 PC 机通过编辑、交叉编译、交叉链接生成 ELF 格式的目标映像后,最后通过 JTAG 接口将目标映像下载到目标开发板上的 FLASH 中,软件流程如图 3 所示。

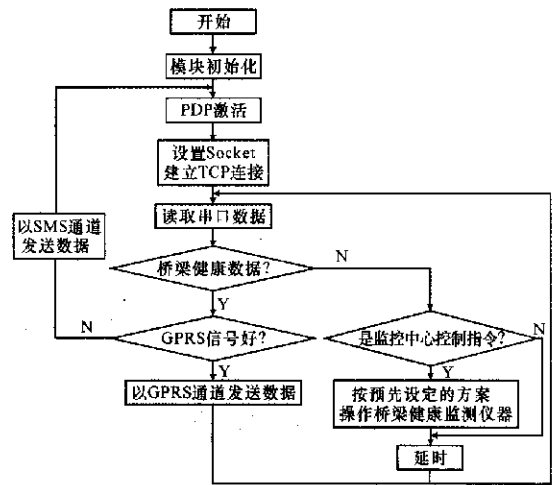


图3 桥梁健康监测器应用软件流程

GPRS 数据传输是 GR47 模块的核心功能,在通过 GPRS 网络进行 TCP/IP 连接之前先要在 GR47 模块内部建立一个数据帐户,指出正确的接入服务商 APN 名称。桥梁健康监测器利用固化在 FLASH 存储器中的 GPRS 通信服务器 IP 地址访问监控中心的 GPRS 通信服务器,可通过 AT+CGDCONT 指令实现。

## 3 监控中心软件设计

### 3.1 GPRS 通信服务器软件

监控中心 GPRS 通信服务器软件管理 GPRS 通信通道的建立与复位,实现桥梁健康监测器和监控中心(数据库服务器以及监控工作站)之间的相互通信。GPRS 通信服务器为监控中心提供内部以太网的接口并监控网络的通信状况,支持 TCP/IP 协议和 PPP 协议。图 4 为 GPRS 通信服务器软件主线程流程图。

GPRS 通信服务器软件采用 Visual C++ WinSocket 编程,主要创建两种 Socket 类,即监听

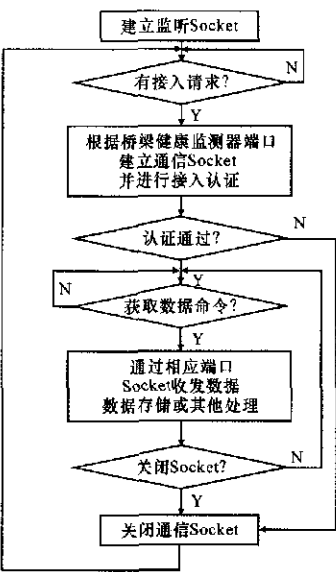


图 4 GPRS 通信服务器软件主线程流程

Socket(CListenSocket)和数据接收与处理 Socket 类(CServerSocket)。CListSocket 定时监听相应的端口,接收桥梁健康监测器的连接请求,创建一个 Socket 线程并完成 TCP 链路的建立与维护,配合 ADO 数据库技术实现数据接收、存储及监控等功能,然后把原始套接字放回监听状态继续监听。对于每个桥梁健康监测器,都需要有一个接收线程来处理数据或图像的接收。因此,需要在内存中建立一个动态表,以维护数据接收线程句柄和桥梁健康监测器之间的对应关系。产生的新线程中包含 CServerSocket,负责数据接收、处理和命令发送。

3.2 监控工作站监测软件

监控中心的监控工作站监测软件通过向桥梁健康监测器发送各种读取命令(监测器实时读取桥梁各种监测仪器的数据),并对监测器上传的各种监测数据进行实时的分析、整理及存储,实现了桥梁健康监测,其软件功能模块如图 5 所示。

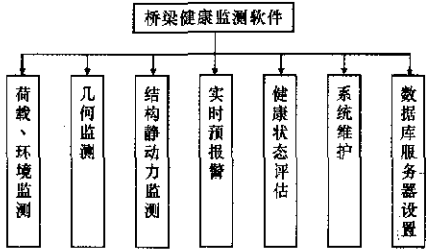


图 5 监测软件功能模块

(1)荷载、环境监测。通过实时读取桥梁各种测量仪器如风速仪、温度计、动态地秤、强震仪以及摄像头图像等,实现了对风、地震、温度和交通荷载等

桥梁健康状态的监测。

(2)几何监测。通过对位移计、倾角仪、全球定位系统(GPS)和电子测距器等桥梁监测仪器的数据读取,实现了对桥梁各部位的静态位置、动态位置、沉降、倾斜、线形变化以及位移等的监测。

(3)结构静动力监测。通过对应变仪、测力计和加速度计等各种测量仪器的数据读取,实现了对桥梁各部位的位移、转角、应变应力、索力和动力反应等健康指标的监测。

(4)实时预报警。对桥梁关键部位的应力、索力、线形和位移等监测指标设置阈值,当这些监测指标超出或接近设置的阈值时,显示界面上相应的预报警灯就会闪烁,同时有蜂鸣提示,并将预报警信息发生的时间、上限值、下限值和预报警等数据写入相应的数据表中。

(5)健康状态评估。主要由桥梁结构的定期健康状态评估、监测指标和整体状态的趋势预测等功能模块组成。状态评估通过桥梁健康状态数据的采集、监测指标趋势分析,采用专家系统,实现了桥梁损伤、剩余寿命评估及桥梁健康分析评估等功能。

(6)系统管理。系统管理的主要内容包括用户口令管理、数据库登录管理和数据库用户管理等功能。

(7)数据库服务器设置。通过数据库服务器端的触发器和存储过程编译代码,实现 GPRS 通信服务器或监控软件的优化查询。

4 结 语

(1)无线监测系统采用分布式结构,利用 GPRS 无线网络,具有很好的实时性。实际测试中,桥梁健康监测器利用 RS232 接口与应变仪相连,通过 GPRS 网络拨号上网,实时与监控中心的 GPRS 通信服务器(IP 地址为 202.117.67.176)通信,并接受 GPRS 通信服务器下传的指令。本系统运行稳定,系统响应时间  $t \leq 2\text{ s}$ 。

(2)桥梁健康监测器采用嵌入式微处理器 S3C44B0X,具有丰富的接口,方便与现场的各种桥梁健康测量仪器连接,通过无线网络实时发送监测数据,解决了传统的有线通信方式在网络覆盖范围、扩展性、实时性和可靠性等方面的问题。

(3)监控中心的监测软件通过与安装在现场的桥梁健康监测器实时通信,能够实时对桥梁健康进行监测,及时掌握桥梁的结构状态,为桥梁健康状态评估提供科学依据。

## 参考文献:

## References:

- [1] Aktan A E, Grimmelmsman K A, Helmicki A J. Issues and opportunities in bridge health monitoring[C]// Takuji K, ed. Proceedings of the Second World Conference on Structural Control, Japan: Kyoto, 1998;2:359-2 368.
- [2] 秦 权. 桥梁结构的健康监测[J]. 中国公路学报, 2000,13(2);37-42.  
QIN Quan. Health monitoring of long-span bridges [J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(2);37-42.
- [3] 郎晓光,徐祖恩. 大型桥梁健康监测动态及发展趋势[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2003,23(1);39-42.  
WU Xiao-guang, XU Zu-en. Development of long-span bridge health monitoring [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(1);39-31.
- [4] 张启伟,周 艳. 桥梁健康监测技术的适用性[J]. 中国公路学报, 2006,19(6);54-58.  
ZHANG Qi-wei, ZHOU Yan. Applicability of bridge health monitoring technology[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(6);54-58.
- [5] Wong K Y, Lau C K, Flint A R. Planning and implementation of the structural health monitoring system for cable-supported bridges in Hongkong [C]// SPIE. Proceedings of SPIE-the International Society for Optical Engineering Newport Beach, CA, USA; Sovety of Pnoto-Optical Instrumentation Eyineers, 2000;266-275.
- [6] Lynch J P, Law K H, Straser E G, et al. Development of a wireless modular health monitoring system for civil structures [C]// Advanced Technologies Workshop. Proceedings of the MCEER Mitigation of Earthquake Disaster, NV, USA; Las Vegas, 2000: 83-90.
- [7] 唐亚鸣,丁立波,张 河. 桥梁健康无线监测系统[J]. 土木工程学报, 2005,38(7): 71-74.  
TANG Ya-ming, DING Li-po, ZHANG He. Bridge health wireless monitoring system[J]. China Civil Engineering Journal, 2005,38(7): 71-74.
- [8] 赵祥模,郭晓汾,徐志刚,等. 汽车检测控制系统网络通信技术[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(1): 98-102.  
ZHAO Xiang-mo, GUO Xiao-fen, XU Zhi-gang, et al. Network communication technology of vehicle inspection control system[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006,6(1);98-102.
- [9] 王松宏,李德化. 基于 GPRS 的车辆监控系统车载移动终端的设计[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(6): 184-186.  
WANG Song-hong, LI De-hua. Design of mobile terminal of vehicle for monitoring system based on GPRS [J]. Application Research of Computers, 2005,22(6);184-186.
- [6] 马荣国,李铁强,肖代全. 灰关联决策在公路建设项目方案比选中的应用[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004,24(6);67-70.  
MA Rong-guo, LI Tie-qiang, XIAO Dai-quan. Application of gray relational decision in highway items selection[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(6);67-70.
- [7] 梁 军,江 薇,李旭宏. 模糊综合评价方法改进及其在交通管理规划中的应用[J]. 交通运输工程学报, 2002,2(4);68-72.  
LIANG Jun, JIANG Wei, LI Xu-hong. An improvement on fuzzy comprehensive evaluation method and its use in urban traffic planning [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002,2(4);68-72.
- [8] 陈传德,张明远. 基于风险分析的公路项目投资决策[J]. 中国公路学报, 2006,19(1);99-103.  
CHEN Chuan-de, ZHANG Ming-yuan. Investment decision for highway project based on risk analysis [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(1);99-103.
- [9] Avineri E, Prashker J, Ceder A. Transportation projects selection process using fuzzy sets theory[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000,116(1);35-47.
- [10] 武同乐,徐 岳. 公路旧桥加固效果综合评价方法[J]. 交通运输工程学报, 2005,5(1);28-32.  
WU Tong-le, XU Yue. Comprehensive evaluation method of bridge strengthening effectiveness [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005,5(1);28-32.
- [11] 张建仁,王 磊. 既有钢筋混凝土桥梁构件承载力估算方法[J]. 中国公路学报, 2006,19(2);49-55.  
ZHANG Jian-ren, WANG Lei. Estimated approach to carrying capacity of existing reinforced concrete bridge member[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(2);49-55.

(上接第 65 页)