

Monitoring System for Harmful Gas Concentration Based on Infrared Sensing and ARM*

TAN Weijun, DING Wanshan*

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A real-time detecting testing system for harmful gas concentration with infrared laser spectral detection principle centralizing on ARM microprocessor-S3C44B0 is introduced. With the sufficient demonstration of the test principle and methods, the infrared sensor for density detection is designed. ARM hardware platform centralizes on S3C44B0 is developed. It consists of AD conversion module, LCD display module and RS485 communication module. Compared with the traditional instruments, it has rapid respond speed, good at repetition and high accuracy. Experimental results show that: testing precision up to 5×10^{-6} , it can be widely used to monitor and forecast the situation in the field of industrial emissions and atmospheric environment.

Key words: harmful gas; infrared spectral; ARM; RS485; particle filter

EEACC: 7230C

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2011.03.002

基于红外传感器和 ARM 的大气有害气体浓度监测系统*

谭韦君, 丁万山*

(南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016)

摘要:介绍了以 ARM 处理器 S3C44B0 为核心、利用红外光谱原理对大气有害气体浓度进行监测的实时在线检测系统。通过对测试原理和方法的充分论证之后,设计了气体浓度检测的红外传感器。开发了以 S3C44B0 为核心,包括 A/D 转换模块、LCD 液晶显示模块、RS485 通讯模块等在内的 ARM 中央硬件处理平台。与传统的同类传感器相比,具有响应速度快、重复性好、高精度等优点。实验表明:测试精度可达到 5×10^{-6} ,可以广泛用于工业废气、大气环境等领域的监测和预报。

关键词:有害气体;红外光谱;ARM;RS485;粒子滤波

中图分类号:TP212

文献标识码:A

文章编号:1004-1699(2011)03-0321-04

目前我国正处于工业化和城市化发展的加快时期,然而经济、工业化的迅速发展,带来了各种工业废气排放量的急剧增加和能源的骤减,导致了环境的进一步恶化,严重阻碍了社会的可持续发展。其中排放的二氧化碳(CO₂)是“温室效应”的主要来源,二氧化硫(SO₂)、一氧化碳(CO)、碳氢化合物(CH₄)、硫化氢(H₂S)都是对人体有害的气体,对人体健康有极大危害^[1]。因此,研究并设计大气有害气体的监测系统对大气环境的监测具有重要的意义。

近年来国内外许多科研单位对监测大气有害气体的浓度,开展了一系列的研究,而此类研究多采用接触式测量方法。由于接触式传感器时间分辨率及空间分辨率都有一定的限制,因此国内外很多学者逐渐转向探索采用光学方法测量气体的组份浓度。本

文介绍了一种运用 LED 发出的红外光测量大气有害气体浓度的检测系统,采用特定波长的半导体二极管作为光源,与之相配的光电二极管构成的光电传感器^[4]。系统选用基于 ARM7 核的 S3C44B0 作为微处理器,MAX1133 作为系统的 AD 采集模块,再辅以键盘模块和液晶显示屏,可脱离 PC 机独立完成对有害气体浓度测量的显示和控制,另外还可以通过 RS485 通讯模块进行远程传输。

1 红外光谱检测的基本原理

根据红外理论,许多化合物分子在红外波段都具有一定的吸收带,吸收带的强弱及所在的波长范围由分子本身的结构决定^[4]。气体分子的特征吸收带主要分布在 1 μm ~ 25 μm 波长范围的红外区。

这里我们以温室气体 CO₂ 为例:CO₂ 在 2.7 μm、4.3 μm、及 11.4 μm ~ 20 μm 之间有强吸收带(图 1)。本系统选择 4.3 μm 作为 CO₂ 的工作波长,选择 3.6 μm 作为参考波长。

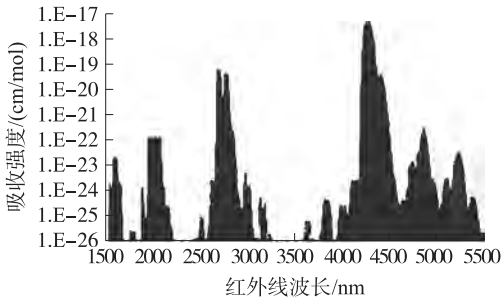


图 1 CO₂ 气体的吸收带

对于一定波长的红外辐射的吸收,其强度与待测组分的关系可以由朗伯特-比尔定理^[3]来描述:

$$I = I_0 e^{-KCL} \quad (1)$$

式中, I 为透射红外辐射的强度; I_0 为入射红外辐射的强度; K 为气体的红外光吸收系数; C 为待测气体的摩尔百分体积分数; L 为红外辐射穿透过的待测气体组分的长度。

当红外辐射穿过待测组分的长度 L 和入射红外辐射的强度 I_0 一定时,由于 K 对某一种特定的待测组分是常数,故透过的红外辐射强度 I 仅仅是待测组分摩尔百分浓度的 C 的单值函数。通过测定透射的红外辐射强度,就可以确定待测组分的浓度^[5]。

2 硬件系统设计

系统由红外光电传感器、信号调理电路、16 bit A/D 转换电路和以 ARM 处理器(S3C44B0)为核心的中央处理单元组成^[8],系统总体框图如图 2 所示。

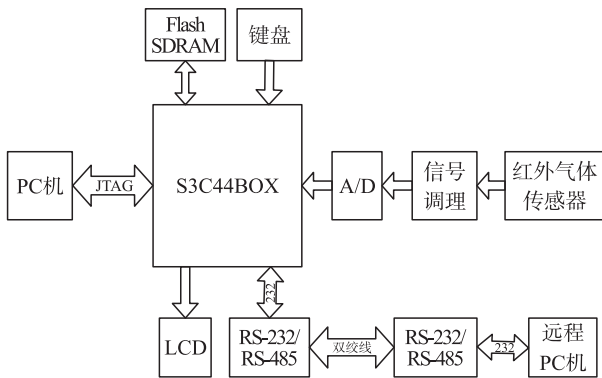


图 2 系统硬件结构框图

光电传感器把光强信号转化为电压信号,经过信号调理电路进行滤波和放大,然后将得到的电压信号通过 A/D 转换器将模拟量转化为数字量送入 S3C44B0 进行数据采集和处理,最后在液晶屏上显

示测量结果,并将测量结果通过 RS485 通讯模块发送到远程 PC 机上,进行远程实时的监控。

2.1 传感器的设计

浓度传感器的光源 LED 采用方波来驱动工作,LED 采用频率为 10 kHz 的方波来进行调制,采用 NE555 芯片作为振荡器(图 3),输出具有一定周期和占空比的方波,再接 MIC2951 组成的恒流源电路(图 4)作为 LED 的驱动电路^[7]。

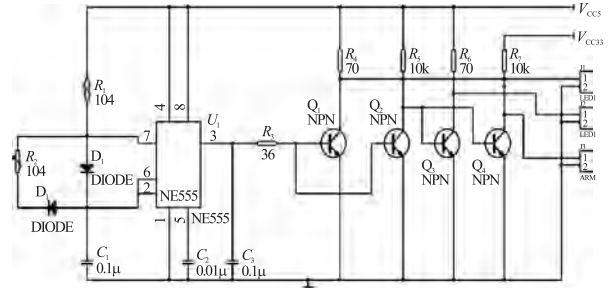


图 3 NE555 方波驱动电路

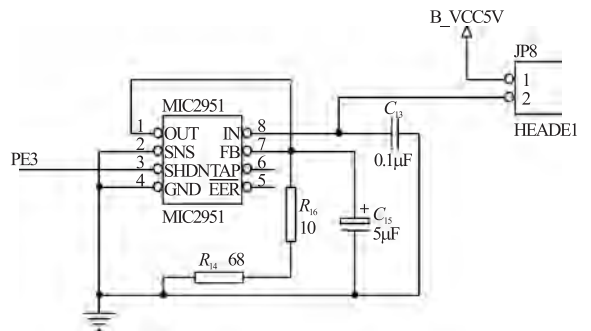


图 4 恒流源电路

同时采用差分吸收法^[2-3]中的单光路双波长技术(图 5),以消除光源的波动、光电器件的时漂和温漂等因素带来的干扰。在两路相位相反的方波驱动下,光源 1 和光源 2 在一个方波周期内轮流发光,其中光源 1(LED43)发光波长为 4.3 μm,对应 CO₂ 在 4.3 μm 的吸收峰值,光路中带有被测气体吸收后的光强信息;光源 2(LED36)发出光波长为 3.6 μm,光路中带有未经被测气体吸收的光强信息。

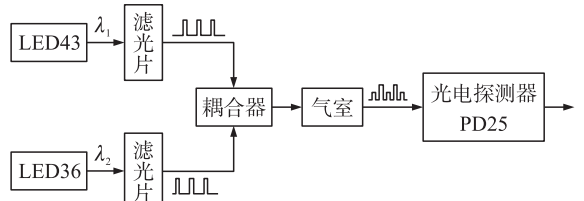


图 5 差分吸收原理图

探测器(PD25)接收到 I_1 和 I_2 后分别将其转化为电压信号 V_1 和 V_2 ^[6],经过调理放大电路后,送给 ARM 中央处理平台进行数据处理,完成浓度信号的测试。

2.2 A/D 转换模块

系统选用的 A/D 转换器是 MAXIM 公司的 16

bit 的 MAX1133, MAX1133 无须电平转换就可以直接与 3.3V 的 ARM 系统相连。MAX1133 与 S3C44B0 的硬件连接如图 6 所示。

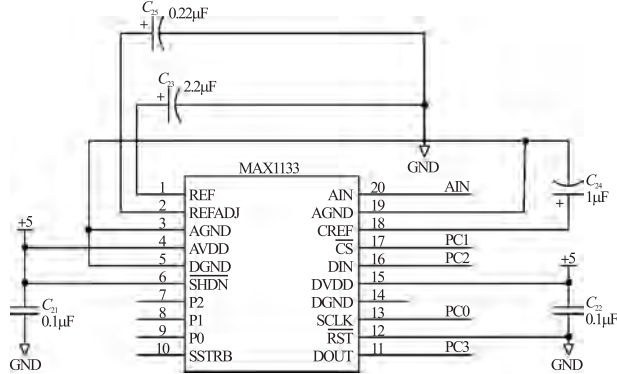


图 6 MAX1133 与 S3C44B0 的硬件连接图

S3C44B0 的 PC0 口与 MAX1133 的 SCLK 连接提供 AD 转换器的工作时序;PC1 与 CS 连接,PC1 输出 0 选定 MAX1133;PC2 与 DIN 连接,提供控制字;PC3 在 SCLK 时序下将 A/D 转换结果读入 S3C44B0 中。

3 软件结构

3.1 系统软件总体流程图

系统上电后先对整个采集系统进行初始化操作,包括 ARM 系统的初始化和目标板上外设的初始化,对它们进行参数配置。初始化完成后开始显示开机画面,启动 A/D 转换首先要给 MAX1133 写入控制字,才能使 A/D 工作起来,待 A/D 转换结束后,要读取 A/D 转换的数据才完成了数据采集这一过程,则 S3C44B0 对数据进行处理还原为原始浓度信号。根据用户的按键操作,用 LCD 显示有害气体的浓度值或浓度变化曲线,并将数据经串口通过 RS485 总线发送到远程监控计算机。系统软件的流程图如图 7 所示。

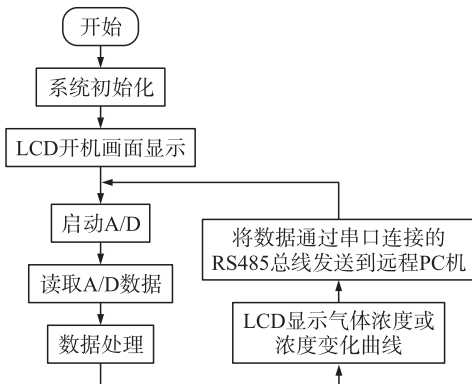


图 7 系统软件的总体框图

3.2 数据处理算法^[10-11]

粒子滤波适用非高斯噪声干扰下的非线性系统。采用粒子滤波算法对信号进行去噪处理,提高

信噪比。接收到的信号 x_k 受到非线性噪声的干扰,对动态时变系统建立如下的状态方程和测量方程:

$$x_k = f_k(x_{k-1}, \varepsilon_k) \quad (2)$$

$$z_k = h_k(x_k, e_k) \quad (3)$$

其中, x_k 是目标在时刻 k 的状态向量, ε_k 是过程噪声, z_k 是状态 x_k 的观测值, e_k 是观测噪声。定义 $\{\varepsilon_k\}$ 和 $\{e_k\}$ 为过程噪声序列和测量噪声序列,两者独立同分布,且噪声序列和初始状态 x_0 彼此相互独立。

已知 $k-1$ 时刻目标的后验概率分布 $p(x_{k-1} | z_{1:k-1})$, 利用状态方程 (2) 得出当前时刻的预测概率分布 $p(x_k | z_{1:k-1})$:

$$p(x_k | z_{1:k-1}) = \int p(x_k | x_{k-1}) p(x_{k-1} | z_{1:k-1}) dx_{k-1} \quad (4)$$

根据贝叶斯更新公式预测概率 (3), 得到后验概率分布 $p(x_k | z_{1:k})$:

$$p(x_k | z_{1:k}) = \frac{p(z_k | x_k) p(x_k | z_{1:k-1})}{\int p(z_k | x_{1:k}) p(x_k | z_{1:k-1}) dx_k} \quad (5)$$

对于非线性、非高斯的动态系统,我们只能寻求递归贝叶斯估计的近似最优解。可将后验概率分布 $p(x_k | z_{1:k})$ 可近似表述为:

$$p(x_k | z_{1:k}) = \sum_{i=1}^N w_k^i \delta(x_k - x_k^i) \quad (6)$$

N 是粒子的数目; w_k^i 是第 i 个粒子 k 时刻的权值,满足归一化条件,即 $\sum_{i=1}^N w_i = 1$; $\delta(\cdot)$ 是狄拉克函数。其中权值 w_k^i 更新过程为:

$$w_k^i \propto w_{k-1}^i \frac{p(z_k | x_k^i) p(x_k^i | x_{k-1}^i)}{q(x_k^i | x_{k-1}^i, x_{1:k})} \quad (7)$$

我们取先验分布 $p(x_k^i | x_{k-1}^i)$ 作为重要性采样函数,则权值 w_k^i 更新过程可以简化为:

$$w_k^i \propto w_{k-1}^i p(z_k | x_k^i) \quad (8)$$

最小均方误差估计量等价于信号经过重要性权值加权的平均值:

$$\hat{x}_k = \sum_{i=1}^N x_k^i w_k^i \quad (9)$$

w_k^i 表征的是它与粒子 x_k^i 与当前时刻真实状态 x_k 近似程度。在初始分布中抽样 N 个初始点 $x_0^i (i=1, \dots, N)$; 从 $k-1$ 到 k 时刻的信号状态为 $x_{k-1}^1, \dots, x_{k-1}^N$, 对应的权值为 $w_{k-1}^1, \dots, w_{k-1}^N$; 选取重要函数 $p(x_k^i | x_{k-1}^i)$, 通过式 (2) 产生新的粒子, 再通过式 (8) 更新权值, 然后归一化; 最后通过式 (9) 得出当前时刻的 x_k ^[9]。这样就很好地解决了数据采集与处理中噪声的干扰, 达到了快速、准确地反映采集数据真实值的目的。

4 测试结果

粒子滤波对状态空间的近似程度只与粒子数 N 有关,与状态空间维数的无关,且随着粒子数 N 的增加,滤波结果更趋近于真实的信号^[9]。在实际的采样数据滤波过程中,我们取 $N=200$,滤波的结果如图8所示。

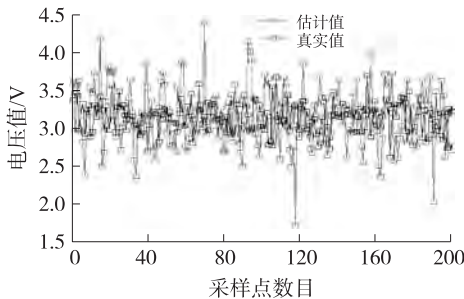


图8 估计值和真实值比较图

系统的软件、硬件分别测试完成后,需要经过系统标定,然后才能用来测试测量。统计 CO_2 体积分数与电压差值 (V_0-V) 对应关系,建立拟合曲线。假设非线性特性曲线拟合方程^[12]的 n 次多项式为:

$$x_i(u_i) = a_0 + a_1 u_i + a_2 u_i^2 + a_3 u_i^3 + \dots + a_n u_i^n \quad (10)$$

其中,阶数 n 由所要求的精度所确定,本设计中 $n=6$ 。

对体积分数测试系统进行静态标定实验,获得一组体积分数值和与之对应的输出值,计算出待定常数 $a_0 \sim a_6$ 。将系数 $a_0 \sim a_6$ 存入内存,这样,以后在测试过程中就可以根据式(10)将传感器的输出值变换为体积分数值。本测试系统拟合曲线如图9所示。

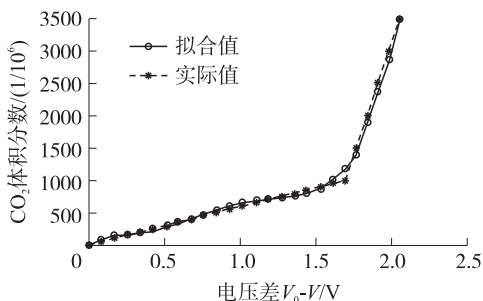


图9 CO_2 体积分数与 V_0-V 的拟合曲线

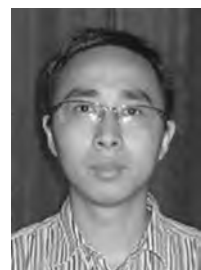
由上图可知 CO_2 气体的浓度变化很小,系统具有良好的稳定性和重复性。本系统设备与 0.5×10^{-6} 的标准测量设备经过实验比较后,测出系统的测量精度为 5×10^{-6} 。

5 结束语

应用红外光谱吸收原理、嵌入式技术和粒子滤波算法设计的大气有害气体浓度监测系统,具有灵敏度高、稳定性好,实时性强等特点,且可以实现远程通讯,可广泛的应用于工业废气、大气环境等领域的监测和预报。

参考文献:

- [1] 中国环境保护产业协会环境监测仪器委员会. 污染源连续自动监测系统的发展[J]. 中国环境产业,2003(4):25-26.
- [2] 周围. 差分吸收光谱技术在大气环境监测中的应用研究[J]. 河北工业大学学报,2007(11):17-19.
- [3] 吴希军,王玉田,田瑞玲,等. 取样光栅滤波的新型光纤甲烷差分检测系统[J]. 传感器技术学报,2010,23(1):15-16.
- [4] 崔厚欣,齐汝滨,张文军,等. 差分吸收光谱法大气环境质量在线连续监测系统的设计[J]. 分析仪器,2008,11(1):7-12.
- [5] 丁万山,孙红兵. 基于激光诊断技术的脉冲爆震发动机多参数自动测试系统[J]. 传感器技术学报,2007,20(9):2060-2062.
- [6] Tapia J, Khomenko A V, Cortes-Martinez R. High Accurate Fiber with Two-LED Light Source [J]. Optics Communications. 2000, 177:219-223.
- [7] Gharavi M. Quantification of Near-IR Tunable Diode Laser Measurements in Flames [C]//2nd Joint Meeting of the U S Sections of the Combustion Institute, USA IEEE March,2001:167-184.
- [8] 田泽. 嵌入式系统开发与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005(3):28-53.
- [9] 刘凯. 粒子滤波在单通道信号分离中的应用研究[D]. 2007(4):38-43.
- [10] Michael K Pitt, Neil Shephard. Filtering Via Simulation: Auxiliari Particle Filtering [J]. USA IEEE March,2007:590-592.
- [11] AlexandrosValyrakis, Efthimios E Tsakonas, Nicholas D Sidiropoulos. Stochastic Modeling and Particle Filtering Algorithms for Tracking a Frequency-Hopped Signal [J]. USA IEEE August,2009:3108-3110.
- [12] 唐家德. 基于 MATLAB 的非线性曲线拟合 [J]. 计算机与现代化,2008,5(6):15-21.



谭韦君(1981-),男,江苏常州金坛人,硕士研究生,主要研究方向为光电检测技术及嵌入式系统设计;



丁万山(1949-),男,江苏扬州人,硕士生导师,主要研究方向为光电检测技术,嵌入式系统等方面, tanwj88@126.com。