

# 基于 MATLAB 的电液伺服 系统自适应模糊 PID 仿真

袁秀平<sup>1</sup>, 李鹤一<sup>2</sup>

(1. 上海师范大学机电学院机电系, 上海 201418; 2. 上海第七零四研究所, 上海 200031)

**摘要:** 将自适应模糊 PID 的控制方法应用于电液伺服控制系统中, 通过使用 MATLAB 的 FUZZY 工具箱对系统建模和仿真计算, 并可根据仿真结果在线调整 PID 参数, 对系统进行校正. 这种自适应模糊 PID 控制相比于常规的 PID 控制, 可以改善被控过程的稳态和动态性能, 提高系统控制精度、抗干扰能力, 以及对参数时变的适应能力, 最终实现高效的系统开发.

**关键词:** MATLAB; 电液比例阀; 自适应模糊 PID 控制

**中图分类号:** TP273+.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5137(2006)03-0043-04

## 0 引言

近几十年来, 现代控制理论迅速发展, 出现了许多先进的控制算法, 到目前为止, 过程工业控制中实际应用最多的仍是常规的 PID 控制算法. 这是因为 PID 控制具有结构简单、容易实现、控制效果好和鲁棒性强等特点, 且 PID 算法原理简明, 参数物理意义明确, 理论分析体系完整. 但是在生产现场往往由于参数整定不好而使 PID 控制器动态、稳态性能满足不了越来越高的控制要求. 为了克服传统 PID 的控制缺陷, 将模糊控制与 PID 控制相结合将会大大地提高控制系统的性能. 目前, 模糊 PID 控制器结合的方法有 3 种: PID 与模糊的双模控制器; 补偿式 FUZZY - PID 控制器; FUZZY 自整定 PID 参数控制器. 本文采用第 3 种控制方式, 并提出一种 FUZZY 自整定控制方案. 它由一个标准 PID 控制器和一个 FUZZY 自调整机构组成, FUZZY 自调整机构根据输入信号(偏差  $e$ )大小、方向以及变化趋势等特征, 通过 FUZZY 推理作出相应的决策, 在线整定 PID 的 3 个参数  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , 以期获得满意的效果.

## 1 基于 MATLAB 的仿真技术

仿真技术是集科研、生产的一种强有力手段. 通过仿真, 人们可以获得较为充分和丰富的先验信息, 深化对事物本质的认识, 找出解决矛盾的有效措施, 从而推动事物向预期的方向和目标发展. 系统仿真就是建立在系统的模型(数学模型、物理效应模型), 并在模型上运用数字化技术进行实验. 而目前功能强大的工程软件 MATLAB, 其中的工具箱 SIMULINK(又称动态系统仿真), 它可以对动态系统进行建模、仿真和分析, 从而使设计者可通过对仿真结果的分析, 及时进行必要的修正, 以实现高效的系统开发. 因此基于 MATLAB 的仿真技术正满足了实际的需要.

收稿日期: 2006-03-12

作者简介: 袁秀平(1969-), 女, 上海师范大学机械与电子信息工程学院机电系讲师, 硕士研究生. 李鹤一(1968-), 男, 上海第七零四研究所高级工程师.

## 2 自适应模糊 PID 控制在电液伺服系统中的应用

### 2.1 系统的组成和工作原理

本系统由电液比例阀、非对称液压缸、控制器、传感器所组成(图1)。期望值(速度、位移)是输入量,实际值(速度、位移)是输出量,在外界干扰下,由传感器测得实际(速度、位置)信号,经 A/D 转换后,在主控制器中与输入期望值(速度、位置)相比较得到误差。经控制算法产生控制指令,然后在 D/A 转换成进入比例阀的比例放大器,控制电液比例阀的开口大小,由此控制液压泵进入非对称液压缸的无杆腔的进给油量推动活塞和活塞杆的移动,以达到控制液压缸活塞杆的期望(速度、位置)目标。因此在过程控制中,用误差信号作为控制量控制电液比例阀的开口大小。

### 2.2 系统数学模型的建立

对一个系统进行动态特性分析,首先要建立系统各组成部分的数学模型。

在建模过程中,采用时域的状态空间模型和非对称液压缸(单杆活塞双作用式液压缸),具有占用空间小、结构简单等优良特性。由于其结构的非对称性导致这种油缸的数学模型及其动态、静态特性与对称油缸不同,造成了在正反 2 个方向上的动态过程也不同,而使系统出现了附加静差方程且流量方程与活塞速度的方向  $y$  有关。

设状态变量  $X_1 = y$ ,  $X_2 = \dot{y}$ ,  $X_3 = P_L$  输入变量  $u = [f \quad Q_L]^T$ 。阀控缸的数学模型可写成  $\dot{x} = Ax + Bu$  的形式如下:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -\frac{k_s}{m} & -\frac{c}{m} & \frac{A_1}{m} \\ 0 & -\frac{4\beta_e A_{me}}{V_e} & \frac{4\beta_e c_{te}}{V_e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{m} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{4\beta_e}{V_e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ f \\ QL \end{bmatrix}$$

$$\text{电液比例阀的传递函数: } G_1(s) = \frac{80}{0.09643s^2 + 2.543s + 1000}$$

$$\text{传感器的传递函数: } G_2(s) = 1$$

### 2.3 自适应模糊 PID 控制器

本系统采用自适应模糊 PID 控制器对系统进行控制。通过计算机实现 PID 控制算法,其离散 PID 控制规律为:

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

自适应模糊 PID 控制器以误差  $e$  和误差变化率  $ec$  作为输入,可以满足不同时刻偏差  $e$  和偏差变化率  $ec$  对 PID 参数自整定的要求。利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改,便构成了自适应模糊 PID 控制器(图2)。

### 2.4 系统仿真

#### 2.4.1 建立仿真模型

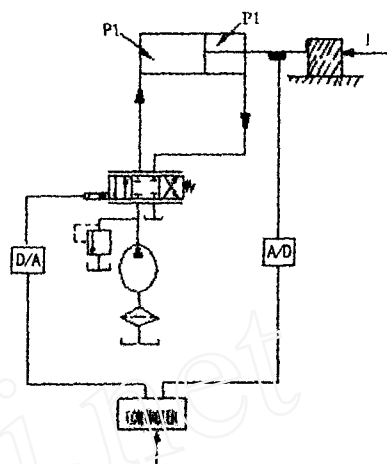


图1 电液控制系统原理图

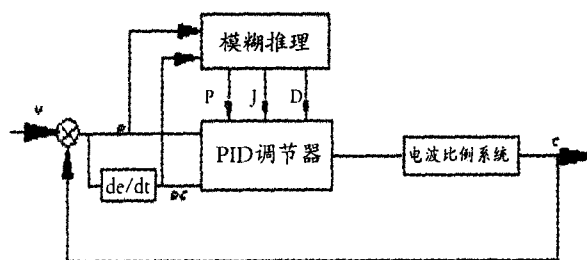


图2 自适应模糊PID控制器

在 MATLAB 中的模糊逻辑工具箱中建立仿真模型, 图 3 为模糊控制与 PID 控制两种方式同时运用到电液系统中的仿真模型。

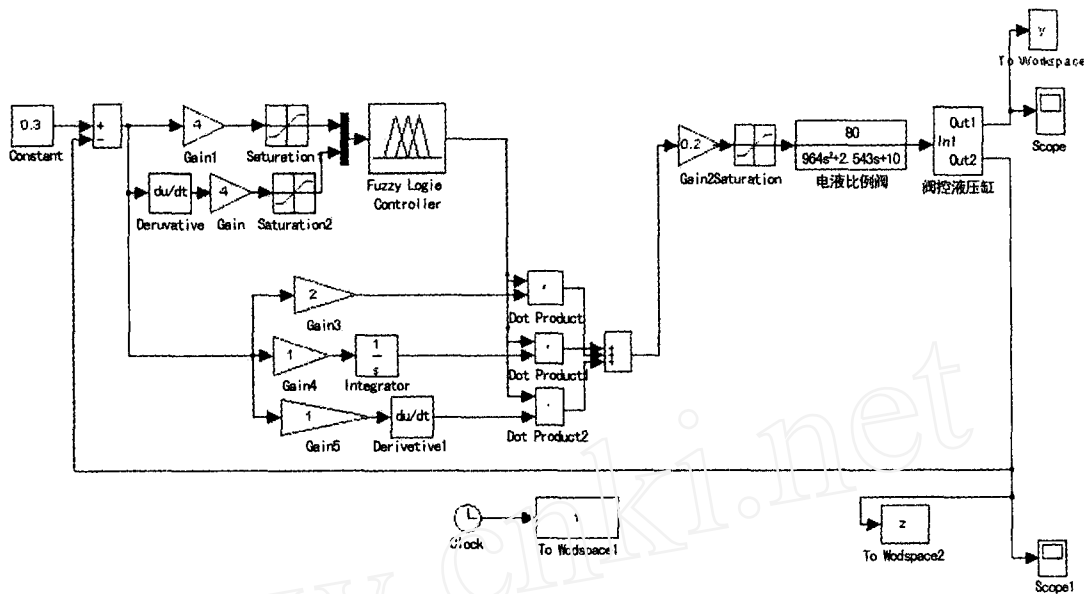


图 3 自适应模糊 PID 仿真模型

### 2.4.2 系统仿真

建立仿真模型后, 便可以开始对控制系统进行仿真. 图 4-2 中是将模糊 PID 控制运用到电液比例位置系统中, 在外界的干扰下, 液压缸的活塞杆行程响应为 0.3m 时的仿真曲线。

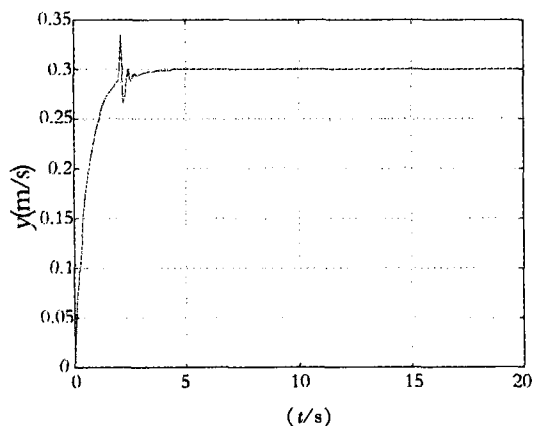


图 4-1 基于 PID 控制的仿真曲线

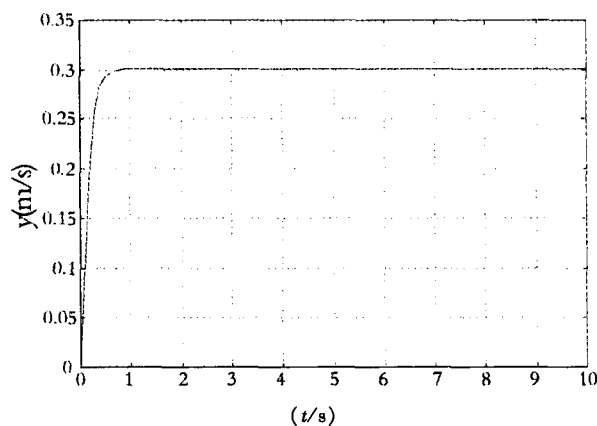


图 4-2 基于自适应模糊 PID 控制的仿真曲线

### 2.5 系统性能分析

从图 4-1 可以清晰地看出, 在阶跃信号的输入下, 采用 PID 控制法, 其仿真曲线在 3s 有较大的振荡, 大约经历了 2s 后系统逐渐稳定. 而图 4-2 的仿真结果是将模糊 PID 控制运用到电液比例位置系统中, 在外界的干扰下, 液压缸的活塞杆行程响应为 0.3m. 从仿真的结果看出, 过渡时间较短且超调量小, 控制效果比较理想。

### 3 结束语

由仿真结果看出,用 SIMULINK 方法,可以采用不同的控制法对电液伺服控制系统进行动态仿真和校正,且具有方便、直观、准确的优点.同时可以得出与 PID 控制在同样条件下的控制效果相比,自适应模糊 PID 控制器在改善被控过程的动态性能、稳态性能与提高抗干扰能力以及对参数时变的适应能力等方面均优于常规 PID 控制,且本控制器设计简单,易于实现.对提高采用 PID 控制的过程控制质量具有相当的实际意义.

### 参考文献:

- [1] 闻新,周露. MATLAB 模糊逻辑工具的分析与应用[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [2] 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,1996.
- [3] 孙庚山. 工程模糊控制[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [4] 李友善,李华. 模糊控制理论及其在过程控制中的应用[M]. 北京:国防工业出版社,1993.

## Self-adapting Fuzzy-PID simulation of the electro-hydraulic servo system based on Matlab

YUAN Xiu-ping<sup>1</sup>, LI He-yi, SUN Tao<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 201418, China

2. Shanghai 704 Research Center, Shanghai 200031, China)

**Abstract:** An adaptive Fuzzy-PID control is applied in electro-hydraulic servo system. The model and simulation of the system are established with FUZZY TOOLBOX in Matlab. With the results of the simulation, the PID parameters are adjusted on-line and then the system is corrected. Compared with conventional PID control, this adaptive FUZZY-PID control can improve the stability and dynamic characteristics of the controlled process, increase system control precision and anti-disturbance ability. It may also improve the adaptivity ability to parameter's time-variability and finally achieve the high effective development of system.

**Key words:** Matlab, Electro-hydraulic proportional valve, PID control

(责任编辑:任芳萍)