

变风量空调系统温度模糊 PID 控制

刘静纨, 魏东, 刘熙

(北京建筑工程学院 电气与信息工程学院, 北京 100044)

摘要:将模糊 PID 控制应用于变风量空调系统中, 任务是将送风温度和空调房间内的温度(回风温度)控制在各自的设定目标值附近。分别设计了变风量空调系统的送风温度模糊 PID 控制系统和室内温度(视为回风温度)模糊 PID 控制系统, 通过调节冷冻水阀门的开度来控制送风温度, 通过调节变频风机的转速来控制室内温度。应用所设计的模糊 PID 控制器对送风温度和空调房间的温度(即回风温度)进行了实时在线控制, 控制结果表明模糊 PID 控制器设计合理, 控制效果良好。

关键词:模糊控制; 智能控制; 变风量空调系统; 温度控制; 室内温度; 送风温度

中图分类号: TU831.3 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2009)04-0098-05

Temperature Fuzzy PID Control for Variable Air Volume System

LIU Jing-wan, WEI Dong, LIU Xi

(School of Electronic & Information Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, P. R. China)

Abstract: Fuzzy PID controller was applied in variable air volume system. The task was to control the temperature of supply air and the temperature of air-conditioned room (the return air temperature) close to their respective targets. The fuzzy PID control system of supply air temperature and return air temperature was designed respectively. The supply air temperature was controlled through adjusting the valve opening of chilled water. And the indoor temperature was controlled through adjusting the rotational speed of variable frequency ventilator. The supply air temperature and the indoor temperature (return air temperature) were controlled online by fuzzy PID controller. Thus, it was shown that the design of fuzzy PID controller was reasonable and the effect of fuzzy PID control was well.

Key words: fuzzy control; intelligent control; variable air volume system; temperature control; indoor temperature; supply air temperature

随着人们工作生活环境的不断改善, 建筑物能耗越来越大。据最新统计, 目前中国建筑物能耗已占全国总能耗的 28%, 其中暖通空调能耗占 60%~70%, 所以采用有效的空气调节方式对智能建筑系统节能具有重要意义。与定风量空调系统相比, 变风量空调(VAV)系统节能率都在 35%以上, 在降低运行能耗方面具有很大优势^[1-2]。VAV 系统作为难以建立精确数学模型的复杂非线性系统, 传统的控

制理论和控制方法越来越显现出局限性^[3]。仿真和实验研究结果表明, 变风量空调虽然可以节省能量消耗, 但是如果希望达到预期的效能, 还需采取自适应鲁棒控制策略。Shui Yuan 等人采用多变量预测控制技术分别对 VAV 系统的空调机组和末端进行了控制, 取得较好的控制效果^[4-5]。

作为智能控制的重要组成部分, 模糊控制可以解决具有非线性、不确定性、难以建立精确的数学模

收稿日期: 2009-02-28

基金项目: 北京市优秀人才培养基金(20071D0501700237); 建设部 2009 年科技计划项目(2009-K1-26)。

作者简介: 刘静纨(1969-), 女, 副教授, 博士, 主要从事智能建筑、控制理论与控制工程方面研究, (Email) ljw_nuxia@sina.com。

型的复杂系统的控制问题^[6],因而在非线性系统控制中得到了越来越广泛的应用^[7-8]。Lv Hongli 等提出一种新的模糊控制策略,运用新的模糊控制器对暖通空调系统的温度进行了控制,控制结果表明采用模糊控制器能够取得比 PID 控制更好的控制效果^[9]。王锴、王占林等将模糊神经网络和预测神经网络结合起来,进行仿真研究,达到了较高的控制精度^[10]。高异、杨延西等提出了一种基于最小二乘支持向量机的模型预测控制方法,该方法采用 LS-SVM 建立非线性系统的预测模型,采用模糊遗传算法进行非线性预测控制的滚动优化,仿真结果表明该方法具有良好的控制效果^[11]。陈艳平等提出了变风量空调系统中的室温控制方案,针对控制对象的大惯性、大时延特点,采用了串级控制策略;针对对象的非线性、不确定性,主控器采用了模糊自整定 PID 参数的方式,经仿真验证具有良好的动、静态特性,特别是在鲁棒性方面大大优于常规的 PID 控制器^[12]。朱万民等提出了一种新型模糊 PID 控制方法,设计了相应的模糊控制器,并以中央空调为控制对象进行了仿真实验,取得了较好的控制效果^[13]。蒋林等基于多采样率数字控制技术,讨论了非线性连续被控对象的模糊控制器的设计问题,给出了优化数字控制器的设计方法,计算机仿真表明了设计方法的有效性^[14]。纵观模糊控制在变风量空调系统中的应用研究,大都停留在仿真阶段,模糊控制在变风量空调系统中的应用研究的实时控制是目前的一个研究热点。该文将 VAV 系统作为被控对象,研究了模糊 PID 控制算法,利用模糊理论在线对 PID 参数进行校正,可以满足不同时刻偏差和偏差变化率对 PID 参数自整定的要求,从而达到良好的控制效果,设计了 VAV 系统送风温度和回风温度模糊 PID 控制器,采用所设计的模糊 PID 控制系统对 VAV 系统送风温度和回风温度进行了实时在线控制。

1 变风量空调系统

变风量空调系统的基本思想是当室内空调负荷改变以及室内空气参数设定值变化时,自动调节空调系统送入房间的送风量,以满足室内人员的舒适要求或工艺生产要求^[15]。同时送风量的自动调节可以最大限度减少风机的动力,节约运行能耗。与定风量空调系统相比,变风量空调系统是通过改变送风量来调节空调房间的温度的,因此可以节约能耗,具有节能的巨大优势。该文的被控对象是一个

全空气式的制冷工况变风量空调系统,利用组合式空调箱,依次对新风和室内回风进行一次混合、过滤、除湿、冷却等处理,经处理后的空气由变频风机输送入空调房间,调节室内各空气参数,其组成结构如图 1 所示。该变风量空调系统通过调节冷冻水阀门的开度来控制送风温度,通过调节变频器的频率来控制送风机转速,从而控制送风量,达到调节空调房间温度的目的。

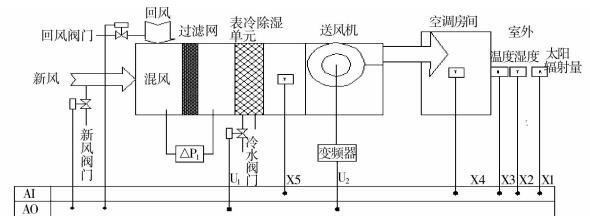


图 1 变风量空调系统总体构成图

2 模糊 PID 控制器的设计

PID 参数自整定的设计思想是先找出 PID 3 个参数与偏差 E 和偏差变化率 EC 之间的模糊关系,在控制过程中通过不断检测偏差 E 和偏差变化率 EC ,再根据模糊控制原理对参数 K_p 、 K_i 和 K_d 进行在线校正,以满足不同偏差 E 和偏差变化率 EC 对控制器参数的不同要求,而使被控对象具有良好的动、静态性能^[6]。模糊 PID 控制器以偏差 E 和偏差变化率 EC 作为输入,利用模糊理论在线对 PID 参数进行校正,可以满足不同时刻偏差和偏差变化率对 PID 参数自整定的要求,模糊 PID 控制器系统框图如图 2 所示。

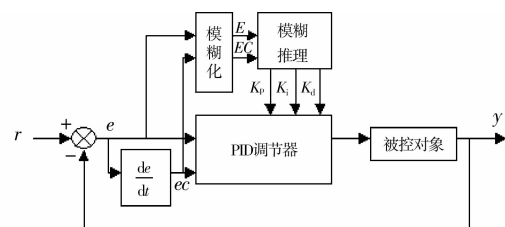


图 2 模糊 PID 控制器系统框图

在作为被控对象的变风量空调系统中,通过调节冷冻水阀门的开度来控制送风温度,从而使送风温度与设定值保持一致;通过控制送风机转速来改变送风量,从而使室内温度与设定值保持一致。通过改变电压大小来控制冷冻水阀门的开度,从而调节送风温度;通过改变电压大小来控制变频器的频率,从而改变风机转速,调节送风量,以达到调节空调房间温度的目的。电压调节范围是 $0 \sim 10$ V,线

性对应温度变化范围是 0~100 ℃,变频器的频率变化范围是 0~50 Hz。在变风量空调系统中的回风口和表冷器后分别安装有温度传感器,将回风口处温度传感器所检测到的温度作为室内温度,将表冷器后温度传感器所检测到的温度作为送风温度。室内温度和送风温度在 0℃~100 ℃之间可调。控制任务是将送风温度和房间内的温度(回风温度)控制在给定值的附近,其送风温度和室内温度模糊 PID 控制系统如图 3 与图 4 所示。

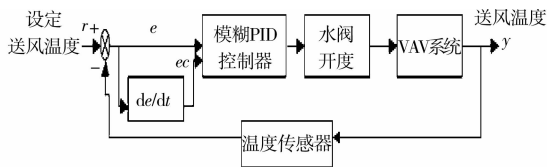


图 3 变风量空调系统送风温度模糊 PID 控制系统框图

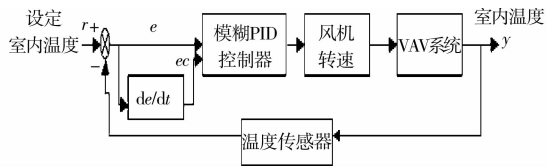


图 4 变风量空调系统室内温度模糊 PID 控制系统框图

该文分别为送风温度控制系统和室内温度(回风温度)控制系统各自设计了 1 个双输入、三输出的模糊 PID 控制器。模糊 PID 控制器输入变量为系

统设定温度 r 与实际温度 y (通过温度传感器检测得到)之间的偏差 $e=r-y$ 及其偏差变化率 $ec=e_i-e_{i-1}$,经模糊化后输入语言变量 e 变为 E ,偏差变化率 ec 变为 EC ;输出量为 PID 参数 K_p, K_i 和 K_d 。

选取偏差语言变量 E 为 PB、PM、PS、ZO、NS、NM、NB,偏差 e 的论域为 $\{-3,-2,-1,0,1,2,3\}$,选取三角形函数作为偏差 E 的隶属函数。选取偏差变化率语言变量 EC 为 PB、PM、PS、ZO、NS、NM、NB,偏差变化率 EC 的论域为 $\{-0.3,-0.2,-0.1,0,0.1,0.2,0.3\}$,选取三角形函数作为偏差变化率的隶属函数。偏差及偏差变化率的隶属函数如图 5 所示。

根据 PID 控制的基本原理,比例系数 K_p 的作用在于加快系统的响应速度,提高系统调节精度;积分系数 K_i 的作用在于消除系统的稳态误差;微分系数 K_d 的作用在于改善系统的动态特性。选取 ΔK_p 的论域为 $\{-0.3,-0.2,-0.1,0,0.1,0.2,0.3\}$, ΔK_i 的论域为 $\{-0.06,-0.04,-0.02,0,0.02,0.04,0.06\}$, ΔK_d 的论域为 $\{-3,-2,-1,0,1,2,3\}$,选取三角形函数作为 PID 3 个参数的隶属函数,如图 6 所示。根据以上控制规则并结合专家经验设计送风温度控制回路和回风温度控制回路的 PID 参数的模糊控制规则表如表 1、表 2、表 3 所示。

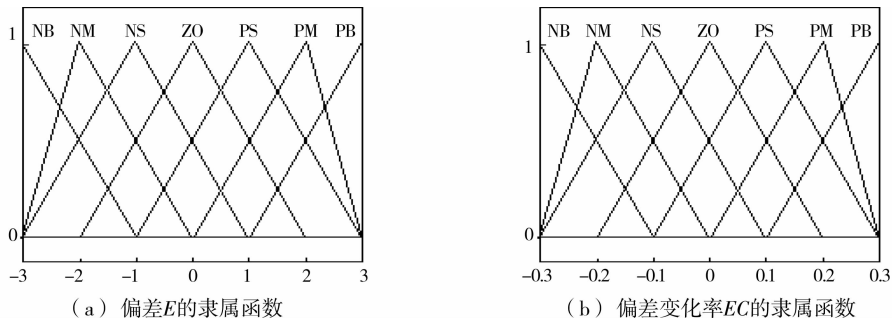


图 5 偏差及偏差变化率的隶属函数

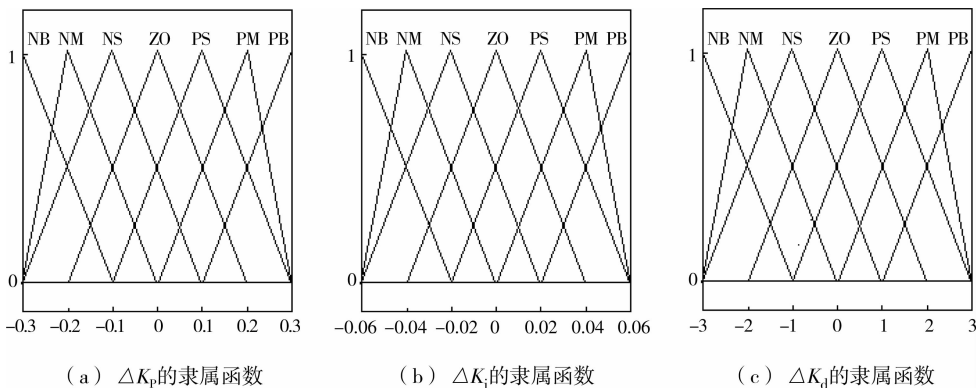


图 6 PID 三个参数的隶属函数

表 1 K_p 的模糊控制表

ΔK_p	温度偏差变化率 EC							
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
温度偏差 E	NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
	NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
	NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
	ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
	PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
	PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
	PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2 K_i 的模糊控制表

ΔK_i	温度偏差变化率 EC							
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
温度偏差 E	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
	NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
	NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
	ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
	PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
	PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 3 K_d 的模糊控制表

ΔK_d	温度偏差变化率 EC							
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
温度偏差 E	NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
	NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
	NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
	ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
	PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
	PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
	PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

采用最大隶属度平均法进行反模糊化,将模糊推理结果转化为精确值。该文通过模糊 PID 控制器,得到模糊控制量所对应的 PID 参数 K_p 、 K_i 和 K_d 的控制增量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。最后,采用增量式的 PID 控制算法计算控制系统当前控制增量 ΔU_i ,将 ΔU_i 附加在前一时刻的控制量 ΔU_{i-1} 上,即可得到当前时刻的输出控制量 U_i 。上述模糊 PID 控制器的设计均采用 C 语言实现,并且在 EVC++ 4.0 平台上编译通过。

3 变风量空调系统温度模糊 PID 控制

该文的控制对象是一个制冷工况的变风量空调

系统,空调区域为一约 40 m² 的南向房间,房间有多个窗户朝阳,采光良好。该空调系统安装了多个温度、湿度传感器,可以实时采集室内温度(回风温度)和送风温度。

在夏季 6 月将上述所设计的模糊 PID 控制器应用于实际的被控对象—制冷工况变风量空调系统中,实际的室内温度为 26 °C。设定的控制目标是通过模糊 PID 控制将送风温度稳定在 19 °C,将室内温度稳定在 25 °C。此期望室内温度值对人体是比较舒适的,在炎热的夏天不会引起人的燥热不安。系统设置采样周期为 1 min/次,控制结果如图 7、图 8 所示。

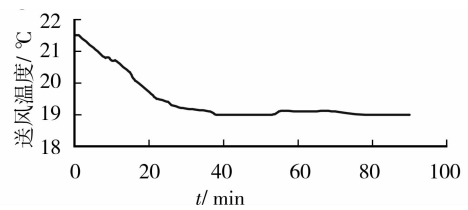


图 7 变风量空调系统送风温度模糊 PID 控制

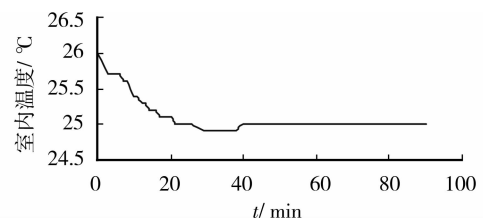


图 8 变风量空调系统室内温度模糊 PID 控制

控制系统通过调节变频风机的控制电压来控制室内温度(即回风温度),在控制实验初期,由于实际的室内温度与设定目标值偏差较大,变频风机的控制电压很大,接近于最大控制电压 10 V;在变频风机的控制电压作用下,室内温度迅速下降。随着室内温度的迅速下降,变频风机的控制电压随之下降;当室内温度接近于设定目标值时,变频风机的控制电压下降为 2 V 左右;当室内温度稳定于设定目标值附近时,变频风机的控制电压稳定为 2 V 左右。控制系统通过调节表冷器冷水阀门的开度来控制送风温度,在控制实验初期,由于实际的送风温度与设定目标值偏差较大,表冷器冷水阀门开度的控制电压很大,接近于最大控制电压 10 V;在冷水阀门开度的控制电压作用下,送风温度迅速下降。随着送风温度的迅速下降,冷水阀门开度的控制电压随之下降;当送风温度接近于设定目标值时,冷水阀门开度的控制电压接近于 0 V;当送风温度稳定于设定目标值附近时,变频风机的控制电压下降为 0 V。从图 7、图 8 可以看出,通过对变风量空调系统的送风温度和室内温度(回风温度)进行模糊 PID 控制,可

以将送风温度和空调房间温度控制在设定值附近,并且具有较好的快速性和稳定性,控制效果较好。

4 结 语

对于难以建立精确的数学模型的非线性系统的控制,传统的控制理论和控制方法具有很大的局限性。作为智能控制的重要分支,模糊控制理论由于其适用于解决具有不确定性、时变性、建模困难的非线性系统的控制问题,因而在非线性系统的控制中应用越来越广泛。变风量空调系统是一个典型的难以建立精确的数学模型的非线性系统,将模糊控制理论应用于变风量空调系统中是一种解决变风量空调系统控制问题的比较好的方法。由于常规 PID 控制器不具有在线整定参数的功能,因此不能满足在不同工况下系统对参数的自整定要求,从而影响其控制效果的进一步提高。模糊 PID 控制器能够实现 PID 参数的实时在线整定,克服了常规 PID 控制器的不足。该文将模糊 PID 控制应用于变风量空调系统中,分别设计了送风温度模糊 PID 控制系统和回风温度模糊 PID 控制系统,对送风温度和空调房间的温度(回风温度)进行了实时在线控制,控制结果表明模糊 PID 控制可以较好地控制送风温度和空调房间的温度,使其保持在各自的设定温度附近,控制效果良好。

参考文献:

- [1] WANG ZHAN, ZHANG BIN, XU WEN-LANG. Variable air volume system application in museums [C]//ASME 2007 Energy Sustainability Conference, 2007:451-456.
- [2] FENG M, TAO Y-X. Energy and exergy performance of building HVAC system with cogeneration plant in subtropical climate [C]//ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2007, Volume 6 : 159-171.
- [3] 韩力群. 智能控制理论及应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2008.
- [4] SHUI YUAN, RONALD A PRERZ. Model predictive control of supply air temperature and outside air intake rate of a VAV air-handling unit [J]. Ashrae Transaction, 2006, 112(1): 145-161.
- [5] SHUI YUAN, RONALD A PRERZ. Multiple-zone ventilation and temperature control of a single-duct VAV system using model predictive strategy [J]. Energy and Building, 2006, 38(10): 1248-1261.
- [6] 席爱民. 模糊控制技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2008.
- [7] WANG YONG-FU, ZHAO HONG, LIU JI-REN. Robust adaptive fuzzy control for a class of nonlinear systems[C]//Intelligent Control and Automation. The Sixth World Congress, 2006:3900-3904.
- [8] WAI R J, KUO M A, LEE J D. Cascade direct adaptive fuzzy control design for a nonlinear two-axis inverted-pendulum servomechanism [J]. Systems, Man, and Cybernetics, IEEE Transactions, 2008, 38 (2):439-454.
- [9] LV HONGLI, DUAN PEIYONG, JIA LEI. One novel fuzzy controller design for HVAC systems [C]// Chinese Control and Decision Conference, 2008: 2071-2076.
- [10] 王锴,王占林,付永领. 基于 PNN 与 FNN 模型神经网络控制器设计与分析[J]. 北京航空航天大学学报, 2006,32(9):1072-1076.
- WANG KAI, WANG ZHAN-LIN, FU YONG-LING. Design and analysis of PNN and FNN model-based neural network controller [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006, 32 (9):1072-1076.
- [11] 高异,杨延西,刘军. 模糊遗传滚动优化的 LS-SVM 预测控制研究[J]. 系统仿真学报. 2007, 19(6): 1277-1280.
- GAO YI, YANG YAN-XI, LIU JUN. Research of LS-SVM predictive control based on fuzzy inheritance rolling optimization[J]. Journal of System Simulation. 2007,19(6):1277-1280.
- [12] 陈艳平,安世奇,孙明. 变风量空调系统的室温模糊自适应控制[J]. 微计算机信息, 2005,21(7):73-75.
- CHEN YAN-PING, AN SHI-QI, SUN MING. Adaptive fuzzy control of indoor temperature in VAV system[J]. Microcomputer Information, 2005,21(7): 73-75.
- [13] 朱万民,陈懿华,沙立民. 基于模糊控制技术的中央空调控制器的仿真研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2008(2): 57-59.
- ZHU WAN-MIN, CHEN YI-HUA, SHA LI-MIN. Simulation study of central air conditioning controller [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2008 (2): 57-59.
- [14] 蒋林,肖建,黄景春. 非线性系统的输入多采样率模糊优化控制[J]. 控制与决策, 2008,23(4):382-387.
- JIANG LIN, XIAO JIAN, HUANG JING-CHUN. Multi-sampling rate fuzzy optimal control of nonlinear system[J]. Control And Decision, 2008, 23(4): 382-387.
- [15] 叶大法,杨国荣. 变风量空调设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2007.

(编辑 王秀玲)