

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.05.018

基于嵌入式的客房变风量空调系统智能控制器设计

彭琼林, 凌云, 肖雪峰, 李飞, 陈欢

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 介绍一种基于嵌入式处理器 S3C2440A 的变风量 (VAV) 空调系统智能控制器的设计方法。VAV 空调系统室温实时控制采用模糊 PID 控制算法, 利用嵌入式技术搭建 Web 服务器, 实现空调系统的远程监控。软件设计上, 运行 Linux 操作系统, 移植图形用户界面开发环境 Qtopia 和 Qt/E, 采用多进程和多线程编写程序。经过测试表明, 整个控制系统性能良好。

关键词: 模糊 PID; 变风量空调系统; ARM; 嵌入式系统; Web

中图分类号: TP273.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)05-0081-04

The Intelligent Controller Design of VAV Air Conditioning System Based on Embedded Processor S3C2440A

Peng Qionglin, Ling Yun, Xiao Xuefeng, Li Fei, Chen Huan

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Introduces a design method of intelligent controller of VAV air conditioning system based on embedded processor S3C2440A. The VAV air conditioning system adopts fuzzy PID control algorithm to real-time control room temperature. Builds a Web server by means of the embedded technology to realize remote monitoring of the air conditioning system. In the software design, runs Linux operating system, transplants graphical user interface development environment with Qtopia and Qt/E, and uses multi-process and multi-thread programming. The test results show that the whole control system has good performance.

Keywords: fuzzy PID; VAV air conditioning system; ARM; embedded system; Web

0 引言

变风量 (variable air volume, VAV) 空调系统, 通过调节送风量来实现温度控制, 具有舒适、节能等优点。现有研究表明, VAV 空调系统存在时变、纯滞后、高度非线性的特点, 因此要对其建立精确的数学模型较困难。经典比例积分微分 (proportion integration differentiation, PID) 控制的参数在线调整比较困难, 难以适用强时变、非线性和机理复杂系

统的控制。模糊控制理论的产生为解决非线性控制问题提供了方向, 被用来解决时变、难建模的非线性系统的控制问题^[1]。模糊 PID 控制把模糊控制与经典 PID 控制相结合, 综合了 2 种控制方法的优点。因此, 在变风量空调系统中应用模糊 PID 控制是目前的研究热点^[2]。

本文研究模糊 PID 控制算法, 并将其应用到 VAV 空调系统室内温度的控制, 设计了基于嵌入式处理器 S3C2440A 的 VAV 空调系统智能控制器。控制器采

收稿日期: 2013-08-06

作者简介: 彭琼林 (1988-), 男, 湖南衡阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为自动化集成技术与应用,

E-mail: pq1720@163.com

用模糊PID控制算法,对VAV系统的室内温度进行实时在线控制;并通过搭建嵌入式Web服务器,实现空调系统的远程监控。

1 VAV 空调系统的建模

1.1 压力无关型末端装置建模

压力无关型末端是VAV空调系统常用的末端装置,能够在送风管静压改变时,调节风阀执行器,使正常的室内温度不受影响。压力无关型末端温度控制,由2个控制回路组成的串级控制完成。主回路的作用是控制设定风量,由温度传感器采集区域温度与设定温度进行比较后输入温度控制器,计算出设定风量;副回路的作用是控制风阀执行器,由风量传感器采集末端风量与设定风量的误差再输入风量控制器,将阀门开度送入风阀执行器。主副回路组成串级控制,从而完成整个温度控制过程,其原理如图1所示。

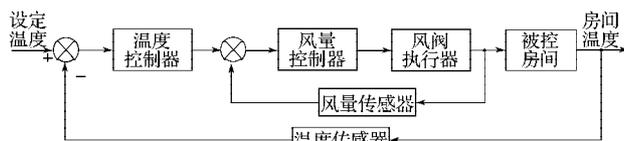


图1 压力无关型末端装置系统框图

Fig. 1 Block diagram of pressure independent terminal device system

1.2 空调房间的建模

建模时将房间室内温度作为系统控制对象,忽略纯滞后环节,空调房间等效为恒温室。根据能量守恒定律,恒温室能量储存量的变化率,等于单位时间进入恒温室的能量与单位时间内由恒温室流出的能量之差^[3],即

$$C \frac{dt_r}{dt} = (w\rho c t_d + q) - \left(w\rho c t_r + \frac{t_r - t}{R_0} \right), \quad (1)$$

式中: C 为恒温室(空调房间)的容量系数, $\text{kJ}/^\circ\text{C}$; t_r , t_d 分别为回风温度和送风温度, $^\circ\text{C}$; w 为送风量, m^3/h ; ρ 为空气密度, kg/m^3 , 可取 $\rho=1.2$; c 为空气定压比热, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, 可取 $c=1.01$; q 为室内散热量, kJ/h ; R_0 为恒温围护结构的热阻, K/W ; t 为室外空气温度, $^\circ\text{C}$ 。

对式(1)进行如下处理:

$$C \frac{dt_r}{dt} + \Delta t_r = k_w \Delta w + k_q \Delta q, \quad (2)$$

式中 k_w , k_q 为常数。

考虑到实际传感器的延迟影响,仿真时考虑纯滞后环节,可用一阶惯性环节加纯滞后的模型^[4]当

作空调房间的模型,如式(3)所示。

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{C_t s + 1}, \quad (3)$$

式中: K 表示空调房间调节通道的放大系数;

τ 为空调室纯滞后参数;

C_t 为空调房间的时间常数;

s 为拉普拉斯算子。

VAV 空调系统中的风阀近似为一阶惯性环节,而风量、温度传感器的等效时间常数远小于空调房间时间常数,在仿真实验中可近似为比例环节^[5]。

2 自适应模糊PID 控制器仿真

自适应模糊PID控制器以偏差 e 和偏差变化率 e_c 作为输入,利用模糊控制规则在线对PID参数 k_p , k_i , k_d 进行校正,从而使被控对象具有良好的动、静态性能。设计的回风温度(室内温度)控制系统模糊控制器的系统框图如图2所示。

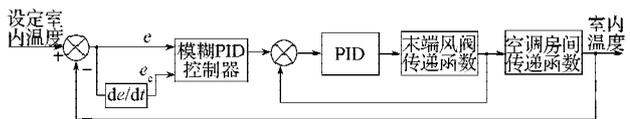


图2 室内温度模糊PID控制系统框图

Fig. 2 Block diagram of indoor temperature fuzzy PID control system

选取回风温度的偏差 e 和偏差变化率 e_c 的模糊子集为 $\{\text{NB}, \text{NM}, \text{NS}, \text{ZO}, \text{PS}, \text{PM}, \text{PB}\}$ 。 e 的离散论域为 $[-3, 3]$, 间隔为 1; e_c 的离散论域为 $[-0.3, 0.3]$, 间隔为 0.1; e 和 e_c 都选取三角函数作为隶属度函数。选取 Δk_p 的论域为 $[-0.3, 0.3]$, 间隔为 0.1; Δk_i 的论域为 $[-0.06, 0.06]$, 间隔为 0.02; Δk_d 的论域为 $[-3, 3]$, 间隔为 1; Δk_p , Δk_i , k_d 三参数的隶属度函数选用三角函数。

假设房间初始温度为 30°C , 设定温度为 26°C , 选取 $K=1$, $C_t=90$, $\tau=90$ 工况下的房间传递函数

$$G(s) = \frac{e^{-90s}}{90s + 1} \quad (4)$$

进行仿真,仿真结果如图3所示。

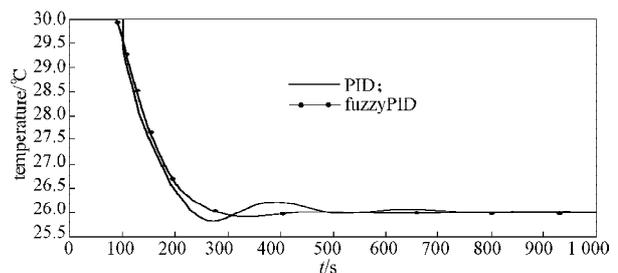


图3 VAV空调系统室温控制仿真图

Fig. 3 Simulation diagram for temperature control of VAV air conditioning system

从图可以看出,模糊PID比经典PID控制具有更小的超调量,更短的调节时间,且没有稳态误差。

3 嵌入式智能控制器设计

3.1 硬件及其接口设计

采用 ARM920T 内核的 S3C2440A 作为 VAV 空调智能控制器的核心芯片,构成嵌入式智能控制器,如图 4 所示。S3C2440A 片内具有独立的 16 kB 的指令缓存和 16 kB 的数据缓存,片内资源丰富,集成的设备接口较多,主要有 A/D, LCD, UART, SPI, IIC, PWM, WatchDog 等,这样使得外围接口电路的设计变得简单,容易实现^[6]。

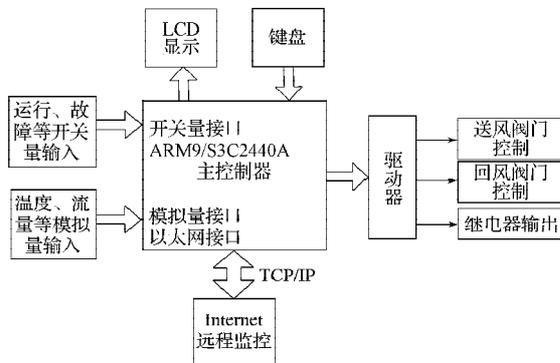


图 4 嵌入式 VAV 空调智能控制系统图

Fig. 4 The diagram of embedded VAV intelligent air-conditioning control system

3.1.1 输入、输出接口的设计

S3C2440A 提供的 I/O 引脚较丰富,包含 130 个通用 I/O。VAV 空调主机系统输入输出 I/O 的点数在 30 左右,因此, S3C2440A 完全能达到控制系统所需的 I/O 要求,不需要再扩展 I/O。在设计控制系统输入、输出接口时,需要考虑的是怎样将输入、输出信号与主机隔离,将输入信号转换和提高输出信号的驱动能力。

3.1.2 A/D 及 D/A 转换

S3C2440A 芯片内有 8 路 10 位集成 ADC,没有集成 DAC,但它内部有 5 个 16 位的定时器(4 路 PWM 定时器,1 路内部定时器)。通过外接低通滤波器和 1 个简单的转换电路,即可实现基于 PWM 的高精度 DAC 电路,如图 5 所示。其中 Q1 是高频开关管 2SC3356, D1 是精密的 2.5 V 稳压二极管 LM336-2.5。由于 Q1 导通电阻很小,而截止电阻很大, D1 就可以将控制器输出的 PWM 波形转换成高电压 $U_h=2.5\text{ V}$, 低电压 $U_l=0\text{ V}$ 理想 PWM 波形。经过两级阻容滤波后得到直流分量,再经低噪声运放 TLV2471 进行驱动输出,从而实现较高精度的 DAC 功能。

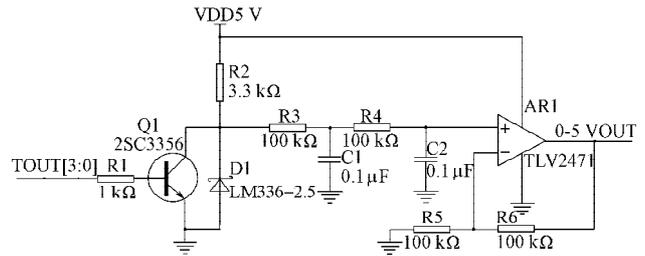


图 5 基于 PWM 的高精度 DAC 电路原理图

Fig. 5 The principle diagram for high precision DAC circuit based on PWM

3.1.3 通讯接口设计

S3C2440A 提供 3 个标准串行接口,2 个 USB 接口,这些接口极大提高了处理器与其它智能设备的通讯能力。为满足远程 Web 监控,使用以太网控制器芯片 DM9000EP,设计了以太网接口电路。

3.2 软件设计

3.2.1 嵌入式软件开发平台的搭建

本系统采用 RedHat Linux 9 操作系统,使用运行在 Linux 下的交叉编译工具 arm-Linux-gcc-4.1.2 和 Qt/Embedded 4.7.2 及 qtopia4.5.3 图形开发环境。对 Linux-2.6.31 内核进行裁剪和移植,移植了触摸屏校准程序 tslib-1.4,利用 busybox 工具制作了带 Qt 的图形用户界面 (graphical user interface, GUI) 开发环境 qtopia 的 yaffs2 根文件系统。使用命令 #mkyaffs2img root_qtopia root_qtopia.bin 便可生成 1 个映像文件,将该文件下载到目标板上,加上之前的 bootloader 和 Linux 内核,便可运行开发的 VAV 空调系统的应用程序。

3.2.2 模糊 PID 程序设计

由于实时计算量大,为了编程方便,采用查表法实现模糊 PID 算法。其基本思想是通过离线计算(使用 Matlab)取得一个模糊控制表,并将模糊控制表存放在控制器中,以供系统运行时在线查询。在用 C 语言编制模糊 PID 控制程序时,根据温度采样值得到的误差 e 和误差变化率 e_c ,查表即可计算出相应的控制变化量 $\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d$ 的输出值。

通过式 (5) 计算出 PID 当前控制参数 k_p, k_i, k_d :

$$\begin{cases} k_p = k'_p + \Delta k_p, \\ k_i = k'_i + \Delta k_i, \\ k_d = k'_d + \Delta k_d, \end{cases} \quad (5)$$

式中 k'_p, k'_i, k'_d 为初始值。

再通过 PID 运算公式即可得到当前的控制输出 u , 将其用于控制风阀的开度,即送风量的控制,从而实现温度的实时控制。

3.3 远程 Web 监控的实现

随着因特网技术的广泛应用,为满足越来越多

的用户对空调系统远程 Web 监控的要求, 本文通过搭建嵌入式 Web 服务器, 可通过网页实时反映客房情况, 从而可实现空调系统的远程控制。

在监控系统中, 客户端 (Web 浏览器) 通过公共网关接口 (common gateway interface, CGI) 技术提交表单, 向 Web 服务器发送控制内容, 服务器响应后启动 CGI 程序来完成相应的工作, 如驱动风阀控制温度。采用 Boa 服务器作 Web 服务器, Boa 服务器适合在嵌入式系统中应用, 负责建立网络连接, 并接收控制信号和发送实时温度、设备运行状态等。温度、设备运行状态等内容的实时显示, 采用 AJAX 技术。AJAX 是一种广泛应用的局部动态网页刷新技术, 是通过浏览器支持的 JavaScript 刷新并取回必需的数据, 可显著减少服务器和浏览器之间的交换数据, 使响应更快。

在远程计算机监控端的浏览器中输入某嵌入式空调控制器的网址 <http://172.18.16.178>, 浏览器中成功返回了空调控制系统的主控界面, 如图 6 所示。



图6 VAV空调系统远程控制主界面

Fig. 6 The main interface of VAV air conditioning system remote control

4 结语

模糊控制对于一些非线性的、难于精确建模的系统实施控制, 有良好的动态性能, 将其应用到 VAV 空调系统室内温度的实时控制, 具有重要的实际意义。相比使用工控机或低档单片机系统, 本设计使用 S3C2440A 处理器, 移植 Linux 操作系统, 实现了应用 Web 服务器进行远程监控, 既方便了编程, 缩短了软件开发周期, 又节约了成本, 有着较好的发展

前景。对整个控制系统进行测试, 验证了其良好的性能。

参考文献:

- [1] 张雨玲, 姚加飞. 变风量空调系统的模糊 PID 控制策略仿真研究[J]. 煤炭技术, 2010, 29(10): 34-36.
Zhang Yuling, Yao Jiafei. Simulation Study for Fuzzy PID Control Strategy of VAV Air-Conditioning System[J]. Coal Technology, 2010, 29(10): 34-36.
- [2] 刘静娴, 魏东, 戴正伟. 基于模糊 PID 控制的 VAV 控制系统研究与实现[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(8): 920-924.
Liu Jingwan, Wei Dong, Dai Zhengwei. Research and Realization of Fuzzy PID Control-Based for Variable Air Volume Control System[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(8): 920-924.
- [3] 王宪明, 马少华. 基于粒子群算法的 PID 控制在变风量空调系统中的应用[J]. 中小企业管理与科技, 2011(12): 257-258.
Wang Xianming, Ma Shaohua. Application of PID Control in VAV Air Conditioning System Based on Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Management & Technology of SME, 2011(12): 257-258.
- [4] 胡志超, 凌云. 基于粒子群优化的多弧离子镀膜温度控制模糊系统[J]. 湖南工业大学学报, 2011, 25(5): 74-79.
Hu Zhichao, Ling Yun. The Multi-Arc Ion Plating Temperature Control Fuzzy System Based on the Particle Swarm Optimization[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2011, 25(5): 74-79.
- [5] 徐凯, 李琦. 变风量空调的自适应模糊 PID 复合控制[J]. 计算机仿真, 2011, 28(10): 151-155.
Xu Kai, Li Qi. Smith Self-Adaptive Fuzzy-PID Compound Control in VAV Air-Conditioning Systems[J]. Computer Simulation, 2011, 28(10): 151-155.
- [6] 张超. 嵌入式中央空调智能控制系统的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
Zhang Chao. The HVAC Controller Base on Embedded System with Intelligent Control[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2009.

(责任编辑: 邓光辉)