

# 基于动态特性机理的规则自校正模糊控制研究

张志柏, 孙传庆

(常州信息职业技术学院 电子与电气工程学院, 江苏 常州 213164)

**摘要:** 传统的自校正模糊控制系统的调节量、调节时间、自校正峰值时间与上升时间都存在一定误差, 而且用时较长, 很难满足当下人们的需求; 为此, 提出一种基于动态特性机理的规则自校正模糊控制研究; 首先, 从自校正模糊的控制函数表达, 分析出自校正模糊控制系统的输入与输出关系, 从而得出自校正模糊控制的函数; 然后, 基于自校正模糊控制函数从控制器的设计、论域与模糊子集规则这两方面对基于动态特性机理的规则自校正模糊控制方法进行研究; 最后以电液伺服系统为实验并对参数进行设置; 实验结果证明, 基于动态机理的模糊规则自校正控制方法性能更好, 更加适合一些电子产品应用, 其控制质量与自适应能力远远高于传统的自校正模糊控制, 具有不可估量的商业价值。

**关键词:** 动态特性; 机理分析; 规则; 自校正; 模糊控制

## Study of Self-correction Fuzzy Control Based on Dynamic Characteristic Mechanism

Zhang Zhibai, Sun Chuanqing

(Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** The traditional self-tuning fuzzy control system has some errors, such as adjustment, adjustment time, self correcting peak time and rise time, and it is difficult to meet the needs of the people at the same time. Therefore, a rule self-tuning fuzzy control based on dynamic characteristic mechanism is proposed. First of all, from the self correcting control function of fuzzy self-tuning expression, analysis of the relationship between input and output of the fuzzy control system, which derived from the correction function of fuzzy control; then the self-tuning fuzzy control function domain and fuzzy subset rules of the two aspects of the dynamic mechanism based on the rules of the self-tuning fuzzy control method was studied from the controller design, based on the electro-hydraulic servo system; and the parameters were set for the experiment. The experimental results show that the self-tuning method performs better in fuzzy control rules based on dynamic mechanism, more suitable for the application of some electronic products, the quality control and adaptive ability is far higher than the traditional self-tuning fuzzy control, has great commercial value.

**Keywords:** dynamic characteristics; mechanism analysis; rules; self correction; fuzzy control

### 0 引言

随着现代科技的不断进步, 人们对机器的控制系统要求越来越严格。传统的自校正模糊控制系统使用的结构是二维结构, 对简单程序的控制静态特性方面具有良好的性能<sup>[1-3]</sup>。但是对于社会不断发展的今天, 传统的自校正模糊控制系统已经无法抵抗外界的一些干扰因子, 整个控制的系统不能有机的结合在一起, 其设计的成本与运行的性能成反比的关系<sup>[4-5]</sup>。从现在的情形来看, 如果出现大量的外界干扰因素, 那么传统的自校正模糊控制系统的运行状况就会很不理想, 进而影响系统的配比关系, 大大降低了安全的性能<sup>[6-7]</sup>。控制模型的参数随着外界条件的变化而发生改变, 而静态特性只能对控制系统的内部设计进行维护, 并不适用于工作中的动态生产。而且传统的自校正控制系统还存在一定的容积迟缓的现象, 其原因就

是静态特性不能随着容积内的压强、温度等参数的变化而发生改变, 大大的增加了控制的难度。

文献 [8] 中提出了一种基于常规 PID 的自校正模糊控制研究, 虽然基于常 PID 的串级自校正的控制方法在大多数的水箱中应用, 但是其实时的性能与非线性的多干扰系统很难使控制的力度的效果维持的合理; 文献 [9] 中基于 Zadeh 教授提出的模糊数集的自校正控制理论, 能够简单地应用在一户的锅炉控制, 而对于大量的锅炉控制来说, 缺少完善的控制规则与动态的控制理念, 很难达到标准的控制效果; 文献 [10] 中提出了一种基于静态特性的实时自校正的控制方法, 并在热水器中应用。经过长时间的累积, 热水器中的组件已经无法再被控制, 温度、容积、压强等这些动态的变量使热水器中的自校正模糊控制性能逐渐损坏。

针对上述的观点, 我提出了一种基于动态特性机理的规则自校正模糊控制研究。首先, 建立自校正模糊控制的模型函数来分析控制系统的输入与输出之间的关系, 并得出自校正模糊控制的目的; 然后, 基于自校正模糊控制的目的对动态特性机理的规则自校正模糊控制方法从控制器的设计、论域与模糊子集的规则、仿真测试这三方面进行研究; 最后对控制方法的合理性设计了实验。实验结果证明, 提出的自校正控制方法更能

收稿日期: 2017-06-29; 修回日期: 2017-07-21。

基金项目: 江苏省教育厅《电气自动化江苏省品牌专业建设》(PPZY2015C237)。

作者简介: 张志柏(1970-), 男, 江苏盐城人, 副教授, 主要从事自动化控制与系统集成、智能控制与系统通信方向的研究。

接近人员的思维形式, 有效的寻找合理的配置方案, 使操作的过程更加的贴近生活, 也便于将理论知识与实践模式相互的结合, 有利于操作人员的工作, 为下一步的发展提供了巨大的支持力量, 自校正的控制方法拥有较小的调节量和较快的调节速度, 使用模糊的自校正控制器可以实现最佳的控制效果, 使一切性能变得更完美。

### 1 自校正模糊控制函数的建立

在传统的自校正模糊控制系统中, 通常采用的模糊控制器是二维结构的模式, 能够实现操作的简易性与运行的快速性。传统的控制器都是以整个系统的误差和误差的变化率为系统设计的输入程序语句的变量, 控制器的增量作为输出程序语句的变量, 因为在大致系统结构上非常的相似, 所以经常将这类的控制器与常规的控制器相提并论, 并将性能放在一起研究。虽然传统的控制器能够获得良好的静态特性, 但是动态特性不能满足当下人们的需求。由于传统的控制器只能使工作的区域产生较小范围的校正, 为此设计了基于动态特性机理的规则自校正模糊控制系统。该系统的设计能够将整个系统的误差和误差的变化率被量化的环节丢失的信息找回来, 并自行校正, 形成连续的自校正调节机制。此时系统的自校正模糊控制函数可以表示为:

$$I = K_a U \tag{1}$$

式中,  $U$  为控制系统的电压;  $I$  为控制系统的电流;  $K_a$  为控制器的自校正变量。

### 2 基于动态特性机理的规则自校正模糊控制目的的方法研究

#### 2.1 模糊控制器的设计

在动态特性机理的规则中可以同时考虑自校正参量 ( $A$ )、内部压力 ( $B$ )、控制器温度 ( $C$ ) 这 3 种因素; 而在结果变量中应该考虑的是控制器的参数变化:  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , 那么控制器中的自校正规则如下:

$$\begin{aligned} R_i: & \text{if } A \text{ is } AA_i \text{ and } B \text{ is } BB_i \text{ and } C \text{ is } CC_i, \\ & \text{then } T_1 \text{ is } D_i, C_i \text{ is } E_i, C_i \text{ and } T_4 \text{ is } A_i \\ & (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{2}$$

公式 (2) 中:  $n$  表示的是自校正规则的条数;  $AA_i, BB_i, CC_i$  分别表示基于动态特性机理的自校正参量、内部压力、控制器温度论域上的模糊子集;  $D_i, E_i, A_i$  分别表示的是在模糊控制器上的比例带、调节器比例、积分时间各个论域上的模糊子集。

而基于动态特性机理的规则自校正模糊控制系统的输入与输出都离不开公式 (1) 中的电压与电流, 如图 1 所示。

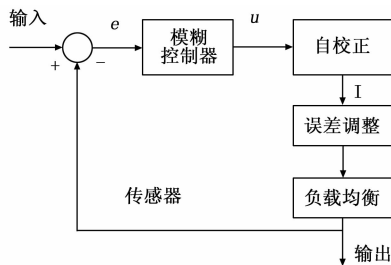


图 1 自校正模糊控制系统的输入与输出关系

压的控制对自校正系统下达指令, 并通过电流的传输对误差进行调整, 通过动态机理的负载均衡对程序语句进行编写, 并输出。

当模糊控制系统的输出与输入之间的误差为最小值的时候, 此时的自校正最为准确。因此, 模糊控制系统在自行校正的时候, 根据输入值的大小来计算误差, 误差小于某一个特定数据的标准值时, 可以满足控制系统的自校正调节的要求。

根据上述的内容, 可以选择自校正参量 ( $A$ ) 作为规则中的初始变量, 将控制器中的参数变化  $T_2$  作为定量, 从而得到控制器设计的规则:

$$\begin{aligned} R'_i: & \text{if } e(k) \text{ is } AA_i \\ & \text{then } C_i \text{ is } D_i, C_d \text{ is } E_i \text{ and } T_i \text{ is } A_i \\ & (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \tag{3}$$

当自校正参量发生较大变化时, 则采用上述的自校正规则进行快速的调整控制器的设计。

根据上述的自校正规则, 采用微调的方法对控制器进行设计。将控制器实际自校正调节的状态设置参数为: 调节偏差  $e(k)$ 、调节变化率  $\Delta e(k)$ , 从而使研究的过程更为简便。

在控制器设计的过程中, 对设计的规则并没有过多的限制, 因此在对机制进行调整的时候将模糊控制器的比例带设置为常量, 从而得到控制器微调的规则:

$$\begin{aligned} R_i: & \text{if } e(k) \text{ is } F_i, \text{ and } \Delta e(k) \text{ is } \Delta F_i, \\ & \text{then } \Delta T_1 \text{ is } G_i, C_i \text{ is } H_i \text{ and } C_i \text{ is } I_i \\ & (i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \tag{4}$$

式中,  $m$  为控制器微调的规则;  $\Delta F_i, \Delta T_1$  分别为调节器的比例带、微分时间;  $F_i, G_i, H_i, I_i$  分别为主调节器上的比例带、微分时间、积分时间、微调量的各个论域上的模糊子集。由此可设计出控制器如图 2 所示。

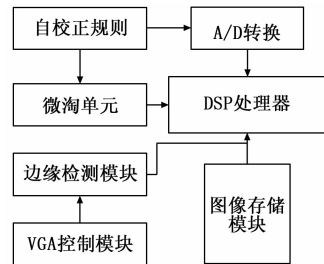


图 2 自校正模糊控制器

利用控制器的设计方法可以准确的校正细小的误差, 并在各个论域的模糊子集中根据相应的规则来完成控制器的设计, 因此, 利用基于动态特性机理的规则自校正模糊控制器设计的方法可以有效的控制时间, 并在规定的时间内完成系统的自校正。

#### 2.2 基于论域与模糊子集规则的自校正方法

基于论域与模糊子集规则的自校正方法通过不断被校正的模糊规则来控制输出的对象, 而输出的对象趋近于设定的标准值。误差与误差变化的规则与控制器调节中的模糊规则一致。其中误差为:  $e(kC) = r(kC) - y(kC)$ , 偏差为:  $ec(kC) = e(kC - C)$ 。自校正规则的模块也可以采用 Mamdani 的模型来作为推理模糊子集与论域的方法, 使用重心的方法进行反模糊推理, 其中重心法规则为: 设  $\{MA, MB, MS, NE, NO, NH\}$  为重心法的隶属变量, 由此可得知, 校正的规则如下:

由图可知, 将程序语句输入到模糊控制器系统中, 通过电

if  $e'$  is PS and  $ec'$  is NS then  $p$  is  $p_j$  (5)

其中： $e'$  为误差； $ec'$  为误差的变化； $p$  为调节量。

表 1 校正规则表 ( $p$  值)

$e$	$ec$					
	MA	MB	MS	NE	NO	NH
MA	-5	-4	-4	-3	-3	0
MB	-5	-4	-4	-3	0	3
MS	-4	-4	-3	0	3	3
NE	-4	-3	0	3	3	4
NO	-3	0	3	3	4	4
NH	0	3	3	4	4	5

基于表 1 将自校正的规则的设计方法可以分为 3 个，分别是：

1) 判定规则作用的方法：判定规则作用方法的时候，应考虑被控制对象的时滞性，设时滞的参数为  $pu$ ，采样的时间为  $(k-1)p$ ，过去的时间为  $(k-1-u)p$ ，控制的作用并不是对所有的规则都有制约性，唯有对  $(k-1)p$  时刻的输出结果产生影响。而在  $(k-1-u)p$  时刻  $e$  以及  $ec$  受到规则的影响对模糊控制器的输出形式具有一定的限制。因此，判定规则作用的方法可以限制控制器的输出情况。

2) 遵守规则的校正量的方法：设置被控制对象的输出量，并将设置的参数传送到规则自校正的模块当中，经过对模块的推理，可以得出不同时间下的遵守规则后的校正量  $j(kC)$ 。

3) 模糊控制器校正规则方法：设置  $a_i$  来表示模糊控制器的后件， $a_i(k-1)$  表示采样时间的  $(k-1)p$  的规则后件，那么在时间  $(k-1-u)p$  的所有模糊控制规则的校正方法可以遵循公式 (6)。

$$a_i(kC) = a_i[(k-1-u)p + j(kC)] \quad (6)$$

### 3 实验结果与分析

#### 3.1 实验步骤

为了验证基于动态特性机理规则自校正模糊控制研究方法的合理性，进行了如下的实验。将传统的模糊控制与基于动态特性机理规则的自校正模糊控制进行了对比，其中实验的系统选自于某类型的电液伺服系统，算法来自于 simulid 的 resd32 的算法。进行自校正模糊控制器实验的时候，应该根据校正的方法对控制器的参数进行设置，并适当的将量化的因子与比例的因子进行调节，参数设置完成后开始进行测试。使用模糊的控制器对自校正中的规则进行改写，并采用单回路的控制方法以及常规的串级控制原则。

##### 3.1.1 参数设置

将模糊控制中的传感器位移增益设置为： $\omega_f = 300 \text{ V/m}$ ；自动校正的增益为： $\omega_a = 0.01 \text{ A/V}$ ；电液伺服阀的增益为： $\omega_v = 0.01 \text{ m/A}$ ；电液伺服阀的增益系数为： $\omega_t = 1.8 \text{ m}^2/\text{s}$ ；电液伺服阀的压力系数为： $\omega_p = 1.5 \text{ m}^4/\text{N}$ ，电液伺服阀的液压缸的容积为： $V_t = 3.2 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ；液压缸内油液的弹性变量为： $Q = 8.45 \times 10^7 \text{ m}^3$ ；缸内负载的质量为： $m = 150 \text{ kg}$ ；刚度为： $U = 7.63 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ；缸内负载的阻尼系数为： $B = 1.6 \times 10^3 \text{ m}^2$ ；液压缸的面积为： $S = 3.65 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ；液压缸内油液泄漏的系数为： $F = 2.7 \times 10^{-12} \text{ m}^4/\text{N}$ 。

##### 3.1.2 数据分析

基于参数设置的动态机理的建模函数为：

$$Z = Q[B(\omega_f + \omega_a + \omega_s)] + V_t + \omega_q \omega_p Q(mU) \quad (7)$$

由模型函数可知，在阶段性的信号跳跃的情况下，采用模糊控制的自校正方法优于传统的模糊控制的方法，即控制系统输出的反应较快，自校正调节的范围较小，瞬时态的行动能力较强，变化趋近于平稳的状态，由此得出系统的阶跃响应的曲线图，如图 3 所示。

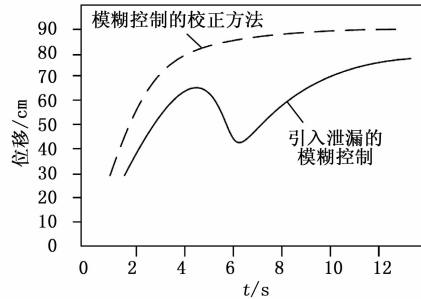


图 3 系统阶跃响应曲线

#### 3.2 实验结果

根据实验的数据分析可以将传统的模糊控制与基于动态特性机理的规则自校正模糊控制进行对比，其对比结果如下所示。

表 2 同模糊控制的性能对比

条件设置	对比参量	控制的方式	
		传统的自校正模糊控制	基于动态机理的模糊规则自校正控制
无泄漏、无干扰	调节量/%	7.8	9.6
有泄漏液体	调节的时间/s	0.6	0.2
有干扰因子	自校正的峰值时间/s	0.75	0.23
有泄漏、有干扰	自校正的上升时间/s	0.56	0.14

由表 2 知，在无泄漏、无干扰的纯自校正模糊控制的条件下，传统自校正模糊控制的调节量小于基于动态机理的模糊规则自校正控制，原因在于后者的调节因子可以通过加大误差变化率来调节，而且还会减少过度的时间；在有泄漏液体的条件下，基于动态机理的模糊规则自校正控制比传统情况下的调节时间更短，原因在于前者的调节量远远大于后者；在有干扰因子的条件下，两者相差的自校正峰值差为 0.52 s，显然是基于动态机理的模糊规则自校正控制的抗干扰系统更加的完善；在有泄漏、有干扰的条件下，传统的自校正模糊控制的上升时间大于动态机理状态下的自校正模糊控制。

由此可得出实验结论：传统的自校正模糊控制系统中，虽然能够实现操作的简易性与运行的快速性，但是缺少动态特性的机理。而动态的机理指的就是外界的干扰元素，也就是表 5 中提出的不同条件下的设置，无论从调节量、调节时间，还是自校正的峰值与上升时间，传统的自动校正模糊控制都不如基于动态机理的模糊规则自校正控制的性能更好，更加适合一些电子产品中的应用，具有不可估量的商业价值。

自校正的控制方法拥有较小的调节量和较快的调节速度，使用模糊的自校正控制器可以实现最佳的控制效果，使一切性能变得更完美。

相对于常规的控制方法，采用模糊自校正控制器能够进一