

# 自适应模糊 PID 在温度控制中的应用

操建华

(顺德职业技术学院 广东 顺德 528300)

**摘要:**温度控制具有非线性、大惯性、时变等特点,常规 PID 控制和常规模糊控制还不能使温度的控制达到理想效果。设计一种自适应模糊 PID 控制器,该控制器在大偏差范围内采用模糊控制,根据偏差和偏差变化的需要实时调整 PID 参数,小偏差范围内采用 PID 精确控制。介绍自适应模糊 PID 控制器的构成和原理,并利用 Matlab/Simulink 和模糊逻辑工具箱对其进行仿真,仿真结果表明,这种自适应 PID 控制器既具有模糊控制灵活、响应快、适应性强的特点,又具有 PID 控制精度高的特点,改善了温度控制的效果。

**关键词:**自适应模糊;PID;Matlab;Simulink

**中图分类号:**TP273

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-373X(2010)05-110-02

## Application of Self-adaptive Fuzzy PID in Temperature Control System

CAO Jianhua

(Shunde Polytechnic College, Shunde, 528300, China)

**Abstract:** As temperature system has the characteristics of non-linearity, large inertia and time variability, normal PID and normal fuzzy control can not meet the requirement of precise molding system. A self-adaptive fuzzy control in large area and PID precision output in small area, which adjusts PID parameters based on deviation and the deviation change. The structure and principle of self-adaptive fuzzy PID controller are analysed, and Matlab/ Simulink and fuzzy logic toolbox are simulated, the results of simulation show that the self-adaptive fuzzy controller posses the flexible and adaptability advantages of fuzzy control and the precise character of PID control. It improves the control effect on temperature system.

**Keywords:** self-adaptive fuzzy;PID;Matlab;Simulink

## 0 引言

传统 PID 控制原理简单,使用方便,适应性强,可以广泛地应用于各种工业过程,但是,传统 PID 控制也有缺点,如:参数调节需要一定的过程,最优参数的选取比较困难,对于时变、非线性的被控系统,其精确的数学模型难以建立,使用传统的 PID 控制不能得到理想的控制效果。采用基于模糊算法的自适应控制系统进行控制,不但可以使控制系统更加可靠,而且能得到很好的控制效果<sup>[1]</sup>。

在工业生产过程中,温度是重要的控制参数之一,对温度的有效控制对于保证生产质量具有重大的现实意义和理论价值。温度控制系统具有非线性、滞后性和时变等特点,本文针对温度控制的特点,采用模糊控制和自适应相结合的方法,开发了自适应模糊 PID 温度控制系统。

一般的温度控制系统可以近似用一阶惯性滞后环节来表示,其传递函数是:

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-ts} \quad (1)$$

式中:  $K$  为对象的静态增益;  $T$  为对象的时间常数;  $t$  为对象的纯滞后时间。

## 1 自适应模糊控制器的结构

自适应模糊 PID 控制器以误差  $e$  和误差变化率  $ec$  作为输入,可以满足不同时刻误差  $e$  和误差变化率  $ec$  对 PID 参数整定的要求。利用模糊控制规则对 PID 参数进行整定,便构成了自适应模糊 PID 控制器。自适应模糊 PID 控制器的原理图见图 1<sup>[2,3]</sup>。

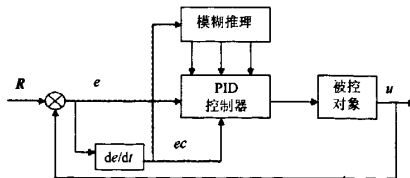


图 1 自适应模糊 PID 原理图

## 2 PID 参数自整定的原理

PID 参数自整定的实现方法是先找出比例增益

$K_P$ 、积分增益  $K_I$  和微分增益  $K_D$  与误差  $e$  和误差变化率  $ec$  之间的模糊关系。在运行中不断检测误差  $e$  和误差变化率  $ec$ ，再根据模糊控制原理在线对三个参数进行修改，以满足不同的  $e$  和  $ec$  对控制器参数的要求，从而达到较理想的静态和动态性能<sup>[3]</sup>。由于计算量不大，既可以用单片机也可以用 PLC 来实现。根据参数  $K_P$ 、 $K_I$  和  $K_D$  对系统性能的影响情况，可归纳出一般情况下，在不同的  $|e|$  和  $|ec|$  时，被控过程对  $K_P$ 、 $K_I$  和  $K_D$  的自整定要求：

(1) 当  $|e|$  较大时，为了加快系统的响应速度，并避免因开始时误差  $e$  瞬间变大，可能引起微分过饱和，应该选择较大的  $K_P$  和较小的  $K_D$ ，同时，为了防止积分饱和现象，避免系统响应出现较大的超调，取  $K_I = 0$ 。

(2) 当  $|e|$  和  $|ec|$  为中等大小时，为使系统响应的超调减小， $K_P$ 、 $K_I$  和  $K_D$  对都不能取大，应该取较小的  $K_I$  值， $K_P$  和  $K_D$  的取值大小要适中，以保证系统的响应速度。

(3) 当  $|e|$  较小时，为了使系统获得良好的稳态性能，应增大  $K_P$  和  $K_I$  值，同时为避免出现振荡，应适当地选取  $K_D$  值。具体原则是：当  $|ec|$  较大时， $K_D$  应选择较小，当  $|ec|$  较小时， $K_D$  要取较大值。

### 3 模糊控制规则的设计

自适应模糊 PID 控制器设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验，建立合适的模糊规则表，得到针对  $K_P$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  三个参数分别整定的模糊控制表。

$K_P$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  三个参数分别整定的模糊控制表建立好后，可根据如下方法进行  $K_P$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  三个参数的自适应校正。在模糊控制中取误差绝对值  $|e|$  和误差变化率绝对值  $|ec|$  为输入语言变量，以构成一个二维模糊控制器，每个语言变量取负大(NB)、负中(NM)、负小(NS)、零(Z)、正小(PS)、正中(PM)、正大(PB)七个语言值<sup>[4]</sup>。其隶属函数见图2。根据各模糊子集的隶属度赋值表和各参数模糊控制模型，应用模糊合成推理设计 PID 参数的模糊矩阵表，查出修正参数代入式(2)计算：

$$\begin{aligned} K_P &= K'_P + \{e_i, ec_i\}_P \\ K_I &= K'_I + \{e_i, ec_i\}_I \\ K_D &= K'_D + \{e_i, ec_i\}_D \end{aligned} \quad (2)$$

模糊控制规则可以用如下语句表示：

If  $e$  is  $A_i$  and  $ec$  is  $B_j$  then  $U$  is  $C_{ij}$

其中： $A_i$  为偏差的语言变量， $B_j$  为偏差变化率的语言变量， $C_{ij}$  为对应的控制量的语言变量，模糊关系为式(3)<sup>[1,5,6]</sup>：

$$R = \bigcup_{ij} A_i \times B_j \times C_{ij} \quad (3)$$

式(3)中  $R$  为模糊关系矩阵。

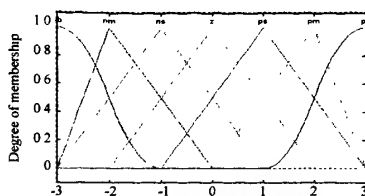


图2 隶属函数图

### 4 采用 Matlab/Simulink 对自适应模糊 PID 控制器进行仿真

仿真结构图如图3所示<sup>[7-9]</sup>

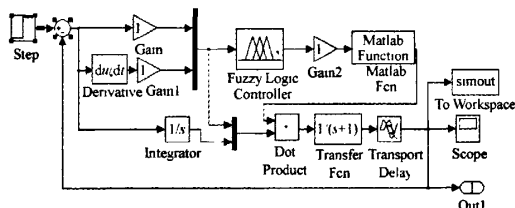


图3 仿真结构图

仿真结果如图4~图6所示。

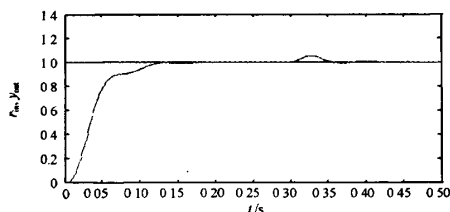


图4 仿真结果

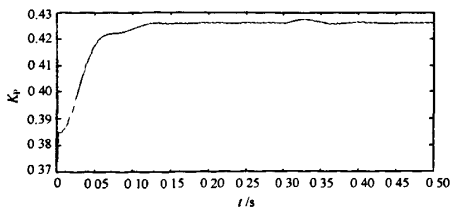


图5  $K_P$  的自适应调整

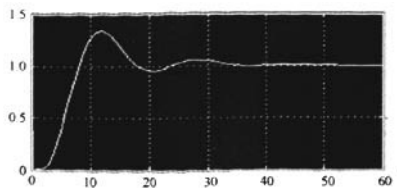


图6 常规PID输出仿真结果

(下转第114页)

由图4可看出,烤箱相当于一个时间常数接近1 500 s的一阶过程。在瞬间测量温度 $\theta_m$ 很接近烤箱温度 $\theta_s$ ,在稳定状态下, $\theta_m$ 和 $\theta_s$ 是相等的。

(2)考虑烤箱温度非线性变化因素。在实际的烤箱中,工作区域没有线性化。为得到一个在任何工作点都能适用的神经元模型,给这个过程施加一个带有伪随机二进制序列的斜坡信号。重新搭建仿真模型,仿真结果如图5所示。

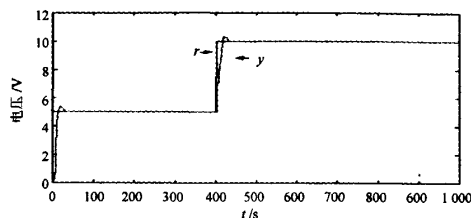


图5 烤箱神经控制仿真图

从图5可以看出,采用神经网络控制烤箱温度,即使是考虑烤箱的非线性因素,通过神经网络的反复在线优化,控制信号 $r$ 和输出信号 $y$ 的误差被控制在很小范围内。

### 3 结 语

针对烤箱温度在工作区域内的变化具有非线性的特点,运用神经网络逆控制方法对整个系统进行控制。

作者简介 许秀玲 女,1976年出生,山东菏泽人,讲师,工学硕士。主要研究领域为自动控制技术、故障诊断、信息处理等。

(上接第111页)

从仿真结果可以看出,自适应模糊控制器与常规PID比较,系统的输出具有更快的响应速度和更小的超调量,得到了较好的静态、动态性能。

### 5 结 语

针对温度控制系统,设计了一种自适应模糊PID控制器,该控制器在大偏差范围内采用模糊控制,根据偏差和偏差变化的需要实时调整PID参数,小偏差范围内采用PID精确控制。通过仿真结果表明,这种控制器是一种实现方便、性能优良的智能控制器,并具有动态性能好、稳态精度高等特点,适合非线性、大滞后、强耦合等复杂特性的控制系统。

### 参 考 文 献

[1] 席爱民.模糊控制技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2005.

仿真结果显示,使用神经网络能很好地控制烤箱的温度。

### 参 考 文 献

[1] 周韵玲.基于PLC的神经网络PID控制器设计[J].控制系统,2007,23(7):97-100.  
[2] 董秀瑾,那文波.基于线性预测模型的神经网络模糊PID控制[J].机电工程,2007,24(2):62-65.  
[3] 郭秀才,舒怀林.基于PID神经网络的温度控制[J].工矿自动化,2008,6(3):31-34.  
[4] 孙丰昌,乐恺,姜泽毅,等.智能控制算法对加热炉温度控制研究[J].热能动力工程,2009,24(3):337-341.  
[5] 李春华,李欣,罗琦.不确定非线性系统的直接自适应神经网络控制[J].计算机工程与应用,2008,44(2):124-128.  
[6] 张敏,胡寿松.不确定多时滞系统动态自适应神经网络控制[J].系统工程与电子技术,2009,31(2):435-438.  
[7] 颜园园,张宏群.基于LabVIEW的温湿度测量系统[J].现代电子技术,2009,32(1):120-123.  
[8] 于乃功,李明,李建更.机械手轨迹规划的神经网络逆模控制[J].控制工程,2008,15(3):225-228.  
[9] 闫大明,闫世杰,李爱平,等.微型燃气轮机的新型神经网络控制的研究[J].控制工程,2008,15(5):541-545.  
[10] 田毅韬,周晓慧.基于预测控制的神经网络在热分散温度控制中的应用[J].陕西科技大学学报,2007,25(3):93-95.

[2] 蔡自兴.智能控制——基础与应用[M].北京:国防工业出版社,2004.  
[3] 程燕庆.工程智能控制[M].西安:西北工业大学出版社,2003.  
[4] 刘金钊.先进PID控制及Matlab仿真[M].北京:机械工业出版社,2005.  
[5] 金以慧.过程控制[M].北京:清华大学出版社,1993.  
[6] 冯冬青,谢宋和.模糊智能控制[M].北京:化学工业出版社,1998.  
[7] 洪乃刚.自动控制系统的Matlab仿真[M].北京:机械工业出版社,2006.  
[8] 赵娜,彭继慎,吕铁亮.异步电动机自适应矢量控制系统[J].电机技术,2007(5):31-34.  
[9] 侯利民.基于Simulink的电力拖动控制系统仿真[J].电机技术,2006(2):23-25.  
[10] 郑阿奇.Matlab实用教程[M].北京:电子工业出版社,2001.

作者简介 操建华 男,1970年出生,讲师,硕士。研究方向为工业过程监控、智能控制。

# 自适应模糊PID在温度控制中的应用

作者: 操建华  
作者单位: 顺德职业技术学院, 广东, 顺德, 528300  
刊名: 现代电子技术   
英文刊名: MODERN ELECTRONICS TECHNIQUE  
年, 卷(期): 2010, 33(5)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(10条)

1. 席爱民. 模糊控制技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
2. 蔡自兴. 智能控制—基础与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
3. 程燕庆. 工程智能控制[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003.
4. 刘金锟. 先进PID控制及Matlab仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
5. 金以慧. 过程控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
6. 冯冬青, 谢宋和. 模糊智能控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
7. 洪乃刚. 自动控制系统的Matlab仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
8. 赵娜, 彭继慎, 吕铁亮. 异步电动机自适应矢量控制系统[J]. 电机技术, 2007(5): 31-34.
9. 侯利民. 基于Simulink的电力拖动控制系统仿真[J]. 电机技术, 2006(2): 23-25.
10. 郑阿奇. Matlab实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 张传富. 宛西原. 柳信维. 吴恬. ZHANG Chuan-fu. WAN Xi-yuan. LIU Xin-wei. WU Tian 自适应模糊PID控制在空气取水装置中的应用 - 后勤工程学院学报2009, 25(2)

传统PID控制在具有较大滞后性、时变性和非线性系统时, 参数一旦整定就不能自动调节, 因此, 系统随条件变化自动调节的能力不强, 控制效果不佳. 针对这种情况, 将模糊控制和常规PID控制相结合, 提出一种基于模糊控制规则的自适应模糊PID控制方法, 实现了PID参数在实时整定, 并将其应用于空气取水装置蒸发器过热度控制中. 通过Matlab仿真, 与常规PID控制仿真曲线比较表明, 该控制方式具有动态响应快, 超调量小, 控制精度高等特点, 在研制的空气取水装置中取得了较好的控制效果.

2. 期刊论文 李平. 严宇. 肖智勇. LI Ping. YAN Yu. XIAO Zhi-yong Smith预估自适应模糊PID在温控系统中的应用研究 - 电气开关2010, 48(3)

经过多次实验以及研究比较, 应用Smith预估控制, 自适应模糊控制以及PID控制相结合的方法可以取得满意的温度控制效果. 把温控系统在MATLAB中应用Smith预估自适应模糊PID控制方案进行了仿真, 并和模糊PID控制方案作了对比, 给出了相应的仿真结果.

3. 期刊论文 陈志毅. 颜冰. 闫晓伟. CHEN Zhi-yi. YAN Bing. YAN Xiao-wei 密闭容腔气体压力的自适应模糊PID控制 - 探测与控制学报2009, 31(z1)

密闭容腔的气体压力控制系统本质上是非线性系统, 很难建立精确的数学模型, 采用自适应模糊PID控制, 通过模糊控制在线调整PID的参数, 使系统具有适应性强、鲁棒性好的优点, 同时达到较高的控制精度.

4. 期刊论文 张翔. 刘振兴. 邓福能. Zhang Xiang. Liu Zhenxing. Deng Funeng 基于自适应模糊PID控制的SBR污水处理系统 - 电工技术2009, ""(3)

采用自适应模糊PID控制方法控制污水处理中的溶解氧, 并设计基于自适应模糊PID的控制系统. 仿真结果和实际应用表明, 采用自适应模糊PID控制器后, 控制系统的响应速度加快, 超调量减小, 过渡时间大大缩短, 振荡次数减少, 具有较强的鲁棒性和良好的稳定性.

5. 期刊论文 钟勤. 郭童军. ZHONG Qin. GUO Tong-jun 自适应模糊PID控制在陶瓷压机布料系统液压调速中的应用 - 佛山陶瓷2010, ""(4)

受外界环境的影响, 陶瓷压机布料系统采用电液比例阀控制液压调速具有非线性、时变性、磁滞性等特点, 常规PID控制和常规模糊控制对布料系统的小车速度控制效果不够理想. 本文设计了一种自适应模糊PID控制器, 通过仿真结果表明, 这种自适应模糊PID控制器既具有模糊控制灵活、响应快、适应性强等优点. 又具有PID控制精度高的特点, 它改善了布料系统速度的控制效果.

6. 学位论文 高妍 自适应模糊PID控制器研究 1998

该文提出了一种基于神经网络的自适应模糊PID控制器, 它是三维模糊控制器为核心, 同时引入具有学习功能的神经网络, 利用神经网络来调整模糊控制器的输入输出隶属度参数, 使其具有适应过程持续不断地变化的能力. 设计的基本方法为: (1) 用简化的模糊推理网络来实现模糊控制规则; (2) 用BP算法对规则参数进行离线粗调; (3) 用梯度算法在线调整规则参数. 采用该文设计的自适应模糊PID控制器作为主调节器来对工况大范围变化的电厂过热汽温串级系统进行仿真, 可以看出控制特性如超调量和调整时间等都有了很大改善, 并表现出很强的自适应性.

7. 期刊论文 谭宝成. 成法坤. TAN Bao-cheng. CHENG Fa-kun 自适应模糊PID在中频弯管机温度控制中的应用 - 西安

针对中频弯管机在温度控制过程中测量精度低、温度波动范围较大、干扰源多等问题,设计了一套中频弯管机温度控制系统.采用PLC控制技术,利用双色红外测温法,并将自适应模糊PID控制技术引入弯管机的温度控制系统中.实验结果表明:采用自适应模糊PID控制,中频弯管机温度控制范围最大波动为20℃,对温度进行每次1 ms的采集,测量误差小于1%,增强了系统的调节精度,并对采集数据进行实时显示和存储,满足实际应用的要求.

8. 会议论文 李凯. 彭超. 徐红兵 变论域自适应模糊PID在燃气轮机发电系统中的应用 2008

随着全世界能源和环境问题的加深以及航机改燃气轮机技术的发展,近年来燃气轮机发电得到越来越多的关注.燃气轮机发电系统具有时变、非线性、滞后和高阶大惯性等特点,因而难以建立准确的数学模型.本文将变论域的思想引入自适应模糊PID控制,设计了一种变论域自适应模糊PID控制器,并应用到燃机发电系统中.仿真实验模拟燃机发电系统在变工况情况下的启动及运行,结果表明该控制器提高了系统的鲁棒性和动态特性.

9. 期刊论文 梁海瑛. 张泾周. LIANG Hai-ying. ZHANG Jing-zhou 规则自适应模糊PID数字电压调节器设计 - 计算机工程与设计2008, 29(3)

应用自适应模糊控制理论,结合航空电源发电机控制器系统的实际情况,设计了基于规则自适应模糊PID算法的数字电压调节器系统.介绍了系统的硬件组成和相应规则自适应模糊PID控制器算法的具体实现.该算法克服了不能建立精确的数学模型所带来的弊端,经过验证,该系统具有良好的稳定性和快速的跟踪性,具有一定的现实意义.

10. 会议论文 李凯. 彭超. 徐红兵 变论域自适应模糊PID在燃气轮机发电系统中的应用 2008

随着全世界能源和环境问题的加深以及航机改燃气轮机技术的发展,近年来燃气轮机发电得到越来越多的关注.燃气轮机发电系统具有时变、非线性、滞后和高阶大惯性等特点,因而难以建立准确的数学模型.本文将变论域的思想引入自适应模糊PID控制,设计了一种变论域自适应模糊PID控制器,并应用到燃机发电系统中.仿真实验模拟燃机发电系统在变工况情况下的启动及运行,结果表明该控制器提高了系统的鲁棒性和动态特性.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_xddzjs201005035.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xddzjs201005035.aspx)

授权使用: 南京航空航天大学图书馆(wfnhtsg), 授权号: 182ad49f-f645-42bb-a23c-9e2f00bf3e80

下载时间: 2010年11月15日