

# 基于 GPRS 的嵌入式桥梁远程裂缝监测系统

赵 强<sup>1</sup>, 钟佑明<sup>1</sup>, 周建庭<sup>2</sup>

(1. 重庆交通大学 信息科学与工程学院, 重庆 400074; 2. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

**摘要:** 将嵌入式技术、GPRS 技术与一种桥梁裂缝视频扫描装置相结合, 设计了一款基于 GPRS 的嵌入式桥梁裂缝远程监测系统。该系统具有结构简洁、功能实用、实现容易等优点, 能对桥梁进行实时、在线、自动监测。重点介绍了该系统总体设计方案、总体实现流程和嵌入式、GPRS 模块的软硬件选择、设计与功能原理, 以及对系统进行的初步验证。

**关键词:** GPRS; 嵌入式; 桥梁; 裂缝; 远程监测

中图分类号: TP212

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2010)05-0685-03

## Remote Crack Monitoring System of Bridge Based on Embedded Technology and GPRS

ZHAO Qiang<sup>1</sup>, ZHONG You-ming<sup>1</sup>, ZHOU Jian-ting<sup>2</sup>

(1. School of Information Science & Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

2. School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract** Crack is one of important signs of the health status of bridge, and it is very significant to make a real time monitoring. A remote crack monitoring system of bridge is designed by combining the embedded technology, GPRS technology and a bridge crack video scanning device. The system has advantages in simple structure, practical function and easy operation, and it can achieve the aim of an online, real time, automatic crack monitoring on bridge. The overall design and implementation procedure of the system, the software and hardware choice, design, function and principle of embedded GPRS modules are analyzed in detail. Meanwhile, the initial validation of the system is carried out.

**Key words** GPRS; embedded technology; bridge; crack; remote monitoring

近年来, 桥梁健康的实时监测受到越来越多的关注<sup>[1-3]</sup>。裂缝是衡量桥梁健康状态的重要征兆之一, 也是桥梁安全状态恶化的重要根源之一, 因此对其进行实时监测具有十分重要的意义<sup>[4]</sup>。文献[5]提出了一款基于视频扫描的桥梁裂缝监测装置, 该装置通过恰当的牵引设备设计使视频扫描设备——摄像头可以对被监测面进行大范围、近距离的连续摄像或拍照, 特别适用于监测面大、监测精度要求高的桥梁裂缝监测。但该装置还有许多问题需要深入研究和解决, 其中之一就是如何减轻监测设备的重量, 并能对监测设备实现实时远程监控。近年来受到较大关注的嵌入式技术具有设备重量轻、功能灵活、稳定性强、实时性好、成本低等优点, 已逐步应用于桥梁健康监测, 如庄致等<sup>[6]</sup>探索了嵌入式数据库在桥梁实时监测系统中的应用, 鄢真等<sup>[7]</sup>研究了基于 GPS 的嵌入式桥梁实时数据采集系统。而 GPRS

无线通信技术近年也广受应用<sup>[8]</sup>。虽然它只是作为现有 GSM 网络向第 3 代移动通信演变的过渡技术, 但是它在许多方面都具有显著的优势, 可以直接利用中国移动公网资源, 不需布设大量传输线路等。因此作者将嵌入式技术、GPRS 技术与文献[5]提出的桥梁裂缝监测装置相结合, 设计了一款基于 GPRS 的嵌入式桥梁裂缝远程监测系统。

### 1 总体设计方案和实现原理

监测系统总体示意图如图 1(a)。整个系统由牵引装置、CCD 摄像头、嵌入式电路、GPRS 模块、远程 Internet 服务器或手机组成。牵引装置按文献[5]中方案安装在桥梁上, 摄像头、嵌入式电路 (ARM 系统) 和 GPRS 模块安装在牵引装置上。摄像头受牵引装置控制, 能对桥面被监测区域进行近距离、大面积扫描, 实时采集桥梁表面的视频数据。

系统通过 USB 接口给牵引装置供电, 牵引装置

收稿日期: 2010-05-04 修订日期: 2010-06-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50275154); 重庆市科技攻关计划项目 (CSTC2008AC6099); 重庆交通大学研究生教育创新基金项目 (0913)

作者简介: 赵 强 (1987-), 男, 河南信阳人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式技术和信号处理方面的研究工作。E-mail: zhaoqiang1228@

再带动摄像头移动, 由于摄像头拍摄和传输图片需要一定的时间, 通过程序控制系统间隔固定的时间给 USB 接口供电, 为了保证拍摄图片的连续性和清晰度, 每次使摄像头移动固定的距离。由于需要监测的区域面积是有限的, 这样就实现了对整个区域的测量。

监测时, 远程 Internet 服务器或手机通过 GPRS 无线模块向固定在桥上的 ARM 系统发送监测命令, ARM 系统接收到命令后控制牵引装置驱动摄像头在桥梁上运动和拍摄, 拍摄到的视频图像即时传输到 ARM 系统, ARM 系统对采集到的视频数据进行裂缝识别等处理, 确定桥梁是否有裂缝产生。一旦在采集的视频数据中识别出裂缝, ARM 系统就将该裂缝的相关信息通过 GPRS 无线模块发送回 Internet 服务器或手机, 实现桥梁裂缝的远程实时监测。该设计只需一条简单的命令, 即可实现桥梁裂缝的实时、在线、自动监测。由于视频采集的数据量往往比较大, 设计中采用了采集一次、识别一次、传输一次的循环采集和识别方案, 且只有在发现裂缝时才存储相关数据和通过 GPRS 模块进行信息传输, 以解决大量数据的采集、识别、存储和传输问题。系统总体监控流程如图 1(b)。

2 最小嵌入式系统设计

嵌入式系统负责数据的处理和设备控制工作, 是整个系统的硬件核心。由于监测系统需要长期独立的工作在桥上, 为了保证系统的低功耗, 必须对嵌入式系统进行最小化设计, 本系统建立的最小系统基本结构如图 2 其主要包括微处理器 AT91RM 920Q 电源电路、晶体振荡器电路、复位电路、JTAG 接口、存储器模块、串行调试接口等电路组成。系统所选芯片均为低功耗芯片, 并采用智能的控制策略对工作状态进行动态分析和调整, 与裂缝监测无关的所有外围器件以及功能全部屏蔽或删除, 以此实现仅适合桥梁裂缝监测用途的最低功耗最小系统。

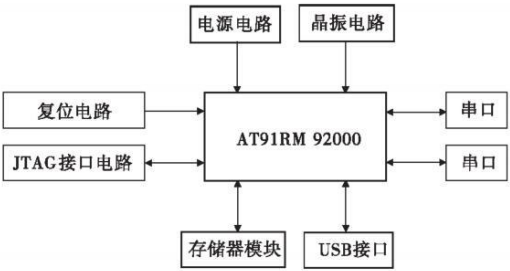


图 2 ARM 最小系统结构

Fig 2 Structure diagram of stream lined ARM system

2 1 微处理器

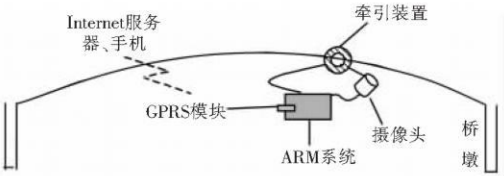
系统选用的处理器为 AT91RM 920Q, AT91RM 9200 是一款基于 ARM 920T 核的高性能、低功耗 16/32 位嵌入式微处理器, 最高主频为 180 MHz, 26 位地址总线可以对最大 64 MB 空间寻址, 因此能够满足图像数据分析的要求。AT91RM 9200 片内集成了非常丰富的外围功能模块, 包括全功能 MMU 虚拟内存管理单元、增强的时钟和 PMC (电源管理控制器)、4 个可编程的外部时钟信号等。为了让 CPU 达到最低功耗, 系统采用门控时钟管理, 当 CPU 的部分电路不需要工作时, 关闭局部区域, 例如关闭 LCD 控制器、SPI 多余的 I/O 引脚悬空等。

2 2 通信接口

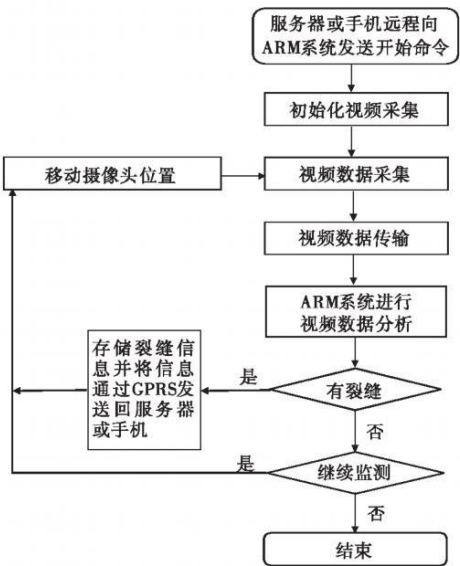
系统数据通讯模块包括 1 个 JTAG 接口、2 个串口和 1 个 USB 接口。为了下载 bootloader 和软件仿真, 系统选用了 1 个 14 针的 JTAG 接口, 串口通过 MAX 232 转换后, 用来与 GPRS 无线模块通讯, USB 采用 USB 2.0 标准接口, 与 CCD 摄像头连接作为传输图像数据的通道。

2 3 存储模块

存储器模块包括 Flash 存储器和 SRAM 存储器 2 个部分。Flash 存储器用来存储 bootloader 文件系统、Linux 内核和裂缝监测应用程序, 即使掉电程序和数据都不会丢失。设计中采用 Intel 公司生产的



(a) 监测系统总体示意



(b) 系统总体监控流程

图 1 总体设计方案和实现原理

Fig 1 Overall design and implemation principle

28F640J3A, 其存储容量为 64 Mbit (8 MB)。SDRAM 存储器的作用是存放系统运行时的数据, 设计中采用 2 片数据宽度为 16 位的 SDRAM 并行运行作为一个 32 位数据宽度的 SDRAM 模块, 以充分发挥微处理器 32 位数据宽度的高性能。

### 3 系统软件设计

#### 3.1 内核的选择

Linux 操作系统具有内核稳定、功能强大、支持多种硬件平台、可裁减和低成本的特性, 非常适合于嵌入式应用, 通过对其进行内核配置, 裁减 shell 和系统定制, 使整个系统能够存放到容量较小的 FLASH 中。整个系统软件在嵌入式 Linux 的基础上构建, AT91RM 9200 平台使用的 Linux 内核在 Linux-2.4.18 内核基础上编译而成。系统使用的文件系统是 yaffs, 包括应用程序、模块、配置文件和库等, 系统图像采集建立在嵌入式 Linux 内核之上。

#### 3.2 图像采集

V4L Linux 是 Linux 中关于视频设备的内核驱动, 它为针对视频设备的应用程序编程提供一系列接口函数。系统使用基于 OV511 的 USB 摄像头, 采用设备文件 /dev/video 进行图像采集。在运行程序前, 加载 USB 及 OV511 设备驱动模块以访问摄像头设备。通过对 V4L Linux API 进行编程, 实现图像的采集, 其流程如图 3。采集到的图像帧数据经过算法处理即可进行裂缝识别。

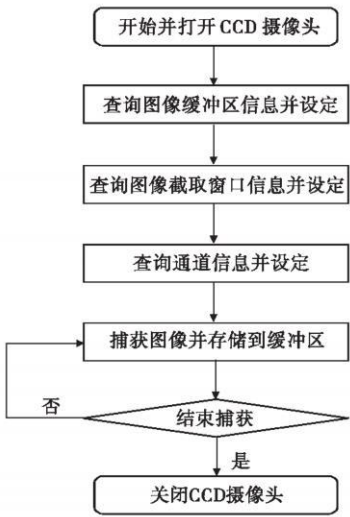


图 3 V4L 图像采集流程

Fig 3 Flow chart of V4L image acquisition

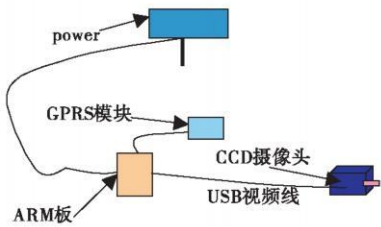
#### 3.3 通信设计

系统通过 GPRS 无线通信方式实现监测信息的远程传输。采用 SIEMENS 公司 MC55 芯片的 GPRS 模块通过 GSM 网络与手机进行通讯, 该 GPRS 模块可以接收手机发出的命令并由串口传递给 ARM 系

统, 也可将 ARM 系统发送的裂缝信息传回手机。为了保证数据正确可靠地传输, 设置了一种自定义的数据帧格式, 包括帧头信息、命令信息和帧尾信息, 如果数据帧传输错误, 则自动重发数据帧。另外, 系统利用 GPRS 网络与 Internet 网络互联实现了 ARM 系统与 Internet 服务器之间的远程通信, 使 Internet 服务器能实时采集现场的监测数据, 及时发现裂缝并产生告警信息。

### 4 实验与分析

为了验证所设计系统, 尤其是嵌入式设计和 GPRS 无线通信的效果, 在实验室构建了一个小型实验系统, 实验结构图和实物图如图 4。



(a) 结构图



(b) 实物图

图 4 实验结构图和实物图

Fig 4 Experimental structure chart and physical chart

实验中用的实验板是标准 ARM 板, 其出厂时已经包含大部分的通用接口, 在实验中通过悬空相关引脚的方法屏蔽了与裂缝监测无关的接口电路, 这些接口虽然表面存在, 但是不与微处理器交换数据, 处于关闭状态。

实验时将一块有裂纹的钢筋混凝土试件放置于 CCD 摄像头正前方 50 cm 处, CCD 摄像头和 GPRS 模块分别通过 USB 接口和串口与 ARM 系统相连接, 系统上电运行后, Internet 服务器通过 GPRS 模块发送“开始”命令给 ARM 系统, ARM 系统接收到命令后开启 CCD 摄像头进行图像采集, 采集到的图像数据实时传输回 ARM 系统, ARM 对图像进行处理并判断是否有裂缝产生, 当发现裂缝时将相关信息发送给手机。

由于目前系统中的图像裂缝识别算法还处于研究阶段, 为先行检验系统视频数据采集、传输和 GPRS 无线通信效果, 实验时只要采集到的图像数

(下转第 736 页)

力<sup>[8-9]</sup>。

5 实体工程应用

该成果于 2002 年 6 月—2002 年 9 月在延安至安塞高速公路全线 31.502 km 推广应用。实体工程(沥青混凝土下面层)施工结束后,经过近 10 a 来最寒冷(最低气温达 -23℃)冬季的考验,2003 年 2 月下旬和 2003 年 6 月对实体工程(沥青混凝土下面层表面)的裂缝进行了详细的调查,尚无发现裂缝;2003 年 10 月交工验收时,又对全线(沥青面层表面)进行一次裂缝调查,同样无发现裂缝。2005 年 6 月份发现 3 条细微裂缝,2006 年 9 月份,发现 5 条裂缝。由此可初步判定,基本达到了减少路面开裂的研究目的。

6 结 语

- 1)采用逐级填充方法使集料形成多级嵌挤骨架结构;通过试验方法确定二灰比例,确保二灰结合料有较强的黏聚力;采用理论计算方法将二灰结合料填充于集料骨架空隙中,使组合后二灰混合料能够形成多级嵌挤骨架密实结构。
- 2)性能验证表明,本文提出的多级嵌挤骨架密实型二灰碎石组成设计方法,使得设计的二灰碎石具有良好的路用性能,尤其是力学性能、抗裂性能和

抗冲刷性能,这对确保工程质量具有重要的意义。

参考文献:

[1] JTJ 034—2000 公路路面基层施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2000

[2] 李炜光,申爱琴,张玉斌. 二灰稳定集料抗裂性能评价与应用[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(2): 1-5

[3] 李炜光,申爱琴,张玉斌. 二灰砂砾振动压实参数[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(4): 10-13.

[4] 吴传海,袁玉卿,郑南翔,等. 二灰碎石基层材料的合理结合料质量分数[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(2): 6-11.

[5] 徐欧明,韩森,孙薇. 水泥粉煤灰稳定碎石强度增长特性[J]. 广西大学学报,2009,34(4): 474-478.

[6] 蒋应军. 水泥稳定碎石收缩裂缝防治研究[D]. 西安:长安大学,2001.

[7] 张嘎吱,沙爱民,周宗科. 水泥粉煤灰稳定碎石路面的水泥与粉煤灰比例[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(5): 17-20.

[8] 何小兵,杨庆国,易志坚. 水泥稳定碎石基层材料抗冲刷试验评价方法研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(3): 555-558.

[9] 韦广林,唐伯明,朱洪洲,等. 水泥渣渣稳定碎石混合料路用性能研究[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2008,27(5): 753-757.

(上接第 687 页)

据传输回 ARM 系统,系统就认为发现了一条裂缝,并生成裂缝相关信息。实验中手机收到的裂缝信息如图 5。实验达到了预期目的,效果理想。



图 5 实验结果  
Fig 5 Experiment results

5 结 论

本文针对桥梁裂缝的实时监测,将嵌入式技术、GPRS 技术与文献[5]提出的桥梁裂缝监测装置相结合,设计了一款基于 GPRS 的嵌入式桥梁裂缝远程监测系统,该系统具有系统结构简洁、功能实用、实现简单的优点,能对桥梁进行实时、在线、自动监测。实验初步验证了所设计系统的效果。当然,所设计的远程监测方案不仅可用于桥梁裂缝监测,也

可用于桥梁挠度等监测。

参考文献:

[1] Ken P C, Nicholas J C, Glenn W. Health monitoring of civil infrastructure[J]. Smart Materials and Structures, 2003, 12(3): 483-493

[2] 余岭,朱军华,CHAN T H T. 基于 LabVIEW 的桥梁健康监测数据采集系统[J]. 暨南大学学报:自然科学版,2009,30(5): 465-468

[3] 张莹,郭建文,胡柏学,等. 基于网格的桥梁远程协同诊断系统[J]. 湖南交通科技,2008,34(1): 88-90.

[4] 闫果,张开洪. 桥梁裂缝监测研究与工程应用[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(5): 848-851.

[5] Jian T Zh, You M Zh. Bridge Cracks Monitoring and Alarm System Based on Video Frequency Scan[C]//Ji'nan, China Proceedings of ICCSA'2007: International Conference, 2007: 1635-1638.

[6] 庄致,郭胜. 嵌入式数据库在桥梁实时监测系统中的应用[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版,2007,26(3): 44-47.

[7] 鄢真,严丽平. 基于 GPS 的嵌入式桥梁实时数据采集系统的探究[J]. 山西建筑,2009,35(32): 365-366

[8] 许景辉,何东健. 基于 GPRS 的小型水文信息采集系统研究[J]. 水力发电,2007,33(2): 19-21.