

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.02.028

# 模糊 PID 控制在缝纫机压框调速的踏板控制系统中的应用

陈禹伶<sup>1</sup>, 何臻祥<sup>2</sup>

(1. 中国兵器工业第五八研究所 数控事业部, 四川 绵阳 621000; 2. 西南财经大学 天府学院, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为实现工业缝纫机压框调速的踏板控制系统, 针对传统踏板控制系统鲁棒性弱的缺点, 提出一种基于模糊 PID 控制在缝纫机压框调速的踏板控制系统中应用的方法。详细分析了该方法的构造原理, 并对模糊 PID 控制器进行设计, 通过实例进行了仿真结果分析。结果表明, 该方法能有效地实现缝纫机压框调速过程中的平稳运动, 是有效、实用的。

**关键词:** 模糊 PID 控制; 压框; 调速

**中图分类号:** TP273<sup>+</sup>.4 **文献标识码:** A

## Application of Fuzzy PID Control on Sewing Machine Press Frame Speed Regulation Footplate Control System

CHEN Yu-ling<sup>1</sup>, HE Zhen-xiang<sup>2</sup>

(1. Dept. of CNC Engineering, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;  
2. Tian Fu College, Southwest University of Finance & Economics, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to realize the press frame speed regulation footplate control system, aiming at the feebleness robustness shortcoming of tradition footplate control system, a new application method of fuzzy PID control on sewing machine press frame speed regulation footplate control system. And analysis principles of the method in detail, design of fuzzy PID control, put up analysis of simulation result using example. The result shows that the method can achieve smooth movement on sewing machine press frame speed regulation process. It is an effective and practical method.

**Keywords:** Fuzzy PID control; Press frame; Speed regulation

### 0 引言

工业缝纫机脚踏板控制电路由踏板、放大电路以及 DSP 组成。通过对模拟或数字电路中给定的踏板运动位移来实现压框上下运动的控制。现有的缝纫机压框调速的踏板控制系统主要存在以下的缺点: 1) 在传统的脚踏板控制电路中, 压框运动时, 当踏板外部条件改变时, 压框控制性能会显著变差, 压框速度控制精度会非常差。在实际处理中会出现压框振荡大, 运动轨迹不平滑及电机噪音大等缺陷。使得压框调速的控制系统鲁棒性很弱; 2) 同时随着缝纫机技术的快速发展, 用户希望根据踏板的行程以及速度来判断压框是否能一次性走完来实现缝纫机压框调速。由于模糊控制具有不依赖于被控对象的精确数学模型, 能克服非线性因素的影响, 对调节对象的参数变化具有较强的鲁棒性的优点。为了改善传统缝纫机压框调速的踏板控制系统的缺点, 满足用户的需求, 故采用模糊 PID 控制在缝纫机压框调速的踏板控制系统中的应用。

### 1 系统构造原理

缝纫机压框调速的踏板控制系统主要是由脚踏板、射极跟随、电压放大以及 A/D 电路构成。系统结构图如图 1。



图 1 系统结构图

脚踏板直接与一个滑动电阻相连接, 对模拟信号进行采集, 当脚踏板被踩下, 滑动电阻移动, 电压增加。通过射极跟随, 电压放大处理以后, 当脚踏板踩到最底点, 这时, 对应的电压值为 2.5 V, 即脚踏板踩下的模拟信号相对应的电压为 0~2.5 V, 经过 10 位 A/D 转换为 0~1024 位。送 DSP 处理, 根据采集的数值对压框的升降进行控制。

#### 1.1 PID 控制器的基本原理

PID 控制器是指将偏差的比例 (P)、积分 (I) 和微分 (D) 通过线性组合构成控制量, 对被控对象进行控制<sup>[1]</sup>。PID 控制器系统原理框图如图 2。

系统主要由 PID 控制器和被控对象组成。其控

收稿日期: 2009-09-30; 修回日期: 2009-10-29

作者简介: 陈禹伶 (1981-), 女, 四川人, 模式识别与智能系统专业硕士研究生, 从事控制方面的研究。

制规律为:

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right] + u_0 \quad (1)$$

式中,  $K_p$  为比例系数;  $T_I$  为积分时间参数;  $T_D$  为微分时间常数;  $u_0$  为控制常量。

PID 控制器各校正环节的工作为: 1) 比例环节反映控制系统的偏差  $e(t)$ , 当偏差产生, 控制器作相应的调节减小偏差; 2) 积分环节主要消除静态偏差, 提高系统的无差度; 3) 微分环节能反映偏差的变化速率, 并能在偏差变得太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度, 减小调节时间。

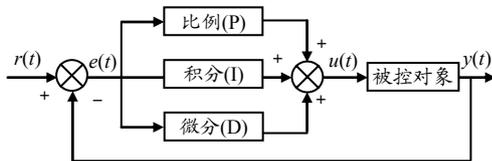


图 2 系统结构图

### 1.2 模糊控制的原理

模糊控制器的输入量是系统的偏差量, 它是数字量, 是有确定数值的清晰量。模糊控制器是模糊控制系统的核心部分, 也是和其他控制系统区别最大的环节, 它由模糊化、知识库、模糊推理、解模糊化<sup>[2]4</sup>部分组成, 图 3 为模糊控制器的基本结构。

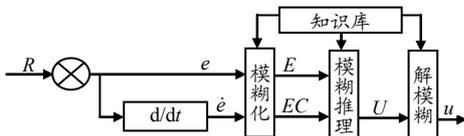


图 3 模糊控制器基本结构

图 3 中,  $R$  为系统设定值 (精确量);  $e$ 、 $\dot{e}$  分别为系统误差与误差变化率 (精确量);  $E$ 、 $EC$  分别为反映系统误差与误差变化的语言变量的模糊集合 (模糊量);  $u$  为模糊控制器输出的控制作用 (精确量)。

## 2 模糊 PID 控制器的设计

在缝纫机压框调速的踏板控制系统中, 将 PID 控制与模糊控制相结合, 运用模糊数学的基本理论和方法, 把控制规则的条件、操作用模糊集表示, 并把这些模糊规则以及相关信息 (如评价指标、初始 PID 参数等) 作为知识存入知识库中, 然后计算机根据控制系统的实际情况, 运用模糊推理来实现 PID 控制器参数的最佳调整, 以实现不确定复杂工况的高指标控制要求。

采用二维的模糊控制器和 PID 控制器。在大偏差范围内通过模糊控制器实现过程控制。模糊控制器的输入量是踏板压下位移偏差  $E$ , 以及偏差的变化率  $EC$ , 输出量为压框压下位移的控制量。在实际的模糊控制中, 一般需要先确定出模糊控制规则, 存入存储器中, 在实际的过程控制中, 控制由 2 部分组成: 1) 系统根据采集到的  $E$  和  $EC$ , 通过查询控制规则表求得控制量  $U$ , 反馈到控制对象实现过程的模糊控制; 2) 在小偏差范围内通过 PID 控制算法实现过程控制。两部分通过系统的偏差  $E$  实现自动切换。实现了既加快过程动态响应过程, 减弱超调和压框振荡现象对压框正常工作的影响, 又发挥 PID 控制在小偏差范围内实现精确控制, 减少纯模糊控制器带来的稳态误差的优势。图 4 为缝纫机压框调速的踏板控制系统的模糊 PID 控制系统结构。

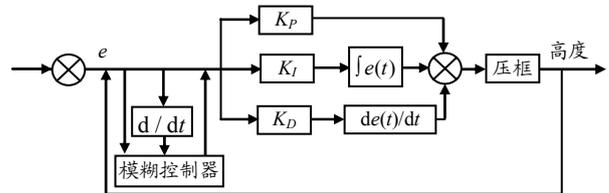


图 4 模糊 PID 控制系统

该系统由一个 PID 控制器和一个模糊自调整部分组成, 模糊自调整部分根据输入  $e$  大小、方向以及变化趋势等特征, 通过模糊推理作出相应的决策, 在线调整  $K_p$ 、 $K_I$  和  $K_D$  三个参数。当满足  $e$  变化时, 被控对象压框具有良好的动、静态性能。

### 2.1 模糊 PID 参数整定规则

在控制压框的过程中, 对于踏板不同的踩踏方式, 压框的高度误差  $E$  和高度误差变化率  $EC$  不同。那么被控过程对参数  $K_p$ 、 $K_I$  和  $K_D$  的自整定规律如下: 1) 当压框高度偏差  $|E|$  较大时, 为使高度误差减小, 应取较大的  $\Delta K_p$  和较小的  $\Delta K_D$ , 同时为避免较大的超调, 要去掉积分作用, 取  $\Delta K_I$ , 使得  $K_I = 0$ ; 2) 当压框高度偏差  $|E|$  大时, 为了使高度误差减小, 应取较小的  $\Delta K_p$ , 为使超调较小, 同时调节并选取适当的  $\Delta K_I$  和  $\Delta K_D$ 。(特别是  $\Delta K_D$  的取值对系统的影较大); 3) 当压框高度偏差  $|E|$  较小时, 为了使系统有较好的稳定性, 应取较大的  $\Delta K_p$ ,  $\Delta K_I$  和  $\Delta K_D$  的取值要适当, 以避免出现振荡现象。

2.2 模糊控制器的模糊化

压框高度误差的  $E$  及其误差变化率  $EC$  及  $\Delta K_p$ ,  $\Delta K_I$  和  $\Delta K_D$  的论域分别为:  $E = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ;  $EC = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ ;  $\Delta K_p$ ,  $\Delta K_I$  和  $\Delta K_D$  为:  $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。

它们所对应的语言变量值分别为:

$$E = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$$EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

$\Delta K_p$ 、 $\Delta K_I$  和  $\Delta K_D$  为:

$$\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$$

2.3 模糊 PID 控制器的控制规则

模糊控制器规则选取的基本原则: 当高度偏差大时, 选择的控制参数以尽快消除误差为主; 当误差小时, 选择的控制参数主要是防止超调, 以系统的稳定性为控制的关键。根据这一原则, 结合 PID 参数整定的经验, 制定控制规则, 可建立得到缝纫机压框调速系统的模糊控制规则表, 如表 1~表 3。

表 1  $K_I$  的模糊规则表

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NS	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

2.4 模糊 PID 控制器解模糊

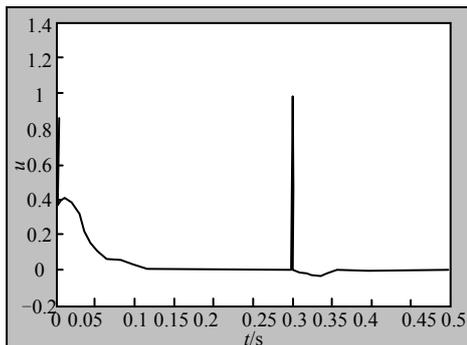


图 5 模糊 PID 控制的输入

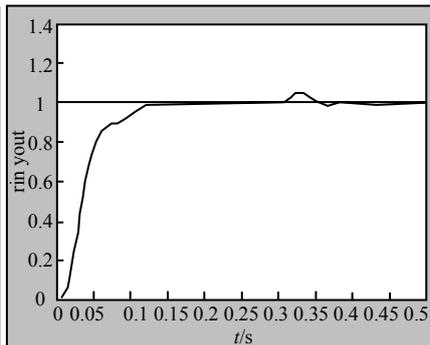


图 6 模糊 PID 控制的输出

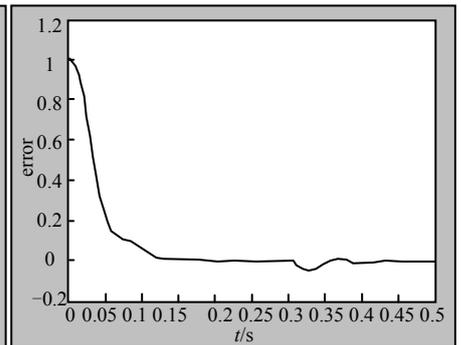


图 7 模糊 PID 控制的误差

图 8、图 9 是模糊 PID 控制仿真器和系统图, 通过生成的模糊 PID 仿真器, 可以设定模糊推理方法和解模糊策略。

3.2 实验结果分析

采用传统的 PID 控制, PID 控制参数的选取非

常重要, 往往要经过多次试验来确定, 当外部条件改变时, 控制性能会显著变差, 压框速度控制精度会非常差。而基于模糊 PID 的压框调速的踏板控制系统中, 由于系统具有自学习功能, 控制方式可以随着轧制情况的改变而自动调整自己的行为, 从而

系统采用 Mamdani 推理法对建立的模糊规则进行模糊推理决策出控制变量。同时采用重心法根据输出模糊子集的隶属度, 计算出确定的输出数值。

表 2  $K_p$  的模糊规则表

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	ZO
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

表 3  $K_D$  的模糊规则表

e	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	ZO
NS	ZO	NS	NM	NM	NS	NS	ZO
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO
PS	ZO						
PM	PB	NS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

3 模糊 PID 控制器的仿真结果与分析

3.1 模糊 PID 控制器的仿真

该系统通过在 MATLAB6.5 中建立模糊控制规则表, 编写模糊 PID 控制程序, 对控制系统进行数值仿真, 以判定控制系统的稳定性和控制算法的可行性。实验采样时间为 1 ms, 采用模糊 PID 阶跃响应, 在第 300 个采样时间控制器输出 1.0 的干扰, 通过比较了模糊的 PID 控制响应结果, 控制系统的传递函数确定为  $H(s) = \frac{432\ 400}{s^5 + 79.46s^2 + 9\ 840s}$ 。图 5~

图 7 为模糊控制 PID 控制输入、输出和和输出误差。

使得压框速度控制更加精确，远好于传统的压框调速的踏板控制系统。试验结果表明该模糊 PID 的压框调速的踏板控制系统，压框调速控制偏差能快速接近目标值，压框调速控制精度也大为提高。

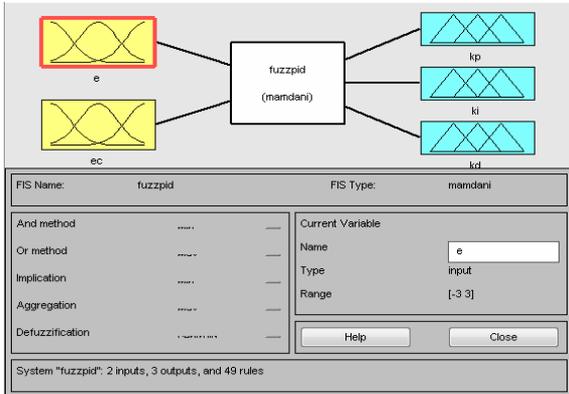


图 8 模糊 PID 控制仿真器

### 4 结束语

实验证明，该系统不但实现了压框无极调速，且解决了压框的运动受踏板的影响大、系统鲁棒性

\*\*\*\*\*

(上接第 86 页)

$$P(0) = 10 \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \hat{X}(0) = \begin{bmatrix} 2001 \\ 1 \\ 0.01 \\ 0 \end{bmatrix}$$

仿真结果如图 1~图 3。在图 2 的真实高度和估计高度对比中，虚线代表无人直升机的真实高度，

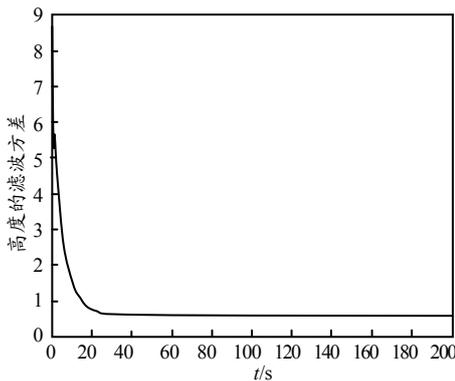


图 1 基于卡尔曼滤波的高度滤波误差方差

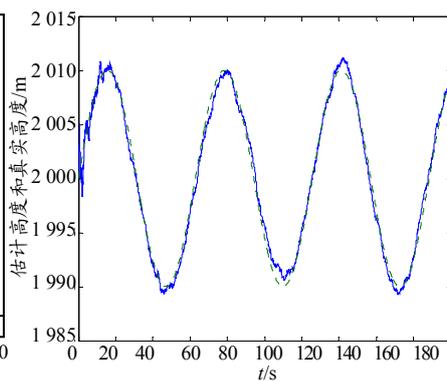


图 2 基于卡尔曼滤波的真实高度和估计高度对比

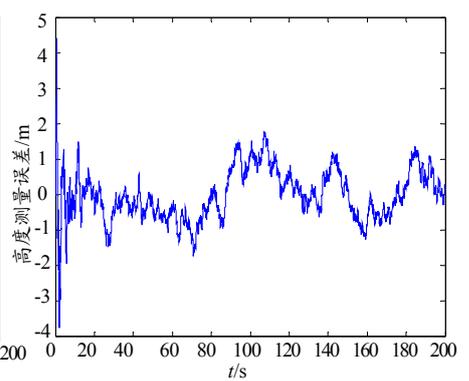


图 3 基于卡尔曼滤波的高度测量误差

### 5 结论

仿真结果表明，采用集中式卡尔曼滤波技术可得到更精确的无人直升机的高度测量，完全可以用来测量无人直升机所处的真实高度。

### 参考文献:

弱、在实际的处理中出现压框振荡大、运动轨迹不平滑以及电机噪音大等缺陷。

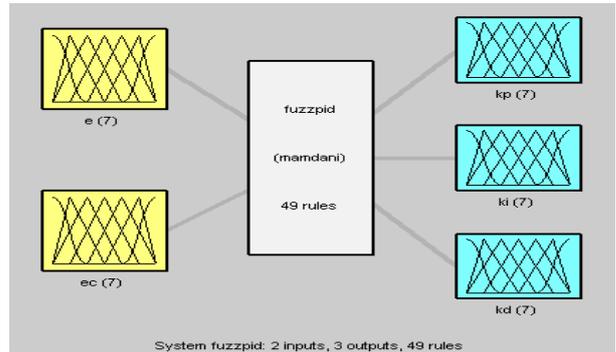


图 9 模糊 PID 控制系统图

### 参考文献:

- [1] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 PID 控制机器应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 134-171.
- [2] 汤兵勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] 刘金昆. 先进 PID 控制 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

实线代表组合高度测量系统的估计高度。由图 1 可见，高度的滤波误差方差是收敛的，由此可知这个高度组合测量系统的卡尔曼滤波过程是稳定的。由图 2 无人直升机真实高度和估计高度及图 3 高度估计误差，可见该无人直升机系统对高度的测量相对于单个传感器，如气压高度表和 GPS，测量更精确，故可用来测量无人直升机所处的真实高度。

- [1] 胡永红. 小型无人直升机高度定位数据融合方法[J]. 传感器技术, 2003, 22(6): 24-26.
- [2] 王志胜, 王道波. 传感器标定的统一数据处理方法[J]. 传感器技术, 2004, 23(3): 46-48.
- [3] 胡勇. 信息融合技术在无人直升机中的应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007: 196-201.
- [4] D.L. Hall, J. Llinas. An Introduction to Multisensor Data Fusion[J]. Proc. of the IEEE, 1997, 85(1): 6-24.