

提高模糊控制器精度的研究

吴介一

(东南大学 CIMS 中心·南京, 210018)

摘要: 本文分析了传统模糊控制存在的缺陷, 引入了智能积分以减少稳态误差和避免积分饱和, 然后设计了一个参数自调整模糊控制器, 实现快速响应和小的超调。

关键词: 模糊控制; 智能积分; 参数自调整

1 概 述

金属镁还原炉是个大滞后、时变参数的非线性系统, 炉内含 8 个炉管又互相耦合, 很难建立精确数学模型, 用常规 PID 控制无法满足控制精度, 而且系统稳定性差。模糊控制无须对象有精确数学模型, 只要用模糊控制规则进行推理计算求出当前新控制增量, 控制的鲁棒性好、响应速度快^[1]。为提高控制器稳态精度, 我们在常规模糊控制基础上引入智能积分 Fuzzy 控制器, 并在过渡过程中对 Fuzzy 控制器的参数自调整以提高系统动态精度。

2 智能积分 Fuzzy 控制器

常规 Fuzzy 控制器原理如图 1。系统先将误差 e , 误差变化 Δe 通过量化因子 GE, GCE 量

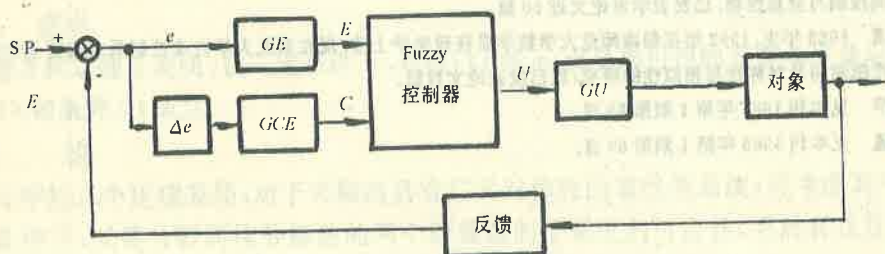


图 1 传统模糊控制原理图

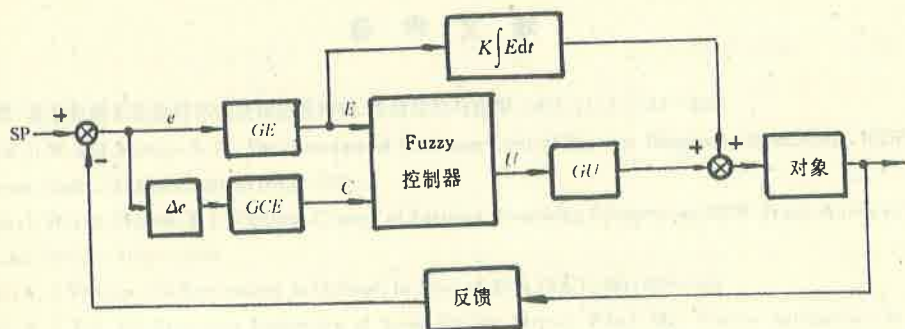


图 2 Fuzzy 积分控制器

化并求出等级,再由控制规则表求出控制输出增量 U ,经 GU 控制比例因子非模糊运算,求出精确量 u 施加于对象.这种常规 Fuzzy 控制器尽管鲁棒性好,但系统稳态精度差,为此引入积分作用以减少稳态误差^[2],如图 2 所示.通过对 e 的 Fuzzy 值积分,适当调整可调参数,可将稳态误差控制得相当小.引入积分后的缺点是: k 值的选取很难,过大使系统易振荡,过小体现不了积分作用;只要误差存在就一直积分致“积分饱和”,使系统快速性下降.为此进一步引入智能积分.

炉子升温过程有升温、恒温、降温三状态,其升温曲线如图 3 所示.在 ab, cd 段,系统误差趋势增大,此时引入积分作用,而在 bc, de 段,系统误差趋势变小,取消积分作用,这是工人的操作经验,我们模仿它对 Fuzzy 控制器引入智能积分以提高系统的稳态性能.

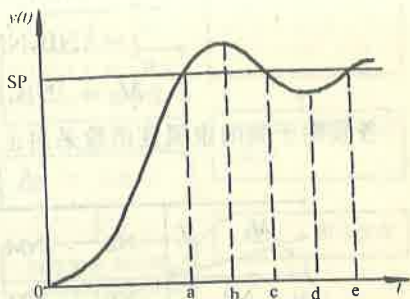


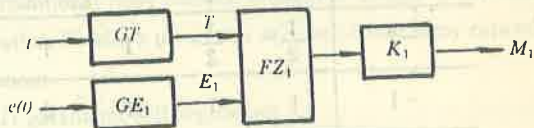
图 3 典型炉子升温曲线

$$\begin{cases} \Delta u = f(e, ec) + K \int E dt, & E \cdot C > 0 \text{ 或 } C = 0 \text{ 而 } E \neq 0, \\ \Delta u = f(e, ec), & E \cdot C < 0 \text{ 或 } E = 0. \end{cases}$$

其中 $f(e, ec)$ 为模糊控制器输出, $K \int E dt$ 为智能积分输出.

3 参数自调整 Fuzzy 控制器设计

图 1 中量化因子 GE, GCE 及输出比例因子 GU 为固定常数,作用为:误差量化因子 GE 直接影响系统稳态性能,增大 GE 使稳态性能好而动态性能差,引起较大振荡致使系统不稳定;增大误差变化量化因子 GCE ,使超调变小,但系统响应时间变长;输出比例因子 GU 过小,使响应过程太长, GU 过大又极易使系统振荡.因此在整个升温过程中若固定用一组 GE, GCE, GU ,不能使系统动态性能与静态性能兼顾,为此,在 e 较大时使 GE 变小以保证系统稳定性,同时增大 GU 以提高炉子升温速度.当炉温接近给定值时增大 GE ,减小 GU 使炉温稳态误差变小.在过渡过程中调整 GCE 使超调最小.依此思想设计三个模糊控制器 FZ_1, FZ_2, FZ_3 以实现 GE, GCE, GU 三个参数自调整^[3].

图 4 GE 参数自调整控制器

如图 4 所示 FZ_1 的输入量为时间 t 和 $|e(t)|$,输出为 GE 的放大倍数 M_1, t 的引

入是依据过渡过程中时间是个极重要参数,通常取对象纯滞后时间常数 τ 或 $\tau/2$ 为 t 的量化单元,参见表 1.

表 1 t 的量化

$t \in$	$[0, \tau)$	$[\tau, 2\tau)$	$[2\tau, 3\tau)$	$[3\tau, 4\tau)$	$[4\tau, 5\tau)$	$[5\tau, 6\tau)$	$[6\tau, 7\tau)$	$[7\tau, 8\tau)$	$[8\tau, \infty)$
等级	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4

注意这里仅利用模糊集的概念,并非实指时间为“负大”等.对 e 及 t 的量化等级分别取为 $[-4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4]$ 及 $[-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4]$.

对 M_1 的论域为 $\{\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1, 2, 4, 8\}$. 对 e, t, M_1 规定下列子集:

$$\tilde{e} = \{NB, NM, NS, NZ, PZ, PS, PM, PB\},$$

$$\tilde{t} = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\},$$

$$M_1 = \{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\}.$$

各模糊子集的隶属度函数采用正态分布型, 控制规则见表 2.

表 2 模糊控制规则表

$M_1 \backslash \tilde{t}$	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
$\tilde{e}$							
NB	NB	NM	NS	Z	NS	NM	NB
NM	NM	NS	Z	Z	Z	NS	NM
NS	NS	Z	Z	PS	PM	Z	NS
NZ	Z	Z	PM	PB	PM	Z	Z
PZ	Z	Z	PM	PB	PM	Z	Z
PS	NS	Z	Z	PS	Z	Z	NS
PM	NM	NS	Z	Z	Z	NS	NM
PB	NB	NM	NS	Z	NS	NM	NB

在过渡过程刚开始, 因 e 大, 适当减小 GE ; 在过渡过程中后期再增大 GE , 既提高动态精度又保证稳定性. 通过 Fuzzy 合成运算得查询表 3.

表 3 M_1 的查询表

$M_1 \backslash \tilde{t}$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$\tilde{e}$									
-4	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
-3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
-2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
-1	1	1	1	2	4	2	1	1	1
-0	1	2	4	4	8	4	4	2	1
+0	1	2	4	4	8	4	4	2	1
1	1	1	1	2	4	2	1	1	1
2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
3	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	1	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
4	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$

对 FZ_2, FZ_3 的设计与 FZ_1 相似, 区别在于 FZ_2 及 FZ_3 的输入为误差 e 及误差变化 Δe , 输出为 GCE 及 GU 的放大倍数 M_2 及 M_3 , 在查询表离线生成后, 三个模糊控制器 FZ_1, FZ_2, FZ_3 的程序运行如图 5。

4 现场应用

在金属镁还原炉的半年运行中, 由于采用参数自调整的智能积分 Fuzzy 控制器, 兼顾了稳定性及快速性, 使动态性能及稳态精度均收到很好效果, 从普通模糊控制温度 $1190\text{C} \pm 10\text{C}$ 提高到 $1190\text{C} \pm 5\text{C}$, 专家鉴定时获得一致好评, 属国内首创。它很容易在采用单片机一类低成本的控制系统中实现推广应用。

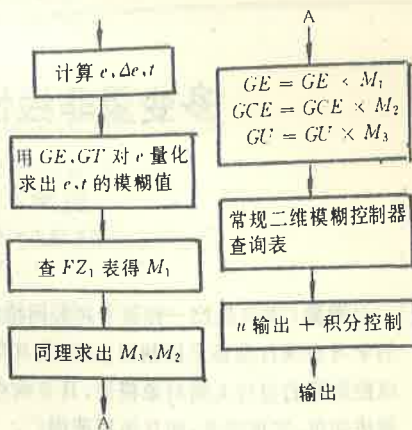


图 5 程序框图

参 考 文 献

- [1] 李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990, 111—113
- [2] 徐承伟. 关于 Fuzzy 调节器的积分作用. 自动化学报, 1985, 11: 199
- [3] Linkens, D. A. and Hasnein, S. B.. Self-Organising Fuzzy Logic Control and Application to Muscle Relaxant Anaesthesia. IEE Proceedings-Control Theory Appli, 1991, 138(3): 274—284

Research on the Raise to Precision of Fuzzy Controller

WU Jieyi

(CIMS Center, Southeast University • Nanjing, 210018, PRC)

Abstract: This paper analyses the defects of traditional fuzzy control. Intelligent integral is introduced to reduce the static errors and avoid integral saturation. Finally a parameter self-regulation fuzzy controller is designed to realize fast reaction and small overshoot.

Key words: fuzzy control; intelligent integral; parameter self-regulation

本文作者简介

吴介一 教授. 1963 年毕业于南京工学院自动控制专业. 现任东南大学 CIMS 中心副主任. 长期从事自动控制及计算机应用方面的教学、科研工作, 承担国家 863 CIMS 主题中科研课题. 现为江苏省 CIMS 专家组成员。