

文章编号:1673-9981(2007)01-0065-04

# 论域调整模糊 PID 液位控制系统的仿真研究

潘永平,王钦若,严克剑

(广东工业大学自动化学院,广东广州 510090)

**摘要:**针对液位控制系统的大时滞、时变特性,提出一种基于变论域模糊控制理论的自适应模糊 PID 控制方法。该方法通过论域调整改善模糊 PID 控制器参数的调整精度和范围,具有良好的自适应能力和鲁棒性能。可以用更简单的实现方法获得比基于遗传整定的模糊免疫 PID 控制方法更好的控制质量。仿真结果验证了其优越性。

**关键词:**论域调整;自适应控制;模糊 PID 控制;液位控制

**中图分类号:** TP273

**文献标识码:** A

工业生产过程中的液位控制系统通常具有大时滞、时变的特性。传统的模糊 PID 控制<sup>[1-2]</sup>的参数一般不易调准,于是有学者提出了自适应模糊 PID 控制<sup>[3-5]</sup>,但它不能解决纯滞后引起的相位滞后问题。Smith 预估控制解决了系统的大时滞问题,但其控制的高精度依赖于精确的数学模型,难以解决工业过程中的时变问题<sup>[6]</sup>。虽然基于遗传镇定的模糊免疫 PID 控制在大气时滞、时变液位控制系统中取得了较好的控制效果<sup>[7]</sup>,但其算法比较复杂,且没有达到理想的控制效果。本文针对具有大气时滞、时变特性的液位控制系统,提出基于论域调整的自适应模糊 PID 控制,通过论域自适应调整律,改善模糊 PID 控制器参数的调整精度和范围,取得了比文献<sup>[7]</sup>的方法更好的控制效果。

## 1 论域调整模糊 PID 控制

模糊 PID 控制相对于传统 PID 控制,具有一定的抑制超调量、提高响应速度的能力,缺点是模糊控制器一旦确定,其结构就不能在线修改,因而自适应能力有限。将变论域模糊控制理论<sup>[8]</sup>与模糊 PID 控

制原理相结合所设计的模糊控制器,可以通过论域自适应调整律,改善模糊 PID 控制器参数的调整精度和范围,克服常规模糊 PID 控制自适应能力有限的缺点。研究表明,调整输入模糊控制器的量化因子  $K_e$  和  $K_{ec}$  及比例因子  $K_p, K_i$  和  $K_d$ , 实际上是把模糊控制器中的论域划分压缩或者扩张,在本质上与变论域模糊控制系统相同。

论域调整模糊 PID 控制原理的框图如图 1 所示。图 1 中,  $E$  和  $E_c$  分别表示系统偏差  $e$  和偏差变化率  $e_c$  经过量化后模糊控制器的输入量,  $K_p, K_i$  和  $K_d$  表示模糊控制器输出量。性能测量环节是根据输出  $y$  计算当前  $e$  和  $e_c$  并量化处理。通过论域自适应调整律计算伸缩因子  $\alpha, \beta$  和  $\gamma$ , 实现量化因子和比例因子的在线调节,从而达到论域调整自适应控制的目的。

设  $X_1 = [-E, E]$ ,  $X_2 = [-E_c, E_c]$  和  $Y = [-U, U]$  分别为输入变量  $e, e_c$  和三个输出变量的论域。根据伸缩因子的选择方法<sup>[9]</sup>, 设计出输入  $e$  和  $e_c$  的论域  $X_1$  和  $X_2$  的伸缩因子结构:

$$\alpha(e) = \left(\frac{|e|}{E}\right)^{\tau_1}, \quad \beta(e_c) = \left(\frac{|e_c|}{E_c}\right)^{\tau_2}, \quad (1)$$

式(1)中,  $e \in [-E, E]$ ,  $e_c \in [-E_c, E_c]$ ,  $0 < \tau_1 < 1$ ,  $0 < \tau_2 < 1$ 。

收稿日期:2006-05-12

作者简介:潘永平(1982-),男,广东梅州人,硕士研究生。

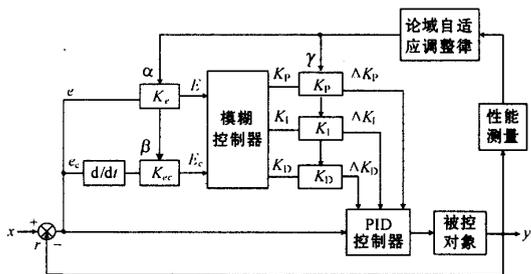


图1 论域调整模糊PID控制原理框图

Fig. 1 Block diagram of fuzzy-PID control with universe adjusting

设  $\gamma$  为论域  $Y$  的伸缩因子. 令  $e = [e, e_c]^T$ , 控制目标为:  $\lim_{t \rightarrow \infty} \|e(t)\| = 0$ , 则  $\gamma(t)$  应与  $e(t)$  成正比, 如此可以推导出  $\gamma(t)$  的离散表达式<sup>[10]</sup>:

$$\begin{aligned} \gamma(k) &= KT \sum_{k=1}^n eP + \gamma(0) \\ &= KT \sum_{k=1}^n [p_1 e(k) + p_2 e_c(k)] + \gamma(0). \end{aligned} \tag{2}$$

式(2)中,  $K$  为比例常数,  $P = [p_1, p_2]$  为常数向量,  $\gamma(0)$  为  $\gamma$  的初始值,  $T$  为系统的采样周期.

输出论域随着输入论域的伸缩而伸缩, 而且其伸缩范围与两个输入论域  $X_1$  和  $X_2$  的伸缩范围同时有关, 故  $\gamma$  的最终设计为:

$$\gamma(k) = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{|e(k)|}{E} \right)^{\alpha_1} + \left( \frac{|e_c(k)|}{E_c} \right)^{\alpha_2} \right] \times$$

$$\left\{ KT \sum_{k=1}^n [p_1 e(k) + p_2 e_c(k)] + \gamma(0) \right\}. \tag{3}$$

## 2 仿真分析

### 2.1 液位控制系统模型

选用文献[7]辨识得到的双容液位控制系统模型:

$$G(s) = \frac{K_0}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-\tau s}, \tag{4}$$

式(4)中的参数初始值为  $K_0 = 7.9, T_1 = 929.4, T_2 = 325.2, \tau = 20s$ .

### 2.2 模糊PID控制器设计

模糊控制器输入输出的划分如图2所示, 其中NB, NM, NS, ZO, PS, PM 及PB表示输入输出的语言变量. 根据  $K_p, K_i$  和  $K_d$  在控制过程中的作用和现场调试经验, 得出模糊控制规则如表1所列.

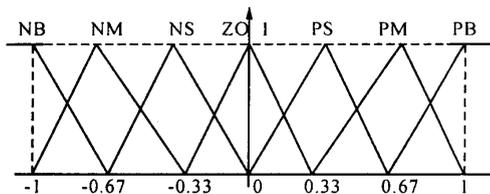


图2 模糊输入输出隶属函数

Fig.2 Fuzzy partition of input and output

表1 模糊PID控制  $K_p/K_i/K_d$  的调整规则

Table 1 Fuzzy PID control  $K_p/K_i/K_d$  adjusting rules

$E_c$	$E$						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/PS	PM/NB/ZO	PM/NM/ZO	PS/NM/ZO	PS/ZO/PB	ZO/ZO/PB
NM	PB/NB/NS	PB/NB/NS	PM/NM/NS	PM/NM/NS	PS/NS/ZO	ZO/ZO/NS	ZO/ZO/PM
NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PM/NS/NM	PS/NS/NS	ZO/ZO/ZO	NS/PS/PS	NM/PS/PM
ZO	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/ZO	NM/PS/PS	NM/PM/PM
PS	PS/NS/NB	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NS/PS/ZO	NM/PM/PS	NM/PM/PS
PM	ZO/ZO/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO	NM/PB/PS	NB/PB/PS
PB	ZO/ZO/PS	NS/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PB/ZO	NB/PB/PB	NB/PB/PB

### 2.3 控制器参数的选择

利用 Ziegler-Nichols 法整定 PID 参数的初始

值  $K_p', K_i'$  和  $K_d'$ . 量化因子的计算公式为:

$$K_e = \frac{e_{\max}}{E}, \quad K_{\alpha} = \frac{e_c \max}{E_c}. \tag{5}$$

以偏差绝对值乘时间的积分(ITAE)为系统的性能指标,即:

$$Q_{ITAE} = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt. \quad (6)$$

比例因子  $K_P, K_I, K_D$  的选取原则是,以使系统的性能指标  $Q_{ITAE}$  达到最小为最优,并按照 PID 参数的整定方法来调整。

$$\text{选取 } \alpha(e) = \left(\frac{|e|}{E}\right)^{0.6}, \beta(e_c) = \left(\frac{|e_c|}{E_c}\right)^{0.6};$$

$$P=[2,2], K=2, T=0.1, \gamma(0)=1.$$

### 2.4 仿真对比分析

当阶跃信号延时为 0, 终值为 1, 运行时间

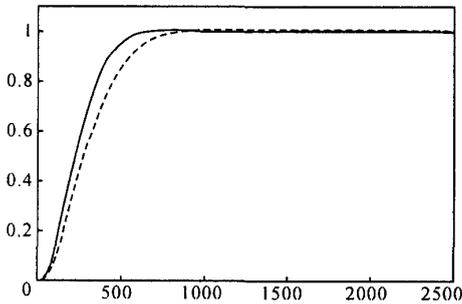


图 3 初始参数阶跃响应

Fig. 3 Response curve of initial parameters

$t=2500$  s, 超调量为  $\sigma\%$ , 调节时间为  $t_s$  (2% 误差范围) 时, 初始参数下的 PID 控制和论域调整模糊 PID 控制(VFPID 控制)的阶跃响应的仿真结果如图 3 所示. 当  $K_0, T_1$  和  $T_2$  分别增加 50%, 40%, 30%, 即  $K_0=11.85, T_1=1301.2, T_2=422.76$  时, 其仿真结果如图 4 所示。

由图 3 可见, PID 控制的  $t_s=740$  s, VFPID 控制的  $t_s=550$  s, 两种控制方法都可以获得几乎无超调的响应, 而且 VFPID 控制具有更快的响应速度. 而文献[7]中的方法  $t_s \approx 2200$  s, 且响应曲线出现波动。

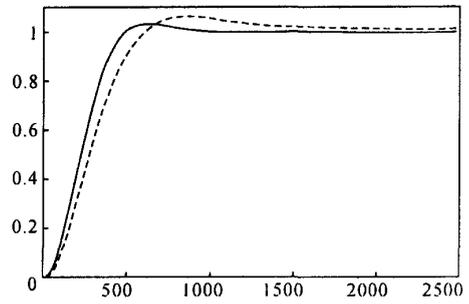


图 4 变参数阶跃响应

Fig. 4 Response curve of changing the parameters

由图 4 可见, PID 控制的  $t_s=1650$  s,  $\sigma\%=6.6$ , 有 1.3% 的稳态误差; VFPID 控制的  $t_s=840$  s,  $\sigma\%=3.3$ , 没有稳态误差. 由此可见, VFPID 控制表现出了很好的自适应能力和鲁棒性, 其结果同样较文献[7]中的要好得多。

## 3 结 论

针对大时滞、时变的双容液位控制系统, 论域调整自适应模糊 PID 控制比常规 PID 控制具有更快的响应速度, 更好的自适应能力和更强的鲁棒性, 以较简单的控制方法得到了比文献[7]更好的控制效果。

### 参考文献:

[1] 吕剑虹, 陈来九. 模糊 PID 控制器及在汽温控制系统中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 1995, 15(1): 16-21.  
 [2] 潘祥亮, 罗利文. 模糊 PID 控制在工业锅炉控制系统中的应用[J]. 微计算机信息(测控自动化), 2004, 20(7): 1-2.

[3] 李向明, 陈红珍, 刘明兰. 自校正自调整 PID 模糊控制器仿真研究[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2003, 25(3): 74-77.  
 [4] 陈晓冲, 王万平. 常规 PID 控制和模糊自适应 PID 控制仿真研究[J]. 机床与液压, 2004(12): 65-66.  
 [5] 况荣华, 容太平. 一种新型 PID 参数自适应模糊控制器[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(6): 25-27.  
 [6] 金建涛, 王广军. 基于 Smith 预估器的变论域模糊控制[J]. 计算机仿真, 2005, 22(8): 148-150.  
 [7] 辛菁, 刘丁, 杜金华, 等. 基于遗传整定的模糊免疫 PID 控制器在液位控制系统中的应用研究[J]. 信息与控制, 2004, 33(4): 481-485.  
 [8] 李洪兴. 变论域自适应模糊控制器[J]. 中国科学 E 辑, 1999, 29(1): 32-42.  
 [9] 田勇, 沈祖谔, 刘保国. 变论域模糊控制器及其应用研究[J]. 现代制造工程, 2005(4): 98-100.  
 [10] 李洪兴, 苗志宏, 王加银. 非线性系统的变论域稳定自适应模糊控制[J]. 中国科学 E 辑, 2002, 32(2): 211-223.

## Simulation of fuzzy-PID control with universe adjusting in liquid-level control system

PAN Yong-ping, WANG Qin-ruo, YAN Ke-jian

*(Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)*

**Abstract:** Based on the theory of fuzzy control with variable universe, an adaptive fuzzy-PID control with universe adjusting for large-lag and time-varying liquid-level system is proposed. The solution improves the adjusting precision and range of fuzzy-PID controller through universe adjusting and has well adaptive ability and robustness. It attains better controlling quality than the fuzzy immune PID control algorithm based on genetic turning approach with easier realizing solution. The simulating results demonstrate the effectiveness of this approach.

**Key words:** universe adjusting; adaptive control; fuzzy-PID control; liquid-level control