

基于 STM32 的大气粉尘浓度实时检测系统设计

张荣华, 邹超华

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

摘 要:为了实时测量大气中粉尘浓度,设计了一套基于光散射原理的检测系统。根据朗伯-比尔定律可知,准确测量透射光强是检测的关键因素。系统采用锂电池供电,以 STM32 微处理器为核心,测量光束通过被测介质前后的光强变化,转化为电信号,经运放放大后送入 ADC 处理,实现浓度信息采集,DHT11 检测环境中温湿度,实时时钟设置系统的日期和时间,数据经单片机处理后动态显示在 LCD5110 上,可以通过菜单和 AD 键盘进行功能设置。实验结果表明,该系统能实现便携实时测量,相对误差小于 10%,精度较高,具有功能丰富、超限报警、实用性强、功耗低、操作简单、固件升级容易等特点。

关键词:实时测量;粉尘浓度;光散射;STM32 微处理器

中图分类号:TP277

文献标志码:A

引 言

现代工业的迅速发展引起了越来越多的污染问题,尤其是空气质量下降。除了废气、废水,空气中的微小颗粒物已经成为一个十分突出的问题,已有研究表明,大气中的颗粒物能携带大量的病毒和一些重金属,一旦粉尘被人吸入,会对人体的健康造成极大的伤害。大气中的粉尘浓度是衡量空气质量的一个重要指标,粉尘的检测就变得十分重要。国内外对粉尘浓度检测方法主要有电容法、光学法、摩擦电法等^[1-3]。文献[4]在电容测量法的基础上,设计了基于电桥法的测量电路,对工业粉尘浓度进行测量。文献[5]建立了棒状电极与粉尘颗粒间的电荷感应数学模型,电极周围的粉尘浓度与感应所得交变信号的波动性呈正相关关系,具有较好的重复性,克服了粉尘浓度传感器管路易堵塞的问题。电容法的测量原理简单,但测量值对流型分布敏感,电荷法测量易受微粒流速影响,容易引起较大误差^[6]。为了便于人们了解空气的污染程度,而光散射法具有快速、简便、灵敏度高的特点,因此设计了一套基于光散射原理

的低功耗、低成本、测量快速、操作简单的粉尘浓度检测系统,对空气中的粉尘浓度进行实时在线检测。

1 系统工作原理及总体方案

当光束通过含尘空气时,粉尘对光有吸收和散射作用,使透射光强发生衰减^[7,9]。根据朗伯-比尔定律(Lambert-Beer)^[10],吸光度 A 定义为:

$$A = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \lg\left(\frac{1}{T}\right) = kcd \quad (1)$$

其中, I 和 I_0 分别表示出射光强和入射光强,它们的比值用透射比 T 表示, c 表示粉尘浓度, d 为吸收层厚度, k 为消光系数。

根据式(1)得:

$$c = \frac{A}{kd} = \frac{-\lg T}{kd} \quad (2)$$

由式(2)可知,准确测量透射光强是检测粉尘浓度的关键因素。

粉尘检测系统测量光束通过被测介质前后的光强,并转换为电信号,放大为 0~3 V 的模拟电压信号,经过 STM32 内部的 12 位 ADC 转换为数字信号,同时检测环

收稿日期:2016-02-28

基金项目:企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室开放基金项目(2015WYY01)

作者简介:张荣华(1987-),女,四川广元人,助教,硕士,主要从事嵌入式系统方面的研究,(E-mail)zrh3536@163.com

境中温湿度,实时时钟设置系统的日期和时间,LCD5110 液晶显示和 AD 键盘作为人机交互接口,如果超过限定值单片机驱动蜂鸣器报警。系统采用 3.7 V 锂电池供电,实现便携实时测量,结构框图如图 1 所示。

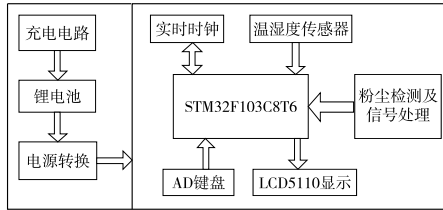


图 1 系统结构框图

2 硬件电路设计

系统主要由电源管理、STM32 微处理器^[11-13]、粉尘检测及信号处理电路、DS1302 实时时钟、温湿度传感器、按键输入及 LCD5110 显示组成。

电源管理主要包含锂电池充电和电源转换部分,使用锂电池供电,有助于实现便携,而系统中大部分芯片是 3.3 V,所以还需将锂电池的 3.7 V 转化为 3.3 V 输出(图 2)。采用单节锂电池充电芯片 TP4056,待机电流 55 μ A,可编程充电电流高达 1000 mA,充电精度达 $\pm 1.5\%$,当外接电源(交流适配器或 USB 电源)切断时,TP4056 自动进入低电流状态,当连通时,TP4056 也可置于停机模式。充电电路如图 2(a)所示,R41、R43 和 D8、D9 组成了充电指示,充电时 D9 红灯亮,D8 绿灯亮起时,表示充电结束。

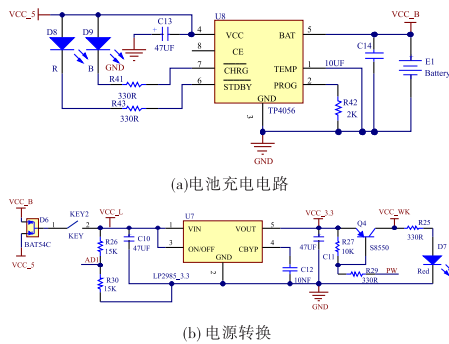


图 2 电源管理电路图

采用低压差稳压芯片 LP2985 转换锂电池的 3.7 V 电压。LP2985 待机电流小于 1 μ A,是低功耗用电器的首选。图 2(b)中的 BAT54C 为两个肖特基二极管,防止接入 USB 时电流直接流向电池,电流过大烧毁电脑接口,开关 KEY 为电路总开关,通过电阻 R26 和 R30 进行分压取样,STM32 的 AD1 检测电池电压,当电压过低时自动关机,当单片机进入休眠模式,程序使所有 I/O 口

为高阻态,此时 R27 上拉到 3.3 V 使 PNP 三极管 Q4 处于截止状态,所有模块停止供电,这时待机电流小于 5 μ A,当通过 VCC_WK 唤醒单片机时,程序控制 PW 输出低电平,三极管导通,系统进入正常工作,点亮发光二极管 D7。

光电二极管检测出光强度,光强度越大,二极管导通率越大,输出电压值就越大。但传感器输出电压是毫伏级别,还需经运算放大器放大,单片机 ADC 才能检测到信号。其电路如图 3 所示,IRED 接微处理器的 PC14 引脚,控制二极管的亮灭。运算放大器选用 OP413,单电源供电范围 3 V ~ 36 V,具有低噪声、低漂移特性和数字校正功能,性能精密。

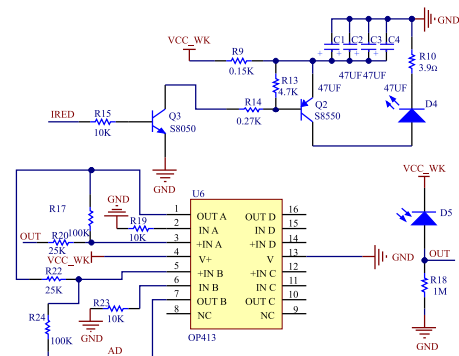


图 3 粉尘检测信号处理电路

微控制器选用基于 ARM Cortex - M3 内核的 32 位低功耗 STM32F103C8T6,CPU 频率为 72 MHz,有 128 K 字节的 FLASH 和 20 K 字节的 SRAM,2 个 12 位的 ADC、3 个通用 16 位定时器和 1 个 PWM 定时器,通信接口丰富,2 个 I²C、SPI、3 个 USART、USB 和 CAN 接口各 1 个,有 37 个 I/O 口。丰富的外设配置,使 STM32F103C8T6 能够应用多种场合,如电机驱动、可编程控制器(PLC)、打印机、空调系统等。微处理器电路如图 4 所示。

环境温湿度测量采用 DHT11 集成传感器,包括一个电阻式感湿元件和一个 NTC 测温元件,与高性能 8 位单片机相连,使用单总线数字信号方式传输数据,测湿范围 20 ~ 90% RH,精度 $\pm 5\%$ RH,测温范围 0 ~ 50 $^{\circ}$ C,精度 ± 2 $^{\circ}$ C,响应快、抗干扰能力强、稳定性好。

LCD 显示屏选用诺基亚 LCD5110,分辨率 84 \times 48,间隔 200 ms 刷新一次,可显示 6 行英文或者 4 行汉字,支持多种串行通信协议,传输速率高达 4 Mbps,可全速写入显示数据,无等待时间。采用 PNP 三极管控制 LED 背光灯的亮灭,用模拟 SPI 的方式传输数据。

STM32F103C8T6 的 PA11 和 PA12 是硬件的 USB 协议接口,USB 和 CAN 共用一个专用的 512 字节的 SRAM

存储器,用于数据的发送和接收,因此不能同时使用。USB 设备在枚举前将数据线通过 1.5 kΩ 电阻上拉到电

源,当 USB 主机检测到信号后才发送设备描述符请求,开始枚举设备,实现 USB 通信。

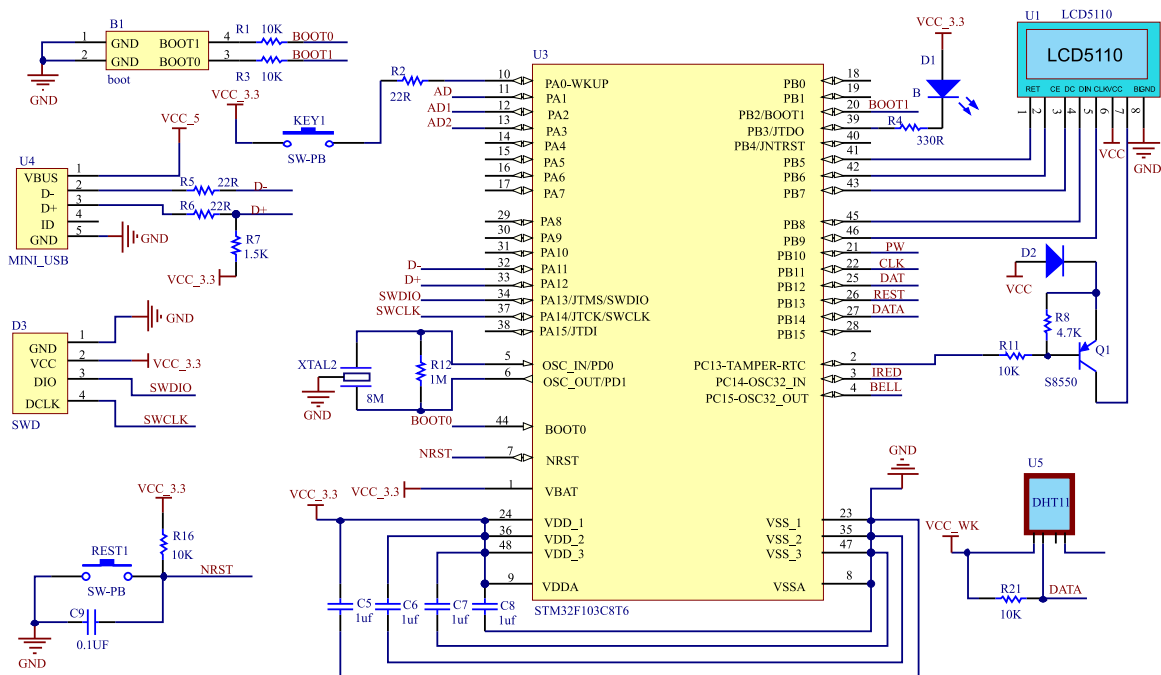


图4 微处理器电路图

实时时钟采用美国 DALLAS 公司的低功耗芯片 DS1302,可以对年、月、日、星期、时、分、秒计时,具有闰年补偿功能。内部总共 12 个寄存器,与日历、时钟相关的有 7 个,还包含存放临时数据的 31 字节 RAM 空间,使用 32.768 kHz 独立晶振,当系统断电时也能使用自带的纽扣电池精确走时,工作电压为 2.5 V ~ 5.5 V,只需 3 条线就能与 CPU 通信。其电路如图 5 所示。

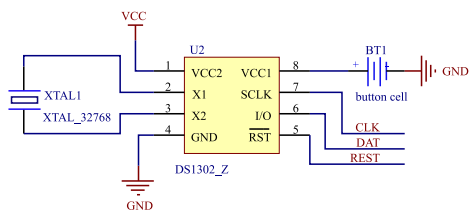


图5 实时时钟电路

常用的按键电路有矩阵键盘和 AD 键盘。在矩阵键盘中,每条水平线和垂直线在交叉处不直接连通,而是通过一个按键加以连接,需要单片机逐行扫描,占用较多的 I/O 口,电路和编程相对复杂而且耗时。而 AD 键盘将输出的模拟电压值进行 AD 转换,将数字量传给单片机,只需要 2 根线,系统中使用一根电源线和一 I/O 接口实现 6 个按键,分别为 K1“设置”、K2“确定”、K3“向上翻页”、K4“向下翻页”、K5“粉尘浓度上限加 10 键”、K6“粉尘浓度上限减 10 键”。

3 软件设计

系统软件主要包含驱动层,任务管理层。在 Keil uVision5^[14-15]开发环境下,使用 C 语言编写粉尘检测系统的应用程序,系统初始化主要针对 STM32 内部 ADC、DS1302、DHT11、LCD 显示驱动等,软件流程如图 6 所示。

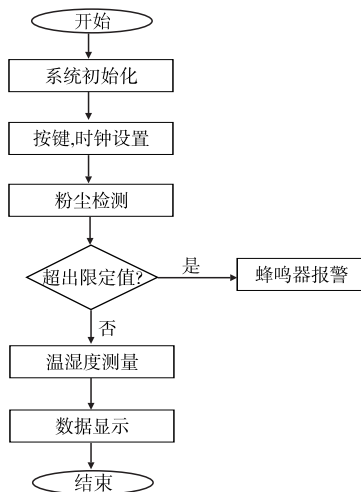


图6 系统软件流程图

二极管发出的光经过待检测的气体时,出射光强变低,光强与粉尘浓度有相关关系,粉尘检测中需要精确测量光电二极管接收端的电压变化。检测过程要确保

严格的时序控制,根据 LED 驱动周期,设置脉冲周期 10 ms、脉冲宽度 0.32 ms、取样时间 0.28 ms,并计算 1 s 内 100 次取样的平均值。检测流程如图 7 所示,初始化单片机主要是指配置 STM32 的 AD 转换接口和转换位数,I/O 口的复用功能及相应寄存器。

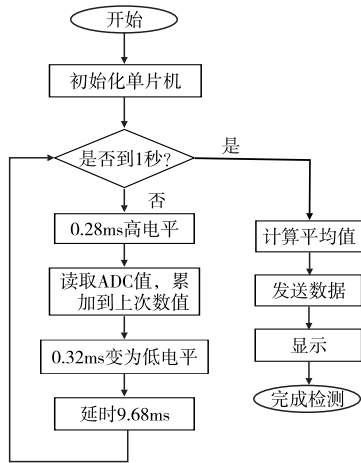


图 7 粉尘检测流程图

4 实验结果与分析

为了测试所设计的检测系统的测量精度和性能,对广州地区^[16]一天内不同时刻的空气取样,测得 PM2.5 的含量,并与当地环保局发布的空气质量数据进行对比,见表 1。

表 1 粉尘浓度测试数据对比

采样日期	采样时刻	系统测得粉尘浓度 / (ug/m ³)	环保局发布数值 / (ug/m ³)	相对误差 / %
2016.03.01	9:00	76	82	-7.3
2016.03.01	10:00	96	92	4.3
2016.03.01	11:00	94	88	6.8
2016.03.01	12:00	88	81	9.9
2016.03.01	13:00	75	82	-8.5
2016.03.01	14:00	75	78	-3.8
2016.03.01	15:00	70	74	-5.4
2016.03.01	16:00	67	71	-5.6

从表 1 可以得知,在采样时间段内,所设计的大气粉尘浓度实时检测系统测得粉尘浓度平均值为 80.25,环保局发布数值平均值为 81,相对误差在 ±10% 以内,具有较高的测量精度。

5 结束语

设计了一套基于光散射原理的大气粉尘监测系统,以 STM32 为控制核心,单片机内部 ADC 采集信号,能检测环境温湿度,用 LCD 液晶屏和键盘作为人机交互界

面。系统能实现便携实时测量、超限报警,低功耗,精度较高,具有一定的实用性和市场推广价值,有助于人们及时了解空气质量情况,指导日常行为。

参考文献:

- [1] 王雪瑞,李艳玮,李拴保.分布式矿井粉尘浓度在线监控系统[J].计算机测量与控制,2014,22(7):2084-2086.
- [2] 刘涛,张健,郭胜均.粉尘浓度在线监测及降尘装置研制[J].煤矿机械,2015,36(10):193-196.
- [3] KHALAJI M,ROSHANZADEH B,MANSOORI A,et al. Continuous dust monitoring and analysis by spark induced breakdown spectroscopy[J].Optics and Lasers in Engineering,2012,50(2):110-113.
- [4] 李静,司瑾,王泽民.电容法测量工业粉尘浓度技术研究[J].电子科技,2016,29(2):148-151.
- [5] 陈建阁,吴付祥,王杰.电荷感应法粉尘浓度检测技术[J].煤炭学报,2015,40(3):713-718.
- [6] 唐娟.粉尘浓度在线监测技术的现状及发展趋势[J].矿业安全与环保,2009,36(5):69-71,74.
- [7] 胡倩.基于激光差分探测的粉尘浓度检测技术研究[D].西安:西安工业大学,2014.
- [8] 王自亮,赵恩标,吕银庄,等.粉尘浓度光散射测量影响因素的分析[J].煤炭学报,2007,32(6):604-607.
- [9] GÖRNER P,SIMON X,BÉMER D,et al. Workplace aerosol mass concentration measurement using optical particle counters[J].Journal of Environmental Monitoring,2012,14(2):420-428.
- [10] 林伟豪,高致慧,杨勇,等.基于激光光谱差分法检测 NO₂[J].激光技术,2014,38(6):835-838.
- [11] 刘军,张洋,严汉字.例说 STM32[M].北京:北京航空航天大学出版社,2014.
- [12] 彭刚,秦志强.基于 ARM Cortex-M3 的 STM32 系列嵌入式微控制器应用实践[M].北京:电子工业出版社,2011.
- [13] 王兰英.基于 STM32 嵌入式系统的 uCGUI 移植与实现[J].四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(1):56-58.
- [14] PAWAR S D,RANE U A.Environment monitoring and device control using ARM based Embedded Controlled

- Sensor Network[J].International Journal of Engineering and Technical Research,2015,3(4):339-341.
- [15] ZENG Y,SONG Y,WANG B.Development of environment monitoring systems for greenhouse based on Proteus and Keil software[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2012,28(14):177-183.
- [16] PM25.COM.绿色呼吸[EB/OL].(2016-03-01)[2016-03-01].<http://www.pm25.com/guangzhou.html>.

Design of Real-time Detection System of Dust Concentration in Atmospheric Based on STM32

ZHANG Ronghua, ZOU Chaohua

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: In order to realize real-time measurement of dust concentration in atmosphere, a kind of detection system based on the principle of light scattering is designed. According to the law of the Lambert-Beer, accurate measurement of transmitted light intensity is the key factor of the system. The system uses lithium battery-powered, with STM32 microprocessor as the core; the concentration information is collected by measuring the change of light intensity when light transforming the change into electrical signals through the measured medium, and transmitting the signals to the ADC after amplified; temperature and humidity are detected by DHT11; the date and time are set by real-time clock; the data, processed by the MCU dynamic, is displayed on LCD5110; and function can be set through the menu and AD keyboard. The experimental results show that the system can realize portable and real-time measurement, has a high accuracy with the relative error less than 10%, and possesses the characteristics of abundant functions such as warning over limit, strong practicality, low power dissipation, simple operation, easy firmware upgrading.

Key words: real-time measurement; dust concentration; light scattering; STM32 microprocessor