

# 基于模糊控制理论的 PID 控制器的仿真研究<sup>①</sup>

姚 松, 蒋念平

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200000)

**摘 要:** 介绍了一种基于模糊控制理论的自适应 PID 控制, 即以模糊控制为基础调节比例、积分、微分的参数, 将模糊控制理论与 PID 控制器结合起来, 从而更精确的达到系统的要求。通过 MATLAB 的 SIMULINK 的仿真实验室, 系统在模糊控制和 PID 控制器联合控制下, 系统的动态仿真图像与传统 PID 控制相比具有自适应性强、调节时间短和鲁棒性好等优点。

**关键词:** PID; 模糊控制; MATLAB; 仿真; 控制系统

## Simulation Study on PID Control Based on the Fuzzy Control Theory

YAO Song, JIANG Nian-Ping

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200000, China)

**Abstract:** This paper describes a focus on control of the theory to control the pid, a control on the basis of adjustment and integration, in proportion to the differential of parameters, will be blurred with pid controller control theory be combined, which is more accurate to systems requirements. This article by matlab and simulink for the simulation in laboratories system of control and pid controller dim union under control system is simulation image as compared with a pid control from adaptable, adjustment time and lu great.

**Key words:** PID; fuzzy rules; MATLAB; control system

常规 PID 问世近几十年来, 因其结构简单、鲁棒性好、工作可靠、调整方便而成为应用于工业控制的主要技术之一。但是对于处理更为复杂的系统及控制要求更加苛刻的系统来说, 常规 PID 就显得不甚理想。模糊控制是一种基于规则的控制, 它直接采用语言型控制规则, 出发点是现场操作人员的控制经验或相关专家的知识, 在设计中不需要建立被控对象的精确的数学模型, 因而使得控制机理和策略易于接受与理解, 设计简单, 便于应用。由工业过程的定性认识出发, 比较容易建立语言控制规则, 因而模糊控制对那些数学模型难以获取, 动态特性不易掌握或变化非常显著的对象非常适用。基于模型的控制算法及系统设计方法, 由于出发点和性能指标的不同, 容易导致较大差异; 但一个系统语言控制规则却具有相对的独立性, 利用这些控制规律间的模糊连接, 容易找到折中的选择, 使控制效果优于常规控制器。模糊控制是基于启

发性的知识及语言决策规则设计的, 这有利于模拟人工控制的过程和方法, 增强控制系统的适应能力, 使之具有一定的智能水平。模糊控制系统的鲁棒性强, 干扰和参数变化对控制效果的影响被大大减弱, 尤其适合于非线性、时变及纯滞后系统的控制。本文结合传统 PID 控制方式及模糊控制理论的优势, 实现了更好的控制。这种控制方式不需要建立精确地被控对象的模型, 使用自然语言方法, 易于掌握控制的方式, 可以在较大范围内提高鲁棒性能, 且与常规 PID 控制相比, 动态性能优良。

## 1 模糊自适应PID控制器的设计

### 1.1 控制器结构及工作原理

基于模糊自适应 PID 控制器的结构如图 1 所示, 其中二维模糊控制器采用了双输入三输出的模式, 它以偏差  $e$ ,  $ec$  为模糊控制器的输入, 以 PID 控制器的

① 收稿时间:2011-03-05;收到修改稿时间:2011-04-21

三个参数比例系数  $K_p$ ，微分数  $K_d$ ，积分系数  $K_i$  为输出，以满足系统对 PID 参数整定的要求。从而使被控对象有更优良的动态响应和静态响应。

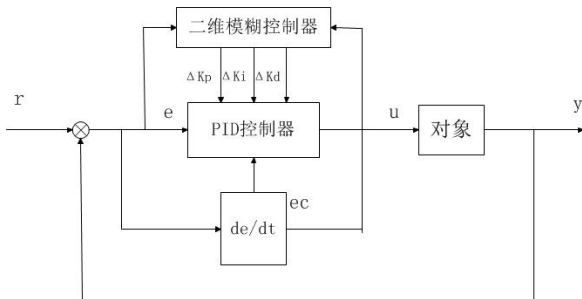


图 1 模糊自适应 PID 控制器控制结构

最终得到的 PID 控制的三个参数为：

$$K_p = K'_p + \Delta K_p \quad (1)$$

$$K_i = K'_i + \Delta K_i \quad (2)$$

$$K_d = K'_d + \Delta K_d \quad (3)$$

其中  $K'_p$ ， $K'_i$ ， $K'_d$  为系统 PID 三个参数的初始量。

根据 PID 模糊控制器误差  $e$ 、误差变化率  $ec$  和 PID 三个参数变化量的模糊关系，根据模糊规则来对三个参数的实时调整，满足系统的要求。

**比例环节：**根据偏差量成比例的调节系统控制量，以此产生控制作用，减少偏差。比例系数的作用是增加系统响应的速度，比例系数越大，系统响应越快，但系统容易产生超调，比例系数过小，会影响系统调节的精度，系统响应时间变长，系统的动态响应变差。

**积分环节：**用于消除静差，提高系统的无差度，积分时间常数决定着积分环节作用的强度，但是积分作用过强的话会影响系统的稳定性。

**微分环节：**根据偏差量的变化趋势来调节系统控制量，在偏差信号发生较大变化之前，提早引入一个校正信号，起到加快系统动作速度，减少调节时间的作用，调节微分参数需要注意微分作用太强可能会引起系统振荡。

### 1.2 模糊自适应 PID 控制器的设计

PID 模糊控制的重要任务就是要找出 PID 三个参数及误差  $e$  和误差变化率  $ec$  之间的模糊关系，并在运行中不断检测  $e$  和  $ec$ ，根据确定的模糊规则来对三个参数进行在线调整。满足不同  $e$  和  $ec$  对三个参数的不同要求。

控制规则为：

当  $|e|$  比较大时，为了使系统有较好的跟踪性能，应选取较大的  $K_p$  和较小的  $K_d$ ，同时为避免引起较大的超调，应对积分参数加以限制。

当  $|e|$  不太大时，为了使系统具有较小的超调， $K_p$  应取较小些， $K_d$  对系统影响较大，应取较小些。

当  $|e|$  比较小时，为了使系统具有较好的稳定性能， $K_p$  和  $K_i$  应取得大些。同时，为了避免系统在设定值出现振荡，并考虑系统抗干扰性能，当  $|ec|$  较大时， $K_d$  可取值稍小些，当  $|ec|$  较小时， $K_d$  可取值稍大些。

### 1.3 模糊控制表的制定

模糊控制规则是模糊控制器的核心，它相当于传统控制系统中的校正装置或补偿器（如 PID 控制器），是设计控制系统的主要内容。模糊控制规则的生成方法大体上有两种：一种是根据操作人员或专家对系统进行控制的实际操作经验和知识，归纳总结得出的；另一种是对系统进行测试实验，从分析系统的输入输出数据中，归纳总结出来的。

模糊规则是由一系列的模糊条件语句组成的，即由许多模糊蕴含关系构成。这些条件语句是大量实验观测和操作经验的归纳总结，在近似推理中认为它们是可靠的依据，是推理的出发点和得到的正确结论的根据和基础。每条模糊条件语句都给出模糊蕴含关系，即一条控制规则。若有  $n$  条规则，就把它们表达的  $n$  个模糊蕴含关系 ( $i=1,2,\dots,n$ ) 做并运算，构成系统总的模糊蕴含关系  $R$ ：

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_{n-1} \cup R_n = \bigcup_{i=1}^n R_i$$

当采样得出的输入变量  $x$ ，经过模糊化映射成模糊量  $X$ ，则按近似推理合成法则，可以得出输出的模糊量为：

$$U = X \circ R = (X \circ R) \cup (X \circ R) \cup \dots \cup (X \circ R) \cup (X \circ R)$$

由于  $X$  未必能激活每条模糊规则，所以  $(X \circ R_i) (i=1,2,\dots,n)$  中可能有的项为零，求并时不予考虑。由计算  $U$  的公式可知，构建语言型模糊控制器的关键，是根据经验总结出模糊规则，离线得出  $n$  条模糊条件语句，从而求出系统的总模糊蕴含关系  $R$ ，这是进行模糊推理的大前提。当采样得出输入量  $x$  时，将它模糊化并送入模糊推理机，经过近似推理，就能算出输出模糊量  $U$ 。PID 三个参数的适应必须考虑到

不同时刻三个参数的作用以及相互之间的关系。将模糊控制器的输入系统误差  $e$  和系统误差变化率  $ec$  以及输出  $Kp$ ,  $Ki$ ,  $Kd$  的变化范围为模糊集上的论域,  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ , 其模糊子集为  $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ , 即  $\{负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大\}$ 。且设  $e$ ,  $ec$  和  $Kp$ ,  $Ki$ ,  $Kd$  均服从三角形隶属函数曲线如表 2, 3, 4。

表 1 输入量与控制量的隶属函数度函数赋值表

	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
-6							1
-5						0.5	0.5
-4						1	
-3					0.5	0.5	
-2					1		
-1			0.5	0.5			
0			1				
1			0.5	0.5			
2			1				
3		0.5	0.5				
4		1					
5	0.5	0.5					
6	1						

表 2  $\Delta Kp$  的三角形隶属函数分布表

$e$ $ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 2  $\Delta Ki$  的三角形隶属函数分布表

$e$ $ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PS	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

表 2  $\Delta Kd$  的三角形隶属函数分布表

$e$ $ec$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

1.4 模糊自适应 PID 的仿真研究

被控对象的传递函数为

$$Gp(s) = \frac{6.7}{3.6s^3 + 23s^2 + s}$$

采用阶跃响应为系统的信号源, 并且采用模糊 PID 作为系统的控制方法, 仿真系统的响应结果。下图为模糊工具箱模糊规则及隶属函数的建立。

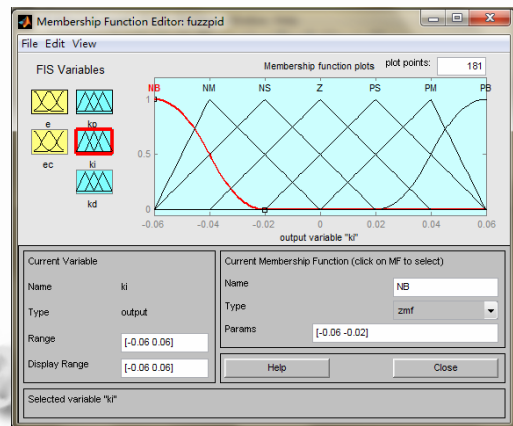


图 2 模糊工具箱建立模糊规则

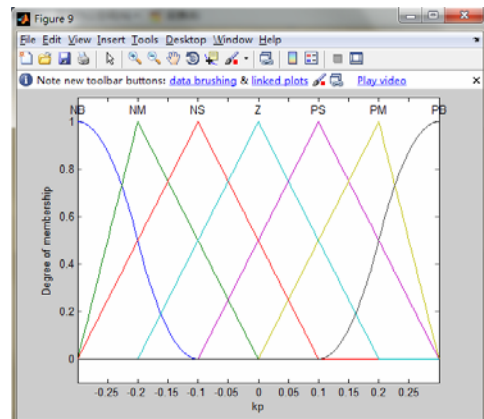


图 3 模糊工具箱隶属函数的建立

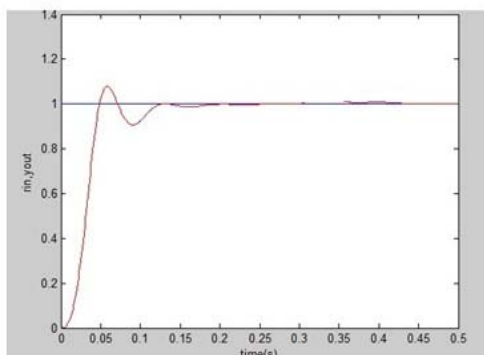


图4 模糊PID的系统响应系统

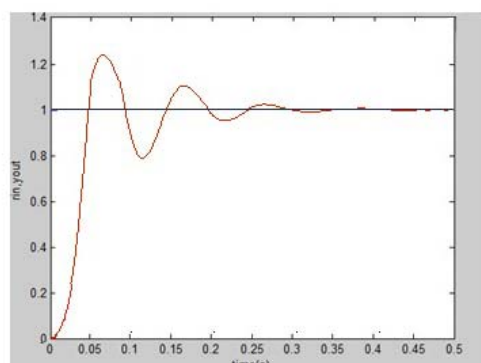


图5 普通PID的系统响应

## 2 结语

利用 MATLAB 的 SIMULINK 仿真工具, 对三阶对象进行了仿真, 表明普通 PID 难以做到很好的控制效果, 同时三个参数也不易确定, 但是采用模糊理论基础的 PID 控制就能达到很好的控制效果。从系统的仿真性能来看, 这种控制器有着良好的快速性与稳定性, 动态性能好, 鲁棒性强, 是一种较为理想的控制方案。

## 参考文献

- 1 石辛民. 模糊控制及其 MATLAB 仿真. 北京: 清华大学出版社, 2008. 1-67.
- 2 刘金琨. 先进PID控制及其Matlab仿真. 北京: 电子工业出版社, 2003. 59-176.
- 3 李益华, 王国伟, 李源. 基于模糊自适应PID的锅炉汽包水位控制. 自动化与仪器仪表, 2010. 75-78.
- 4 王立新. 模糊系统与模糊控制教程. 北京: 清华大学出版社, 2003. 167-171.
- 5 张琨, 毕靖, 丛滨. MATLAB7.6 从入门到精通. 北京: 电子工业出版社, 2009. 228-275.

(上接第 112 页)

和疵点分割, 最后利用支持向量机对提取的特征进行分类识别。仿真实验验证了该方法的有效性。

## 参考文献

- 1 韩润萍, 孙苏榕, 姜玲. 基于 Gabor 滤波器组的织物疵点检测方法. 计算机工程与应用, 2007, 43(7): 211-214.
- 2 Han YF, Shi PF. An adaptive level-selecting wavelet transform for texture defect detection. Image and Vision Computing, 2007, 25: 1239-1248.
- 3 Arivazhagan L, Bama GS. Fault segmentation in fabric images using Gabor wavelet transform. Machine Vision and Applications, 2006, 16(6): 356-363.
- 4 Lo SC, Li H, Freedman MT. Optimization of wavelet decomposition for image compression and feature preservation. IEEE Trans. on Medical Imaging, 2003, 22(9): 1141-1151.
- 5 Yang X, Pang G, Yung N. Robust fabric defect detection and classification using multiple adaptive wavelets. IEE Proc. of Vision, Image, and Signal Processing, 2005, 152 (6): 715-723.
- 6 曹建勋, 莫灿林, 杨文珍. 基于结构相似性判别的织物纹理合成方法. 计算机系统应用, 2005, 14(5): 177-181.