doi:10.3772/j.issn.1002-0470.2015.03.007

基于 MSP430 的空气环境质量监测系统设计①

胡敦利②* 李 亮③** 高 杨* 孙德辉*

(*北方工业大学 现场总线及自动化北京市重点实验室 北京 100041)

(**环境保护部核与辐射安全中心 北京 100082)

摘 要 为了实现城市环境参数的分布式检测和集中统计管理,设计了一个空气环境质量监测系统。该系统分为上位机监控中心和下位机检测与传输终端两部分,下位机采用 MSP430F149 单片机作为控制核心,以温湿度传感器 SHT11 和 PM2.5 传感器进行数据采集。下位机有液晶显示,可以实时显示测量数据,并可手动设置报警值,检测数据同时通过 Sim900 无线模块传至监控中心。监控中心完成空气环境质量数据的统计管理,生成报表,便于管理部门做出决策。该系统已经在大学校园环境下进行了测试、应用,效果良好。

关键词 MSP430 芯片, 温湿度检测, PM2.5 检测, GPRS 传输, 环境监测

0 引 言

自从 2012 年《环境空气质量标准》颁布以来,人们对环境空气质量的关注度持续提高,尤其是对 PM2.5 的关注。PM2.5 是指空气动力学当量直径(俗称粒径)小于2.5μm的大气颗粒物[1]。PM2.5 对人体的危害性很大,对人体呼吸系统乃至免疫系统都能造成严重的影响。因而,进行环境监测,根据监测结果改进环境空气质量,具有重大意义。环境监测是指通过对影响环境质量因素的代表值的测定,确定环境质量(或污染程度)及其变化趋势[2]。环境保护部门对环境保护形势的分析以及相关政策的提出都要以环境监测数据为依据,环境监测必须保证监测数据具有准确性和可比性[3-5]。

本研究考虑了环境监测的具体问题,例如监测区域范围广,监测数据传输功耗大,数据传输方式限制多以及数据汇总、管理繁琐等,设计了一种基于 MSP430 低功耗单片机的空气环境质量监测系统,它将各监测点的环境检测数据由单片机处理并通过无线方式传输到监控中心,实现了在监控中心的数据存储和统计管理,解决了采集、传输、功耗、数据管理上的难题,而且具有较高的智能化程度[6-9]。

1 系统结构

系统由两大部分组成,一是数据采集与传输节点,二是远程监控中心,如图 1 所示。整个系统的工

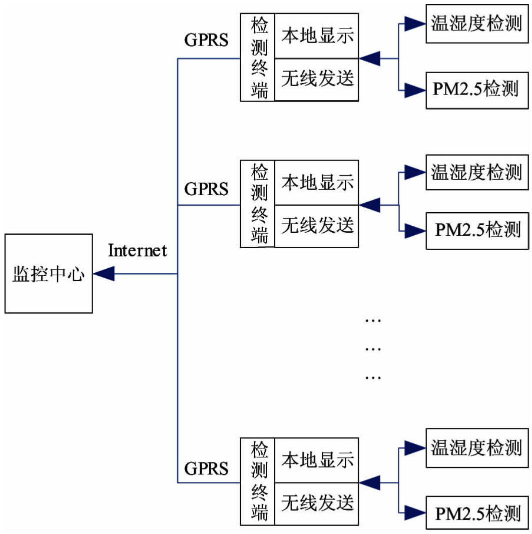


图 1 系统结构示意图

① 国家自然科学基金(61203230)资助项目。
② 女,1967 年生,博士生,副教授;研究方向:现场总线技术-CAN 总线、LonWorks 总线等; E-mail: dunlihu@126.com
③ 通讯作者,E-mail: liliangfj@126.com
(收稿日期:2015-01-23)

作流程如下:(1)由 PM2.5 检测模块和 SHT11 温湿度传感器进行数据测量,并将数据交由微控制单元(MCU)也就是 MSP430 单片机处理,MCU 将数据打包传至 SIM900 无线传输模块,通过通用分组无线服务(GPRS)传至目标地址;传输节点本地设有液晶显示器(LCD)以及限值报警设置。(2)上位机接收数据,并将数据存储到数据库中,便于统计管理。

2　硬件设计

下位机控制器硬件包括电源模块、数据采集模块、键盘输入模块、液晶显示模块、报警模块、时钟模块及数据通信模块,系统硬件构成示意图见图 2。

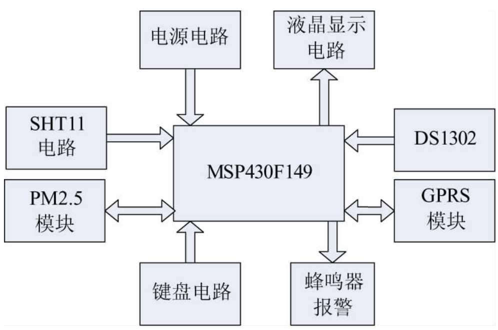


图 2　系统硬件结构图

2.1　电源电路设计

MSP430F149 单片机的工作电压一般为低电压供电,电压范围是 1.8 ~3.6V。整个系统采用 3.3V 供电,因为硬件系统对电源有稳压、纹波小及低功耗等要求,所以该系统的电源部分采用 ASM1117 系列稳压器,该芯片可以满足系统的需求。为了使输出纹波尽可能小,在输出部分用了 0.1μF 的滤波电容,为了减少输入端受到的干扰,在输入部分也采用了 0.1μF 的滤波电容,见图 3。

2.2　环境参数采集电路及无线通讯部分设计

采集电路包含两部分数据的采集,一部分是温度、湿度数据的采集,另一部分是 PM2.5 数据的采集。温、湿度数据的采集选用 SHT11 温湿度传感器,传感器的 SDATA 和 SSCK 引脚直接与 MSP430F149

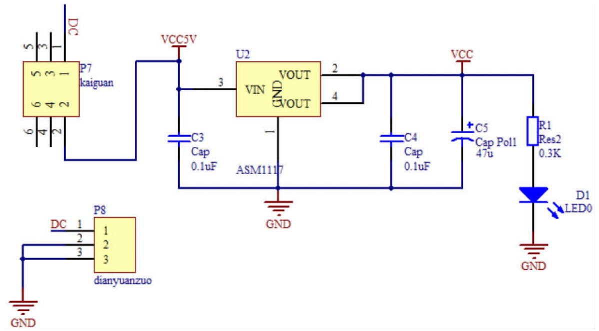


图 3　ASM1117 稳压供电电路

的 P2.2 和 P2.0 口相连,以 I^2C 总线的方式进行通讯,实现数据的传送。SHT11 采集到 8 位温度数据,经过公式换算得到实际值。温度转换公式为

$$T = d1 + d2 \times SOt \tag{1}$$

其中 $d1 = -40$, $d2 = 0.01$。相对湿度转换公式为

$$RHline = C1 + C2 \times SOrh + C3 \times SOrh \times SOrh \tag{2}$$

其中:$SOrh$ 为接收到的数据; $C1 = -4$, $C2 = 0.0405$, $C3 = -0.0000028$, $t1 = 0.01$, $t2 = 0.00008$。

PM2.5 采集模块是由青岛宜兰环保工程有限公司研制的 PM2.5 环境数据采集模组。它采用 RS232 串口通讯,波特率是 9600bps,采用串口 COM3 端口,传输速率为 1200 字节每秒。单片机通过串口向 PM2.5 检测模块发送指定格式的数据帧,设置上传数据周期为 180s,设置测量 PM2.5 数据的指令保存在传感器的 E^2PROM 中,下次开启时自动调用。图 4 为 PM2.5 传感器设定与上传数据格式,数据定义见表 1 和表 2。

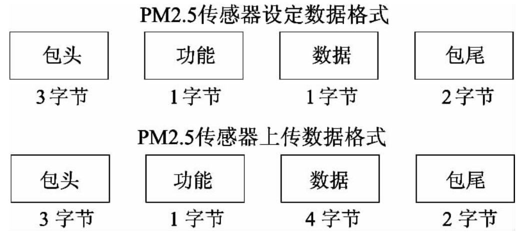


图 4　PM2.5 传感器设定数据格式

表 1　PM2.5 传感器设定指令相应位代码及含义

包头码	功能码	数据码	包尾标志
3 个字节 0x43,0x55,0x49	0x01:传感器上传时间间隔	0x01:采样数据上传时间间隔 30s	2 字节结束标志 0x0a,0x00
	0x02 ~ 0x0F:预留功能	0x02:采样数据上传时间间隔 60s	
		0x03:采样数据上传时间间隔 120s	
		0x04:采样数据上传时间间隔 180s	

表 2　PM2.5 传感器上传数据相应位代码及含义

包头码	功能码	数据内容		包尾标志
3 字节固定以 0x53,0x4e,0x57 开始	共 1 字节 0x01:表示检测数据为 PM2.5 和 PM10 0x02 ~ 0x0F:预留功能	第 1 字节　第 2 字节 PM2.5 的含量采集值 (16 进制,mg/m^3)	第 3 字节　第 4 字节 PM10 的含量采集值 (16 进制,mg/m^3)	2 字节固定 0x0a,0x00 是传感器与上位机通讯数据包结束的标志

无线通讯部分负责数据传输,即与上位机的通信,需要用到 Sim900GPRS/GSM 无线收发模块,该模块内置 TCP/IP 协议栈[10],支持串口通讯,MSP430 通过串口向 Sim900 模块发送 AT 指令,包含目标 PC 的地址以及接收到的温湿度、PM2.5 值。温湿度和 PM2.5 的检测值按照通讯协议打包发送,具体数据格式是:包头数据 0x11,0x00;后跟温度、湿度、PM2.5 的十六位数据值例如 0x1e,0x20,0x77 表示温度 30℃,湿度 32%,PM2.5 为 119。包尾结束符为 0xff,0xaa。

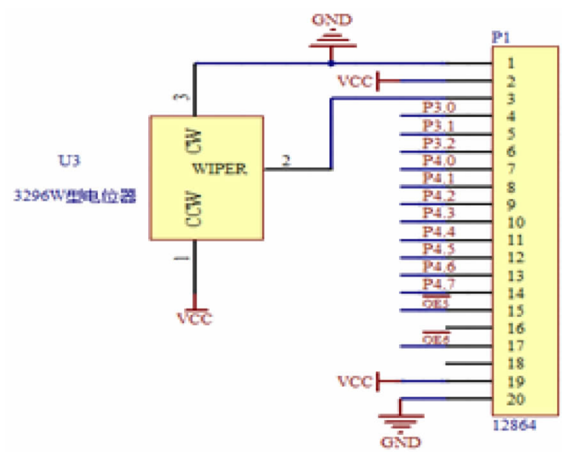


图 5　液晶显示电路设计原理图

2.3　键盘输入电路

键盘输入电路用来输入环境监测数据报警限值,从而判断系统监测数据是否超出预期。键盘电路采用中断的方式工作。利用 MSP430 单片机的 P1.4、P1.5、P1.6 和 P1.7 引脚,构成四个中断触发的独立按键。为低电平触发,有键按下进入中断服务程序,进行设定限值的操作。

2.4　液晶显示及报警电路设计

显示电路主要用来显示传感器测量的数据,采用 LCD12864 液晶显示器,它是 128 × 64 点阵的汉字图形。由于 MSP430F149 具有丰富的 I/O 口资源,所以采用并行的接口方式连接 LCD 与 MCU,此方式易实现,减少了系统设计的复杂性,增加了系统的可靠性。图 5 上 LCD12864 连接了一个 3296W 型电位器,用于控制液晶显示的亮暗程度。

报警电路通过驱动一个蜂鸣器来实现,它的一端连接 VCC,另一端通过一个三极管来驱动。

2.5　时钟电路设计

时钟电路(图6)芯片采用DS1302,其采用三线

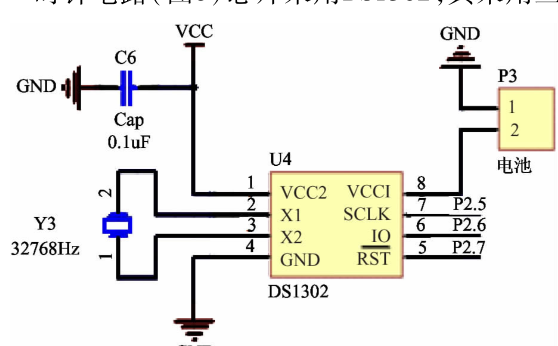


图 6　时钟电路

接口与 CPU 进行同步通信,并可采用突发方式一次传送多个字节的时钟信号或 RAM 数据。它的 SCLK、IO、RST 分别连接单片机的 P2.5、P2.6、P2.7 口,X1 和 X2 连接 32768Hz 的晶振。

3 软件设计

3.1 下位机程序设计

下位机的软件设计包括主处理模块、采集模块、键盘输入模块、液晶显示模块、报警模块、时钟模块。系统主程序流程图如图 7 所示。

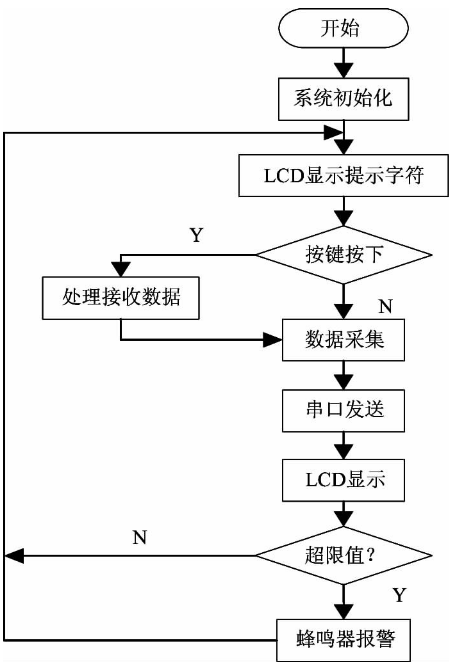


图 7 主程序流程图

主处理模块主要是将各模块进行协调处理,首先要完成各模块的初始化,然后在 LCD 液晶上显示开机提示字符,接着进入循环处理。在循环中将采集到的数据进行处理,然后显示在液晶屏上。报警限制有一个缺省值,如果超出限值,系统会报警。报警限值也可通过键盘随时重新设定。主函数的部分代码如下:

```
int main( void )
    InitSys( );                  //初始化函数
    Disp _ HZ(0x81,line1,6); //欢迎文字
    sendPmCmd( ); //发送采集 PM2.5 的指令
    while(1)
    {
        Get _ DS1302(times);//获取时间数据

        ShowTime(times);
        str = collectRHC( );//采集温湿度
        pm25str = Get _ Pm25( ); //显示 PM2.5
        SetXianzhi( );      //设置限值函数
    }
```

Sim900A 模块部分负责将检测数据向监控中心发送,其工作流程如图 8 所示。

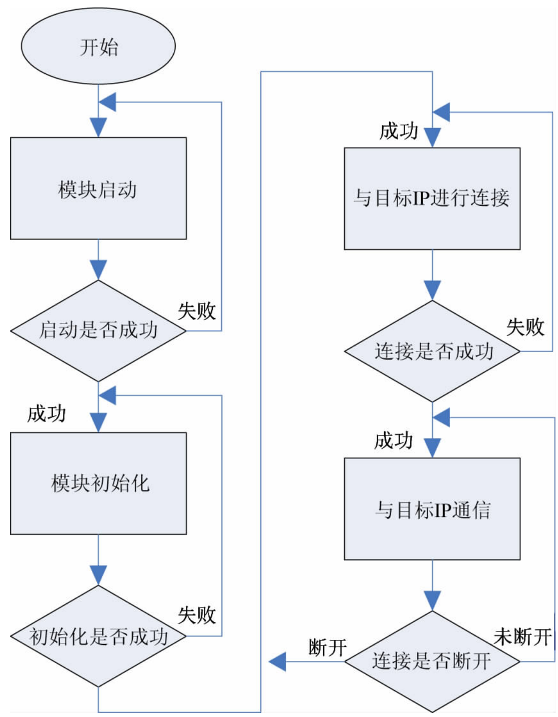


图 8 Sim900A 工作流程

通过 AT 指令进行连接、通信,确认当前网络和模块状态:

at + csq

at + cpin?

AT + CGREG?

设置 APN 接入点,激活 PDP:

AT + MIPCALL = 1,"CMNET"

获取本地 IP 地址:

AT + MIPCALL?

建立 TCP/IP 连接:

AT + MIPOPEN = 1,,"192.168.30.128",3000,0 //开启一个 SOCKET,建立 TCP 或 UDP 连接,建立 SOCKET 之前,必须在 MIPCALL 得到 IP 地址后才能建立。本地端口建议设为自动(空),不能设置为 0。最后一位设置 0 为 TCP、1 为 UDP。域名解析会延长 SOCKET 建立的时间。

查询 TCP SOCKET 的情况:

AT + MIPOPEN?

数据的发送:

AT + MIPSEND = 1,"0x430x550x490x010x040x0a0x00"//引号内位发送的数据。MIPSEND 命令是把数据加载到发送缓冲区,最大数据长度为 600bytes。

AT + MIPPUSH = 1 //缓冲区数据发送到网络端。

数据的接收:

当模块接收到服务器发来的信息时,模块自动传来如下信息:

+MIPRTCP:1,0,0x530x4e0x570x010x770xd00x0a0x00

关闭建立的 TCP SOCKET 连接:

AT + MIPCLOSE = 1 //主动关闭建立的 TCP SOCKET 连接。

3.2 监控中心部分程序设计

监控中心部分主界面采用 Visual Basic 6.0 设计用户界面,本例以北京市城区地图形式实时显示各监测点的环境状况,共设定 16 个监测点,超过报警上限值的监测点在图中会由灰色变为红色显示。单击图上的监测点,即可显示监测点相关信息和检测到的数据。还可进行其他操作,如查看数据库保存的各时段监测数据;对数据进行管理操作;查看生成报表和趋势曲线图。程序设计包括主界面、菜单与状态栏、用户登录界面、地图实时监控与警报、串行通信、Access 数据库连接、数据分类查询、设计报表、生成数据曲线等部分。程序主界面如图 9 所示。

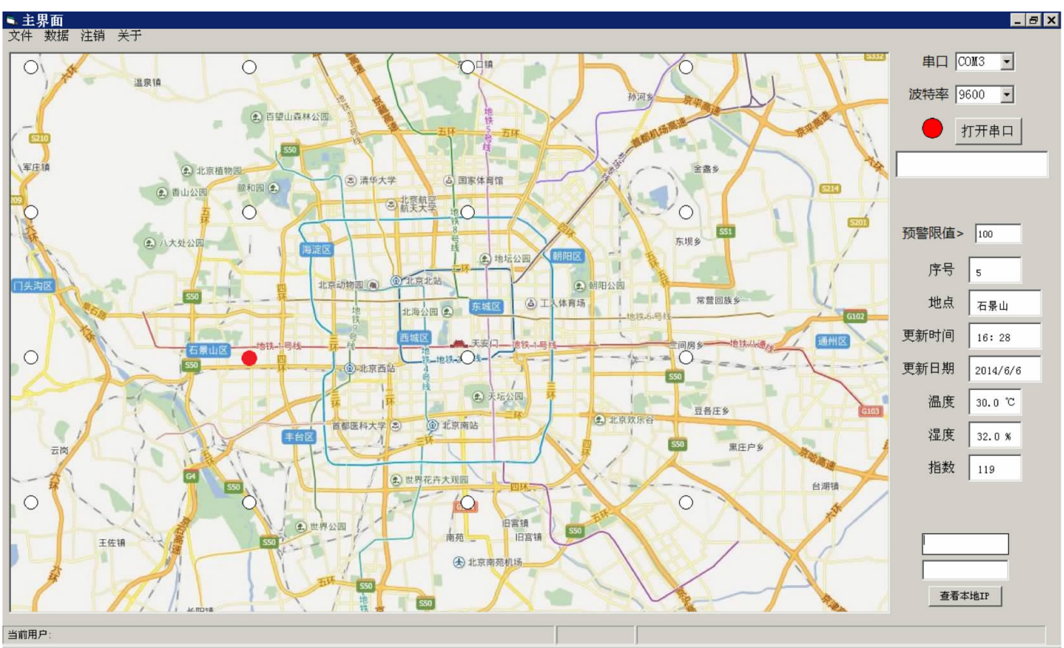


图 9 监控中心程序主界面

4 系统测试结果

4.1 下位机测试

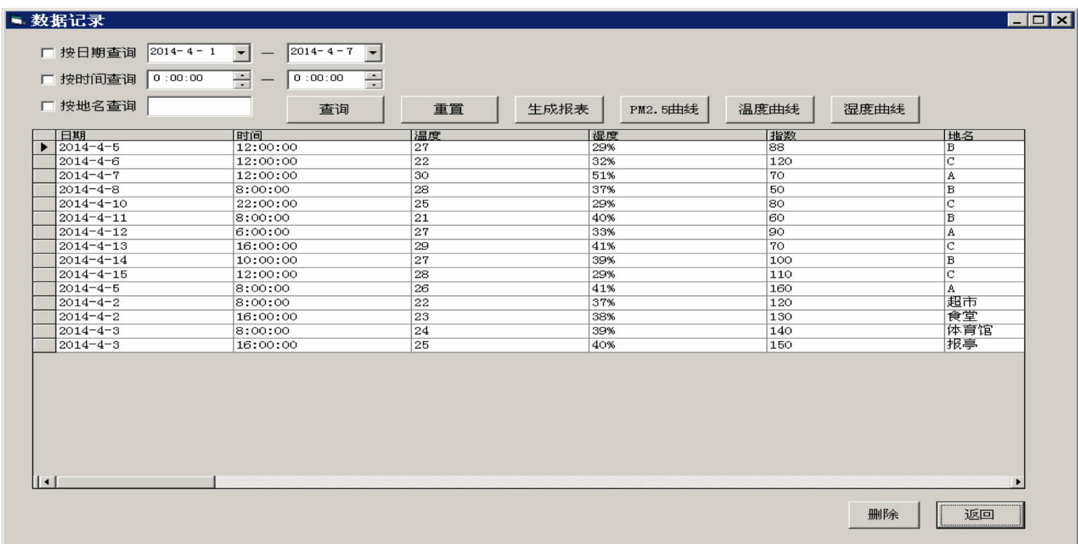
测试主要包括传感器信号采集,与 MSP430 单片机的串行通讯、I2C 通讯;本地报警限制的设定。温湿度和 PM2.5 传感器通讯功能的测试主要在 LCD 上进行显示,即可直观的得到结果。限值设定也是在 LCD 上直接显示,图 10 为一个实测案例:设定 PM2.5 报警限制为 100,经检测得到的 PM2.5 值

图 10 LCD 显示及报警限制设定

为 119,超过报警值,此时蜂鸣器发声报警,相应的上位机监测点变为红色高亮提示报警(图 9 所示为该例情况)。

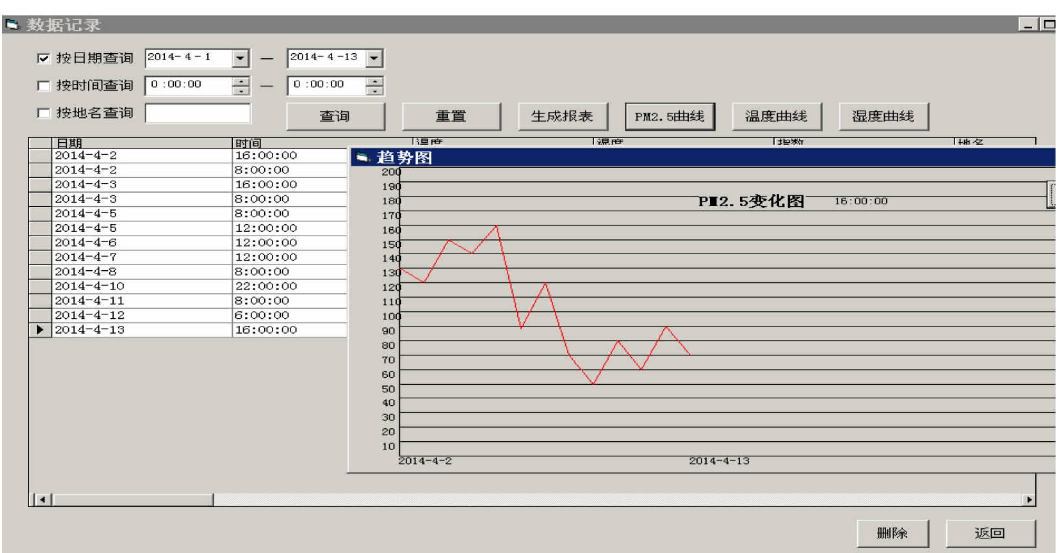
4.2 监控中心功能测试

将设计的下位机放置在校门口路边环境下,进行温湿度以及 PM2.5 数据的采集,并连接 sim900 模块,将采集的数据传输至监控中心。图 11 和图 12为监控中心数据库和监控中心主程序绘制的 pm2.5 趋势图。



日期	时间	温度	湿度	指数	地名
2014-4-5	12:00:00	27	29%	88	B
2014-4-6	12:00:00	22	32%	120	C
2014-4-7	12:00:00	30	51%	70	A
2014-4-8	8:00:00	28	37%	50	B
2014-4-10	22:00:00	25	29%	80	C
2014-4-11	8:00:00	21	40%	60	B
2014-4-12	6:00:00	27	33%	90	A
2014-4-13	16:00:00	29	41%	70	C
2014-4-14	10:00:00	27	39%	100	B
2014-4-15	12:00:00	28	29%	110	C
2014-4-5	8:00:00	26	41%	160	A
2014-4-2	8:00:00	22	37%	120	超市
2014-4-2	16:00:00	23	38%	130	食堂
2014-4-3	8:00:00	24	39%	140	体育馆
2014-4-3	16:00:00	25	40%	150	报亭

图 11 监控中心数据库



日期	时间
2014-4-2	16:00:00
2014-4-2	8:00:00
2014-4-3	16:00:00
2014-4-3	8:00:00
2014-4-5	8:00:00
2014-4-5	12:00:00
2014-4-6	12:00:00
2014-4-7	12:00:00
2014-4-8	8:00:00
2014-4-10	22:00:00
2014-4-11	8:00:00
2014-4-12	6:00:00
2014-4-13	16:00:00

图 12 PM2.5 趋势曲线图

5 结 论

本系统根据在市区范围内进行环境指数监测的要求,采用了一种在市区地图上呈现监测点的显示方式,可以直观地看出全市范围内的监测点分布情况。并可选择查看各个监测点的监测情况。整个系统采用了一种监测节点加监控中心的工作模式,通信和数据传输采用无线 GPRS 传输方式。采取分布式布置监测节点,数据上传后统一管理的运行方式。在北京石景山区校园环境下进行了测试实验,实验结果满足设计的预期要求。即控制器上可以实现对温、湿度和 PM2.5 含量的检测,在 LCD 显示和报警的同时,可以实现数据的无线传输;远程监控中心可实现对下位机上传数据的统计管理。

本系统功能的实现可以进行全市范围内的推广应用,在各个区县布置适量的监测点以实现对市范围空气环境质量的检测数据进行汇总,为北京地区环境指数的发布提供直观可靠的数据。并可为北京市空气环境分析工作提供可靠的数据来源。另外,本环境监测系统设计对于广域环境条件下进行环境监测设备的研究有一定的借鉴价值。

参考文献

[1] 但德忠. 环境空气 PM2.5 监测技术及其可比性研究进展. 中国测试, 2013,3(02):1-5

[2] 綦丽莉. 浅论环境监测与环境影响评价的关系. 环境保护与循环经济, 2011,7(02):74-75

[3] 沈芳. 环境监测质量控制工作探讨. 广东科技, 2005,(205):86-88

[4] Wilson D M, Hoyt S, Janata J, et al. Chemical sensors for portable, handheld field instruments. *Sensors Jouranl IEEE*, 2001,1(4):256-274

[5] Zoubir A M, Chant I J, Brown C M, et al. Signal processing techniques for landmine detection using impulse ground penetrating radar. *Sensors Journal IEEE*,2002,2(1): 41-51

[6] 姜进, 王鑫, 杨慧中. 基于 MSP430 单片机的无线环境监测系统的设计. 江南大学学报(自然科学版), 2011, 2(10):45-48

[7] Al-Ali A R, Zualkernman I, Aloul F. A mobile GPRS-aenssors array for air pollution monitoring. *Sensor Journal,IEEE*. 2012, 12(5): 1545-1553

[8] Tsow F, Forzani E, Rai A, et al. A wearable and wireless sensor system for real-time monitoring of toxic environmental volatile organic compounds. *Sensor Journal, IEEE*, 2009,9(9):1734-1740

[9] Sung W T, Hsu C C. Intelligent environment monitoring system based on innovative integration technology via programmable system on chip platform and ZigBee network. *Communications, IET*, 2013, 7(16):1789-1801

[10] 史洁琼, 曾连荪. TCP _ IP 协议在无线测控网中的应用. 电脑知识与技术, 2009,(5):1590-1592

The design of an air environmental quality monitoring system based on the MSP430 MCU

Hu Dunli*, Li Liang**, Gao Yang*, Sun Dehui*

(*North China University of Technology, Beijing Key Laboratory of Profibus Technology and Automation, Beijing 100041)

(**Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection of PRC, Beijing 100082)

Abstract

An air environment quality monitoring system was designed to realize the distributed detection of urban environmental parameters and the centralized statistics management of the parameters. This system consists of two parts: the PC monitoring center and the detection and transmission terminal. The latter uses a chip microprocessor of MSP430F149 as the control core, and collects data with the temperature & humidity sensor of SHT11 and the PM2.5 sensor, and the collected data is simultaneously shown on a LCD. At the same time, it transmits them to the monitoring center by the Sim900 module, in which the local module can set the alarm value. The monitoring center conducts the statistical management of the air environmental quality data to generate the report for management departments to make decision. The system was tested and used in the campus environment and its good performance was verified.

Key words: MSP430 chip, temperature and humidity detection, PM2.5 detection, GPRS transmission, environmental monitoring