

自适应模糊 PID 控制方法在温度控制中的研究

刘向东¹, 常 江^{1,2}, 张崇会³, 王述运^{2,4}

(1. 佳木斯大学机械工程学院,黑龙江 佳木斯 154007;2. 哈尔滨工程大学机电工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001;3.92819 部队技术处,辽宁 沈阳 116000;4. 海军飞行学院教研部,辽宁 葫芦岛 121500)

摘 要: 介绍了自适应模糊 PID 控制器的构成和原理,利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改,便构成了自适应模糊 PID 控制器,并利用 MATLAB/SIMULINK 和模糊逻辑工具箱对其进行仿真分析,得出其能改善控制系统的控制性能的结论。

关键词: 模糊控制;自适应控制;PID 控制;MATLAB/SIMULINK

中图分类号: TP273+.4

文献标识码: A

0 引 言

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。温度具有非线性、时变性和滞后性等特性。本文针对温度控制的特点,采用模糊控制和自适应控制相结合的方法,研究和开发了基于 PID 参数自调整的自适应模糊 PID 温度控制器。

本系统的被控对象是某干燥箱的温度,一般温度可近似用一阶惯性纯滞后环节来表示,其传递函数是:

$$G(s) = \frac{Ke^{-s}}{T_c s + 1}$$

式中: K ——对象的静态增益;

T_c ——对象的时间常数;

——对象的纯滞后时间常数。

用 Cohn-Coon 公式计算各参数得:

$$K = 0.181; \quad T_c = 60; \quad = 20.$$

1 自适应模糊 PID 控制器的结构

自适应模糊 PID 控制器以误差 e 和误差变化 ec 作为输入,可以满足不同时刻误差 e 和误差变化 ec 对 PID 参数自整定的要求。利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改,便构成了自适应模糊 PID 控制器,如图 1 所示。

2 PID 参数自整定思想

PID 参数自整定的实现思想是先找出 PID 三个

参数与误差 e 和误差变化 ec 之间的模糊关系,在运行中不断检测 e 和 ec ,再根据模糊控制原理来对三个参数进行在线修改,以满足不同 e 和 ec 时对控制器参数的不同要求,而使被控对象有良好的动、静态性能,而且计算量小,易于用单片机实现。PID 调节器的三个参数: K_p , K_i 和 K_d 对系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面特性的影响作用如文献[3]所述。PID 参数的整定必须考虑到在不同时刻三个参数的作用以及相互之间的互联关系。根据参数 K_p , K_i 和 K_d 对系统输出特性的影响情况可归纳出在一般情况下,在不同的 $|e|$ 和 $|ec|$ 时,被控过程对 K_p , K_i 和 K_d 的自整定要求为:

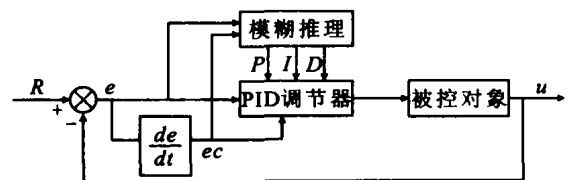


图 1 自适应模糊 PID 控制器结构图

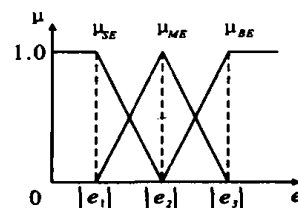


图 2 误差的隶属函数

当 $|e|$ 较大,为了加快系统的响应速度,并避免因开始时误差 e 的瞬间变大,可能引起微分过饱和,而使控制作用超出许可范围,应取较大的 K_p

和较小的 K_D , 同时为了防止积分饱和, 避免系统响应出现较大的超调, 此时应去掉积分作用, 取 $K_I = 0$.

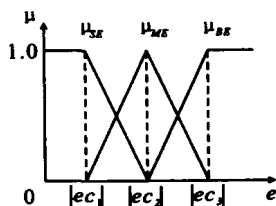


图3 误差变化的隶属函数

当 $|e|$ 和 $|ec|$ 为中等大小时, 为使系统响

应的超调减少, K_P , K_I 和 K_D 都不能取大, 应取较小的 K_I 值, K_P 和 K_D 的值大小要适中, 以保证系统的响应速度.

当 $|e|$ 较小时, 为使系统具有良好的稳态性能, 应增大 K_P 和 K_I 值, 同时为避免系统在设定值附近出现振荡, 并考虑系统的抗干扰性能, 应适当地选取 K_D 值, 其原则是: 当 $|ec|$ 较小时, K_D 值可取大一些, 通常取为中等大小; 当 $|ec|$ 较大时, K_D 应取小一些.

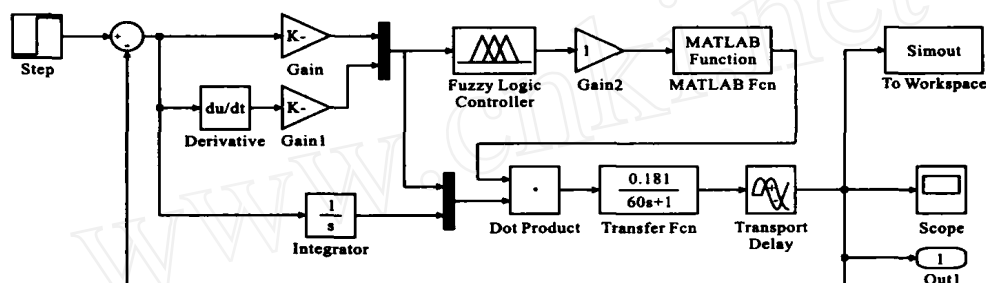


图4 自适应模糊 PID 控制系统仿真框图

3 模糊 PID 算法及 MATLAB 仿真

这里取误差绝对值 $|e|$ 和误差变化绝对值 $|ec|$ 为输入语言变量, 每个语言变量取三个语言值“大(B)、中(M)、小(S)”, 其隶属函数如图2和图3所示. 其中隶属函数可以通过选择不同转折点的值 $|e_1|$, $|e_2|$, $|e_3|$ 以及 $|ec_1|$, $|ec_2|$, $|ec_3|$ 来调整.

假定 e 和 ec 有如下五种组合:

- $|e| = B$
- $|e| = M$ 且 $|ec| = B$
- $|e| = M$ 且 $|ec| = M$
- $|e| = M$ 且 $|ec| = S$
- $|e| = S$

每种状态的隶属度可分别用下式计算:

$$\begin{aligned} \mu_1(|e|, |ec|) &= \mu_{BE}(|e|) \\ \mu_2(|e|, |ec|) &= \mu_{ME}(|e|) \quad \mu_{BC}(|ec|) \\ \mu_3(|e|, |ec|) &= \mu_{ME}(|e|) \quad \mu_{MC}(|ec|) \\ \mu_4(|e|, |ec|) &= \mu_{ME}(|e|) \quad \mu_{SC}(|ec|) \\ \mu_5(|e|, |ec|) &= \mu_{SE}(|e|) \end{aligned}$$

根据 $|e|$ 和 $|ec|$ 的测量值便可由下式计算 PID 的三个参数:

$$K_P(K_I, K_D) = \frac{\sum_{i=1}^5 \mu_i(|e|, |ec|) \times K_{Pi}(K_{Ii}, K_{Di})}{\sum_{i=1}^5 \mu_i(|e|, |ec|)}$$

式中 K_{Pi} , K_{Ii} 和 K_{Di} ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) 为参数 K_P , K_I 和 K_D 在不同状态下的加权. 它们在不同状态下可取:

$$\begin{aligned} K_{P1} &= K_{P1}, K_{I1} = 0, K_{D1} = 0 \\ K_{P2} &= K_{P2}, K_{I2} = 0, K_{D2} = K_{D2} \\ K_{P3} &= K_{P3}, K_{I3} = 0, K_{D3} = K_{D3} \\ K_{P4} &= K_{P4}, K_{I4} = 0, K_{D4} = K_{D4} \\ K_{P5} &= K_{P5}, K_{I5} = K_{I5}, K_{D5} = K_{D5} \end{aligned}$$

其中 $K_{P1} \sim K_{P5}$, $K_{I1} \sim K_{I5}$, $K_{D1} \sim K_{D5}$ 分别是在不同状态下对于参数 K_P , K_I 和 K_D 用常规 PID 参数整定法得到的整定值. 用在线自整定的 PID 参数 K_P , K_I 和 K_D 就可根据 PID 控制算法的位置式和增量式的离散差分公式计算出输出控制 u .

采用 MATLAB/Simulink 进行控制系统的自适应模糊 PID 控制算法的仿真, 设定温度 $T = 100$. 其控制系统仿真框图如图4所示.

其控制温度曲线如图5所示.

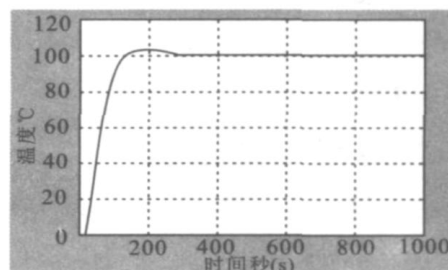


图5 自适应模糊 PID 控制器控制温度曲线图

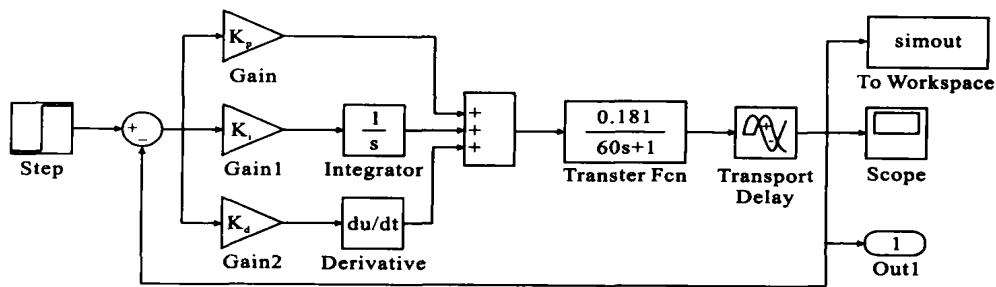


图 6 数字 PID 控制的 Simulink 仿真框图

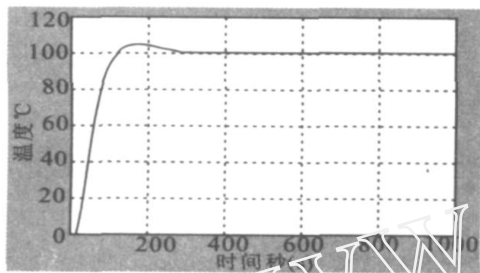


图 7 传统 PID 方法控制温度曲线图

控制系统的性能指标如下：

超调量： $y_1/y()=3/100=3\%$;
稳态误差： 0.01 ;
调节时间 :330s (5.5min) .

4 几种控制方法的比较

采用 MATLABSimulink 进行控制系统的数字 PID 控制算法的仿真,设定温度 $T=100$. 仿真框图如下：

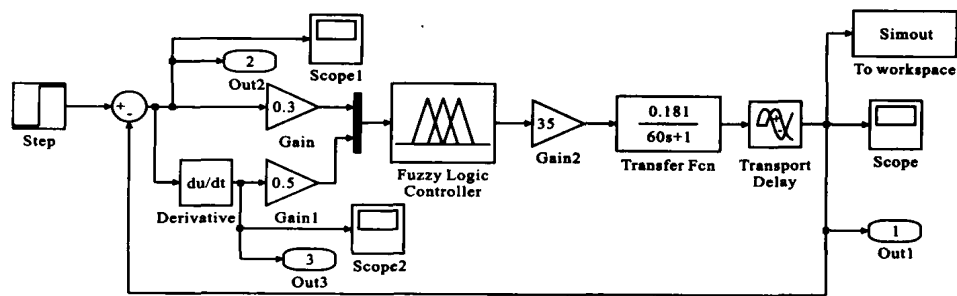


图 8 二维模糊控制系统仿真框图

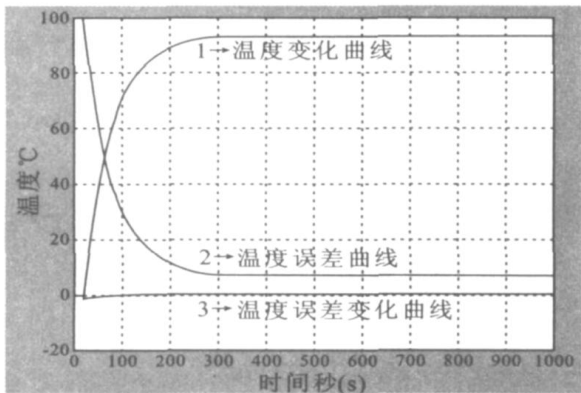


图 9 常规二维模糊控制器控制温度曲线图

控制温度曲线图如图 7 所示.

控制系统的性能指标如下：

超调量： $y_1/y()=4.8/100=4.8\%$;
稳态误差： 0.2 ;
调节时间 :360s (6min) .

采用 MATLABSimulink 进行控制系统的模糊控制算法的仿真,设定温度 $T=100$. 仿真框图如

图 8 所示.

其控制温度曲线图如图 9 所示.

控制系统的性能指标如下：

超调量： $y_1/y()=0$;
稳态误差： 6.6 ;
调节时间 :360s (6min) .

作为比较,列出使用传统的 PID 控制方法、模糊控制方法和自适应模糊 PID 控制方法时被控系统的几项性能指标如表 1.

表 1 三种控制方法的控制性能

	超调量	稳态误差	调节时间
PID 控制器	4.8%	0.2	360s (6min)
模糊控制器	0	6.6	360s (6min)
自适应模糊 PID 控制器	3%	0.01	330s (5.5min)

5 结束语

由表 1 可以看出应用自适应模糊 PID 控制方

法在被控系统的超调量、调节时间和稳态误差等性能指标上都强于传统的 PID 控制方法和模糊控制方法,因此这种控制方法能够改善控制器对温度的控制性能。

参考文献:

[1] 汤兵勇、路林吉,模糊控制理论与应用技术[M]. 北京:清华大

学出版社,2002.

[2] 张化光、何希勤,模糊自适应控制理论及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.

[3] 薛钧义、武自芳,微机控制系统及其应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2003.

[4] 刘金琨,先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

Research on Adaptive - fuzzy - PID Controller for Temperature Control

LIU Xiang - dong¹, CHANG Jiang^{1,2}, ZHANG Chong - hui³, WANG Shu - yun^{2,4}

(1. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China; 2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 3. Technology Bureau of Army 92819, Shenyang 116000, China; 4. Navy Flying Academy, Huludao 121500, China)

Abstract: This paper firstly presents the structure and principle of Adaptive-fuzzy-PID Controller and uses it to modify the parameter of PID controller online by using the ruler of fuzzy control, then this controller is realized by means of software of SIMULINK and fuzzy-control logic toolbox.

Keywords: fuzzy control; adaptive control; PID control; MATLAB /SIMULINK

(上接 341 页)

参考文献:

[1] 洪乃刚,等. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京:机械工业出版社,2006.163-169.

[2] 尔桂花、窦日轩. 运动控制系统[M]. 北京:清华大学出版社,2002.100-102.

[3] 姚建红,等. 基于 Matlab/Simulink 双闭环调速系统设计[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2006,(4).

[4] 张传伟,等. 直流电机双闭环调速系统仿真研究[J]. 机床与液压,2005.2.

[5] 王立红,等. 基于 MATLAB 直流调速系统设计与仿真[J]. 辽宁工学院学报,2004.2.

[6] 王卫红,等. MATLAB 在双闭环调速系统教学中的应用[J]. 电气电子教学学报,2003.6.

The Design and Simulation of Double Closed-loop DC Motor Control System Based on Matlab /Simulink

YANG Huai - lin

(Jiangsu Vocational and Technical College of Finance & Economics, Huai'an 223001, China)

Abstract: According to the engineering design method, a double closed-loop DC motor control system was designed, a modulator structure was selected and computed, and its parameter was corrected. Dynamic structure for speed and current closed loop control system was established. Then, the Matlab /Simulink model of a double closed-loop DC motor control system was built. The speed and current waveform was analyzed carefully. By a great deal of simulation, the DC motor control system was made better and more reasonable.

Keywords: double closed-loop DC motor control system; regulator; Matlab /Simulink