

文章编号: 2096-1618(2016)02-0142-04

# 医学小气候空气质量监测技术研究

王保强<sup>1</sup>, 刘志刚<sup>1</sup>, 杨小平<sup>1</sup>, 李永红<sup>1</sup>, 姜天华<sup>2</sup>, 周辉<sup>2</sup>, 高家平<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225; 2. 成都天田医疗电器科技有限公司, 四川 成都 610509)

**摘要:**为实现对医学小气候的空气质量监控,采用多种生物医学传感器和数据采集技术,提出一种有害气体智能监测方案。该方案采用现场可编程门阵列(FPGA),方便对传感器的非线性性和时间滞后性进行校正,实现对小气候空气质量实时监测;同时,采用模糊控制算法,根据《室内空气质量标准》GB/T18883-2002的要求,通过空气调节和净化,实现对室内空气质量的实时调控。测试表明,该套方案的可靠性和智能化程度高,适用于医疗机构、大会堂、交通枢纽等人流密集的公共场所。

**关键词:**信号与信息处理;信号获取及应用;空气质量;智能监测;模糊控制算法

**中图分类号:** TN911.7

**文献标志码:** A

## 0 引言

在工业迅速发展的同时,各种病菌传播及污染也越来越严重,尤其是空气污染<sup>[1-2]</sup>。由于人们在室内的时间远大于室外,并且小空间空气不流通更易于空气质量下降,从而导致病毒病菌快速滋生,最终可能影响工作效率、生活质量,严重时可能使人致病。因此,对小空间空气质量的研究、监测和净化尤为重要。

影响小空间空气质量的因素很多,主要研究一氧化碳、氨气  $PM_{2.5}$  和温度对空气质量的影响。燃料的燃烧可以导致一氧化碳浓度升高,室内卫生间气体可以使氨气浓度升高,香烟等的燃烧可以增加  $PM_{2.5}$  的浓度,空气不流通等可以使温度升高。

基于上述问题,提出一种基于现场可编程门阵列(FPGA)的室内空气质量检测与控制的方案,通过相关传感器采集室内空气质量信息,并将其输入到主控制器,由主控制器分析处理后控制外围相应执行装置使室内空气质量符合标准,从而形成相对高质量的室内环境。

## 1 监测体系

系统由下位机(FPGA)、上位机(PC机)和手机(安卓系统)3部分组成,如图1所示。下位机主要包括温度采集部分、氨气采集部分、一氧化碳采集部分、 $PM_{2.5}$ 采集部分、WIFI传输部分和继电器控制部分等;上位机主要实现基于LabVIEW的人机交互界面;手机

端实现数据的接收及显示。

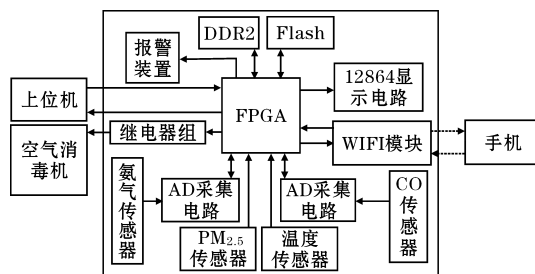


图1 系统总体结构

系统上电后,氨气传感器和一氧化碳传感器将采集到的浓度信息经AD转换电路传输到FPGA,温度传感器(单总线通信协议)和 $PM_{2.5}$ 传感器(RS232串口通信协议)将采集到的浓度信息直接传输到FPGA,FPGA将解析后的信息和预设值比较,如果解析的当前数据大于预设值,FPGA启动报警装置和控制继电器启动相应的装置(空气消毒机),同时,FPGA将室内当前空气质量数据分别发送到上位机、手机和12864液晶屏显示。

## 2 模糊PID控制原理

模糊控制是应用模糊集理论、模糊语言变量和模糊逻辑推理等知识模拟人类的模糊思维,其本质是一种非线性控制,模糊控制系统是以智能模糊控制器为核心的闭环数字控制系统<sup>[3]</sup>。模糊PID是结合传统PID线性控制和模糊非线性控制而形成的,模糊PID实质就是在传统PID控制器上增加了模糊控制<sup>[4]</sup>,其原理结构如图2所示。

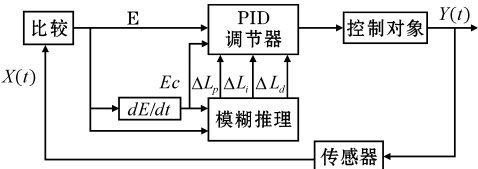


图 2 模糊 PID 原理结构

由图 2 可知,将传感器采集到的值  $X(t)$  与预设值比较,并将两者差值  $E$  作为模糊 PID 控制器输入偏差值,偏差变化率为  $E_c = dE/dt$ ,输出为  $\Delta L_p$ 、 $\Delta L_i$ 、 $\Delta L_d$ ,模糊 PID 参数调整计算公式<sup>[5]</sup>为

$$\begin{cases} L_{p0} + \Delta L_p = L_p \\ L_{i0} + \Delta L_i = L_i \\ L_{d0} + \Delta L_d = L_d \end{cases} \quad (1)$$

式 1 中  $L_{p0}$ 、 $L_{i0}$ 、 $L_{d0}$  是模糊 PID 控制器的初始值,在求得  $\Delta L_p$ 、 $\Delta L_i$ 、 $\Delta L_d$  后并对  $L_p$ 、 $L_i$ 、 $L_d$  校正,输出信号通过控制电磁阀或继电器开启或关闭调节装置,实现对检测对象的调节。其中, $L_{p0}$ 、 $L_{i0}$ 、 $L_{d0}$  是根据多次试验确定的,模糊推理分为以下几个步骤<sup>[5-6]</sup>:

(1) 首先将差值  $E$  和变化率  $E_c$  及  $\Delta L_p$ 、 $\Delta L_i$ 、 $\Delta L_d$  规定在模糊集论域中,并把每个量分成 7 个等级,即是{NB(负大),NM(负中),NS(负小),ZO(零),PS(正小),PM(正中),PB(正大)},设模糊控制中误差量化因子用  $L_e$  表示,则  $L_e$  可由 2 式<sup>[5]</sup>求得:

$$L_e = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\max}^* - e_{\min}^*} \quad (2)$$

其中,  $e_{\max}$  代表模糊子集论域中的最大值,  $e_{\min}$  代表论域中最小值,  $e_{\max}^*$  代表输入变量最大值,  $e_{\min}^*$  代表输入变量最小值。然后通过多次假设论域并根据经验确定参数。

(2) 建立模糊控制规则表,通过规则表可以模糊推理并查询模糊矩阵表调整参数。

(3) 通过 Mamdani 极大极小方法进行模糊推理,得出  $n$  个模糊控制规则方程的总蕴涵关系。

### 3 监测系统实现

系统软件设计部分包括 FPGA 内部逻辑设计、PC 端软件设计和手机端软件设计。

#### 3.1 FPGA 内部逻辑设计

根据系统要实现的功能,FPGA 内部逻辑开发包括以下几个模块:串口模块、温度数据解析、CO 气体数据解析、氨气数据解析、PM<sub>2.5</sub> 数据解析、模糊控制器和数据组合。FPGA 内部逻辑开发框图如图 3 所示。

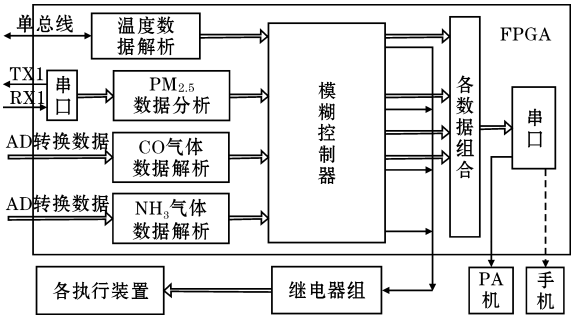


图 3 FPGA 内部逻辑开发

##### 3.1.1 温度数据接收

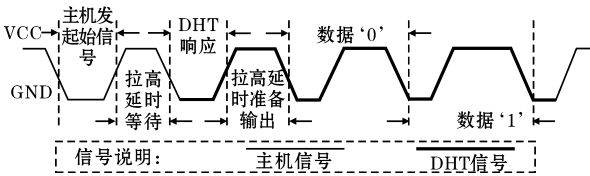


图 4 DHT22 通信过程

通过 DHT22 温湿度传感器的数据手册<sup>[7]</sup>,可以得到如图 4 所示的 DHT22 和处理器的通信方式。该传感器的具体数据格式:一次传输 40 bit,高位在前,低位在后,8 bit 湿度整数数据+8 bit 小数数据+8 bit 温度数据+8 bit 温度小数+8 bit 校验和。

从图 5DHT22 通信过程可知,主机发起始信号‘0’后,数据线置‘1’延时等待传感器响应,传感器接收到主机的起始信号后响应主机,并将数据线置‘1’准备向主机输出数据,并且传感器以置‘1’时间长短判断是‘0’还是‘1’,接收直到 40 bit,程序判断其校验,如果接收数据有效,则并行输出数据,即可完成温湿度数据的接收。程序流程图如图 5 所示。

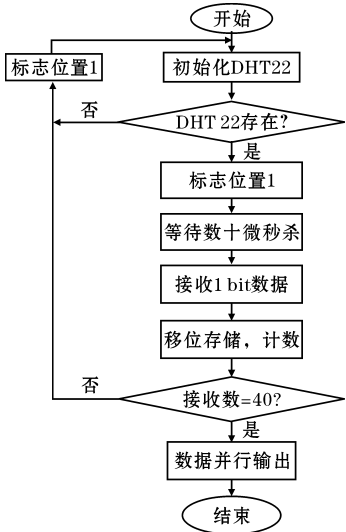


图 5 DHT22 的数据解析

##### 3.1.2 PM<sub>2.5</sub>数据解析

系统采用日本夏普 3 代 PM<sub>2.5</sub> 传感器,该传感器采

用标准串口通信协议<sup>[8]</sup>,波特率为2400 bps,数据格式如表 1 所示,其中起始位为 0Xaa,Vout(H)为输出电压高 8 位,Vout(L)为输出电压低 8 位,Vref(H)为参考电压高 8 位,Vref(L)为参考电压低 8 位,结束位为 0Xff。

数据处理公式:输出电压  $V_o = (V_{out}(H) \times 256 + V_{out}(L)) / 1024 \times 5$ ;

校验位 =  $V_{out}(H) + V_{out}(L) + V_{ref}(H) + V_{ref}(L)$ 。

表 1 数据格式						
起始位	Vout(H)	Vout(L)	Vref(H)	Vref(L)	校验位	停止位
0X <sub>aa</sub>	如 0X01	如 0X01	如 0X01	如 0X01	如 0X01	0Xff

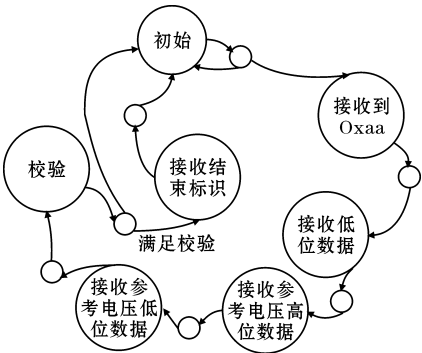


图 6 收数据状态机

根据上述 PM<sub>2.5</sub> 传感器串口通信数据协议,系统采用状态机解析电压值,状态图如图 6 所示。初始状态接到 0Xaa,则跳到接收高位数据状态,否则,跳回初始态;接收缓存输出电压和参考电压,接收到的校验数据和校验和比较,如果相等,则接收结束标识,否则,放弃这组数据并跳回初始态,在接收结束标识状态,如果接收到 0Xff,则使接收到的输出电压值有效,否则,无效。

3.1.3 NH<sub>3</sub>和 CO 数据解析

系统采用 ADC0804 将模拟信号转换为数字信号,对氨气和一氧化碳浓度的采集都使用 ADC0804 转换器<sup>[9]</sup>,ADC0804 基本时序图如下图 7 所示。

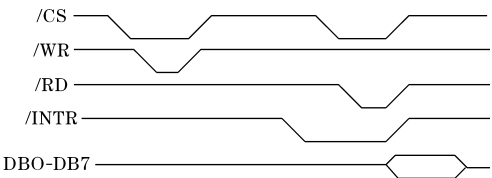


图 7 ADC0804 基本时序图

其中/CS 是芯片选通信号,低有效;/WR 是写 AD 信号,低有效;/RD 是读 AD 信号,低有效;/INTR 是中

断信号,低有效表示转换已经结束可以读取转换后的

- 数据了。具体操作步骤如下:
- (1)首先将/CS 置低,随后将/WR 置低并延时至少12 ns后置高,启动 AD 转换;
  - (2)等待直到/INTR 为低,再等待至少200 ns;
  - (3)将/RD 置低并读取转换后数据,再置 RD 为高,一次读取数据结束。

3.1.4 数据处理

数据处理<sup>[10-11]</sup>是将各传感器采集的浓度信息转化为能显示的字符,然后将这些代表浓度信息的字符通过 RS232 传输到 PC 机,通过 PC 软件显示各浓度信息。具体操作如下:

- (1)将得到的十进制的数值的每一位分别取出并寄存;
- (2)将取出的每一位数据送给液晶显示,并且将每一位取出的数据转换为相应的 ASCII 码;
- (3)将转换后的 ASCII 码通过串口的方式传输给 PC 机和通过 WIFI 传输给手机。

3.2 人工交互界面设计

课题主要采用基于 LabVIEW 和安卓系统两种方式实现人机交互。

PC 端采用 LabVIEW2014 实现人机交互界面<sup>[12-13]</sup>,LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering)是一种图形化的编程语言,广泛地被工业界、学术界和研究实验室所接受,被视为一个标准的数据采集和仪器控制软件<sup>[14-15]</sup>。人机交互界面如图 8 所示,主要功能:实时的数据显示、图形化显示、自动存储等。设计过程如图 9 所示,打开串口,设置串口参数,如果缓存区有数据就读取上传的数据,将上传的数据进行解析并分割出各浓度值,通过显示空间显示相应的浓度值,将解析出的字符转化为数值重组后分块显示波形,然后将各空气浓度以 Word 格式打印并保存。

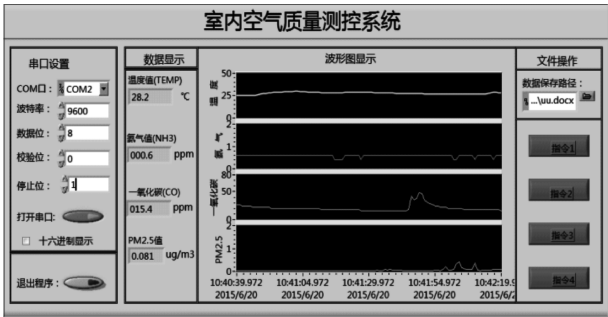


图 8 基于 LabVIEW 的人机交互界面

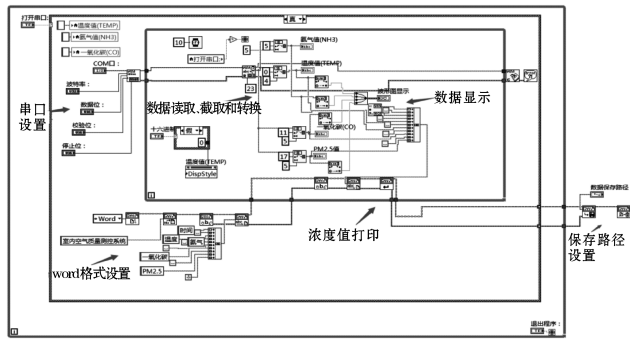


图9 LabVIEW 程序

手机问世给人们带来了许多方便,手机 APP 到来又给人们带来了诸多福音,利用移动互联网解决了消息闭塞等问题。课题利用 WIFI 模块将空气浓度值传输到手机显示,用户不在室内就可以方便地了解室内空气质量情况。

在安卓系统下,课题利用 Java 语言编写显示温度值、氨气浓度、一氧化碳浓度和  $PM_{2.5}$  浓度的显示界面,显示界面如图 10 所示。



图10 手机端显示界面

## 4 结论

课题主要介绍基于 FPGA 和 LabVIEW 的室内空气质量监测与控制系统的研究与实现,通过高精度传感器实时检测室内空气浓度,模糊控制算法对非线性参数校准,FPGA 对其进行实时并行处理,实现对室内空气质量的监测和执行装置的控制,从而形成监测与控制一体化的智能系统。此设计采用 FPGA 模块化编

程,易于修改、更新和移植。另外,通过液晶屏、基于 LabVIEW 图形化用户界面和手机 3 种显示方式,极大方便用户了解当前室内空气质量情况。

## 参考文献:

- [1] 刘艳华. 室内空气质量检测与控制[M]. 北京: 化学工业出版社,2013.
- [2] 夏云生,房云阁. 室内空气质量检测技术[M]. 北京: 中国石化出版社,2013.
- [3] 罗兵,甘俊英,张建民,等. 智能控制技术[M]. 北京: 清华大学出版社,2011.
- [4] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社,2000.
- [5] 云中华. 基于 FPGA 的多倍体培养环境监测控制系统设计与研究[D]. 成都: 西南交通大学,2012.
- [6] 屈毅. 基于模糊 PID 控制的温室环境控制系统[J], 计算机应用. 2009, (7).
- [7] 罗文广. 单总线数字温度传感器的自动识别技术[J]. 电子产品世界,2002, (16): 68-71.
- [8] 夏普电子有限公司. 灰尘传感器 GP2Y1050 AU0F 规格书[M]. 2014.
- [9] 郭天祥. 新概念 51 单片机 C 语言教程[M]. 北京: 电子工业出版社,2009.
- [10] 李军. 数据采集系统整体设计与开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社,2014.
- [11] 马明建. 数据采集与处理技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社,2012.
- [12] 樊琦. 基于 LabVIEW 的温室环境智能测控系统软件设计实现[D]. 杭州: 浙江大学,2006.
- [13] 尹叶子. 基于 LabVIEW 的室内环境监测系统设计[J]. 仪器仪表用户,2010,17(2): 16-17.
- [14] 章佳荣,王璨. 精通 LabVIEW 虚拟仪器程序设计与案例实现[M]. 北京: 人民邮电出版社,2013.
- [15] 陈树学,刘莹. LabVIEW 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社,2011.

## Study on Air Quality Detection in Medical Microclimate

WANG Bao-qiang, LIU Zhi-gang, YANG Xiao-ping, LI Yong-hong, JIANG Tian-hua, ZHOU Hui, GAO Jia-ping  
(1. College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Chengdu Tian Tian Medical Electrical Technology Co., Ltd, Chengdu 610509, China)

**Abstract:** In order to realize the air quality monitoring of the medical microclimate, a variety of biomedical sensors and data acquisition technology are adopted, and a scheme on intelligent detection is proposed in the paper. The FPGA is used to improve the nonlinear and time delay of sensor parameters. The real-time monitoring of the air quality in microclimate is achieved based on the technology. Meanwhile, fuzzy control algorithm is selected to control the indoor air quality with the air conditioning and purifying meet the criterion of the "indoor air quality standards" GB/T18883-2002. The practical test shows that this scheme is high reliability and intellectualized, and fit for the medical institutions, hall, transportation hub and other crowded public environments.

**Key words:** signal and information processing; signal acquisition and application; air quality; intelligent monitoring; fuzzy control algorithm