

基于模糊PID的电液位置伺服控制器设计研究

赵元金, 李虹

(太原科技大学 电子信息工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 介绍了电液位置伺服控制系统的组成与工作原理, 并建立了系统的数学模型。将模糊控制与PID控制结合在一起, 设计了模糊PID控制器, 即通过模糊控制器输出对PID参数进行在线调整。利用MATLAB软件进行仿真, 比较常规PID控制与模糊PID控制仿真结果, 发现模糊PID控制器提高了系统的动态性能和稳态特性。

关键词: 电液位置伺服系统; 模糊PID; MATLAB仿真

中图分类号: TP273+.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)05-0070-04

Research on Design of Electro-Hydraulic Position Servo Controller Based on Fuzzy-PID

Zhao Yuanjin, Li Hong

(School of Electronic and Information Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In view of introduction of the composition and principle of the electro-hydraulic position servo control system, the mathematic model of the system was built. A fuzzy-PID controller was also designed by combining fuzzy logic control and PID control, for which the parameters of the PID controller can be adjusted on-line by the output of the fuzzy controller. Comparing PID controller with fuzzy-PID controller, the simulation results proved that the fuzzy-PID controller can improve the property dynamic and stabilization of the system by MATLAB software.

Key words: electro-hydraulic position servo system; fuzzy-PID; MATLAB simulation

0 引言

电液位置伺服系统因具有响应速度快、精度高、功率大等优点而被广泛应用于各工业部门。随着制造业信息化进程的加快, 人们对伺服系统提出了越来越高的要求。但是伺服系统中常存在着非线性、参数变化和较大负载干扰, 而传统的PID控制方法对于上述参数扰动和负载扰动没有很好的抑制作用。因此, 设计具有良好的控制效果、鲁棒性强, 并且能消除系统不确定信号影响的控制器, 一直受到大家的关注。

本文将模糊控制理论与传统PID控制算法结合, 设计了模糊PID自适应控制器, 该控制器较好地克服了系统的非线性和外负载干扰的影响, 取得了预期的

效果。

1 电液位置伺服系统组成及工作原理

电液位置伺服系统组成如图1所示, 主要由控制器、放大器、伺服阀、液压缸和位置传感器组成^[1]。图中 R 为给定值, Y 为液压缸输出位移, 经过位置传感变送器与给定值 R 作比较, 产生误差信号。控制器内预置的控制算法对误差信号进行运算, 其输出信号经过放大器放大后控制伺服阀, 伺服阀通过电气-机械转换装置将放大器送来的电信号转变为伺服阀的阀芯位移, 通过伺服阀的流量变化来控制液压缸活塞的伸缩位移, 驱动工作台向消除偏差的方向运动, 从而使

收稿日期: 2008-07-08

基金项目: 太原市科技局基金资助项目(08122023)

作者简介: 赵元金(1981-), 男, 山东淄博人, 太原科技大学硕士生, 主要研究方向为智能控制和鲁棒控制理论及应用;

李虹(1965-), 女, 山东潍坊人, 太原科技大学副教授, 主要研究方向为智能控制和非线性控制系统。

工作台位置总是按照指令给定值的规律变化。

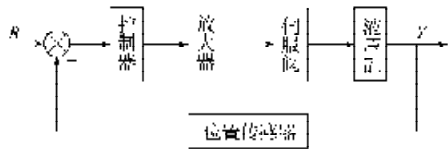


图1 电液位置伺服系统组成
Fig.1 The system components of electro-hydraulic position servo

2 电液位置伺服系统的数学模型

从图1可以推导出电液位置伺服系统的数学模型,但是推导过程比较复杂,并因本文主要研究模糊PID控制器的设计与仿真,所以这里直接给出各器件的数学模型。

2.1 伺服放大环节

该环节简化为比例环节,增益为 K_a 。

2.2 电液伺服阀的传递函数

电液伺服阀的传递函数常用振荡环节近似,即

$$W_v(s) = \frac{Q}{I} = \frac{K_v}{s^2 + 2\zeta_v w_v s + w_v^2}$$

式中: Q 为输出流量;

I 为输入电流;

K_v 为电液伺服阀的增益;

w_v 为电液伺服阀的固有频率;

ζ_v 为电液伺服阀的阻尼比^[2]。

当选用的电液伺服阀固有频率较高、系统频宽较窄时,可近似为比例环节,即

$$W_v(s) = K_v$$

本文主要研究液压缸在系统中的作用,所以把它看成比例环节。

2.3 非对称液压缸的传递函数

设输入为阀芯位移 x_v , 输出为活塞位移 y , 其传递函数为:

$$\frac{y}{x_v} = \frac{K_h}{s \left(s^2 + 2\zeta_h w_h s + w_h^2 \right)}$$

式中: K_h 为速度放大系数;

w_h 为液压固有频率;

ζ_h 为阻尼比。

2.4 位移传感器的传递函数

反馈位移电位传感器,用比例环节 K_f 表示。

3 传统PID控制算法

传统的PID控制,即比例(Proportion)、积分(Integral)和微分(differential)控制,该算法的连续表

示形式为:

$$u = K_c \left[e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt + T_d \frac{de}{dt} \right]$$

式中: K_c 为比例增益;

e 为误差;

T_i 为积分时间常数;

T_d 为微分时间常数。

在计算机控制系统中,使用的位置式数字PID算法为:

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

该算法结构简单,易于实现,在工况条件比较平稳、干扰较小的场合使用时,控制效果比较理想。但是传统的PID控制算法采用线性定常组合方式,难于协调快速性和稳态性之间的矛盾,在具有参数变化和外界干扰的情况下其鲁棒性也不够好。随着对系统性能要求的不断提高,传统的PID控制往往不能够满足要求。因此,吸取自适应控制和模糊控制的基本思想,并利用计算机技术的优势,对传统的PID控制进行改造,形成了本文要研究的模糊PID自适应控制算法。

4 模糊PID控制算法及设计

模糊PID控制器以误差 e 和 ec 作为输入(利用模糊控制规则在线对PID参数进行修改),以满足不同时刻的 e 和 ec 对PID参数的要求,输出为 K_p, K_i, K_d 。自适应模糊PID控制器结构如图2所示^[3]。

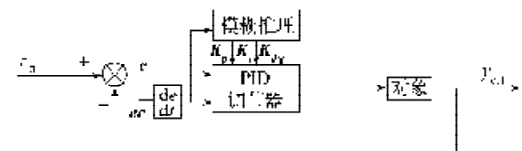


图2 模糊自适应PID控制原理

Fig.2 Fuzzy adaptive PID control principle

PID参数模糊自整定是找出PID的3个参数 K_p, K_i, K_d 与 e 和 ec 之间的模糊关系,在运行中通过不断检测 e 和 ec , 根据模糊控制原理来对3个参数进行在线修改,以满足不同 e 和 ec 对控制参数的要求,从而使被控对象有良好的动、静态性能。

易知该模糊控制器为两输入三输出形式,输入语言变量为 e 和 ec , 输出语言变量为 K_p, K_i 和 K_d 。设它们的语言变量值均为 $\{N_B(\text{负大}), N_M(\text{负中}), N_S(\text{负小}), Z_0(\text{零}), P_S(\text{正小}), P_M(\text{正中}), P_B(\text{正大})\}$ 。误差 e 、误差变化率 ec 和微分系数 K_d 的论域均为 $[-3, 3]$, 比例系数 K_p 和积分系数 K_i 的论域为 $[-0.3, 0.3]$ 。隶属函数采用三角形函数,隶属函数曲线如图3所示。

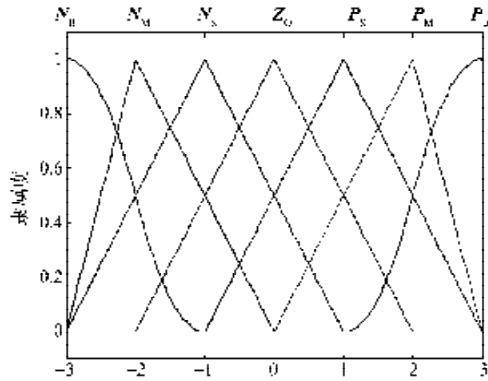


图3 隶属函数曲线

Fig. 3 Subjection function curve

模糊控制设计的核心是总结工程设计人员的技术知识和实际操作经验，建立合适的模糊规则表，得到针对 K_p 、 K_i 和 K_d 3 个参数的模糊控制表。

表1 K_p 模糊规则

Table 1 Fuzzy rule of K_p

ec	e						
	N_B	N_M	N_S	Z_O	P_S	P_M	P_B
N_B	P_B	P_B	P_M	P_M	P_S	Z_O	Z_O
N_M	P_B	P_B	P_M	P_S	P_S	Z_O	N_S
N_S	P_M	P_M	P_M	P_S	Z_O	N_S	N_S
Z_O	P_M	P_M	P_S	Z_O	N_S	N_M	N_M
P_S	P_S	P_S	Z_O	N_S	N	N_M	N_M
P_M	P_S	Z_O	N_S	N_M	N_M	N_M	N_B
P_B	Z_O	Z_O	N_M	N_M	N_M	N_B	N_B

表2 K_i 模糊规则

Table 2 Fuzzy rule of K_i

ec	e						
	N_B	N_M	N_S	Z_O	P_S	P_M	P_B
N_B	N_B	N_B	N_M	N_M	N_S	Z_O	Z_O
N_M	N_B	N_B	N_M	N_S	N_S	Z_O	Z_O
N_S	N_B	N_M	N_S	N_S	Z_O	P_S	P_S
Z_O	N_M	N_M	N_S	Z_O	Z_O	P_M	P_M
P_S	N_M	N_S	Z_O	P_S	P_S	P_M	P_B
P_M	Z_O	Z_O	P_S	P_S	P_M	P_B	P_B
P_B	Z_O	Z_O	P_S	P_M	P_M	P_B	P_B

表3 K_d 模糊规则

Table 3 Fuzzy rule of K_d

ec	e						
	N_B	N_M	N_S	Z_O	P_S	P_M	P_B
N_B	P_S	N_S	N_B	N_B	N_B	N_M	P_S
N_M	P_S	N_S	N_B	N_M	N_M	N_S	Z_O
N_S	Z_O	N_S	N_M	N_S	N_S	N_S	Z_O
Z_O	Z_O	N_S	N_S	N_S	N_S	N_S	Z_O
P_S	Z_O	Z_O	Z_O	Z_O	Z_O	Z_O	Z_O
P_M	P_B	N_S	P_S	P_S	P_S	P_S	P_B
P_B	P_B	P_M	P_M	P_M	P_S	P_S	P_B

可以用 If (条件)、Then (结果) 语句表示控制规则，例如 If $e=N_B$ and $ec=N_B$ Then $K_p=P_B$ 。在规则表中，每一条语句决定一个模糊关系，根据模糊推理的计算

关系，如对于参数 K_p ，根据规则表 1 可得出：

$$R_1 = [(N_B)_e (N_B)_{ec}] (P_B)_{K_p}$$

$$R_2 = [(N_B)_e (N_M)_{ec}] (P_B)_{K_p}$$

同理可得出其它模糊关系，由表中所列情况，一共可得出 49 个模糊关系，总关系 R_{K_p} 的计算公式为

$$R_{K_p} = R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_{49}$$

根据不同时刻的 e 和 ec 的输入，可以计算出 ΔK_p ，其计算公式为

$$\Delta K_p = (e'ec)R_{K_p}$$

式中 e' 为误差 e 行向量的转置。

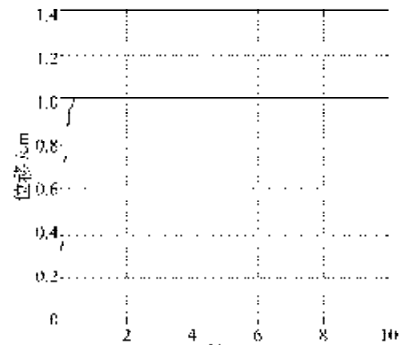
同理可计算出相同时刻的 ΔK_i 和 ΔK_d 。这里得到的 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_d 是模糊量，所以还要进行清晰化计算，本文采用平均最大隶属度法。通过清晰化计算后，得到控制器的输出值为 ΔK_p^0 、 ΔK_i^0 和 ΔK_d^0 。然后将输出值代入下列公式进行在线参数修正：

$$K_p = K_p^0 + \Delta K_p^0; K_i = K_i^0 + \Delta K_i^0; K_d = K_d^0 + \Delta K_d^0$$

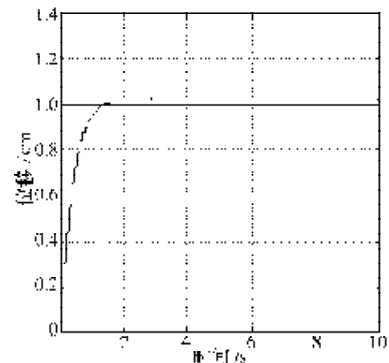
式中 K_p^0 、 K_i^0 和 K_d^0 为初始设定值。模糊 PID 控制器的输出 ΔK_p^0 、 ΔK_i^0 和 ΔK_d^0 为每个采样周期更新 1 次。

5 MATLAB 仿真及分析

根据上面介绍的算法并利用 MATLAB 模糊逻辑工具箱的功能函数在 M 文件里编写程序^[5]。下面分别给出常规 PID 和模糊 PID 的仿真结果，其阶越响应曲线见图 4。其仿真对象是相同的。



a) 模糊 PID



b) 常规 PID

图4 阶越响应曲线

Fig. 4 Step response curve

从图4中可看出,采用模糊PID控制比常规PID控制系统的快速性明显提高,且模糊PID控制的稳态特性也比常规PID控制的效果好。为了进一步检验模糊PID的动态特性和稳态性能,对给定正弦信号进行跟踪仿真,仿真结果见图5。从图5可看出,模糊PID控制无论在快速性还是在稳态精度上其优势都比常规PID控制明显。

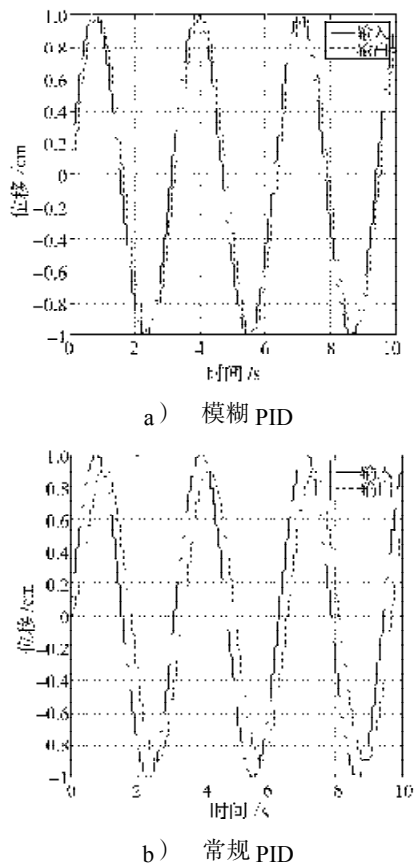


图5 正弦响应曲线

Fig. 5 Sine response curve

6 结论

电液位置伺服系统由于存在较严重的非线性、参数的时变性和外负载干扰,所以开发和研究先进的控制策略对开展近代电液伺服控制的发展具有重要意义。模糊PID控制器算法简单实用,且不需要系统的精确数学模型。本文将传统的PID控制与模糊控制相结合,设计了模糊PID控制器,并将控制器作用于电液位置伺服中常用到的阀控液压缸,通过仿真分析发现,模糊PID控制无论在动态性能上还是在稳态精度上都要优于传统的PID控制,达到预期效果。

参考文献:

- [1] 王勇亮,卢颖,潘春萍,等.基于MATLAB的电液位置伺服系统仿真分析[J].机床与液压,2005(6):150-152.
- [2] 宋志安.基于MATLAB的液压伺服控制系统分析与设计[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [3] 梁利华,杨鹏,马洁,等.模糊PID控制器在船舶试验台横摇位置系统中的应用[J].船舶工程,2006(1):33-34.
- [4] 姜长生,王从庆,魏海坤.智能控制与应用[M].北京:科学出版社,2007.
- [5] 刘金琨.先进PID控制MATLAB仿真[M].北京:电子工业出版社,2004.
- [6] 王荣林.模糊自适应PID非线性控制在电液伺服系统中的应用研究[D].南京:南京理工大学,2006.

(责任编辑:廖友媛)