

分布式空气质量远程集中监测管理系统设计

王雪瑞, 周岩

(河南工程学院 计算机学院, 郑州 451191)

摘要: 为了能够远距离实时监测空气中 PM2.5 和 PM10 的浓度变化情况, 采用 C/S 架构设计了分布式空气质量远程集中监测管理系统, 系统由多个空气质量监测站和监测中心两部分组成; 空气质量监测站作为客户端利用嵌入式处理器 LPC2129 作为控制核心, 通过传感器 SDS011 采集空气中悬浮颗粒物 PM2.5 和 PM10 的浓度, 并通过 GPRS 模块 SIM900A 建立与监测中心服务器的 TCP/IP 网络连接, 进行数据交互; 监控中心服务器接收、处理、统计分析和显示来自各监测站的数据, 并存在数据库 SQL2008 中, 便于形成时、日、月和年报表; 同时, 为环保监察部门和手机 APP 提供了数据接口, 实现资源和数据共享; 测试结果表明, 该系统实现对分布在远程各地空气中颗粒物浓度的集中监测, 且工作稳定可靠, 能够为排污企业周围环境评估提供数据依据, 也能够为引导市民健康出行提供参考。

关键词: 悬浮颗粒物; 空气质量; 集中监测; 无线通信; 环保评估

Design of Distributed Air Quality Remote Centralized Monitoring and Management System

Wang Xuerui, Zhou Yan

(College of Computer, Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, China)

Abstract: To monitor the concentration of PM2.5 and PM10 in the remote air in real time, the distributed air quality remote centralized monitoring and management system is designed using C/S architecture, which is composed of air quality monitoring stations and monitoring center. As a client, the air quality monitoring station uses the embedded processor LPC2129 to be the control core, collecting the concentration of PM2.5 and PM10 in the air through sensor SDS011, and establishes the TCP/IP network connection with the monitoring center server using the GPRS module SIM900A to communicate. The server in the monitoring center is responsible for receiving, processing, statistical analysis and display of data from each monitoring station, and storing them to the database SQL2008 for the hour, day, month and year reports. Meanwhile, the data can be shared by the environmental protection supervision departments and the mobile phone APP. The test results show that the system realizes the centralized monitoring of particles concentration in the air distributed in the distance, and works stable and reliable, which can provide the data basis of the environmental assessment for the sewage enterprises and guide the public to travel healthily.

Keywords: suspended particulate; air quality; centralized monitoring; wireless communication; environmental assessment

0 引言

随着工业的迅猛发展, 人们对资源的依赖越来越强, 电厂煤炭燃烧、工业生产、汽车尾气排放和建筑扬尘等产生了大量的悬浮颗粒物^[1], 从而形成了严重的雾霾天气, 雾霾的主要成分是细颗粒物 PM2.5 和 PM10, 对人们的正常呼吸造成了严重的影响, 容易引发哮喘、支气管炎和肺癌等呼吸道疾病^[2-4]。为了能够对排污企业进行有效的管理, 可以通过对工厂周围的空气进行监测, 便于执法部门进行取证, 故采用无线通信技术设计了分布式空气质量远程集中监测管理系统, 监测中心能够实时掌握部署在远程的各个角落的细颗粒物的浓度数据, 并可对政府环境监察部门提供数据接口, 实现数据和资源共享, 也可以向公众发布空气质量变化情况, 便于居民安排出行计划, 避免在污染的天气进行户外活动。

1 空气质量等级划分与系统总体结构

1.1 空气质量等级划分

细颗粒物 PM2.5 的主要来源是木材、石油和煤炭等的燃烧, 主要成分是硝酸盐、硫酸盐、氯化钠、氨、黑碳和矿物粉尘等; PM10 主要的来源是建筑扬尘、沙尘暴和森林火灾等^[5-6]。中国环境环保部也定义了相应的等级 (24 小时均值) 如表 1 所示。

表 1 空气污染指数分级标准

等级	PM2.5 浓度/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 浓度/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	空气质量分 指数 AQI
优	0~35	0~50	0~50
良	36~75	51~150	51~100
轻度污染	76~115	151~250	101~150
中度污染	116~150	251~350	151~200
重度污染	151~250	351~420	201~300
严重污染	251~500	421~600	>300
爆表	>500	>600	0~50

收稿日期: 2015-03-26; 修回日期: 2015-05-07。

基金资助: 国家自然科学基金项目(U1304608); 河南省基础与前沿技术研究项目(122300410061)。

作者简介: 王雪瑞(1977-), 女, 河南登封人, 讲师, 硕士, 主要从事计算机应用与网络安全方向的研究。

从表 1 可知, 当 PM2.5 的浓度在 75~115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, 就已经达到了轻度污染, 易感人群的症状有轻度加剧, 健康人群

出现刺激症状, 减少户外跑步时间, 建议带上防 PM2.5 的口罩进行慢跑。

1.2 系统总体结构

分布式空气质量远程集中监测管理系统主要由空气质量监测站和监测中心两部分组成^[7]。空气质量监测站按照规划, 部署在排污企业周边或者城市的各个角落, 与监测中心的服务器采用 C/S 架构设计, 系统整体结构如图 1 所示。

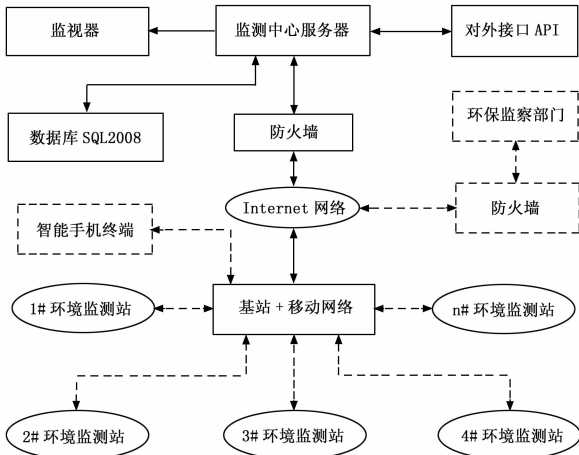


图 1 系统整体结构

空气质量监测站作为客户端, 通过无线模块访问移动基站的 GPRS 网络, 再接入 Internet 公网, 从而建立与监测中心服务器的 TCP/IP 网络连接, 将采集到的空气中的 PM2.5 和 PM10 浓度的数据实时上传到监控中心, 经过处理后实时显示在监视器上, 同时存入数据库 SQL2008 中。为了防止监测中心的服务器受到恶意的入侵和攻击, 增加了防火墙进行了物理隔离, 保证了数据传输和系统的安全性。

为了让环保职能部门及时掌握空气质量的变化情况, 设计了对外接口 API, 设置在环保监察部门的服务器可以直接共享监测站的数据, 便于政府智能部门进行执法取证, 并采取相应的措施降低污染物的排放。同时, 对外接口 API 还支持智能手机用户的 APP 开发, 市民通过智能手机终端的 APP 软件即可获取实时的城市空气质量信息, 能够为市民的出行和户外锻炼提供参考。

2 空气质量监测站硬件设计

空气质量监测站主要有嵌入式控制器 LPC2129、传感器 SDS011、调理电路、GPRS 无线通信模块 SIM900A、固态存储器、电源管理电源、LED 显示屏、键盘和指示灯等组成。空气质量监测站的硬件结构如图 2 所示。

为了避免布线的繁琐, 空气质量监测站采用了太阳能发电装置, 白天将太阳能转化为电能供设备使用, 并将多余的电量存储到蓄电池中, 夜幕降临后, 控制蓄电池放电对设备供电^[8-9]。同时, 节点具有电量监测模块, 当电压值低于临界值时, 会自动向监控中心发送报警信号, 避免电力中断而影响数据的采集。为防止由于无线网络的中断影响数据的传输, 加入了存储器的设计, 当出现网络中断时, 数据会临时保存在本地的存储器中, 当监测到网络恢复后会自动将数据上传, 保证了数据的连续性。

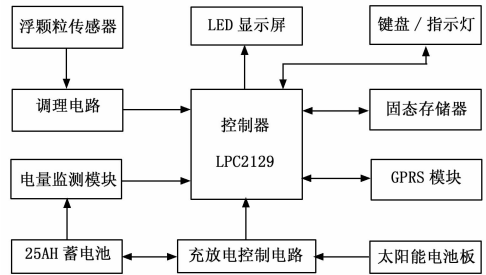


图 2 环境站硬件结构

2.1 细颗粒物传感器 SDS011

细颗粒物传感器 SDS011 采用激光散射原理设计, 主要由测量腔体、激光源、受光元件、滤波放大和微控制器等组成, 能够分辨颗粒最小直径大 0.3 微米, 具有精度高, 稳定性和一致性好的特点^[10-11]。可测量输出 PM2.5 和 PM10 的浓度, 量程为 $0 \sim 999.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 供电电压 5 V, 最大工作电流 100 mA, 休眠电流 2 mA, 场景变换响应时间小于 10 s, 相对误差小于 10%。传感器组成结构如图 3 所示。

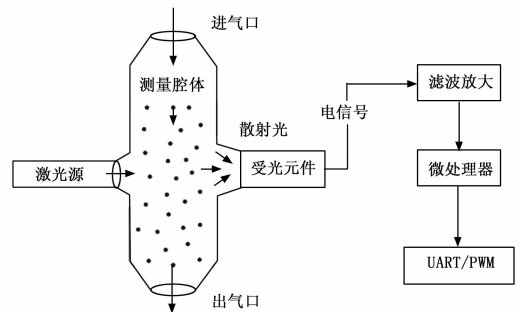


图 3 传感器组成结构

当激光照射到通过检测位置的颗粒物时会产生微弱的光散射, 在特定方向上的光散射波形与颗粒直径有关, 通过不同粒径的波形分类统计及换算公式可以得到不同粒径的实时颗粒物的数量浓度。

激光传感器 SDS011 与嵌入式处理器 LPC2129 的串口连接, 感应大气中的悬浮颗粒物, 根据系统设置周期性的输出 PM2.5 和 PM10 浓度数值。为了降低系统的功耗, 提供了最短为 1 小时的采集周期, 数据采集完毕后自动进入休眠状态, 大大降低了耗电量。

2.2 GPRS 通信模块 SIM900A

通信模块 SIM900A 是实现与监控中心服务器通信的关键部分, 采用功能强大的处理器 ARM9216EJ-S 内核设计, 工作频率为 GSM/GPRS 850/900/1 800/1 900 MHz, 内嵌强大的 TCP/IP 协议栈, 支持多 IP 连接, 可以低功耗实现语音、短消息、数据和传真信息的传输。采用工业全功能 UART 接口标准, 直接与控制器 LPC2129 连接, 通过 AT 命令控制实现数据的收发。

在发送数据前, 需要向 SIM900A 的串口发送指令“AT+CIPSTART”建立与监控中心服务器的 TCP/IP 连接, 当接收到返回的“CONNECT”后表明连接成功, 此时可以按照规划的数据格式向 SIM900A 的串口发送数据, 数据传输完毕后, 为了释放链路资源, 需要发送指令“AT+CIPCLOSE”断开

连接,当收到“CLOSE OK”时表明 TCP/IP 的连接已成功断开。

3 系统软件设计

3.1 监测站软件设计

空气质量监测站是 ARM 处理器 LPC2129 平台上而设计,故软件开发和调试采用了 ARM 处理器集成开发工具 ADS1.2。软件工作流程图如 4 所示。

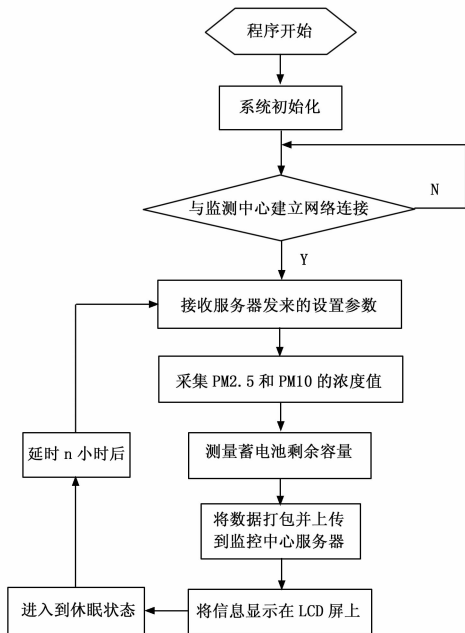


图 4 空气质量监测站软件流程

空气质量监测站启动后,首先进行系统初始化,再通过向 GPRS 通信模块的串口发送 AT 指令进行与监测中心服务器的 TCP/IP 网络连接,然后接收来自服务器的指令(如:设置采集周期等),读取传感器组成传感器 SDS011 串口输出的数据,得到 PM2.5 和 PM10 的浓度值,并测量铅蓄电池中剩余的电量,将采集时间、监测站编号和采集到的数据打包发的送到监控中心服务器,同时,将采集到的数据和设备的运行状态显示在本地的 LED 屏上,根据系统的设置,延时 n 个小时后,进入下一次循环。

3.2 服务器管理软件

监控中心的服务器管理软件采用 VC++6.0 作为开发工具编写,主要由功能子系统、数据库管理、系统模块和输出模块等组成^[12-13],监控中心服务器管理软件结构如图 5 所示。服务器具有公网 IP 和端口号,并采用专用光纤接入 Internet 网络,通过硬件防火墙进行物理地址过滤。

所有来自气空气质量监测站的数据包经过网络 GPRS 和 Internet 首先进入具有固定的 IP 地址的硬件防火墙,硬件防火墙通过端口映射功能将数据包转发到服务器上,与空气质量监测站建立 TCP/IP 网络连接,负责接收来自各监测站上传的空气 PM2.5 和 PM10 的浓度数值,通过预处理、校验、分析和分类,并计算各参数的时均、日均、月均和年均的值,最后显示在监视器上,同时,存储到数据库 SQL2008 中。

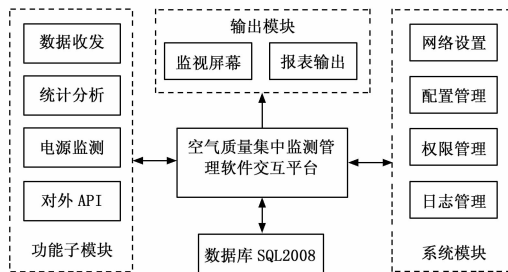


图 5 监控中心服务器管理软件结构

4 测试结果与分析

为了验证设计的系统性能,进行现场测试实验,在城市的东西北中区域各部署一个环境监测站,编号分别为 1#-5#,设置采集周期为 4 小时,对 24 小时内监测到的 PM2.5 和 PM10 数据进行监测和统计,如表 2 所示。

表 2 5 个环境监测站 PM2.5 结果 (单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

编号	4 时	8 时	12 时	16 时	20 时	24 时	均值
1#	65	86	83	82	96	99	85.2
2#	64	88	87	89	98	102	88.0
3#	59	76	77	71	80	83	74.3
4#	56	74	72	78	81	86	74.5
5#	61	82	79	83	88	95	81.3
均值	61	81.2	79.6	80.6	88.6	93	80.7

从表 2 从可知,该区域全天 24 小时内的 PM2.5 均值为 $80.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$,属于轻度污染天气。

表 3 5 个环境监测站 PM10 结果 (单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

编号	4 时	8 时	12 时	16 时	20 时	24 时	均值
1#	155	169	148	138	149	161	153.3
2#	151	172	145	136	142	157	150.5
3#	148	165	137	129	134	145	143.0
4#	146	169	136	125	132	141	141.5
5#	150	170	140	130	140	150	146.7
均值	150	169	141.2	131.6	139.4	150.8	147

从表 3 从可知,该区域全天 24 小时内的 PM10 均值为 $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$,属于轻度污染天气。

实验结果表明:设计的系统能够实现远程 PM2.5 和 PM10 的数据采集、传输和显示等功能,并且工作稳定可靠,通过 5 个监测站的数据得出了该区域 PM2.5 和 PM10 的浓度值,评估为轻度污染天气,不建议民众进行室外活动,如需外出最好佩戴防 PM2.5 的口罩。

5 结束语

采用 GPRS 无线通信技术设计了分布式空气质量远程集中监测管理系统,利用性能优越的细颗粒物传感器 SDS011 采集空气中的 PM2.5 和 PM10 的浓度值,并实时上传到监测中心的服务器上。监控中心服务器集数据接收、统计分析、显示和数据库管理功能为一体,而且还提供了对外的 API 接口,供环境执法部门共享数据。经试验表明,该系统工作稳定,实时性高,实现对分布在远程各地空气中颗粒物浓度的集中监测,

通过对工厂周围的空气进行监测, 便于执法部门进行取证, 对排污企业进行有效的管理, 也可以向公众发布空气质量变化情况, 引导人们进行科学的户外锻炼和出行。

参考文献:

[1] 莫莉, 余新晓, 赵阳, 等. 北京市区域城市化程度与颗粒物污染的相关性分析 [J]. 生态环境学报, 2014, 23 (5): 806-811.

[2] 韩建彪, 张志红, 童国强, 等. 太原市大气 PM2.5 对哮喘患者炎症因子的影响 [J]. 环境与健康杂志, 2014, 31 (3): 229-231.

[3] 徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 等. 重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究 [J]. 环境科学, 2014, 35 (3): 820-829.

[4] 齐晓艳, 周刚, 王卫峰, 等. 河南省医疗卫生机构室内 PM2.5 浓度监测 [J]. 郑州大学学报 (医学版), 2013 (6): 825-828.

[5] 王琪, 孙巍, 张新宇. 北京地区 PM2.5 质量浓度分布及其与气象条件影响关系分析 [J]. 计算机与应用化学, 2014, 31 (10): 1193-1196.

[6] 傅丽芳, 徐诗阳, 敖长林, 等. 基于覆盖模型的 pm2.5 监测站点

布局优化方法研究 [J]. 数学的实践与认识, 2014 (10): 208-215.

[7] 朱军, 向腾辉, 张小美, 等. 基于 ZigBee 技术的大气 PM2.5 监测系统设计 [J]. 测控技术, 2013, 32 (11): 10-13.

[8] 梁艳, 张增福, 陈文亮, 等. 基于 β 射线法的新型 PM2.5 自动监测系统研究 [J]. 传感技术学报, 2014, 27 (10): 1418-1422.

[9] 马天成, 刘大铭, 李雪洁, 等. 基于改进型 PSO 的模糊神经网络 PM2.5 浓度预测 [J]. 计算机工程与设计, 2014, 35 (9): 3258-3262.

[10] 杨永杰, 张裕胜, 杨赛程, 等. 一种 PM2.5 检测传感器设计 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33 (3): 76-78, 81.

[11] 赵鑫, 潘晋孝, 刘宾, 等. 基于 β 射线吸收法的 PM2.5 测量技术的研究 [J]. 电子技术应用, 2013, 39 (9): 74-76.

[12] 沈霖, 陈能. 基于 WebGIS 的 PM2.5 及空气质量信息的发布与共享 [J]. 测绘通报, 2012 (S1): 772-772.

[13] 李丽辉, 傅琪扬. 基于分布式无线传感网络的城市空气质量监测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (3): 706-708.

(上接第 2313 页)

表 1 测试验证统计表

序号	测试类型	测试对象	制造故障类型	检测结果	测试报告内容
1	系统自检	测试系统	数字 I/O 通道开路、短路	FAILED	报告具体通道故障
2	系统自检	测试系统	扫描开关通道开路	FAILED	报告具体通道故障
3	功能测试	非标准总线模块	开路、短路、固定电平	FAILED	报告子模块功能故障
4	功能测试	标准总线模块	开路、短路、固定电平	FAILED	报告子模块功能故障
5	故障隔离	非标准总线模块	开路、短路、固定电平	FAILED	报告具体网络故障及网络下相关管脚
6	故障隔离	标准总线模块	开路、短路、固定电平	FAILED	报告具体网络故障及网络下相关管脚

自检测试实际上包括仪表自检和设备自检, 仪表一般自带自检程序, 设备自检是指适配器的测试资源自检。在数字 I/O 通道上分别制造短路故障和开路故障, 在扫描开关通道上制造开路故障。短路故障在互连测试中报出具体通道可能存在短路故障, 开路故障在 MACRO 测试中报出具体通道故障, 故障隔离精确。

功能测试中所造故障是针对 UUT 的多个功能子模块而言的, 采用了两种方式同时进行功能测试: 在线加载测试程序和 MACRO 测试。两种测试方法均能准确报出该项子功能测试失败, 存在故障。该验证表明边界扫描同样可以用于功能测试验证。

故障隔离验证对 UUT 外部接口部分芯片制造的故障。对于标准总线模块, 互连测试中报出具体网络可能存在故障, 并报告故障网络下所有相关管脚。对于非标准总线模块, MACRO 测试可报出具体通道可能存在故障, 并报告故障通道下所有相关管脚, 故障隔离精确。

5 结束语

本文提出的边界扫描测试应用技术, 适用于数字电路自动测试系统设计, 包括系统自检、UUT 功能测试和 UUT 故障隔离。通过简单实用的硬件设计以及结合传统测试资源数字

I/O 的使用, 扩展和延伸使用了边界扫描测试技术, 为测试系统自检提供了新方法和手段; 使 UUT 功能测试有了新的选择; 解决了 UUT 对外接口部分非边界扫描器件的故障隔离难题。实际验证表明, 测试方法稳定可靠, 故障隔离精确, 能够解决系统自检、UUT 功能测试和 UUT 故障隔离的等问题。该技术已经在数字电路自动测试系统中应用和推广, 能够有效地解决测试系统和被测模块测试过程中遇到的实际问题, 已成为数字电路测试系统设计的重要方法和措施, 具有重要的实用价值。

参考文献:

[1] 王燕. 边界扫描技术在 VLSI 电路设计中的应用研究 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (10): 1307-1309.

[2] IEEE Std 1149.1-1990, IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture [S].

[3] Kenneth P. Parker. The Boundary-Scan Handbook (Third Edition) [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003.

[4] 张文广, 周绍磊, 李新. 边界扫描技术及其在 PCB 可测性设计中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (6): 713-715.

[5] 杜舒明. 数字电路板故障诊断的一种实用方法 [J]. 现代雷达, 1996, 18 (6): 12-20.