

文章编号 1004-924X(2004)02-0235-05

模糊参数自整定 PID 控制器的设计与仿真研究

黄 峰¹, 汪岳峰^{1,2}, 顾 军³, 周 冰¹

(1. 军械工程学院 光学工程教研室, 河北 石家庄 050003;

2. 北京理工大学 光电工程系, 北京 100081;

3. 解放军驻 451 厂 军代表室, 重庆 400700)

摘要:为实现 PID 参数的自动整定,在 PID 控制和模糊控制的基础上,设计了一种用于某型热像仪分子筛激活机中恒温炉温控系统的模糊参数自整定 PID 控制器,它基于 PID 参数的优化规律利用模糊控制规则对 PID 参数进行在线的自动整定。与常规 PID 温控系统比较,该控制器的系统超调量明显减小,控制系统的动静态性能均得到改善,升温速度和目标温度控制精度超过了设计指标,且结构简单、计算量小。系统仿真验证了该设计的有效性与实用价值。

关键词:温度控制;PID 控制;模糊控制;参数自整定;系统仿真

中图分类号:TP273.4 文献标识码:A

Design and simulation study of fuzzy parameter self-tuning PID controller

HUANG Feng, WANG Yue-feng, GU Jun, ZHOU Bing

(1. Teaching & Research Section of Optics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Photoelectricity Engineering Department, Beijing Science and Engineering University Beijing 100081, China;

3. PLA Deputation of Plant 451, Chongqing 400700, China)

Abstract: The selection of PID parameters has direct effect on the controller performance and the man-work tuning needs much experience and skills, and plenty of time as well. In order to realize the PID parameter self-tuning, a fuzzy self-tuning PID controller which follows the PID parameters optimizing laws, and uses fuzzy logics to do automatic on-line tuning of PID parameters was designed for the temperature control system of a molecular sieve activating device based on PID control and fuzzy control. In comparison with conventional PID temperature control system, this temperature control system features high control precision, good adaptability, simple structure and less computation. The simulation shows its validity and practicability.

Key words: temperature control; PID control; fuzzy control; parameter self-tuning; system simulation

1 引言

在自动温控系统的设计中, PID 控制器以其

算法简单、计算量小、恒温效果稳定等优点而得到广泛应用。但常规 PID 控制参数的最佳调整还未实现自动化,依靠人工凑试的整定方法不仅需要丰富的经验和技巧,而且十分费时。同时,在实

际温控过程中,由于噪声、负载扰动和其他一些环境条件变化的影响,受控过程参数、模型结构均将发生变化。在这种情况下,采用常规 PID 控制器难以获得满意的控制效果,而模糊控制不依赖被控对象精确的数学模型,是在总结操作经验基础上实现自动控制的一种手段。本文应用模糊推理的方法实现对 PID 参数的在线自动整定,并依此设计出用于某型热成像设备分子筛激活机中恒温炉温控系统的模糊参数自整定 PID 控制器。基于 MATLAB 的仿真结果表明,与常规 PID 温控系统

相比,该设计能获得更优的温控效果。

2 模糊控制的基本原理

模糊控制是以模糊集合论、模糊数学、模糊语言形式的知识表示和模糊逻辑的规则推理为理论基础,采用计算机控制技术构成的一种具有反馈通道的闭环数字控制系统^[1-2]。模糊控制原理框图见图 1,其中的模糊量化处理、模糊控制规则、模糊决策、非模糊化处理环节组成模糊控制器。

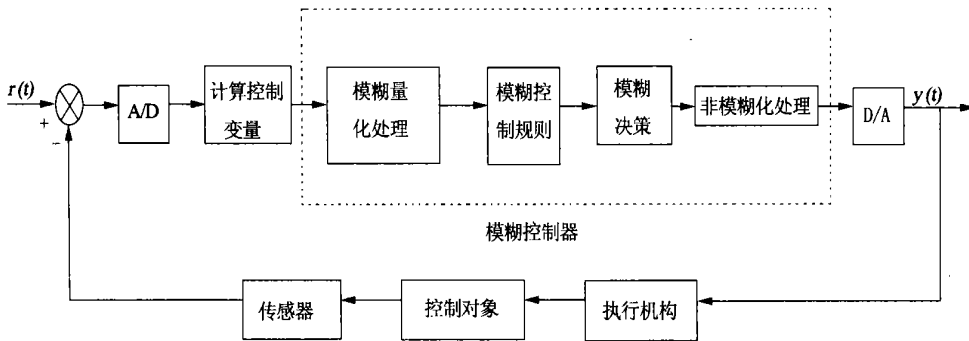


图 1 模糊控制系统原理框图

Fig. 1 Functional block diagram for fuzzy control system

3 模糊参数自整定 PID 控制器的设计

3.1 系统结构

模糊参数自整定 PID 控制系统结构如图 2 所示。本文在常规 PID 基础上,以温度反馈值与目标值的误差 e 和误差变化率 ec 作为输入,用模糊推理的方法对 PID 参数 K_p 、 K_i 、 K_d 进行在线自整定,以满足不同 e 和 ec 对控制器参数的不同要求,从而使受控对象具有良好的动、静态性能。

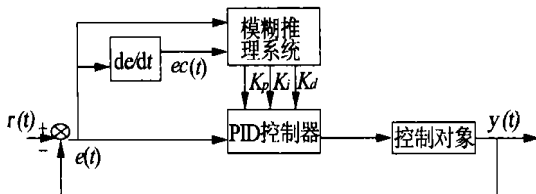


图 2 模糊参数自整定 PID 控制系统结构图

Fig. 2 Block diagram for fuzzy self-tuning PID control system

3.2 PID 参数整定原则^[3]

根据系统在受控过程中对应不同的 $|e|$ 和 $|ec|$,将 PID 参数的整定原则归纳如下:

(1) 当 $|e|$ 较大时,取较大的 K_p 与较小的 K_d ,使系统具有较好的跟踪性能,同时为避免出现较大的超调,应对积分作用加以限制,通常取 $K_i = 0$;

(2) 当 $|e|$ 处于中等大小时,为使系统响应超调较小, K_p 应取小些。该情况下, K_d 的取值对系统响应影响较大, K_i 的取值要适当;

(3) 当 $|e|$ 较小时,为使系统具有较好的稳定性, K_p 与 K_i 均应取大些,同时为避免系统在设定值附近出现振荡, K_d 值的选择根据 $|ec|$ 值较大时, K_d 取较小值,通常 K_d 为中等大小。

3.3 模糊控制器的设计

3.3.1 各参量隶属函数的确定

设模糊控制器各语言变量的论域为:

$$|e| : X = \{0, X_1, X_2, X_3\}$$

$$|ec| : Y = \{0, Y_1, Y_2, Y_3\}$$

$$K_p: Z_p = \{0, Z_{p_1}, Z_{p_2}, Z_{p_3}\}$$

$$K_i: Z_i = \{0, Z_{i_1}, Z_{i_2}, Z_{i_3}\}$$

$$K_d: Z_d = \{0, Z_{d_1}, Z_{d_2}, Z_{d_3}\}$$

以上各输入输出语言变量的论域均取语言值“大”(B)、“中”(M)、“小”(S)、“零”(Z)4种,选用三角隶属函数,各个语言值的定义分别由图 3,图 4,图 5 给出的隶属函数曲线来描述。

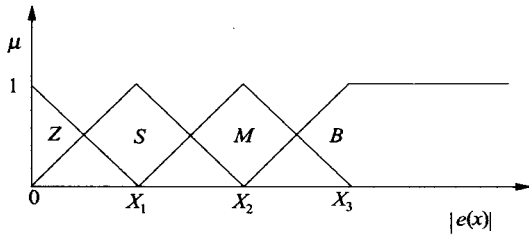


图 3 偏差 | e | 的隶属函数

Fig. 3 Membership function of | e |

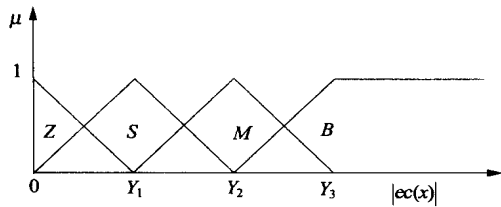


图 4 偏差变化率 | ec | 的隶属函数

Fig. 4 Membership function of | ec |

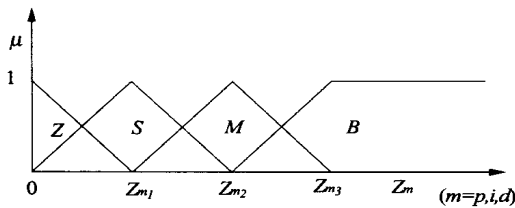


图 5 K_p, K_i, K_d 的隶属函数

Fig. 5 Membership function of K_p, K_i, K_d

3.3.2 建立控制规则表

依据 3.2 所述参数整定原则及专家经验^[4],可列出相应的参数调节规则,如表 1~表 3 所示。

表 1 K_p 值调节规则表

Tab. 1 Tuning rules table for K_p value

$K_p \backslash e $	Z	S	M	B
Z	Z	S	M	B
S	B	B	M	B
M	B	B	M	B
B	M	M	S	M

表 2 K_i 值调节规则表

Tab. 2 Tuning rules table for K_i value

$K_i \backslash ec $	Z	S	M	B
Z	B	M	Z	Z
S	B	M	Z	Z
M	B	B	S	Z
B	B	M	S	Z

表 3 K_d 值调节规则表

Tab. 3 Tuning rules table for K_d value

$K_d \backslash e $	Z	S	M	B
Z	Z	S	M	B
S	Z	S	M	B
M	Z	S	M	M
B	Z	Z	M	S

3.3.3 模糊推理与模糊运算

由模糊控制规则可将以上参数调节规则表写成条件语句形式。例如,对应表 1 K_p 的 16 条模糊条件语句如下:

- (1) if | e | = Z and | ec | = Z then $K_p = Z$
- (2) if | e | = S and | ec | = Z then $K_p = S$
- (3) if | e | = M and | ec | = Z then $K_p = M$
-

那么相对应的隶属度计算为:

- (1) $\mu_{K_{p_1}}(Z_p) = \mu_{ZK_p}(Z_p) = \mu_{Z_e}(x) \quad \mu_{Z_{ec}}(y)$
- (2) $\mu_{K_{p_2}}(Z_p) = \mu_{SK_p}(Z_p) = \mu_{S_e}(x) \quad \mu_{Z_{ec}}(y)$
- (3) $\mu_{K_{p_3}}(Z_p) = \mu_{MK_p}(Z_p) = \mu_{M_e}(x) \quad \mu_{Z_{ec}}(y)$
-

依此类推,可求得 K_p 在不同偏差 $|e|$ 和偏差变化率 $|ec|$ 条件下的所有模糊取值的隶属度,并利用重心法公式^[1]进行模糊判决:

$$\mu = \frac{x_i \times \mu_N(x_i)}{\sum \mu_N(x_i)}, \quad (1)$$

同理可相应求出参数 K_i 和 K_d 的数值。

4 系统仿真

4.1 仿真控制对象

将该模糊 PID 控制器用于某型热成像设备分子筛激活机的电阻加热炉温控系统中,受控对象为具有纯滞后的一阶惯性环节^[5],其传递函数模型为

$$G(s) = \frac{Ke^{-s}}{Ts + 1}, \quad (2)$$

在本文的仿真计算中取 $K = 2.8$, $T = 178$ s, $= 40$ s。对于大纯滞后对象,通常选择采样周期 $=$ 。依据系统设计的技术指标,要求控温精度 5 ,最大升温速度 50 /min,系统超调 20% 。

4.2 基于 MATLAB 的系统仿真

在 SIMULINK 环境下对图 2 所示的模糊参数自整定 PID 控制系统编辑得到图 6 所示的系统仿真框图。其中的 Fuzzy Logic Controller 模块由 FIS 编辑器依据 2.3 中的模糊控制器设计过程进行参数设置和模糊运算。PID tuning 模块为参考文献 [3] 编辑得到的参数可调式 PID 控制器。其中 K_p 、 K_i 和 K_d 的论域值由 Ziegler-Nichols 整定公式^[6]结合仿真调试来确定。由 Ziegler-Nichols 公式确定的初始值分别为 $K_{p_0} = 1.9071$, $K_{i_0} = 0.0217$, $K_{d_0} = 38.1429$ 。阶跃值设为 350,以模拟目标温度 350。

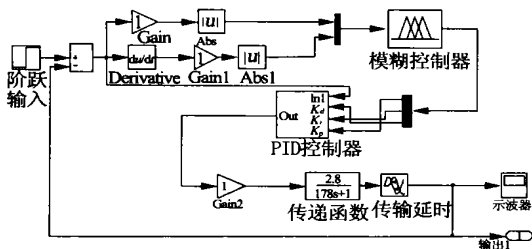


图 6 模糊参数自整定 PID 控制系统仿真框图

Fig. 6 Simulation block diagram for fuzzy self-tuning PID control system

4.3 仿真结果分析

图 7 和图 8 分别为常规 PID 和模糊参数自整定 PID 控制器的仿真计算结果。仿真结果表明,该模糊参数自定 PID 控制器比常规 PID 控制器的系统超调量明显减小,控制系统的动静态性能均得到改善,升温速度和目标温度控制精度均超过设计指标,能满足系统的应用要求。

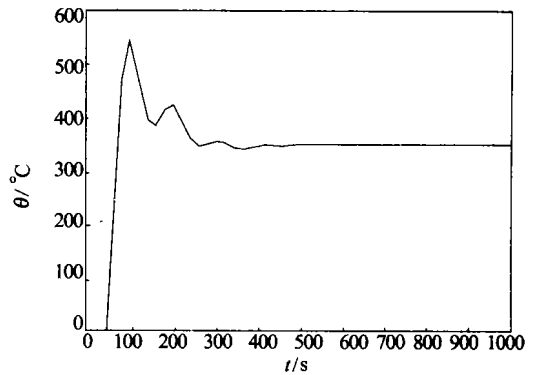


图 7 常规 PID 控制器阶跃响应

Fig. 7 Step response of general PID controller

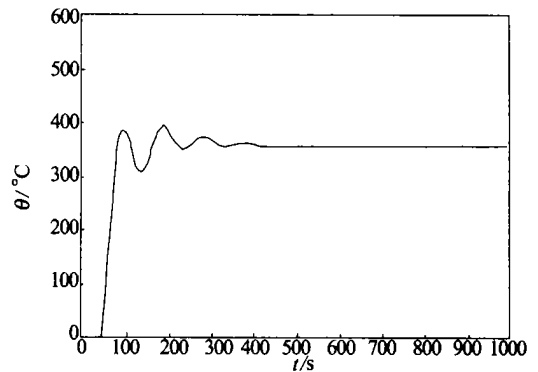


图 8 模糊参数自整定 PID 控制器阶跃响应

Fig. 8 Step response of fuzzy self-tuning PID controller

5 结束语

本文提出的模糊参数自整定 PID 控制器结合了 PID 控制和模糊控制的优点,实现了对 PID 参数的实时在线整定。与常规 PID 温控系统相比,该控制器不仅控制精度更高,对受控对象模型的适应能力更强,并且结构较为简单,计算量小,易于工程实现。仿真实验克服了工程实践中的盲目性,为实际温控系统的设计与调试提供了理论参考依据。

参考文献:

- [1] 窦振中. 模糊逻辑控制技术及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1995.
DOU ZH ZH. *Fuzzy control technique and application* [M]. Beijing: Peking Aviation and Spaceflight University Publishing Company, 1995. (in Chinese)
- [2] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,1995.
ZHU J. *Fuzzy control theory and application* [M]. Beijing: Mechanism Industry Publishing Company,1995. (in Chinese)
- [3] 黄晓宇. 基于 MATLAB 的模糊自整定 PID 参数控制器计算机仿真[J]. 自动化与仪器仪表,2001,(3):21-24.
HUANG X Y. Fuzzy self-tuning PID controller computer simulation based on MATLAB [J]. *Automatization and Apparatus & Instrument*, 2001(3):21-24.
- [4] 王鸣. 基于模糊控制理论的一种 PID 参数自整定控制器的设计与仿真[J]. 自动化与仪器仪表,2000,(1):14-17.
WANG M. Design and simulation of self-tuning PID controller based on fuzzy control theory[J]. *Automatization and Apparatus & Instrument*, 2000,(1):14-17. (in Chinese)
- [5] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
HUANG ZHL. *MATLAB computing and simulation of control system* [M]. Beijing: Defence Industry Publishing Company, 2001. (in Chinese)
- [6] 何克忠,李伟. 计算机控制系统[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
HE K ZH, LI W. *Computer control system* [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing Company, 1998. (in Chinese)
- [7] 张庆,程维明,沈耀宗,等. 模糊控制在橡胶硫化温度控制中的应用[J]. 光学精密工程,2001,9(4):385-387.
ZHANG Q, CHENG W M, SHEN Y Z, *et al* . Fuzzy temperature control for microwave vulcanization[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001,9(4):385-387. (in Chinese)
- [8] 曹群,周兆英,罗晓宁,等. 功率超声设备振幅模糊控制技术研究[J]. 光学精密工程,2002,10(3):261-263.
CAO Q, ZHOU Z Y, LUO X N, *et al* . Study of the fuzzy control technique for the amplitude of the power ultrasonic instrument [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002,10(3):261-265. (in Chinese)

作者简介:黄 峰(1979-)男,福建莆田人,军械工程学院光学工程教研室硕士研究生,主要研究方向为光电仪器自动化检测,光电技术与应用。E-mail:huangfeng239@sohu.com