

# 模糊 PID 控制在电视跟踪伺服系统中的应用

韩亚蒙<sup>1,2</sup> 马健康<sup>1</sup> 张颖<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 针对电视跟踪伺服系统提出了一种模糊 PID 控制方法, 该方法结合简单模糊控制与常规 PID 控制的优点, 讨论了模糊 PID 控制器的设计方法, 同时利用 MATLAB 软件中的模糊控制工具箱进行了系统的辅助设计与仿真实验. 仿真结果表明, 该控制方法可使电视跟踪伺服系统性能得到提高.

**关键词** 模糊 PID 控制; 伺服系统; 仿真

**中图分类号** TP229 **文献标识码** A

## 0 引言

常规 PID 控制<sup>[1]</sup>是过程控制中应用最广泛的一种基本控制规律, 具有原理简单、较好的鲁棒性和稳定性的特点, 其性能也已为广大工程技术人员所了解. 然而, 常规 PID 控制对于更多被控对象中广泛存在的高阶、参数时变、非线性等, 已经不能提供好的控制性能. 模糊控制<sup>[2,3,5~7]</sup>可以有效的实现人的控制策略和经验, 不需要被控对象的数学模型即可实现较好的控制且具有较强的鲁棒性, 能够较好的克服系统中的不确定因素. 但是, 模糊控制也存在着控制准确度低的缺点. 模糊 PID 控制<sup>[2,7]</sup>克服了常规 PID 控制与模糊控制的缺点, 它既能使系统具有较高的控制准确度, 又具有较强的适应性, 提高了控制性能.

## 1 参数自整定模糊 PID 控制器的设计

### 1.1 模糊 PID 控制的基本原理

典型 PID 只能利用一组固定参数进行控制, 这些参数不能兼顾动态性能和静态性能之间、设定值和抑制扰动之间的矛盾. 为此, 控制系统引入模糊推理, 在 PID 初值基础上通过对其参数进行在线修改, 以满足不同  $e$  和  $ec$  时对控制参数的不同要求, 而使被控对象有良好的动、静态性能.

模糊 PID 控制系统如图 1, 模糊控制器以偏差  $e$

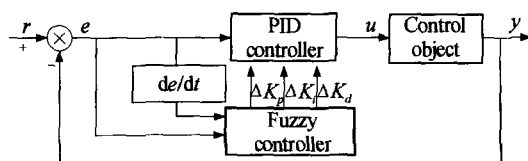


图 1 参数自整定模糊 PID 系统结构  
Fig. 1 System structure of fuzzy PID with parameter auto-tuning

和偏差变化  $ec$  作为输入, 修正参数  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  为输出, 则 PID 控制器输出的参数  $K_p, K_i, K_d$  为式 (1),  $K_p', K_i', K_d'$  为预整定值.

$$\begin{aligned} K_p &= K_p' + \Delta K_p \\ K_i &= K_i' + \Delta K_i \\ K_d &= K_d' + \Delta K_d \end{aligned} \quad (1)$$

### 1.2 模糊控制器的设计

#### 1.2.1 论域、模糊子集及隶属函数的选择

7 个语言变量 {负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大} 表示了 7 个模糊子集 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}. 模糊子集的数量决定了对所研究的变量论域的模糊分割的精细程度. 模糊子集太少则模糊分割太粗, 影响系统控制准确度; 模糊子集多, 则模糊规则也多, 控制复杂, 但控制准确度提高. 本文中误差  $e$ , 误差的变化  $ec$ , 控制器输出  $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$  的论域均为  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , 其模糊子集都为 {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 模糊子集的隶属函数均采用三角形函数.

#### 1.2.2 建立模糊控制规则与模糊控制查询表

从系统的稳定性、响应速度、超调量和稳态准确度等各方面特性来考虑, 比例系数  $K_p$  的作用在于加快系统的响应速度, 提高系统调节准确度; 积分系数  $K_i$  的作用在于消除系统的稳态误差; 微分系数  $K_d$  的作用在于改善系统的动态特性. PID 参数的整定必须考虑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, 被控过程对参数  $K_p, K_i$  和  $K_d$  的自整定要求为:

1) 从实际操作过程的角度出发, 在调节过程的初期和中期  $K_p$  适当的增大一些, 以提高响应速度; 在调节过程的后期, 则把  $K_p$  适当的减小一些, 以提高系统的稳定性, 由此构成  $K_p$  参数模糊控制规则

表, 如表 1.

表 1  $K_i$  模糊控制规则表

$ ec $	$ e $			
	Z	S	M	B
Z	S	S	B	M
S	M	B	B	M
M	M	M	M	M
B	B	B	B	M

2) 为了避免产生积分饱和, 在控制初期  $K_i$  应小一些, 在调节过程中期, 为避免影响系统的稳定性, 积分作用应适中. 而在调节过程后期, 应增强积分作用, 以减少静差. 由此, 构造出  $K_i$  参数模糊控制规则表, 如表 2.

表 2  $K_i$  模糊控制规则表

$ ec $	$ e $			
	Z	S	M	B
Z	S	S	Z	Z
S	S	S	Z	Z
M	M	M	S	Z
B	S	Z	S	Z

3)  $K_d$  值的选取对调节动态特性的影响很大. 实际经验表明, 在调节过程初期, 加大微分作用, 可减小甚至避免超调. 在调节中期, 过程对  $K_d$  敏感,  $K_d$  应置小一些. 调节过程后期, 为了抑制扰动,  $K_d$  也应减小. 由此, 构造出  $K_d$  参数模糊控制规则表, 如表 3.

表 3  $K_d$  模糊控制规则表

$ ec $	$ e $			
	Z	S	M	B
Z	Z	S	S	S
S	S	S	M	S
M	S	S	M	M
B	S	M	B	B

上面讨论的三个控制参数的调整, 都是在一组适合的参数初值上进行的. 由于 PID 控制的鲁棒性和模糊控制的灵活性, 使得控制参数的调整对各自初值的准确度要求并不高, 因此, 本文采用 Ziegler-Nichols 法来初始化 PID 控制器的参数.

### 1.2.3 模糊控制器量化因子的选择及解模糊化方法

选择下列量化因子: 误差基本论域  $[-x_e, x_e]$ , 模糊子集的论域  $[-n, \dots, 0, \dots, n]$ ; 误差变化率基本论域  $[-x_{\dot{e}}, x_{\dot{e}}]$ , 模糊子集的论域  $[-n, \dots, 0, \dots, n]$ . 为进行模糊化处理, 必须将输入量由基本论域转换到模糊集的论域, 则有误差的量化因子为  $K_e$ , 误差变化的量化因子为  $K_{\dot{e}}$ . 即

$$K_e = n/x_e, K_{\dot{e}} = n/x_{\dot{e}} \quad (2)$$

解模糊的过程实际上是把模糊推理得到的模糊输出

映射到实际输出作用上, 即必须转换到基本论域中去. 重心法充分利用了输出模糊集合提供的有用信息且控制性能好, 故采用重心法进行解模糊化.

## 2 模糊 PID 控制电视跟踪伺服系统的设计与仿真

电视跟踪<sup>[8]</sup>伺服系统<sup>[9]</sup>采用速度内环和位置外环的双闭环控制结构. 速度内环仍采用测速机及硬件电路构成的单闭环控制系统, 其特点是响应速度快, 可靠性高, 抗干扰能力强, 特性较“硬”. 本文则尝试在位置环中采用模糊 PID 控制, 以期系统的性能有所提高.

在设计模糊控制器时, 利用 MATLAB 提供的模糊控制工具箱, 可以很方便的进行模糊控制器的设计, 其中包括模糊输入量与输出量的确定、输入与输出范围的设定、隶属函数、模糊推理方法, 解模糊方法的选择以及模糊控制规则的添加与修改等. 常规 PID 控制器按二阶无静差系统设计, 被控对象为

$$G(s) = 21/(2s^2 + 5s + 3)$$

电视跟踪模糊 PID 控制伺服系统的仿真结果如图 2, I 是系统按常规 PID 校正时的位置环阶跃响应曲线, II 是系统按模糊 PID 控制时的位置环阶跃响应曲线. 由图 2 可知, 模糊 PID 控制有效地抑制了超调, 减小了调节时间, 同时也可使电视跟踪伺服系统实现无静差控制.

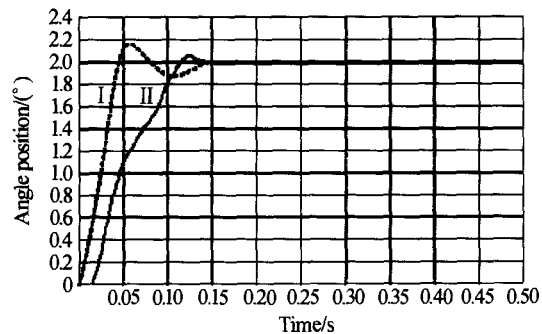


图 2 仿真结果  
Fig. 2 Simulation results

## 3 结论

本文针对电视自动跟踪伺服系统提出了一种参数自整定模糊 PID 控制方法, 详细讨论了模糊 PID 控制器的设计方法, 同时利用 MATLAB 软件进行了仿真研究. 仿真结果表明, 该控制方法可提高伺服系统的动态性能, 使系统具有较强的鲁棒性, 并且使电视跟踪伺服系统的性能有所提高, 也是电视跟踪伺服系统实现智能控制的一种途径.

### 参考文献

1 胡寿松. 自动控制原理. 北京: 国防工业出版社, 1994, 3:

- 72~96;6:243~259  
Hu S S. Automatic Control Theory. Beijing: National Defence Industry Press, 1994, 3:72~96; 6:243~259
- 2 王树青. 先进控制技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2001, 7:132~153  
Wang S Q. Advanced Control Techniques and Application. Beijing: Chemistry Industry Press, 2001, 7: 132~153
- 3 吴晓莉, 林哲辉. MATLAB 辅助模糊系统设计. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002, 3:46~119; 4:125~157  
Wu X L, Lin Z H. Fuzzy-System Design with MATLAB. Xi'an: Xidian University Publishing House, 2002, 3: 46~119; 4:125~157
- 4 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真. 北京: 电子工业出版社, 2003, 3:67~80  
Liu J K. Advanced PID Control and MATLAB Simulation. Beijing: Electronics Industry Press, 2003, 3: 67~80
- 5 唐运刚, 曹剑中, 李变侠, 等. 一种高速摄影机同步控制系统. 光子学报, 2004, 33(8):1021~1024  
Tang Y G, Cao J Z, Li B X, et al. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(8):1021~1024
- 6 马彩文, 曹剑中. PI-P 控制算法在弱刚度伺服系统中的应用. 光子学报, 2004, 33(7): 859~861  
Ma C W, Cao J Z. Acta Photonica Sinica, 2004, 33(7): 859~861

## The Application of Fuzzy - PID Control in TV Follow Servo System

Han Yameng<sup>1,2</sup>, Ma Jiankang<sup>1</sup>, Zhang Ying<sup>1,2</sup>

1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy Sciences, Xi'an 710068

2 Graduate Student College of the Chinese Academy Sciences, Beijing 100039

Received date: 2004-10-26

**Abstract** A new method based on the fuzzy - PID control was presented which was suitable for TV follow servo system. The advantages of simple fuzzy control and traditional PID control were combined in this method. A designing method of fuzzy - PID controller was given, then an example of how to design and simulate the system by using the software MATLAB was introduced. The simulation results show that the performance of TV follow servo system is improved by using the proposed controller.

**Keywords** Fuzzy - PID control; Servo system; Simulation



**Han Yameng** was born in 1977, in Shaanxi Province. She graduated from Xi'an University of Engineering Science & Technology in industrial automation and received her B. S. degree in 2001. She entered Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics in 2002 and received the Master's Degree in 2005. Her researches include control theory and control engineering.