

基于凹版印刷机无轴传动的多轴同步控制研究

魏代海, 邓开发, 吴承刚, 高丽萍
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 针对凹版印刷机上的无轴传动技术进行研究。**方法** 以智能控制技术为基础, 结合多轴同步控制系统的非线性等特点, 通过具有参数自选功能的模糊PID控制器, 对多电机系统进行改进; 通过Matlab/Simulink构建仿真平台, 搭建主从同步控制的多电机系统模型, 并对该系统进行仿真。**结果** 通过PID控制和模糊PID控制的结果比较, 模糊PID控制能控制系统初始时的超调现象, 能更快达到稳定状态, 使系统的鲁棒性和快速性得到提高。**结论** 模糊PID控制很好的满足了永磁同步电机响应快、高精度的要求。

关键词: 无轴传动; 多轴同步; 模糊PID; 永磁电机

中图分类号: TS803.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0105-05

Synchronous Multi-axis Control of Shaftless Drive Gravure Printing Machine

WEI Dai-hai, DENG Kai-fa, WU Cheng-gang, GAO Li-ping
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: Objective To study the shaftless drive technology of gravure printing machine. **Methods** Based on intelligent control technology, combined with the nonlinear characteristics of multi-axis synchronization control system, fuzzy PID controller with optional function parameters was used to improve the multi-motor system. A simulation platform was built by Matlab/Simulink, a multi-motor system model with master-slave synchronization control was established, and simulation was performed for this system. **Results** Comparison of the results of PID control and fuzzy PID control indicated that fuzzy PID control system could control the initial overshoot phenomenon, and quickly reach a steady state, which improved the robustness and rapidity of the system. **Conclusion** Fuzzy PID control met the requirements for fast response and high accuracy of permanent magnet synchronous motor.

KEY WORDS: shaftless drive; multi-axis synchronization; fuzzy PID; permanent magnet motor

随着印刷业和包装业等相关行业进入高速发展阶段, 中国印刷包装产业进入跨越式发展。国内市场对高端印刷机的需求越来越大, 但是, 由于自身研发能力不足, 导致高端印刷机主要依赖进口。凹版印刷机主要关键技术是无轴传动控制技术, 其又称为电子轴传动技术, 其在多轴体系中保证各个滚筒一致转动, 使印刷品无色差。为此, 笔者以主从控制为同步控制方式, 通过模糊控制方法对多轴同步控制进行了研究。

1 永磁电机数学模型

永磁同步电机的结构非常简单, 运行可靠, 但不能像直流电机那样进行高效的控制分析, 因为它非线性、强耦合、多变量的系统。通过矢量控制技术, 将电压电流等物理量经过一系列矢量变化, 将电机的数学模型转变到正交的旋转坐标中, 构建等效于直流

收稿日期: 2014-02-16

基金项目: 国家自然科学基金(61202376, 41120002/D020101)

作者简介: 魏代海(1988—), 男, 山东日照人, 上海理工大学硕士生, 主攻同步控制方法研究。

电机的数学模型。

假设:不考虑电机的铁心饱和(如果参数变化可以考虑);忽略典籍中的涡流等损耗;各相绕组对称;不存在励磁电流^[1-4]。通过坐标变换,得到永磁电机简化模型:

$$G=K_f/(J_s+B) \tag{1}$$

式中: G 为电机模型; B 为粘滞摩擦系数; K_f 为常值比例系数; J_s 为电机转动和负载的惯量总和。

2 PID 模糊控制

2.1 PID 控制原理^[5-7]

PID控制是现代工业领域应用最为广泛的控制方法,其包括比例、微分和积分等3种控制。常规的PID控制原理见图1。

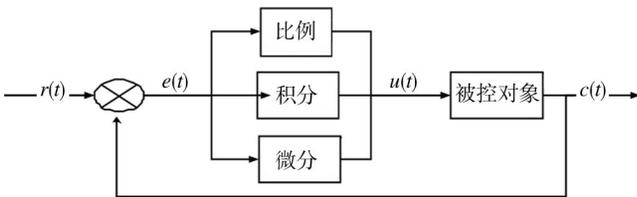


图1 传统PID控制结构
Fig.1 Structure of traditional PID control

PID调节机制是通过3种控制构成的一种线性调节机制,其控制的基本规律是:控制器的输入量 $e(t)$ 和输出量 $u(t)$,输入量,输入量的积分和输入量的微分3个分量之和,与输出量成一定比例。传递函数形式如下:

$$u(t) = K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + \frac{T_d de(t)}{dt} \right\} \tag{2}$$

式中: $e(t)=r(t)-c(t)$; K_p 为比例系数; K_d 为微分系数; K_i 为积分系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数。

在PID控制中,最重要的是比例、微分、积分等3个参数的选择,参数对于控制系统的影响非常大。随着PID控制的广泛应用,其3个参数选择的方法也不断发展。这里采用模糊控制算法对参数进行选择。

2.2 模糊控制方法

模糊控制是模糊理论在控制技术上的应用^[8-12],

是智能控制的一个重要分支。模糊控制不依赖被控对象,没有特定的数学模型,其主要依赖输入量和输出量;模糊控制是用自然语言进行编程的,容易让人们所理解和掌握;模糊控制的鲁棒性非常强,并且易于实现。其结构见图2,分为模糊化、模糊推理、解模糊化3步;模糊控制是将被控量的偏差 e 和偏差变化率 e_c 作为输入量,通过模糊推理,得到输出量。

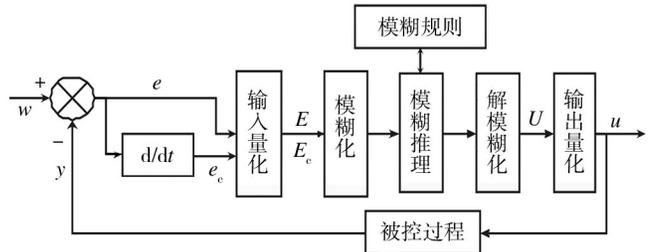


图2 模糊控制结构
Fig.2 Structure of Fuzzy Control

2.3 模糊PID控制原理^[13-15]

模糊PID控制器是将PID控制理论和模糊控制相结合,通过被控量得到的偏差 e 和偏差变化率 e_c 作为模糊控制器的二维输入变量,进而对变量模糊化处理,通过模糊规则的计算,对PID控制器的3个参数 K_p, K_i, K_d 进行选取,得到适合控制的3个值。其过程见图3。

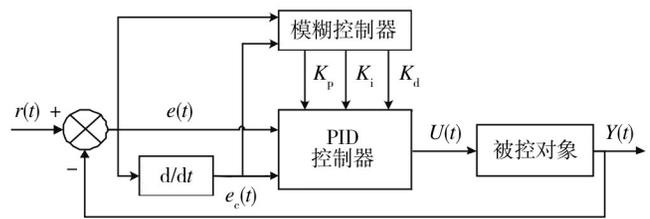


图3 模糊PID控制系统结构
Fig.3 Structure of Fuzzy PID control system

对模糊控制器的输入 e 和 e_c 通过模糊论域为 $\{-6, -4, -2, 0, 2, 4, 6\}$,语言变量定义为7个等级{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB},隶属度函数为三角函数,见图4。

通过语言规则输出控制信号为PID控制器的3个参数, $\Delta K_p, \Delta K_i$ 和 ΔK_d 通过量化后的模糊论域均为 $\{-6, -4, -2, 0, 2, 4, 6\}$ 。与此同时,语言变量也同时定

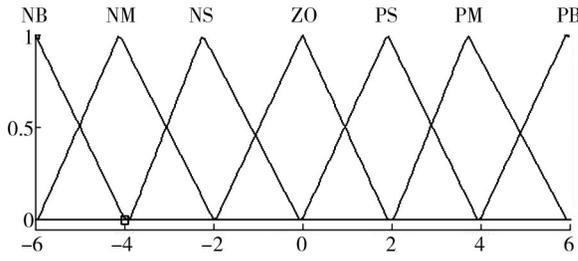


图4 e 和 e_c 的隶属度函数

Fig.4 e and e_c membership function

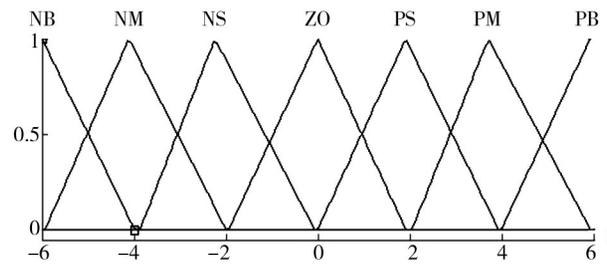


图5 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 的隶属度函数

Fig.5 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ Membership functions

义为7个等级: {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 隶属度函数也同时选择三角函数, 关系见图5。

模糊控制规则是模糊控制器的核心^[12,13], 是将实践中的实际经验加以总结, 得到模糊的条件集合。 e

和 e_c 的大小直接影响 $\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$ 等3个参数的取值。根据 e 和 e_c 的变化得到 $\Delta K_p, \Delta K_i$ 和 ΔK_d , 通过其相关关系制定出模糊PID控制规则, 见表1。

根据上面分析的输入量 e 和 e_c , 输出量 $\Delta K_p, \Delta K_i$

表1 模糊PID控制规则

Tab.1 Fuzzy PID control rules

e_c	e						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PB	
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	ZO/ZO/PS	
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NM	PS/NS/NM	PS/NS/NM	NS/ZO/ZO	
NS	PB/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/ZO	
ZO	PS/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	ZO/ZO/NS	NM/PM/ZO	
PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PB/ZO	
PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NB/PB/PB	
PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZO/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PB	

和 ΔK_d , 同时, 依据隶属函数和量化区间得到隶属函数图形, 并建立 FIS 文件, 使 simulink 和模糊工具箱链接。

3 仿真及结果分析

3.1 设计思路及仿真结构

笔者以主从控制为主要框架, 建立多轴同步控制体系。每台电机都有独立相同的控制器和参数。在每个单轴控制中, 采用常规PID控制器对被控对象进行控制。PID控制器结构简单, 易于实现, 可靠性好, 对一些线性、参数不变、弱耦合的被控对象有很好的控制, 但PID控制对非线性、时变、强耦合的被控对象很难有很好的效果。针对这一难题, 设计了模糊PID控制器, 通过参数在线实时调整, 弥补了PID因不能实

时参数调整导致抗干扰能力的不足。在主从控制模型中, 首先选定1台电机作为主电机, 其余电机作为从电机。主电机的输出值是每个从电机的输入信号, 所以在设计模拟系统时, 为方便仿真只设置1个从电机。主、从同步控制见图6。

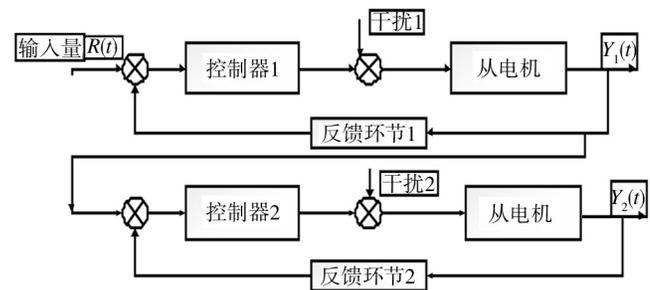


图6 主、从控制结构

Fig.6 Structure of master-slave control

3.2 仿真结果

随着计算机的发展,计算机仿真被应用到科学技术以及实践中的各个领域。笔者通过 Matlab/Simulink 对凹版印刷机中多轴同步控制技术进行了仿真。采用2个相同的控制器和相同的永磁同步电机,2台相同电机的参数是: $J_s=6.35\text{ kg}$, $B=0.1\text{ Ns/m}$, $K_T=1\text{ N/A}$ 。模糊PID控制参数分别取 $K_p=100$, $K_i=0.005$, $K_d=9$ 。

图7为PID同步控制,图8是图9模糊PID控制中的PID控制单元。通过模拟仿真分别得到图10和图11,图10是通过传统PID控制器控制2台电机的控制模拟仿真曲线。图11是模糊PID控制模拟仿真曲线。

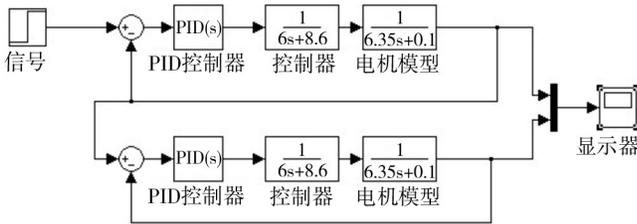


图7 PID同步控制仿真结构

Fig.7 Structure of PID synchronous control simulation

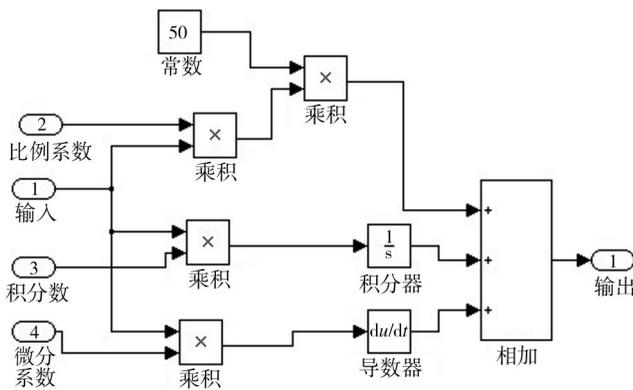


图8 PID控制结构

Fig.8 Structure of PID control

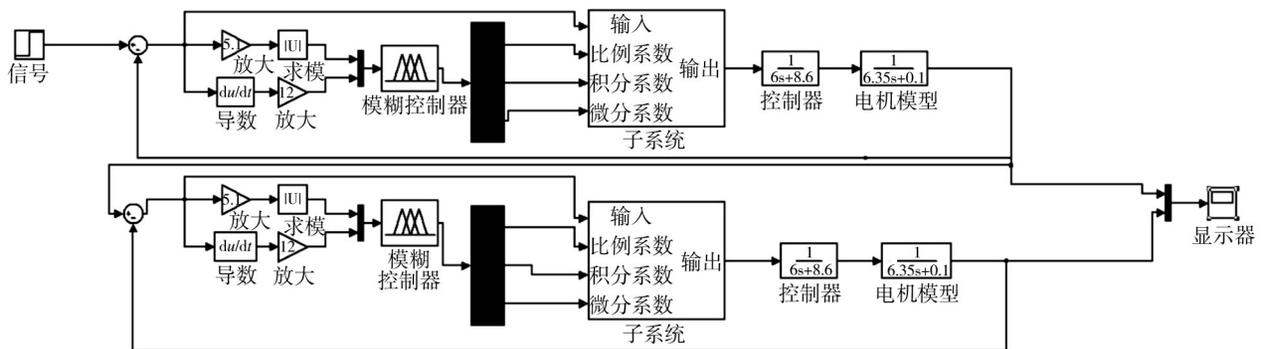


图9 模糊PID同步控制仿真结构

Fig.9 Structure of fuzzy PID control simulation

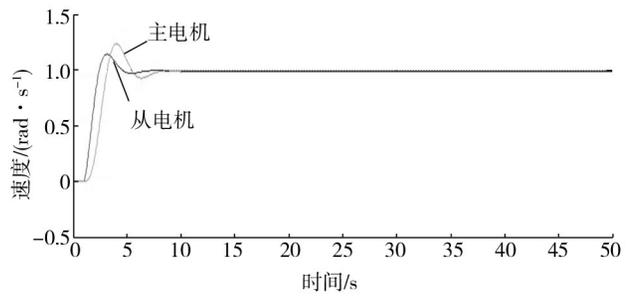


图10 传统PID控制仿真曲线

Fig.10 Simulation curve of traditional PID control

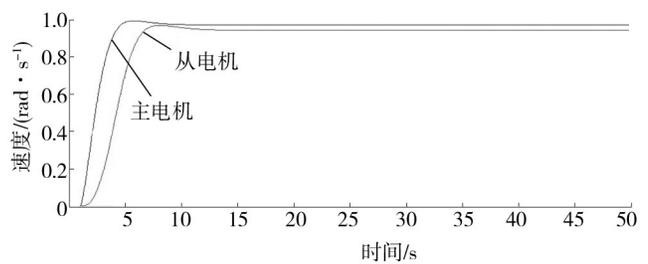


图11 模糊PID控制仿真曲线

Fig.11 Simulation curve of fuzzy PID control

通过图10—11的仿真结果可以看出,PID控制仿真曲线开始有较大的超调,超调近30%,并且在稳定恢复时间上也比模糊PID控制时间要长。相对而言,模糊PID控制无超调现象,并且能很快到达稳定状态,具有良好的快速性和适应性。

4 结语

针对无轴传动印刷机同步控制,传统PID控制方法简单、易于实现,但其对控制本身的非线性等因素控制无法满足要求。通过将模糊控制器与传统PID控

制算法相结合,在被控参数发生变化时,通过模糊推理系统,进行PID参数的调整。通过以上实验数据及结果,可以看出控制质量得到明显提高,系统的稳定性和精确度达到了预期目标。

参考文献:

- [1] ZHANG H N, LIU H X. Fuzzy PID Control of the Suspension System in a Bearingless Synchronous Reluctance Motor[J]. *Small & Special Electrical Machines*, 2010, 38(3): 50—52.
- [2] ZHANG Y. Fuzzy-PID Hybrid Control for Temperature of Melted Aluminum in Atomization Furnace[C]//*Intelligent Systems Design and Applications, Sixth International Conference on IEEE*, 2006: 332—335.
- [3] ZIMMERMANN H J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications Second, Revised Edition*[M]. Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [4] 齐建虹,蔡金达. 基于ARM9和自适应模糊PID控制算法的蜂窝纸板飞剪控制系统[J]. *包装工程*, 2013, 34(21): 75—79.
 QI Jian-hong, CAI Jin-da. Honeycomb Cardboard Flying Shear Control System Based on ARM9 and Adaptive Fuzzy PID Control Algorithm. *Packaging Engineering*[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(21): 75—79.
- [5] LEE Y S, YANG T T, CHENG M W. Measurement and Mitigation of Conducted Emission for Voltage Phase Controlled Capacitor-run Single Phase Induction Motor[C]// *Power Electronics and Drives Systems, International Conference on IEEE*, 2005: 1622—1627.
- [6] LATT A Z, WIN N N. Variable Speed Drive of Single Phase Induction Motor Using Frequency Control Method[C]// *Education Technology and Computer, International Conference on IEEE*, 2009: 30—34.
- [7] MAUER G F. A Fuzzy Logic Controller for an ABS braking System[J]. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 1995, 3(4): 381—388.
- [8] ALI F H, ALGREER M M F. Fuzzy PID Control for Positioning Plants with Uncertain Parameters Variation[C]// *Information and Communication Technologies IEEE*, 2006: 1428—1433.
- [9] PETROV M, GANCHEV I, TANEVA A. Fuzzy PID Control of Nonlinear Plants[C]// *2002 First International IEEE Symposium*, 2002: 30—35.
- [10] NIU Z G, ZHANG J. Method of Smooth-switch Fuzzy PID for Linear Motor Control[J]. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao: Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, 2006, 26(8): 132—136.
- [11] DUAN X G, LI H X, DENG H. Effective Tuning Method for Fuzzy PID with Internal Model Control[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008, 47(21): 8317—8323.
- [12] ABOU El-Ela A A, BISHR M A, ALLAM S M, et al. An Emergency Power System Control Based on the Multi-stage Fuzzy Based Procedure[J]. *Electric Power Systems Research*, 2007, 77(5): 421—429.
- [13] PEREZ C, STREFEZZA M. Speed Control of a DC Motor by Using Fuzzy Variable Structure Controller[C]// *Control Conference, IEEE*, 2008: 311—315.
- [14] WU Y, JIANG H, ZOU M. The Research on Fuzzy PID Control of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor[J]. *Physics Procedia*, 2012, 24: 1311—1318.
- [15] LIU J, XIE Q W. Research on the Fuzzy PID Speed Control System of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor Based on Genetic Algorithm[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 494: 1582—1586.
- [16] (上接第75页)
 [P]. 2012-07-04.
 SHEN Han-chun, LIU Chong-wen. Honeycomb Paper Pallet Binging Equipment; China, 201110447280.7[P]. 2012-07-04.
- [17] 姚齐水. 一种弹性复合圆柱滚子轴承; 中国, 201120066406.1 [P]. 2011-11-23.
 YAO Qi-shui. A Elastic Composite Cylindrical Roller Bearing; China, 201120066406.1[P]. 2011-11-23.
- [18] YAO Q S, YANG W, YU D J, et al. Bending Stress of Rolling Element in Elastic Composite Cylindrical Roller Bearing[J]. *J Cent south Univ*, 2013, 20(12): 3437—3444.
- [19] 杨文, 姚齐水, 余江鸿, 等. 弹性复合圆柱滚子轴承结构设计研究[J]. *中国机械工程*, 2012, 23(24): 2899—2902.
 YANG Wen, YAO Qi-shui, YU Jiang-hong, et al. Research on Structure Design of Elastic Composite Cylindrical Roller Bearing[J]. *China Mechanical Engineering*, 2012, 23(24): 2899—2902.