

DOI: 10.3969/j.issn.1001-3881.2016.20.041

基于 MATLAB-AMESim 的电液伺服系统模糊 PID 控制

付甜甜¹, 朱玉川¹, 顾亚军²

(1. 南京航空航天大学机电学院, 江苏南京 210016; 2. 泰州海陵液压机械有限公司, 江苏泰州 225300)

摘要: 电液伺服系统在现代工业中有广泛应用, 针对实际电液伺服系统中非线性环节建模不准确这一问题, 根据 MATLAB 和 AMESim 的各自特点, 利用 AMESim 完成复杂实际系统建模, 利用 MATLAB 进行控制器设计, 对系统建立联合仿真模型。阐述模糊 PID 控制器的设计过程, 通过仿真结果对比分析模糊 PID 和传统 PID 的控制性能。结果显示: 在变负载电液伺服控制系统中模糊 PID 控制器在快速性、控制精度等方面具有更好的控制性能, 并且提高了系统的鲁棒性和抗干扰能力。

关键词: 电液伺服系统; MATLAB-AMESim 联合仿真; 模糊 PID 控制

中图分类号: TP273+.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3881 (2016) 20-144-3

Research on Fuzzy PID Control of Electro-hydraulic Servo System Based on MATLAB-AMESim Joint Simulation

FU Tiantian¹, ZHU Yuchuan¹, GU Yajun²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing Jiangsu 210016, China; 2. Taizhou Hailing Hydraulic Machinery Corporation Limited, Taizhou Jiangsu 225300, China)

Abstract: Electro-hydraulic servo system is widely used in industry. A simulation model of the system was built based on the combined use of MATLAB and AMESim to deal with the problem that mathematical models could not accurately reflect the nonlinear system of hydraulic servo system. The design process of the fuzzy PID was described. The performance of PID control and fuzzy PID control were analyzed based on simulations. The results show that the fuzzy PID has improved dynamic and static performance and the system has higher robustness and anti-jamming ability.

Keywords: Electro-hydraulic servo system; MATLAB-AMESim joint simulation; Fuzzy PID control

传统 PID 控制有较高的控制精度, 鲁棒性好且有良好的动态跟踪品质, 因此在现代工业中具有广泛的应用。但对于电液伺服系统的负载多变性以及参数不确定性, 常规 PID 控制难以达到理想的控制效果^[1-3]。模糊控制具有一定的智能性, 对于系统参数变化和外部扰动有较强的鲁棒性, 但模糊控制的稳态误差较大。将二者结合的模糊自整定 PID 兼具两者优点, 能够达到更好的控制效果^[4-5]。

MATLAB/Simulink 是一款功能强大的仿真集成软件, 包含多样的基本模块功能库和各领域的专业工具箱。但用其对液压系统建模时, 需要做很多简化工作, 使得仿真结果较实际结果出现较大误差。AMESim 是专门用于液压/机械系统建模仿真及动力分析的软件, 运用图形化物理方式建模, 使用户专注于物理系统本身的设计。并且 AMESim 提供了与其他软件的丰富接口, 可与其他软件进行联合仿真。将 MATLAB 和 AMESim 相结合, 在 AMESim 中完成复杂液压系统

建模, 在 MATLAB 中进行控制器设计, 各个软件处理属于各自领域的部分, 优势互补, 从而获得更加精确的模型和更加准确的仿真结果^[6-7]。

1 模糊自适应 PID 控制器

PID 参数自整定的实现思想是找出 PID 的 3 个控制参数、偏差 e 及偏差变化率 ec 之间的模糊关系, 在运行中通过不断地检测 e 及 ec , 再根据模糊控制原理来对 3 个参数进行在线修改^[8]。

$$\begin{cases} K_p = K_p' + \Delta K_p \\ K_i = K_i' + \Delta K_i \\ K_d = K_d' + \Delta K_d \end{cases} \quad (1)$$

式中: K_p 、 K_i 、 K_d 指经过修改的 PID 参数; K_p' 、 K_i' 、 K_d' 指 PID 参数初始值; ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 指 PID 参数调整值。

1.1 模糊化和解模糊

模糊化是将输入的精确值转化为模糊量; 解模糊是将模糊量转化为精确值输出; 模糊化和解模糊建立

收稿日期: 2015-09-04

作者简介: 付甜甜 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为液压传动与控制。E-mail: fttian1563@163.com。

了精确值和模糊量的转化机制。这种转化机制是基于模糊论域和隶属度函数的选择。

精确量的实际变化范围叫基本论域,但是为了进行模糊运算必须引入模糊论域,即将基本论域划分等级。模糊量即是按照人类的思维方式定义的语言值。每一语言值在模糊论域中都有隶属度函数,该函数确定具有主观性,决定于设计者对语言值的理解。

解模糊的方式有多种,包括最大隶属度函数和加权平均法等,都基于模糊论域和隶属度函数的确定,只是处理方式不同。

1.2 建立模糊控制规则

模糊控制规则的确定需要依据专家和设计者的经验,使控制器按照实际需要实现参数的在线自调整。也可以定量分析,检验控制规则的重要性。如公式(2),PID 控制是将 e 和 ec 通过 3 种不同处理,得到需要的输出量。在 e 和 ec 构成的不同阶段,需要输出不同的 U 。另言之,已知了 e 、 ec 和 U ,寻找从 e 、 ec 到达 U 的向量。这样,也可以较为直观判断 3 个参数需要的变化。

$$U = K_p' \times e(t) + K_I' \times \int e(t) dt + K_D' \times \frac{de(t)}{dt}$$

(2)

综上,制定模糊调整规则表如图 1 所示。

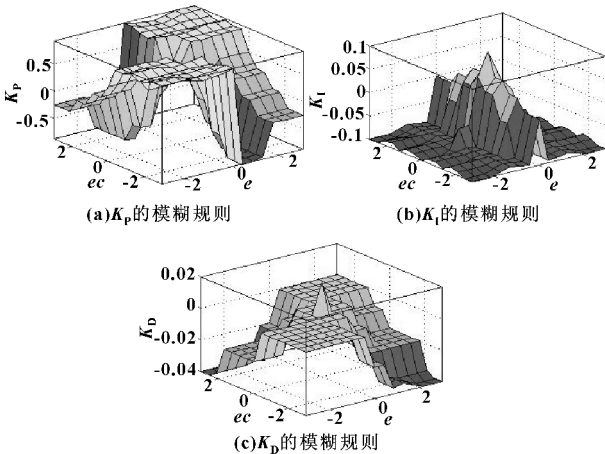


图 1 模糊 PID 模糊控制规则

2 系统的建模与仿真分析

2.1 AMESim 中建模

根据实际的需要建立电液伺服系统的物理模型,并且修改相应的参数,如表 1 所示。同时需要添加与 MATLAB 相连接的接口 (AMESim/Simulink standard

interface)。建立的模型如图 2 所示。

表 1 液压元件基本参数设置

元件名称	参数	设置值
液压泵	排量/(mL · r ⁻¹)	35
	转速/(r · min ⁻¹)	1 500
溢流阀	开启压力/MPa	10
伺服阀	额定电流/mA	100
	额定流量/(L · min ⁻¹)	15
	固有频率/Hz	60
	活塞直径/mm	55
液压缸	活塞杆直径/mm	39
	活塞杆行程/m	0.2
	黏滞摩擦系数/(L · min ⁻¹ · 10 ⁻⁵ · Pa ⁻¹)	0.01
质量滑块	质量/kg	1 500

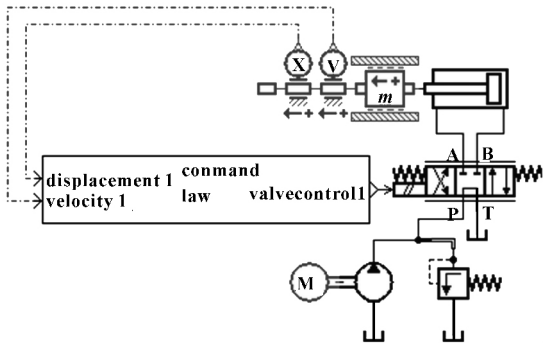


图 2 电液伺服系统 AMESim 模型

系统通过接口模块将液压缸的位移速度信号传递到 MATLAB 中,同时通过该模块利用 MATLAB 中的输出信号控制伺服阀的开口,从而控制液压缸的位置。

2.2 MATLAB 中建模

在 Simulink 中同样需要类似的接口模块将两个软件进行连接,实现信号的互通。对系统进行分阶段控制,当 $|e| \geq 10$ mm 时,因为误差较大,系统采用 Bang-Bang 控制^[8],根据液压系统流量、液压缸大小、伺服阀的输入信号等参数确定伺服阀输入大小 45 mA 的控制信号。在误差相对小时,即 $|e| < 10$ mm 时,采用模糊 PID 控制。在 Simulink 中建立的模型如图 3 所示。

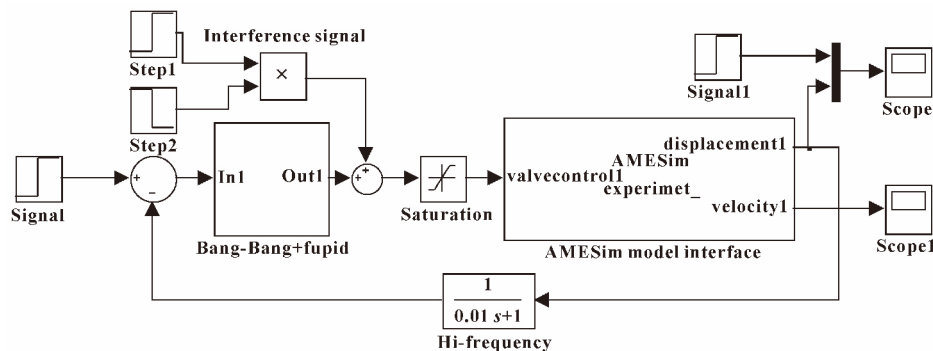


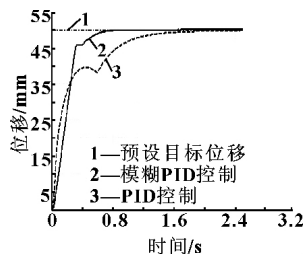
图 3 电液伺服系统 Simulink 仿真模型

3 仿真结果及其分析

此次仿真设定: 液压缸从原点移动到 50 mm 处, 分别进行 PID 控制和模糊 PID 控制仿真。在 PID 控制时, 参数设置为 $K_p = 4$, $K_i = 0.1$, $K_d = 0.04$ 。其中模糊 PID 控制的初始参数设置为 $K_p' = 2.9$, $K_i' = 0.1$, $K_d' = 0.09$ 。

对两种控制系统输入幅值 50 mA 的阶跃信号, 仿真结果如图 4 所示。传统 PID 因不能改变参数, 控制前一阶段控制量过大, 液压缸运动过快, 导致未达到指定就返回, 并且增大了系统调整时间。模糊 PID 控制则避免了这一问题, 且大大缩小了系统调整时间, 减少了系统控制误差, 增强系统的控制性能。

图 4 阶跃响应对比图



对两种控制系统分别加入干扰, 测试它们的鲁棒性, 干扰信号为幅值 40 mA、持续 0.1 s 的阶跃信号。仿真结果如图 5 所示。

可以明显看出: 模糊 PID 控制器加入脉冲扰动后恢复到稳态所用时间少, 且脉冲幅值有所减少。

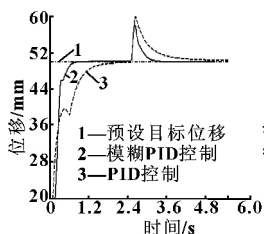
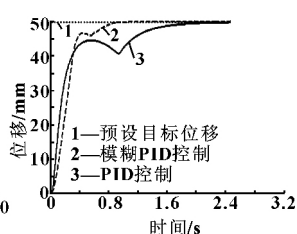


图 5 阶跃干扰对比图

图 6 负载增加阶跃响应对比图



如图 6 所示: 改变系统参数, 使负载增加一倍变为 30 000 N, 模糊 PID 控制性能几乎没有变化, 负载增加没有影响其控制性能; 而 PID 控制的系统响应速度变慢, 负载的惯性对其控制性能影响较大, 液

压缸出现很严重的倒退现象, 对伺服阀的冲击破坏很大。

4 结论

(1) 模糊 PID 控制要比传统的 PID 控制性能具有明显优势。模糊 PID 控制过程快速平稳, 上升时间是传统 PID 的 50%, 无超调量有效减少对液压系统的冲击, 迅速达到指定位置, 稳态精度高。

(2) 模糊 PID 控制具有良好的抗干扰能力, 其鲁棒性优于传统的 PID 控制器。在有干扰时能够减小干扰的影响尽快达到稳定, 适应参数变化, 鲁棒性能高。

参考文献:

- [1] SANG Y L, CHO H S. A Fuzzy Controller for an Electro-hydraulic Fin Actuator Using Phase Plane Method [J]. Control Engineering Practice, 2003, 11(6): 697-708.
- [2] 赵建军. 电液控制技术现状及发展趋势 [J]. 煤, 2006, 15(3): 55-57.
- [3] ZHAO J J. Present Condition and Developing Tendency of Electrical and Hydraulic Control Technology [J]. COAL, 2006, 15(3): 55-57.
- [4] 张春来. 模糊自整定 PID 参数控制器在直流调速系统中的应用 [D]. 大连: 大连海事大学, 2000: 79-83.
- [5] 李鑫, 李众, 张丽娟. 模糊自适应在线调整 PID 参数控制器 [J]. 仪器仪表应用, 2004, 11(4): 37-38.
- [6] LI X, LI Z, ZHANG L J. The Controller of Fuzzy Autotuning PID on Line [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2004, 11(4): 37-38.
- [7] 余兵, 彭佑多, 刘繁茂. 模糊控制及其在液压伺服系统中的应用 [J]. 液压与气动, 2006(10): 56-64.
- [8] YU B, PENG Y D, LIU F M. Fuzzy Control and Its Application in Hydraulic Servo System [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2006(10): 56-64.

(下转第 154 页)

(4) 报警处理模块主要用于链条卡死、断链、缺链、电机故障、按动急停按钮等情况的报警处理。发生报警后,根据报警类别,启动相应处理程序,并控制警示灯闪烁、蜂鸣器叫,报警处理后,通过复位按钮进行系统复位。如图 2 所示,当牵引电机牵引链条时,若发生因链条扭曲等原因导致链条在导向块 1 处卡死,链条将带动导向块移动碰到行程开关 2,程序控制牵引电机停止,并进行链条卡死报警。当进行拉伸检测时,拉力达到设定值后突然下降,说明链条拉断,此时停止拉伸,油缸缸杆后退到位并进行断链报警。当牵引电机牵引链条时,若接近开关不再计数,则说明整箱链条已经全部检测完毕,牵引电机停止,并进行缺链报警。

4 结束语

我国的电梯平衡补偿链产量巨大,生产厂家众多,文中设计的电梯平衡补偿链焊缝强度自动拉伸检测系统实现了电梯平衡补偿链的“逐段拉伸、逐段送进、连续工作”的全自动工作方式,并在实际应

用中运行可靠,有效地提高了工作效率,降低了工人劳动强度,在该行业有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 向丽君. 电梯平衡补偿链常见问题集锦 [J]. 智能建筑与城市信息, 2011(8): 89-91.
- [2] 金琪安. 电梯补偿链(绳)的作用与单位质量计算 [J]. 中国特种设备安全, 2008(6): 30-32.
- [3] 上海电梯行业协会. 2014 年: 我国电梯在全球的地位 [OL]. <http://www.sh-ea.net.cn/Cn/news/New.aspx?id=29047>.
- [4] 周海波. 电梯补偿链悬挂曲线的研究 [J]. 机电一体化, 2012, 18(7): 38-40.
ZHOU H B. Elevator Compensating Chain Suspension Curve Research [J]. Mechatronics, 2012, 18(7): 38-40.
- [5] 吴拓. 简明机床夹具设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [6] 于俊一, 邹青. 机械制造技术基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [7] 徐志刚. 负载敏感泵控系统流量控制方法研究 [J]. 液压与气动, 2014(12): 51-54.
XU Z G. Flow-control Method for Load-sensing Pump Hydraulic System [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2014(12): 51-54.
- [8] 尹升, 龚进, 官通. 液压挖掘机多路阀 LUDV 系统动态特性研究 [J]. 计算机仿真, 2014, 31(11): 187-191, 197.
YIN S, GONG J, GUAN T. Research on Dynamic Characteristics of Multi-way Valve LUDV System in Hydraulic Excavator [J]. Computer Simulation, 2014, 31(11): 187-191, 197.
- [9] 张增猛, 周华, 孙健. 基于压差控制的蓄能器压力调节方法及其 AMESim 仿真 [J]. 机床与液压, 2007, 35(6): 99-101.
ZHANG Z M, ZHOU H, SUN J. Pressure Regulation of Accumulator Based on Pressure Difference Control and Its AMESim Simulation [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(6): 99-101.
- [10] 付永领, 祁晓野. AMESim 系统建模和仿真 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [11] 涂江涛, 黄明辉, 刘忠伟. 运用 AMESim/Simulink 的液压机同步平衡控制系统中的仿真研究 [J]. 现代制造工程, 2009(2): 36-39.
TU J T, HUANG M H, LIU Z W. Simulation Research of a Synchronous Balancing System for Hydraulic Press Based on AMESim/Simulink [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009(2): 36-39.
- [12] 周召发, 马长林, 黄先祥, 等. 基于联合仿真的液压伺服系统优化控制研究 [J]. 机床与液压, 2007, 35(10): 122-126.
ZHOU Z F, MA C L, HUANG X X, et al. Study for Optimizing Control of Hydraulic Servo System Based on Collaborative Simulation Technique [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(10): 122-126.
- [13] 冯冬青, 谢宋和. 模糊智能控制 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 89.
- [14] 孟珏遐, 王渝, 王向周. 电液伺服系统 Bang-Bang + Fuzzy-PID 复合控制研究 [J]. 机床与液压, 2009, 37(4): 89-91.
MENG J X, WANG Y, WANG X Z. Research on Bang-Bang + Fuzzy-PID Hybrid Control for Electro-hydraulic Servo System [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2009, 37(4): 89-91.