

文章编号 :1002 - 0411(2003)03 - 0285 - 04

时滞系统的自适应模糊控制器的研究

刘晓霞 田兆福 孙金根 张玉春

(沈阳工业学院 沈阳 110016)

摘要:利用模糊控制方法研究出一种自适应智能控制器,将 Smith 预估器和内模控制结构结合起来,能在一定的模型误差范围内得到良好的控制品质.主要控制量来源于模糊控制器,通过智能积分对模糊控制器不能消除的稳定误差进行克服,并对系统性能进行监测,使用模糊控制对控制量进行校正.经仿真研究,这种智能控制器在一定的误差范围内有很好的鲁棒性,稳态误差为零.*

关键词:Smith 预估;内模控制;模糊控制;智能积分;自适应

中图分类号:TP18

文献标识码:B

RESEARCH ON SELF ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER FOR TIME DELAY SYSTEM

LIU Xiao-xia TIAN Zhao-fu SUN Jin-gen ZHANG Yu-chun

(Shenyang Institute of Technology, Shenyang 110016)

Abstract: Combined with Smith pre-estimation controller and the internal model controller, this article presents a self adaptive intelligent controller which can get better controlling performance within some range of model error with fuzzy method. The main control input comes from the fuzzy controller, at the same time, gets rid of the state error through intelligent integrator. Furthermore, it can adjust model errors by addition of a fuzzy adjuster through monitoring the system performance.

Keywords: smith pre-estimation, internal model control, fuzzy controller, intelligent integrator, self adaptive

1 引言 (Introduction)

在许多工艺过程中,经常会遇到时滞现象,这种现象的存在将导致系统动态误差增大,稳定裕度减小,时滞较大的系统会不稳定.时滞过程的控制方法很多^[1],较经典的是模型补偿控制法——Smith 预估法^[2],现在流行的智能控制方法也被广泛应用到时滞系统中.由于时滞系统很特殊,具有对象的不确定性和干扰的随机性,使得很多控制方法的应用价值不大.Smith 预估控制法能够进行时滞补偿,但需建立在精确的数学模型上,否则易引起振荡和发散,且抗干扰能力差^[3].而智能控制方法中的模糊控制不需要精确的数学模型^[4],具有较好的鲁棒性,但不能消除稳态误差,在靠近稳态时容易振荡.本文对两种方法进行结合,针对它们各自的缺点进行了改进,改进后的控制器能在一定的模型范围内得到良好的控制品质,并具有自适应能力.

control)

时滞系统控制的一个关键是能否准确地预估系统的输出,Smith 预估法可以预估系统的输出,其系统结构如图 1 所示.可以对预估出的时滞进行补偿,得到无时滞系统.但 Smith 预估器需要精确的数学模型,否则易振荡和发散,而对大部分工控系统来

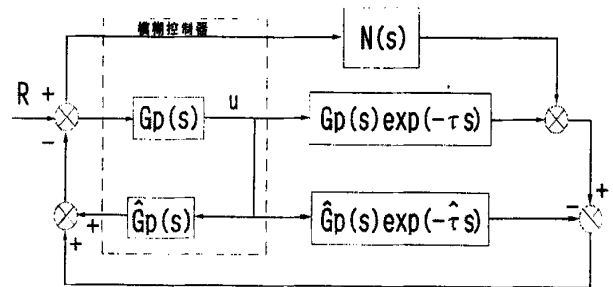


图 1 Smith 预估系统结构图

Fig.1 The chart of Smith pre-estimation structure

2 智能控制结构 (The structure of intelligent

* 收稿日期:2002 - 11 - 12

说,得到精确的数学模型很困难.所以,我们结合智能控制,提出一种新的控制方法.该方法仍利用 Smith 预估方法来预估系统的输出,但用模糊控制器代替一般的控制器和 Smith 预估器的另一部分.实质上是进行了内模等效^[5],而内模控制器就是模糊

控制器.

再加上消除稳态误差的智能积分和模糊校正环节,得到具有自适应功能的模糊控制器,其系统结构如图 2 所示.

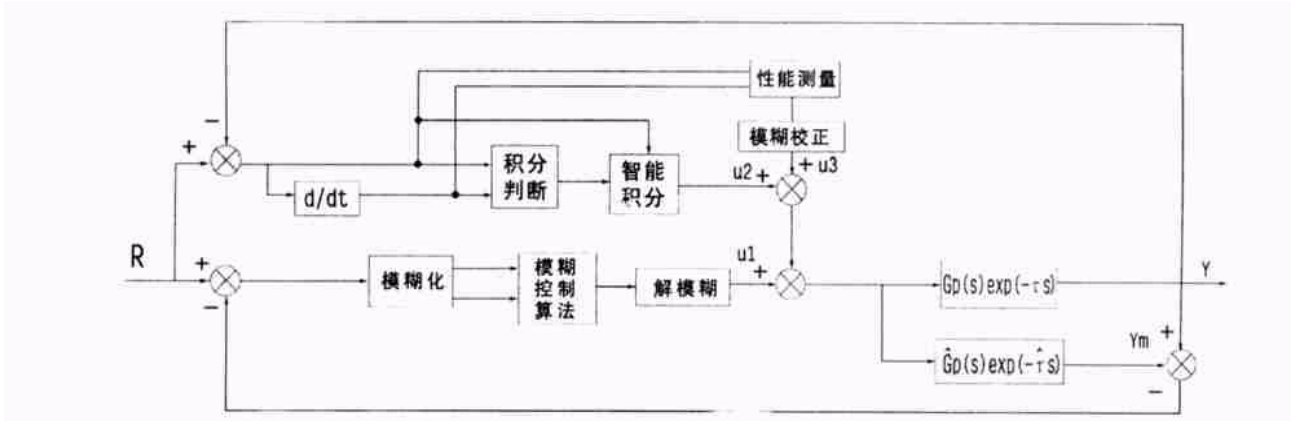


图 2 自适应模糊控制系统结构图

Fig.2 The chart of self adaptive fuzzy control system structure

图 1、图 2 中 $G_p(s) \exp(-\tau s)$ 是实际对象模型, $G_p(s) \exp(-\tau s)$ 是 Smith 预估模型,对两者的误差进行模糊控制.图 2 中,内模等效和模糊控制、性能检测和调整环节以及与模糊控制器并联的积分环节主要都是针对主控制环中的模糊控制器的输出进行补偿.

3 模糊控制器的设计 (The design of fuzzy controller)

模糊控制已成功地应用于家电、机器人控制、工业控制等领域,对于时滞系统,它的控制性能的发挥还要借助于预估系统,否则易振荡甚至发散.本文通过内部模型预估系统的输出,模糊控制的目的是克服模型误差,使系统在一定误差范围内稳定.对于模糊控制器,其输入是对象模型和预估模型之间的误差相对于系统输入的差值 e 和差值变化 Δe ,这两

个语言变量模糊化后分别用符号 E_i 、 EC_i 表示;控制器输出为 u_i ,模糊化后用 U_i 表示.实现模糊控制决策的方法很多,通常用推理合成法,要进行合成运算、模糊判决等步骤才能获得清晰值,会耗费很多计算机时间,而查表法不存在这个问题,而且简单易行^[6].本文采用查表法.

如果定义 E_i 和 EC_i 的模糊集为 $\{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$ (其中 NB 为负大, NM 为负中, NS 为负小, ZE 为零, PS 为正小, PM 为正中, PB 为正大,七级语言变量), E_i 和 EC_i 的论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$, U_i 的论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 此时 $i=1$, 则基于上面的规则,形成模糊决策表,见表 1.

这里要说明,量化因子的确定是很关键的,它不仅影响系统的动态特性,还影响到系统的稳态特性.

表 1 模糊决策表

Tab.1 A list of fuzzy policy

$E_i \backslash EC_i$	U_i	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-0	+0	1	2	3	4	5	6
-6		-6	-5	-6	-5	-3	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	0	0
-5		-5	-5	-5	-5	-3	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	0	0
-4		-6	-5	-6	-5	-3	-3	-3	-3	-2	-1	0	0	0	0
-3		-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-2	1	1	1	1	1

续表 1

- 2	- 6	- 5	- 6	- 5	- 3	- 1	- 1	- 1	0	0	2	3	2	3
- 1	- 6	- 5	- 6	- 5	- 3	- 1	- 1	0	0	2	2	3	3	3
0	- 6	- 5	- 6	- 5	- 3	0	0	0	1	3	5	6	5	6
1	- 3	- 3	- 3	- 2	0	0	0	1	3	3	5	6	5	6
2	- 3	- 3	- 3	- 1	0	1	1	1	3	3	5	6	5	6
3	- 1	- 1	- 1	0	0	1	1	1	2	2	5	5	5	5
4	0	0	0	1	1	2	3	3	3	3	5	6	5	6
5	0	0	0	1	1	2	3	3	3	3	5	6	5	6
6	0	0	0	1	1	1	3	3	3	3	5	6	5	6

4 利用模糊校正实现自适应功能 (Realizing self adaptive ability with fuzzy rectification)

性能测量功能是对系统的输出特性进行测量,了解它与期望输出之间的偏差,从而制定出对应的校正量.本文模糊校正的原则是:当偏差为负小,偏差变化为正小,此时加“正小”的校正量,使系统尽快跟上期望值;当偏差为正小,偏差变化为负小,则表

示系统输出正向期望值靠近,则校正量为零,不用校正.其他状态也以此类推,这样就得到一套输入输出的模糊校正规则.

系统偏差、偏差变化和校正输出分别表示为 E_2, EC_2, U_2 , 此时 $i = 2$, E_2 和 EC_2 的模糊集、论域、 U_2 的论域都如前面所述,基于上面的规则,得模糊校正查询表,见表 2.

表 2 模糊校正查询表

Tab.2 A list of fuzzy adjusting and inquiring

E_2 EC_2 U_2	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	- 0	+ 0	1	2	3	4	5	6
- 6	- 6	- 6	- 6	- 6	- 5	- 5	- 4	0	0	0	0	0	0	0
- 5	- 6	- 6	- 6	- 5	- 4	- 4	- 3	0	0	0	0	0	0	0
- 4	- 6	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	0	0	0	0	0	0	0
- 3	- 6	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	0	0	0	2	2	2	0
- 2	- 6	- 6	- 5	- 4	- 1	- 1	0	0	0	0	2	4	2	0
- 1	- 5	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	0	0	0	0	3	5	3	0
0	- 4	- 3	- 3	- 3	- 2	- 1	0	0	1	2	4	4	6	6
1	- 2	- 3	- 4	- 3	0	0	0	0	1	2	4	6	6	6
2	0	- 2	- 3	- 2	0	0	0	0	1	2	4	6	6	6
3	0	- 2	- 3	- 2	0	0	0	1	2	3	4	6	6	6
4	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	5	6	6	6
5	0	0	0	0	0	0	0	3	4	5	5	6	6	6
6	0	0	0	0	0	0	0	4	5	6	6	6	6	6

5 智能积分 (Intelligent integrator)

由于模糊控制器不能消除稳态误差,且在靠近稳态时容易振荡,而采用积分控制作用可以减少稳态误差,一般的积分易使系统进入饱和阶段,系统性能会下降,若积分参数选择不恰当还会导致系统振荡和发散,所以我们采用智能积分,它只在某些状态施加积分控制,并且积分的方向根据当前的需要也

不同,这样才能有效地减少系统误差.分析系统所需积分的状态,可以得到智能积分的控制算法:①当 $e * ec < 0$ 或 $e = 0$ 时,需对偏差进行积分.②当 $e * ec > 0$ 或 $e * c = 0$ 且 $e \neq 0$,不进行积分.

通过对模糊控制加上智能积分这样的系统结构进行仿真发现,积分因子的大小对系统的动态品质有较大的影响.在模糊控制器能稳定系统的情况下,

如果积分因子稍大,则系统的超调量就大,调节时间加长;如果积分因子稍小,则系统的超调变小,过渡过程比较平滑;而如果积分因子过小,则系统不能消除稳态误差,甚至会出现零点振荡现象,就好像没有积分作用下的模糊控制.因此,合理地选择积分因子对系统的控制品质至关重要.

6 仿真分析 (Simulation and analysis)

对是否进行智能积分,是否包含模糊校正进行了比较,还加入阶跃扰动进行仿真,以验证系统的抗干扰性能.仿真结果表明,如果含有模糊校正环节,则系统的快速性增强,且超调量降低,系统的控制品质得到改善,再加上智能积分环节,系统的控制性能更好.

在实际对象为 $(1/(50s+1))\exp(-50s)$, 预估模型为 $(1/(35s+1))\exp(-35s)$ 时,加入阶跃扰动下的系统响应如图 3 所示.仿真发现,不同方向、不同大小的扰动对系统的影响是完全不同的.

经仿真研究发现,这种智能控制器在一定的误差范围内有很好的鲁棒性,稳定误差为 0.

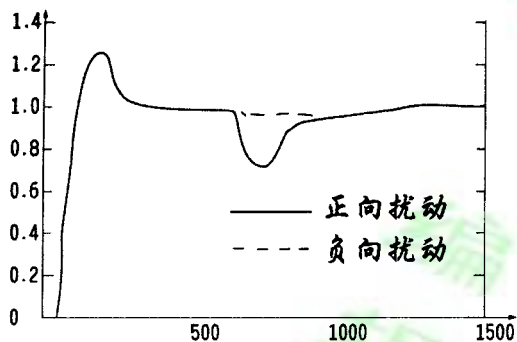


图 3 阶跃扰动下的系统响应

Fig. 3 System response under disturbance of unit pulsate

7 结语 (Conclusion)

对于时滞系统,Smith 预估器可以进行模型补偿,消除时滞影响,但需要建立严格的数字模型,而

且抗干扰性差,而严格的数学模型不易建立.本文提出了时滞系统的智能控制结构,即用模糊控制代替内模控制器.在此基础上,加入智能积分和控制量校正,来消除原来不能消除的稳态误差,从而提高系统的控制性能.通过仿真,发现系统的积分因子选择很重要,本文在调整好积分因子的基础上,对是否有智能积分的结构和是否有模糊校正的结构进行自适应结构分析.可以发现,智能积分提高了系统的快速性,同时也降低了系统的超调量;而通过模糊校正对系统性能进行自适应的结果也起到了同样的作用.所以两者结合起来,可以大大提高了系统的控制品质.

参考文献 (References)

- 1 王永初. 时滞过程的预估和控制[M]. 北京:机械工业出版社, 1987
- 2 Smith O J M. Closer control of loops with dead time[J]. Chemical Engineering Progress, 1957, 53(5): 217 ~ 219
- 3 李纪, 盛继翔. Smith 预估器的特性分析[J]. 上海工业大学学报, 1989, 10(4): 340 ~ 346
- 4 李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1990
- 5 杨智, 刘瞰东, 赵克中. 一种新的模糊内模预估控制器[J]. 甘肃科学学报, 2002, 12(1): 12 ~ 18
- 6 扎德著[美], 陈国权译. 模糊集合, 语言变量及模糊逻辑[M]. 北京:科学出版社, 1982

作者简介

刘晓霞(1970 -), 女, 硕士. 研究领域为时滞系统的智能控制, 资源的最优控制, 计算机控制理论, 数据库原理及应用研究.

田兆福(1962 -), 男, 硕士. 研究领域为计算机控制理论研究.

孙金根(1962 -), 男, 硕士. 研究领域为计算机控制理论研究.

张玉春(1961 -), 女, 硕士. 研究领域为计算机控制.

(上接第 280 页)

- 10 邓宏钟, 等. 用基于多智能体的整体建模仿真方法来研究复杂系统中的问题[J]. 系统工程, 2000, 18: 73 ~ 78

作者简介

曾宏坤(1967 -), 男, 博士研究生. 研究领域为复杂系统理论, 分布式人工智能和遗传算法.

沈德耀(1936 -), 男, 博士生导师. 研究领域为自动控制理论, 计算机过程控制等.