

文章编号 1000-5013(2003)03-0285-04

模糊与积分混合控制器

朱良红 王永初

(华侨大学机电及自动化学院, 福建 泉州 362011)

摘要 模糊控制技术具有很多优点而被广泛应用于控制领域,但其一个很大的缺陷就是无法消除稳态误差。为了解决模糊控制器的稳态误差的问题,文中提出在模糊控制器中引入积分器的两种方法。深入探讨引入积分器的时机和量的问题。通过 MATLAB 软件进行仿真试验,证明效果良好。

关键词 模糊控制, 模糊与积分混合控制, PID 控制, 智能积分器

中图分类号 TP 273⁺.4

文献标识码 A

模糊控制器不需要知道被控对象的精确数学模型。它是基于“专家知识”、采用语言规则表示的一种人工智能控制策略,具有超调小、鲁棒性强等优点。它被广泛应用于工业过程控制、军事武器控制和家电产品控制中。例如,在工业过程控制方面,有温度控制、湿度控制等;在军事武器控制方面,有导弹制导等;在家电产品控制方面,有模糊电冰箱、模糊洗衣机、模糊空调等。模糊控制虽然是一种简单有效的控制方法,但是模糊控制器有其自身的缺陷。它无法消除稳态误差问题以及容易产生极限环振荡现象,这一缺陷使之在高精度控制领域的应用受到限制。为了能把模糊控制应用于高精度控制领域,我们就必须解决模糊控制器稳态误差问题。本文正是基于解决这个问题的思路,在模糊控制系统中引入积分器,这样既发挥了常规模糊控制器的优点,又克服了其稳态误差问题。在模糊控制中引入积分器很多文献都提到过^[1-3],但都只是定性的分析,很少有人进行定量分析和试验证明。本文深入讨论了两种引入积分器的方法,并通过 MATLAB 软件的 SIMULINK 工具进行了仿真证明。

1 常规模糊控制器设计

图1为常规的模糊控制系统。图中 K_1 、 K_2 为量化因子, K_U 为比例因子, E 、 EC 和 U 分别为误差 e 、误差变化率 \dot{e} 和控制量 u 的语言变量。模糊控制器输入输出符合映射关系^[4]为 $u(t) = f(e(t), \dot{e}(t))$,映射 f 就是模糊推理器。从映射关系,我们可以知道模糊控制器类似一个PD控制器,有 $u(t) = K_P(e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt})$ 。比例调节器能加快系统响应速度。较大的比例系数可以提高稳态精度,但不可消除稳态误差;微分调节器能够有效抑制过大的超调和较强烈的振荡,但对稳态性能影响也不大。因此,只有积分器能有效解决稳态误差的问题。这是因为常规模糊

收稿日期 2003-01-02

作者简介:朱良红(1978-),男,硕士研究生, E-mail: zhu-liang-hong@mails. qqz. cn. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

控制器类似于一个 PD 控制器, 所以它具有很好的动态响应特性, 但总存在一定的稳态误差.

我们先来看看如图 1 所示的模糊控制器的设计. 在 MATLAB 工作空间敲入 FUZZY, 进入模糊控制器编辑界面. 模糊控制器是两输入一输出系统. 两输入即为系统给定值 r 与实际输出值 y 的差值 $e = r - y$ 和误差变化率 $\dot{e} = de/dt$, 其输出即为被控对象的控制量 u .

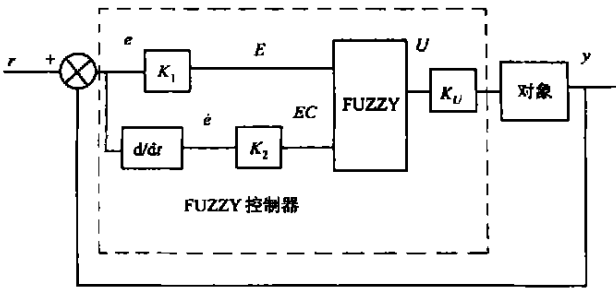


图 1 模糊控制系统结构图

输入语言变量 E, EC 和输出语言变量 U 的模糊子集为 $E = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$; $EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$; $U = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$. 它们的论域分别为 7, 7 和 7 个等级. 即 $E = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$; $EC = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$; $U = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$. 其中模糊推理算法采用 Mamdani 算法, 关系生成规则为^[6] $R(x, y) = A \Rightarrow B(x, y) = A(x) \cdot B(y)$. 推理合成规则为 $\max\text{-min}$ 复合运算^[6], 即 $R(x, y) = (A \cdot R)(y) = \bigvee_x (A(x) \cdot R(x, y))$. 模糊判决采用加权平均法也即重心法^[6], 并有 $y = \frac{\sum_{i=1}^M \bar{y}^i [u^L(\bar{y}^i)]}{\sum_{i=1}^M [u^L(\bar{y}^i)]}$. 具体的控制规则, 如表 1 所示. 常规模糊控制系统 SIMULINK 的仿真图, 如图 2 所示.

表 1 E 与 EC 关系中的 U 值

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	ZO	ZO
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	ZO
NS	NM	NM	NM	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZO	PS	PM	PM	PM
PM	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB	PB

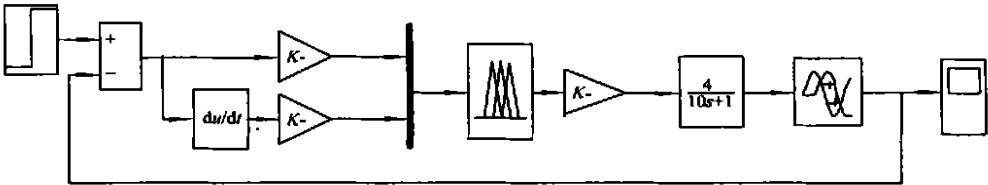


图 2 常规模糊控制 SIMILINK 仿真系统图

2 模糊与积分混合控制器

2.1 模糊与积分混合控制器设计

通过做大量的试验和阅读文献, 我们可以总结出一个结论^[6] 即在控制过程的前期阶段,

模糊控制器的效果比 PID 调节器的效果好, 特别是在抑制超调方面更为突出. 但是, 在系统进入稳定阶段, 模糊控制器的效果反而不如 PID 调节器的效果好. 这是因为模糊控制器本质上类似于一个 PD 控制器, 这也是模糊控制器不能消除稳态误差的根本原因. 为了解决 FUZZY 控制系统的稳态误差的问题, 我们自然想到引入积分调节器来消除稳态误差. 积分器的引入有很多种方法, 一般有串联引入和并联引入两大类. 其中串联引入, 如图 3 所示. 本文采用的是并联引入智能积分的方法, 即在系统满足一定的条件下切换到模糊与积分混合控制. 并联引入也

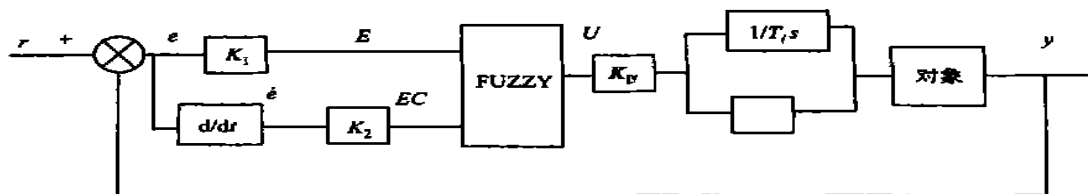


图3 FUZZY-PI 控制框图

有多种方法, 本文采用两种方法引入积分器. 方法 1 如图 4 所示, 积分器的引入靠误差来控制; 方法 2 如图 5 所示, 积分器的引入靠误差变化率来控制. 在仿真试验中, 积分器的引入由条件开关控制. 在图 4 中, 条件开关由误差 e 来控制“开”或者“闭”. 即当 $e > |\delta_1|$ 时, 积分器关; 当 $e \leq |\delta_1|$ 时, 积分器开. 在图 5 中, 条件开关由误差变化率 ec 来控制开或者闭. 即当 $ec > \delta_2$ 时, 积分器关; 当 $ec \leq \delta_2$ 时, 积分器开. 其中 δ_1, δ_2 分别为误差变化和误差变化率的设定值. 我们知道

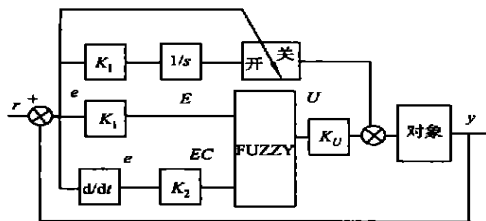


图4 模糊与积分混合控制器1系统结构图

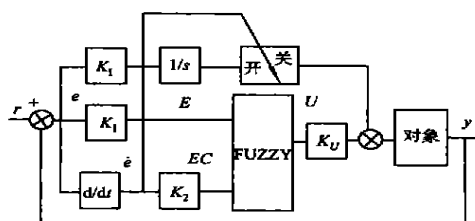


图5 模糊与积分混合控制器2系统结构图

模糊控制器的性能受量化因子、比例因子和推理规则的影响^[7], 其中推理规则的影响尤其明显. 规则多, 精度高, 但是推理时间长, 响应速度慢, 实时性差; 规则少, 响应快, 但是精度低. 在模糊与积分混合控制器中, 模糊推理规则可以比较少, 模糊控制器相当于粗调, 积分器的引入相当于细调. 这样, 使过程系统既能具有较快的动态响应, 又获得了较高的精度. 同时, 系统在整个运行过程中对参数的扰动和外界的干扰, 都有很好的鲁棒性. 模糊与积分混合控制系统仿真, 如图 6 和图 7 所示.

2.2 仿真实验

大多数工业被控对象都可以通过降价的方法, 近似于一阶惯性环节加纯滞后环节组成. 对于某工业被控对象, 其传递函数可以表示为 $G(s) = \frac{4e^{-4s}}{10s + 1}$. 为了能区分两种模糊与积分混合控制, 把它们的阶跃响应曲线分开显示. 图 8 为 PID 控制、常规模糊控制、模糊与积分混合控制 1 的阶跃响应曲线的局部放大图, 图 9 为 PID 控制、常规模糊控制、模糊与积分混合控制 2 的阶跃响应曲线的局部放大图. 在图 8 和图 9 中, 曲线 1 为常规 PID 控制, 其 3 个参数 K_p, K_i, K_d

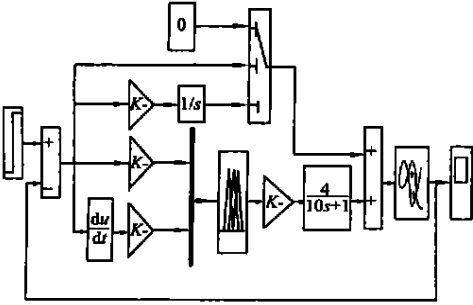


图 6 模糊与积分混合控制 1 仿真系统图

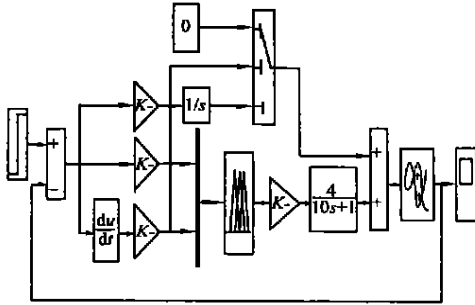


图 7 模糊与积分混合控制 2 仿真系统图

K_P, K_D 用 $Z-N$ 法确定; 曲线 2 为常规模糊控制; 曲线 3 为模糊与积分混合控制 1; 曲线 4 为模

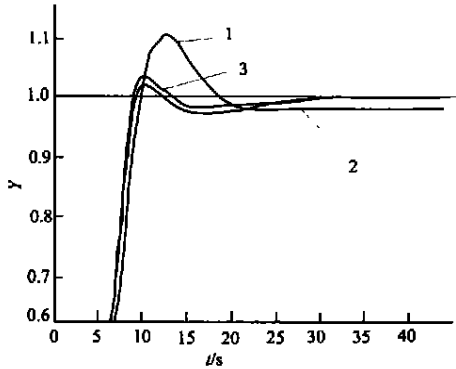


图 8 阶跃响应曲线对比局部放大图

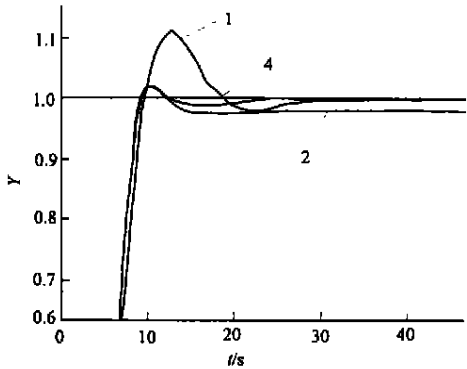


图 9 阶跃响应曲线对比局部放大图

糊与积分混合控制 2. 我们从实验曲线图 8 和图 9 中可以看出, 常规模糊控制和混合模糊控制的效果比 PID 的控制效果要好. 常规模糊控制有明显的稳态误差. 在本文对象的控制实验中其值为 0.02, 对于一般的控制精度则要求它是一种很好的控制方法. 但是, 对于高精度控制场合, 它就很难满足要求. 通常解决的办法是增加 E, EC, U 的论域等级, 虽然这在一定程度上能减少稳态误差, 但是相应的模糊规则会增加很多. 这样使得模糊化、模糊推导以及去模糊整个过程变得复杂, 从而使系统响应速度变慢, 实时性变差. 本文提出的模糊与积分混合控制在不改变常规模糊控制的控制规则的情况下, 适当时候适量引入积分器, 试验证明其控制效果非常理想. 这样既发挥了模糊控制器的优点, 又克服了其稳态误差问题.

2.3 参数 K_I 与 δ_1 和 δ_2 的选取

在本文模糊与积分混合控制中, 参数 K_I, δ_1, δ_2 的选取对控制效果有很大的影响. 因为积分器的引入主要是为了消除稳态误差, 所以 K_I 的值由常规模糊控制器控制时的稳态误差决定, 稳态误差大, 则 K_I 的值大, 稳态误差小, 则 K_I 的值小. 通过大量试验证明和数学总结, K_I 的值与稳态误差 e 的值满足近似关系 $K_I = 0.5 \Delta e$, Δe 是常规模糊控制器的稳态误差. 例如, 本文所举的例子稳态误差为 0.02, K_I 的值为 0.001. 参数 δ_1, δ_2 , 即在什么时候引入积分器的问题. 首先看看 δ_1 值的选取, 通过大量的试验, 我们总结出出一个规律. 即在常规模糊控制稳态误差比较小的情况下, δ_1 的值必须满足 $1 > |\delta_1| \geq |\Delta e|$ 条件. 条件 $|\delta_1| \geq |\Delta e|$ 是为了模糊控制器在进入稳态时, 确保积分器开. 因为稳态误差比较小, 所以 K_I 的值也比较小. δ_1 的值可以取

得比较大, 即可以比较早引入积分器, 不会产生振荡. 在常规模糊控制稳态误差比较大的情况下, δ_1 的值除满足必要条件 $|\delta_1| < |\Delta e|$ 外, 其值不能太大. 因为稳态误差大, 则 K_I 的值大. 如果过早地引入积分, 会使系统产生较大的振荡, 所以 δ_1 的值一般取 Δe 附近的值. 再来看看 δ_2 值的选取. 因为模糊控制有很好的快速响应性, 所以阶跃响应曲线上上升阶段斜率很大. 即误差变化率很大, 几乎趋向无穷. 所以 δ_2 只要满足条件 $\delta_2 > 0$, 就可以保证在模糊控制快要达到稳态时引入积分器.

3 结束语

模糊控制因为简洁、快速、鲁棒性好而被广泛应用于各种控制领域. 模糊控制本质是基于熟练工人或者某个领域的专家经验知识, 控制被控对象的. 因此, 模糊控制比较其它的控制方法, 更接近于人的思维过程, 更容易让人理解和接受, 但是, 模糊控制由于理论上还有待于进一步发展, 加上模糊控制总是存在稳态误差, 因而限制了其在高精度控制领域的应用. 本文通过在常规模糊控制器中并联引入智能积分器的方法, 能够很好的解决模糊控制器的稳态误差的问题, 使之能应用于高精度控制领域.

参 考 文 献

- 1 孔 微, 谷丽哪, 于 飞. 积分在提高模糊控制器精度中的作用[J]. 青岛化工学院学报, 2001, 22(1): 66~68
- 2 贺云波, 简 林, 林廷圻等. 模糊控制器的 3 种积分改进方法对比及应用[J]. 机床与液压, 2001, (1): 34~35
- 3 彭佩珍, 陆 平. 模糊控制器中的智能积分[J]. 南京航空航天大学学报, 1994, 22(增刊): 176~180
- 4 焦晓红, 方一鸣, 蔡满军. 过程控制系统的变积分系数 F [J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(11): 58~61
- 5 王立新. 自适应模糊系统与控制——设计与稳定性分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995. 110~131
- 6 余南华, 马文通, 王岳人等. 空调器模糊控制优化设计法——动态积分法[J]. 沈阳建筑工程学院学报(自然科学版), 2002, 18(2): 41~45
- 7 Akn E, Kaya M, Karakose M. A robust integrator algorithm with genetic based fuzzy controller feedback for direct vector control[J]. Computers & Electrical Engineering, 2003, 29(3): 379~394

Fuzzy and Integral Mixed Controller

Zhu Lianghong Wang Yongchu

(College of Electromech. Eng. & Auto., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou, China)

Abstract Fuzzy control has been widely applied to the field of control for its very much merits, however, its steady state error cannot be eliminated which is its very great flaw. In order to settle steady state error of fuzzy controller, the authors put forward two methods of leading integrator into fuzzy controller and explore the opportune moment and amount of leading integrator into it. Simulation test by way of MATLAB software proves that the effect is good.

Keywords fuzzy control, fuzzy and integral mixed control, PID control, intelligence integrator