预估 Fuzzy-PID 在中央空调控制系统中的应用

庞丽萍 王 浚 刘旺开
(北京航空航天大学 航空科学与工程学院, 北京 100083)

摘 要: 电加热常作为中央空调的末端设备置于被调节房间风道入口处,微调加热以提高温度控制精度,为此提出一种电加热温度控制方法,采用预估 Fuzzy-PID 复合控制算法,通过对加热功率的调节进行闭环控制,实现控制点温度的稳定控制. 新的控制算法结合了 smith 预估控制、Fuzzy 和 PID 控制器的优点. 在 MATLAB 环境中仿真预估 Fuzzy-PID 控制中央空调末端电加热,结果表明该控制方法能提高温度稳定性并降低能耗,控制精度达到±0.1℃. 该控制方法同样适用于其它含有电加热元件的场合.

关 键 词: 中央空调; 温度控制; Fuzzy-PID 控制; smith 预估; 滞后
中图分类号: TP 13
文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2004)08-0757-05

Application of predictive Fuzzy-PID in center air adjusting control system

Pang Liping Wang Jun Liu Wangkai
(School of Aeronautic Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The electrical heating element is often used in center air adjusting system. It is installed in the end of air supply duct system and can improve the control precision of temperature by combining with other elements in center air adjusting system. The temperature control method of electrical heating was presented, which adopted predictive Fuzzy-PID control arithmetic and realized steady temperature control. The smith predictor, Fuzzy controller and PID controller were integrated into the new control method. The predictive Fuzzy-PID controlling to temperature in center air adjusting system was simulated in MATLAB. Its results indicate that the control method, whose control precision reaches ±0.1℃, can improve the temperature stability and reduce the energy consume. This control method could be used in other similar instance with electrical heating element.

Key words: center air adjusting; temperature control; Fuzzy-PID control; smith predictor; time delay

1 具有电加热功能的中央空调系统

随着生活水平的提高,人们对室内空气舒适性的要求也越来越高. 改善室内空气舒适度,创造一个温度、湿度适当的环境,是保障人类健康和舒适的关键. 这样就要求空调向人们提供的环境应该是既舒适又节能.

空调的作用是在冬季对新风进行加热、加湿处理;在夏季对新风降温去湿处理,使室内空气满足舒适性要求. 中央空调将空气的处理集中在空气处理器中,使其达到送风状态. 其中对空气的加热通常以热水或蒸汽为热媒,在恒温恒湿精度较高的中央空调中,则采用电加热作为末端设备,置于被调节房间风道入口处,作微调加热,提高控制精度. 图 1 为带有电加热的中央空调系统简图. 将温度检测器置于距地面 1.2 m 处的人员活动区壁面上.

带有电加热的中央空调系统常规的控制方法是位式控制和 PID 控制:位式控制存在温度波动较大、控制温度精度低、起停频繁、电能消耗大等缺点;PID 控制器已被广泛应用于过程控制中,取

收稿日期: 2003-05-26
作者简介: 庞丽萍(1973-),女,黑龙江海林人,博士生, plp _ buaa@ sina. com.

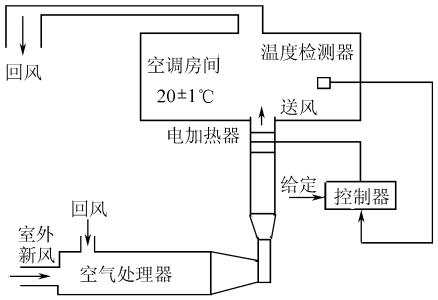


图 1 带有电加热的中央空调系统简图

得了较好的控制效果,但是对于室内温度调节这种大滞后系统,采用 PID 控制不会起到良好的控制效果,另外当系统有严重外扰时,系统抗扰动能力差,易出现严重超调现象,控制精度难于保证[1]. 所以急需找到一种新的控制方法,解决中央空调电加热控制室温问题.

2 预估 Fuzzy-PID 控制系统结构

近些年得到迅猛发展的模糊控制技术已成功应用于许多领域,对复杂的和难以建立数学模型的系统能简单而有效地控制,抗参数变化的适应性强. 其基本思想是模仿人们实际操作经验做出"模糊决策". 无数实践表明采用模糊控制理论控制对象能收到令人满意的效果[2]. 但因模糊控制不具有积分环节,在变量分级不够多的情况下,常在平衡点附近会有小的振荡现象或存在稳态误差. 而 PID 控制在平衡点附近的小范围调节效果是较理想的,积分作用可最终消除误差[2],提高控制精度.

另外,室内温度控制系统属于大滞后控制系统,其特点是被调量不能及时反映系统的扰动量,造成系统控制过程经过较长的调节时间并产生明显的超调. 大滞后控制系统一直是控制界特别关注的课题,目前有效的控制方法是采用 smith 预估器,即预先估计出控制过程在基本扰动下的动态特性,然后由预估器进行补偿控制,使延迟的被调量提前反映到调节器,从而减小超调量[2]. 传统的 smith 控制系统设计方法过分依赖于被控对象的精确数学模型,当被控对象参数发生变化后,系统的控制性能会显著变差. 而模糊控制的最大优点是对参数变化和噪声不敏感[3],可将模糊控制引入 smith 预估控制系统中,使控制系统兼顾两者优点,使设计的控制器对系统参数变化具有较强的适应性.

综上,可以考虑将以上控制技术结合起来,构成兼有这三者优点的预估 Fuzzy-PID 控制器. 显然这种控制器综合了比例积分、模糊控制和 smith 预估器的优点,不但可使系统具有较高的控制精度、较快的响应速度和抗参数变化的适应性,而且可以解决系统大滞后问题.

计算机仿真是新型控制策略与算法研究中必不可少的技术. 美国 Mathworks 公司推出的 MATLAB 软件提供了模糊逻辑工具箱,即 Fuzzy 工具箱,运用图形用户界面来设计模糊控制器. 可以直观的完成模糊控制器的设计,同时还提供了 30 多个函数,用户可以通过命令来调用这些函数,完成模糊控制器的设计[4]. 本文将采用 MATLAB 对预估 Fuzzy-PID 控制系统进行计算机仿真,以实现多种规则和参数的准确仿真效果,提高预估 Fuzzy-PID 控制系统设计的效率和准确性.

预估 Fuzzy-PID 控制器结构如图 2 所示.

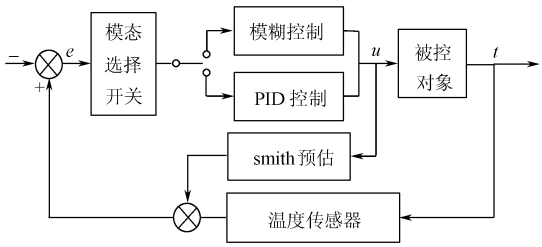


图 2 预估 Fuzzy-PID 控制器结构

3 电加热预估 Fuzzy-PID 控制器设计

3.1 电加热预估 Fuzzy-PID 控制方案

下面详细介绍如何采用预估 Fuzzy-PID 控制中央空调末端电加热,以及其在 MATLAB 环境中仿真的实现[5].

传统的中央空调末端电加热控制方法是采用位式或 PID 控制. 采用位式控制室温在±2 ℃内波动时,考虑系统滞后因素,控制阀限取±1.2 ℃,这种控制方式存在耗电量大、温度控制不精确等诸多缺点. 由于被控系统为大滞后系统,采用 PID 控制时,不能实现对室内温度的精调,控制效果也不理想[1],同样会出现位式控制的缺点. 针对上述问题,提出采用预估 Fuzzy-PID 控制技术对中央空调末端电加热量进行控制.

中央空调末端电加热预估 Fuzzy-PID 控制方案见图 3. 通过温度传感器测量室内温度 T,与设定温度 T_0 进行比较,得到温度偏差 e 及偏差变化率 $\dot{e}$. e 和 $\dot{e}$ 作为控制量的输入. 根据开关设定值选择采用 PID 控制还是模糊控制,即当 e 大于开关设定值时,采用 Fuzzy 控制,当 e 小于开关设定值时,采用 PID 控制,后由 smith 预估器进行补偿控制,使延迟的被调量提前反映到调节器. 其中模

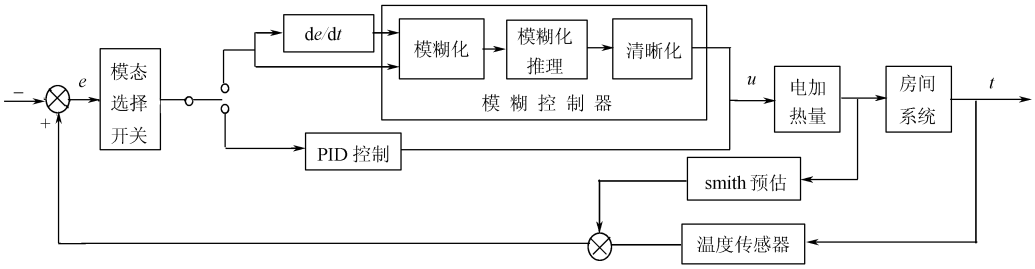


图 3　预估 Fuzzy-PID 控制方案

糊控制过程为:输入量模糊化后,经模糊化推理,得出模糊控制输出量 U,再经过清晰化后得到实际的控制输出加热比 u,即调功率百分比,以控制电加热量,从而达到调节室温恒定的目的.

3.2　模糊控制器输入和输出量的模糊化

3.2.1　输入变量和输出量

1)房间温度 T 和设定温度 T_0 之间的温差 $e=T-T_0$,单位℃. 模糊控制的温差范围为 $-2℃ \leqslant e \leqslant 2℃$. 当 $e<-2℃$ 时,达到最大加热量;当 $e>2℃$ 时,停止加热.

2)温差变化率 $\dot{e}=\mathrm{d}e/\mathrm{d}\tau$,单位℃/s. 模糊控制的温差变化率范围为 $-0.5\ ℃/s \leqslant \dot{e} \leqslant 0.5\ ℃/s$.

3)输出加热比 u,单位%. 模糊控制的加热百分比范围为 $0 \leqslant u \leqslant 100\%$. 0 表示不加热;100% 表示最大加热量.

3.2.2　隶属度函数[6]

1)温差 e 隶属度函数 μ_e

温差 e 模糊语言集合取为{正大 PB,正中 PM,正小 PS,零 ZE,负小 NS,负中 NM,负大 NB}. 分别代表{极热,热,暖,适中,凉,冷,极冷} 7 种感觉. 均匀量化 e 的模糊集合隶属度函数采用三角形函数如图 4.

2)温差变化率 $\dot{e}$ 隶属度函数 $\mu_{\dot{e}}$

温差变化率 $\dot{e}$ 模糊语言集合取为{正大 PB,正小 PS,零 ZE,负小 NS,负大 NB}. 分别代表 5 种温差变化率{正变化迅速,正变化,无变化,负变化,负变化迅速}. 均匀量化 $\dot{e}$ 的模糊集合隶属

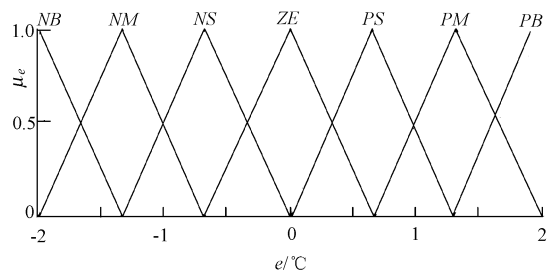


图 4　温差模糊集合隶属度函数

度函数采用三角形函数,如图 5.

3)加热比 u 隶属度函数 μ_u

电加热器加热量的大小相对变化定义为加热比. 如采用电压来控制加热量,u 即为调压比. 加热比 u 模糊语言集合取为{PB,PM,PS,NS,NM}. 分别代表从全功率加热到不加热 5 种加热额度. 电加热器 u 的模糊集合隶属度函数如图 6.

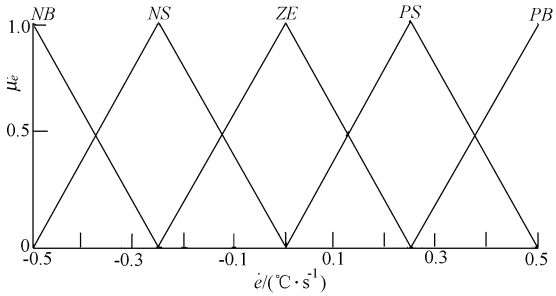


图 5　温差变化率模糊集合隶属度函数

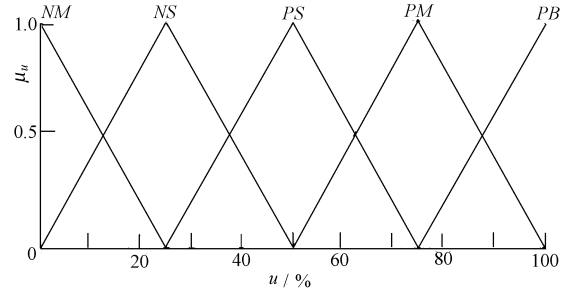


图 6　输出量加热比模糊集合隶属度函数

3.3　控制规则表

模糊控制规则是由一系列“IF—THEN”型的模糊条件句所构成,并用适当语言来加以描述,最终可表示成模糊控制规则的形式.

通过经验分析和仿真调整,针对中央空调电加热量制订模糊控制规则写成如下形式:

R_{ij}:IF e 是 A_i and $\dot{e}$ 是 B_j,THEN u 是 C_{ij}

其中,$i=1,2,\cdots,7$,$j=1,2,\cdots,5$,一共有 35 条控制规则,列于控制规则表 1 中. 模糊输入和输出对应的控制规则推论结果见图 7.

表 1 模糊控制规则输出 C_{ij}

A_i	B_j				
	NB	*NS*	*ZE*	*PS*	*PB*
NB	*PB*	*PB*	*PB*	*PB*	*PB*
NM	*PB*	*PB*	*PB*	*PB*	*PM*
NS	*PM*	*PM*	*PM*	*PM*	*PS*
ZE	*PS*	*PS*	*PS*	*PS*	*NS*
PS	*NS*	*NS*	*NS*	*NM*	*NM*
PM	*NM*	*NM*	*NM*	*NM*	*NM*
PB	*NM*	*NM*	*NM*	*NM*	*NM*

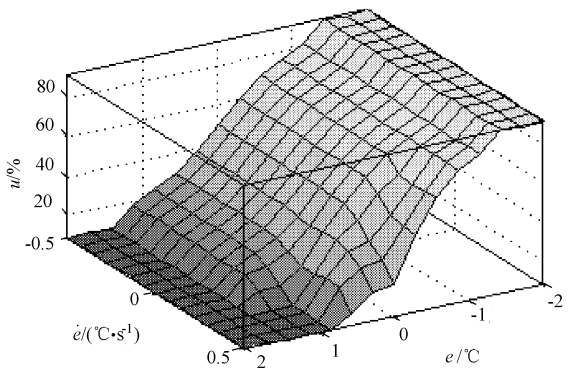


图 7 模糊控制规则推论结果三维图

4 预估 Fuzzy-PID 控制系统仿真

4.1 预估 Fuzzy-PID 控制系统的数学模型

当中央空调末端加热采用电加热控制室内温度时,忽略加热器热损失,室内空气温度随时间变化的数学模型为

$$M \cdot c \frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\tau} = P - \frac{T - T_{\mathrm{out}}}{R_{\mathrm{eq}}} \tag{1}$$

式中 M 为室内空气质量,单位 kg;c 为空气质量比热,J/(kg·℃);τ 为时间,单位 s;T 为室内空气温度,单位℃;R_{eq} 为房间总平均热阻,单位 $\mathrm{m^2}$·℃/W;T_{out} 为室外空气温度,单位℃;P 为电加功率,单位 W.

室外温度按下式关系变化

$$T_{\mathrm{out}} = A\sin(\omega\tau + \varphi) \tag{2}$$

式中 A,ω,φ 分别为振幅、角速度和初相位.

仿真时对式(1)用拉氏变换求传递函数,考虑初始温度为 18℃,并分为扰动通道和干扰通道.

4.2 仿真方案

为比较各控制方案优越性,取滞后时间为 120 s,采样周期为 40 s,按以下 6 种控制方案在 MATLAB 环境下仿真:

1) 加热控制方法采用位式控制.

2) 加热控制方法采用常规 PID 控制.

3) 加热控制方法采用预估 PID 控制.

4) 加热控制方法采用 Fuzzy 控制.

5) 加热控制方法采用 Fuzzy-PID 控制.

6) 加热控制方法采用预估 Fuzzy-PID 控制.

为验证预估 Fuzzy-PID 控制方案的适应性,将滞后时间改为 250 s 仿真,采样周期为 40 s,其余控制参数不变,按以下 3 种控制方案仿真:

1) 加热控制方法采用 PID 控制.

2) 加热控制方法采用预估 PID 控制.

3) 加热控制方法采用预估 Fuzzy-PID 控制.

4.3 仿真结果分析

仿真结果见图 8 ~ 10 图. 分析仿真结果可得如下结论:

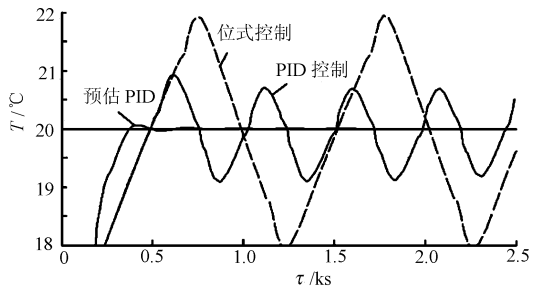


图 8 采用位式、PID 控制和预估 PID 方案仿真结果比较

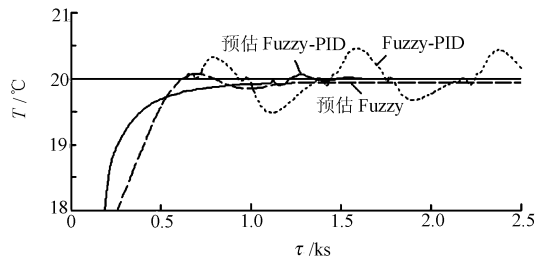


图 9 预估 Fuzzy,Fuzzy-PID 和预估 Fuzzy-PID 控制方案仿真结果比较

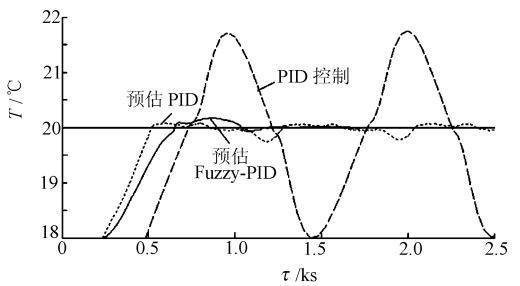


图 10 控制方案适应性仿真结果比较

位式控制:温度波动大、频繁开关耗电量大(见图 8 中位式控制曲线).

常规 PID 控制:由于滞后影响,其控制效果不理想,出现类似位式控制的缺点(见图 8 中 PID 控制曲线).

预估 PID 控制:当设计参数(比例系数 K_p = 6、积分系数 K_i = 0.1、微分系数 K_d = 0.1)与系统滞后时间相匹配时,能提高控制精度(见图 8 中预估 PID 曲线),但是当系统参数发生变化,超出设计的调节范围时,预估 PID 的控制效果会变差(见图 10 中预估控制曲线),这表明预估 PID 在一定范围内能提高控制精度,但抵抗系统参数变化的适应性差.

预估 Fuzzy 控制:能很好地控制滞后系统,适应性强,但存在稳态误差(见图 9 中预估 Fuzzy 曲线).

Fuzzy-PID 控制:虽然 Fuzzy 控制的优点是对控制系统变化具有较强的适应性,而 PID 控制能提高控制精度,将二者结合起来可实现适应性强和提高控制精度的目的,但是对于大滞后系统,却不能收到上述的控制效果,这是因为 PID 不能很好地控制滞后系统,在 Fuzzy 控制大滞后系统中引入 PID,不但不能提高控制精度,反而恶化了控制效果(见图 9 中 Fuzzy-PID 曲线).

预估 Fuzzy-PID 控制:在 Fuzzy-PID 中加入 smith 预估,不但可使系统具有较小的超调量和抗参数变化的适应性(见图 9 中预估 Fuzzy-PID 曲线和图 10 中预估 Fuzzy-PID 曲线),而且提高了控制精度. 预估 Fuzzy-PID 控制,集合了 Fuzzy 控制抗参数变化的高适应性、PID 高控制精度和 smith 预估补偿的全部优点.

通过上述分析比较可以得出:预估 Fuzzy-PID 控制能很好地控制中央空调末端电加热量,从而实现精确的室内温度控制.

5　结　论

预估 Fuzzy-PID 控制器综合了 smith 预估、PID 控制和模糊控制三者的优点,不但可使系统具有较小的超调量和抗参数变化的适应性,而且实现了无静差和无级调节等特点,从而降低能耗,保证控制精度,是一种较好的控制室内温度方法.

参考文献 (**References**)

[1] 梁延东, 刘　剑. 神经网络在中央空调控制系统中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2002,17(4):25 ~ 27
Liang Yandong, Liu Jian. The application of neural networks in center air adjusting control system [J]. Automatization and Instrument, 2002, 17(4): 25 ~ 27 (in Chinese)

[2] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001. 344 ~ 346
Huang Zhonglin. The calculation and simulation with MATALAB in control system [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001. 344 ~ 346(in Chinese)

[3] 汤兵勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002. 102 ~ 150
Tang Bingyong, Lu Linji, Wang Wenjie. The fuzzy control theory and its technical application[M]. Beijing:Tsinghua University Press, 2002. 102 ~ 150(in Chinese)

[4] 张颖超,郭姝梅. MATLAB 及其在模糊控制系统仿真中的应用[J]. 系统仿真学报, 2001,13(增刊): 319 ~ 322
Zhang Yingchao, Guo Shumei. MATLAB and application on simulation of fuzzy control system [J]. Journal of System Simulation, 2001,13(suppl): 319 ~ 322(in Chinese)

[5] 罗光明, 黄晓宇, 朱建林. 基于 MATLAB 的模糊自整定 PID 参数控制器计算机仿真[J]. 机械与电子, 2001,19(2): 23 ~ 26
Luo Guangming, Huang Xiaoyu, Zhu Jianlin. The simulation of fuzzy self-tuning PID parameters controller based on MATLAB [J]. Machinery and Electronics, 2001, 19(2):23 ~ 26(in Chinese)

[6] Fraisse G. Thermal control of discontinuously occupied building using a classical and a fuzzy logic approach [J]. Energy and Buildings, 1997, 26(3):310 ~ 316