

模糊控制在改善PID控制系统防干扰性的研究

徐广垒

中国航空油料有限责任公司云南公司 云南昆明 650200

一、研究背景与意义

工业生产中仍大量采用PID算法，许多被控对象随着负荷变化或干扰因素影响，其对像特性参数或结构经常发生变化。人们利用人工智能的方法将操作人员的调整经验作为知识存入计算机中，根据现场情况，计算机自动调整PID参数，这样就出现了智能PID控制器。

模糊理论是解决这一问题的有效途径，所以人们运用模糊数学的基本理论和方法，把规则条件、操作用模糊集表示，并把这些模糊控制规则及有关信息（比如评价指标、初始PID参数等）作为知识存入计算机库中。然后计算机根据控制系统的实际响应情况，运用模糊推理即可自动实现对PID参数的最佳调整，这即为模糊自适应PID控制。

根据被控对象变化不同，控制规则也有变化。本文重点分析控制系统在受到持续干扰状况下，模糊控制器的设定。

二、控制原理

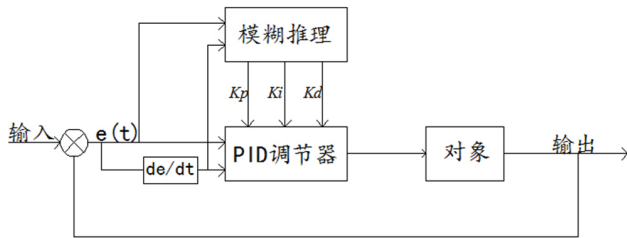
(一) PID控制原理

下式为位置式PID控制表达式，控制系统中我们只需调节 K_p 、 K_i 、 K_d 三个参数即可。

$$u(k) = K_p + \left\{ \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \right\}$$

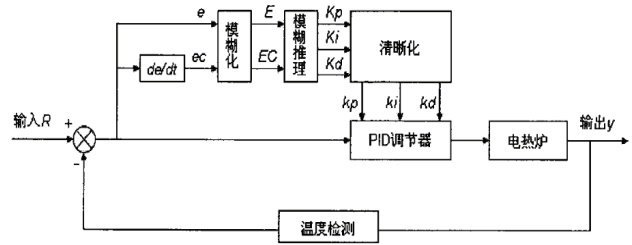
$$= K_p + K_i \sum_{i=0}^k e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

(二) 模糊控制调整PID参数原理



将偏差 e 和偏差变化率 e_c 进行模糊化得到 E 、 E_c ，制定模糊控制规则表，利用模糊数学的理论进行模糊推理，得出控制规则，然后去模糊化进而得出确定的参数整定量。

下图即为整个模糊控制流程。



三、设计模糊控制器

(一) 理论基础

根据PID参数 K_p 、 K_i 、 K_d 三个参数与 e 和 e_c 之间的关系，对他们进行实时修改，使被控对象有良好的动态和静态特性。 K_p 作用：是加快系统的响应速度，提高系统精确度。 K_p 越大，系统响应越快，调节精度越高，容易产生超调，甚至导致系统不稳定。 K_p 取值过小，降低调节精度，响应速度缓慢，从而延长调节时间，使系统静态、动态特性变坏。 K_i 作用：消除系统稳态误差。 K_i 越大，静态误差消除越快， k_i 过大，在响应过程的初期会产生积分饱和，从而引起响应过程较大的超调。 K_i 太小，静态误差难以消除，影响系统的调节精度。 K_d 作用：改善系统的动态特性，主要是在响应过程中抑制偏差向任何方向的变化，对偏差变化进行提取预报。 K_d 过大，会使响应提前制动，延长调节时间，降低系统的抗干扰能力。

(二) 模糊化过程

系统中的偏差和偏差变化率的实际范围叫做这些变量的基本论域。在模糊控制器fuzzy中选取 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 来表示 e 和 e_c 各自的实际范围。可将 e 和 e_c 利用模糊语言描述为{负大，负中，负小，零，正大，正中，正大}= $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$ 七个等级。

(三) 建立模糊控制规则表

根据 K_p 、 K_i 、 K_d 与偏差 e 和 e_c 之间的关系以及前人调整参数的经验得出如下控制规则表（表1）：

四、仿真

(一) 模糊控制器设定

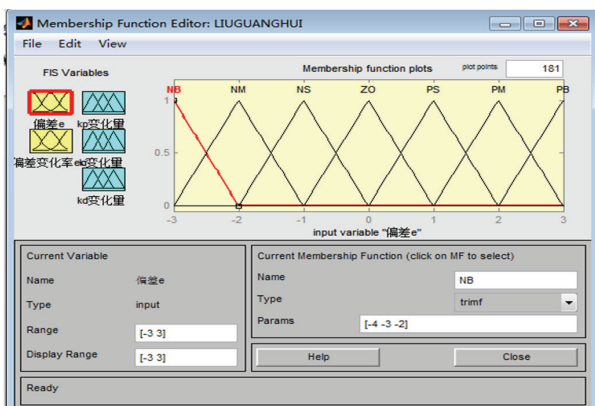
选取 e 和 e_c 论域均为 $(-3, 3)$ ， K_p 论域设定为 $(-0.3, 0.3)$ ， K_i 论域为 $(-0.06, 0.06)$ ， K_d 论域设定为 $(-3, 3)$ 。

表 1

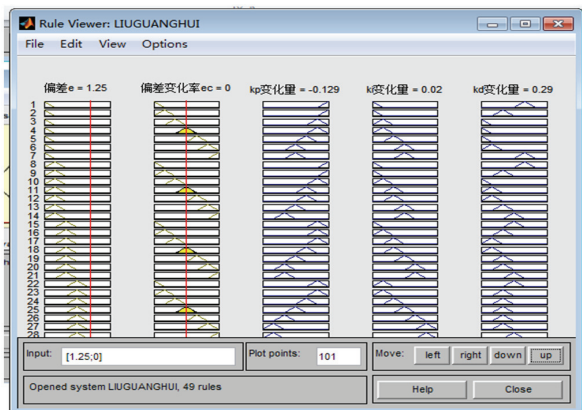
E	$\delta K_p / \delta K_i / \delta K_d$	Ec						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	NB	NB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	ZO/ZO/NM	ZO/ZO/PS
	NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/ZO/ZO
	NS	PM/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NS/PS/ZO
	0	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO
	PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PB/ZO
	PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/NM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
	PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZO/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

模糊推理的方法为 mamdani，解模糊的方法为重心法。

如图设定：



得出控制规则如下：



(二) simulink 仿真

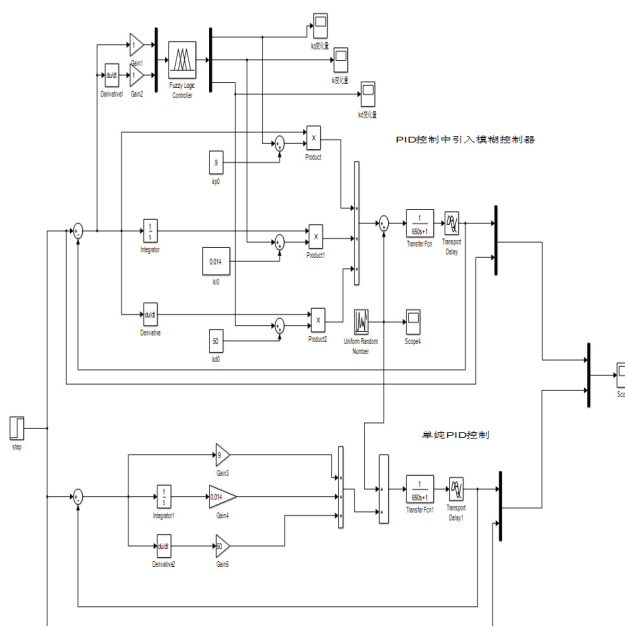
本文采取的模糊控制在线调整PID参数的方法为

$$K_p = \{E, E_c\}p + K_{p_0}$$

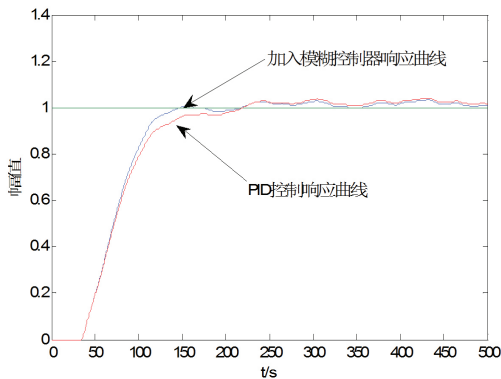
被控对象选为带有纯滞后的一阶惯性环节

$$G(s) = \frac{1}{650s + 1} e^{-35s}$$

如下图所示：



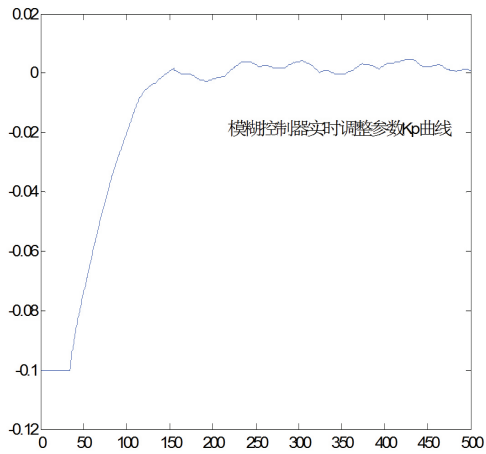
PID控制与引入模糊控制器后的响应曲线比较：



五、总结与说明

(一) 得出来的效果基本上验证了模糊控制器的作用。模糊控制器确实在实时调整 K_p 。

下图即为 K_p 变化量变化曲线：



(二) PID 参数先用临界值法确定了一下，后来用公式计算，都达不到最好的效果。就在临界值得出的参数值基础上稍微改了一下。

(三) 感觉模糊控制规则还能更好，但很难制定出最好的控制规则。(两方面原因：1、衡量标准不一样；2、很难量化，只能靠经验和感觉)。

参考文献

- [1] 王蕾, 宋文忠. PID 控制 [J]. 东南大学自动化所, 南京, 210096
- [2] 刘建昌等. 计算机控制系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.8
- [3] 赵永娟, 孙华东. 基于 Matlab 的模糊 PID 控制器的设计和仿真 [J]. 中北大学硕士学位论文, 2005
- [4] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998
- [5] 谢书明, 柴天佑. 一种参数自适应模糊 PID 控制器 [J]. 信息技术, 1998