

基于模糊 PID 的 SG1024 墨水温度控制系统设计

王晓明^{1,2}, 谭中原^{1,2,3}, 张文源³, 林炳宏³

(1. 兰州理工大学 电气工程与信息工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学 温州研究生分院, 浙江 温州 325105;

3. 浙江工正科技有限公司, 浙江 温州 325105)

摘要: 供墨系统中墨水粘度随温度的升高而降低, 在温度低的时候墨水粘度高、流动性差, 容易导致喷头的堵塞和在打印介质上成像模糊的问题, 为了解决这个问题提出了用对墨水加热的方法来控制墨水的粘度。由于喷墨打印系统中的温度控制具有非线性、时变性和滞后性等特征, 严重影响温度控制的快速性和准确性, 为了解决常规 PID 控制在温度调节中适应性差、调节效果不明显的问题, 这里采用模糊 PID 参数自整定控制方法, 利用 MATLAB/Simulink 仿真工具对温度控制系统进行了模糊 PID 仿真分析, 并结合 SG1024 喷头的工作需要进行喷头墨水加热电路设计, 在供墨系统中进行试验。

关键词: 模糊 PID 控制; 墨水粘度; MATLAB/Simulink 仿真; SG1024 喷头

中图分类号: TP273+.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2017)01-0035-04

Design of SG1024 ink Based on Fuzzy PID Temperature Control System

WANG Xiao-ming^{1,2}, TAN Zhong-yuan^{1,2,3}, ZHANG Wen-yuan³, LIN Bing-hong³

(1. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050 China;

2. Wenzhou Graduate Branch, Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105 China;

3. Zhejiang Gongzheng Technology Co.,Ltd. Wenzhou 325105 China)

Abstract: The viscosity of the ink system is decreased with the increase of temperature. The ink viscosity is high and the flow property is low, it is easy to cause the clogging of the nozzle. Because of the nonlinear, time variability and hysteresis characteristics of the temperature control in the ink jet printing system, it has a serious impact on the accuracy of temperature control. In order to solve the problem that the conventional PID control is not obvious, the fuzzy PID parameter self-tuning control method is used to solve the PID parameters. Combined with the work of the SG1024 nozzle, the nozzle ink heating circuit is designed, and the test is carried out in the ink system.

Key words: fuzzy PID control; ink viscosity; MATLAB Simulation; SG1024 nozzle

1 引言

在实际使用中, 墨水粘度是影响喷射过程以及墨水成像效果的重要因素, 粘度过高会导致墨水在喷嘴处不易喷射造成喷嘴阻塞影响打印效果, 降低打印速度和连续性。同时也会影响在打印介质上的成像效果, 导致成像模糊降低打印质量, 墨水粘度过低会造成喷头流墨的

问题, 这样就会造成墨水很大的浪费和占用很大的人力去清洁。墨水温度主要受季节和早晚温差影响, 墨水特别是在温度低的时候粘度非常大, 很容易造成喷头堵塞, 不仅会造成打印中断, 而且浪费了时间去清洗喷头。在高温的情况下公共场所会有一些降温的方法, 例如风扇, 空调等。目前喷墨打印机供墨系统中墨水粘度的控制一般是通过给喷头加热的方法来实现。对于 SG1024 型的彩色喷墨打印机来说, 不同颜色的墨水所对应的粘度不

收稿日期: 2015-11-27

一样，所以就要对它们设置不同的最佳温度。为了避免四个加热单元占用体积大的问题，设计一个具有多路控制功能的集成温度加热单元，对不同颜色的墨水分别进行温度控制。

2 墨水粘度的分析

粘度是墨水内部分子之间的引力的一种表现形式，温度变化会影响墨水内部分子运动的变化，进而会影响分子之间的引力从而改变墨水的粘度，墨水粘度与温度的特性关系式如下：

$$\ln \eta = A + \frac{E\eta}{T} \quad (1)$$

式中：A、E—粘度特性参数，T—墨水温度， η —墨水粘度。

在不同温度下对其进行粘度检测，其关系曲线如图1所示：

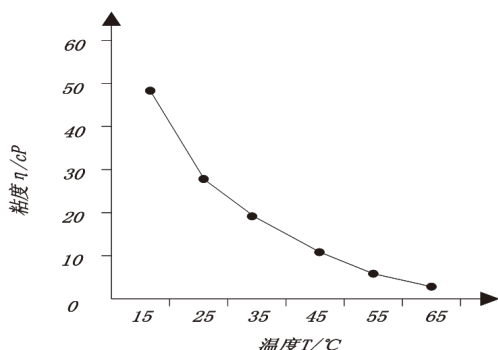


图1 墨水粘度与温度的关系曲线图

由图可知墨水的粘度与温度呈负相关，特定的温度范围决定了其粘度范围。对于不同颜色的墨水来说它们的最佳粘度不同，对应的温度也就不同。因此通过控制墨水的温度就可以有效的控制墨水粘度。

3 喷头供墨温度控制的数学模型

3.1 喷头供墨温度控制系统的组成

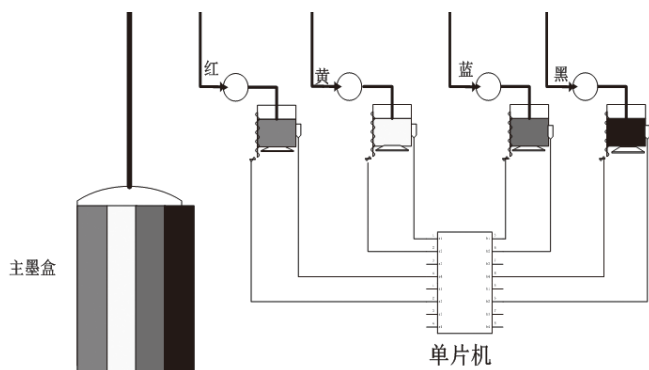


图2 喷头供墨温度控制系统结构图

供墨温度控制系统是由喷头、油泵、次级墨盒、温度传感器、加热带、单片机和放置四种颜色墨水的主墨盒组成，其结构图如图2所示。

执行机构：加热带，在系统结构图中四种颜色的次级墨盒外面分别由加热带包围，这样会使墨水在加热过程中受热均匀，保证了最佳的粘度和图像的打印效果。

温度检测机构：PT100，本实验中使用的是成本较低的温度传感器 PT100，整个控制系统的次级墨盒壁都贴有 PT100，对这四种颜色墨水的实际温度分别进行检测，由于 PT100 输出的电压信号是 mV 级，必须要经过一个放大电路才能输入到单片机中。

控制机构：单片机，单片机根据输入的检测温度与实际温度进行比较，然后模糊 PID 自适应调节参数，改变输出 PWM 波的占空比来控制加热带的工作状态。

3.2 温度系统的模型

喷头墨水温度控制系统可以近似用二阶系统加上一个非线性环节，需要控制对象精确的数学模型，所以用如下的典型控制对象传递函数的一般形式。

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)} e^{-\tau s} \quad (2)$$

式中：K 为温度控制系统的静态增益； T_1 和 T_2 为时间参数， τ 为延时时间常数。本系统选用温度作为控制对象。本系统选用的是温度作为控制对象，喷头墨水温度控制系统是个确定的系统。该控制系统的静态增益 $K=1$ ，时间参数 $T_1=50$ 、 $T_2=1$ ，延时时间常数 $\tau=5$ 。把参数带入到上面的温度控制系统的一般传递函数中就可以得到喷头墨水温度控制系统的传递函数为：

$$G(s) = \frac{1}{(50s+1)(s+1)} e^{-5s} \quad (3)$$

从图2可以看出喷头里面的墨水是不断的从外部的墨盒由墨泵抽到喷头的次级墨盒中，这样会对温度控制系统产生很强的干扰，增加了系统的复杂性，加大了控制难度，所以对温度控制系统采用模糊PID控制算法，这样会提高温度的控制精度和快速性。

4 模糊 PID 控制算法

4.1 模糊 PID 参数自整定系统结构

采用模糊 PID 参数自整定控制方式，首先要找出 PID 三个参数与控制偏差 e 和偏差的导数 e_c 。之前的模糊关系，在运行中不断检测 e 和 e_c ，根据模糊控制原理来对三个参数进行修改，以满足不同 e 和 e_c 对控制参数的不同要求，从而使被加热带有良好的性能^[1-3]。即 e 和

e_c 作为模糊控制器的输入，PID 三个参数作为输出系统结构如图 3 所示。

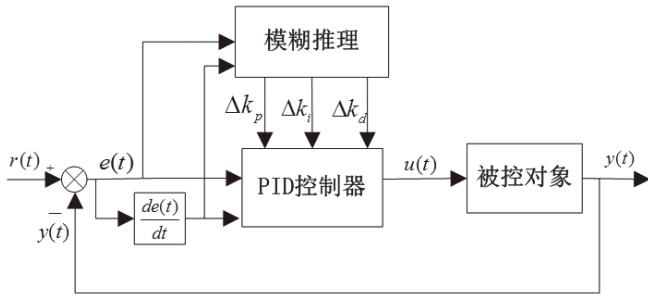


图 3 模糊 PID 自整定参数控制结构

4.2 模糊 PID 控制器设计

设定墨水的温度为 $r(t)$ ，当前的实际温度为 $y(t)$ ，我们把偏差 $e(t)=r(t)-y(t)$ 和 $e_c(t)=e(t)-e(t-1)$ 作为控制器的输入变量，控制量 $u(t)$ 作为输出量，温度偏差模糊量 e 的模糊论域为 $\{PB, PS, PZ, NZ, NS, NB\}$ ，偏差变化率 e_c 的模糊论域为 $\{PB, PS, Z, NS, NB\}$

把偏差 e 和偏差变化率 e_c 量化到 $(-3, 3)$ 区域内，得到温度偏差 e 和偏差变化率 e_c 的模糊量^[4-6]。

建立隶属度函数我们选择三角形分布，根据前面的偏差 e 和偏差变化率 e_c 的词集和论域的规定，可以得到墨水温度偏差模糊量 E 和偏差变化模糊量 EC 的隶属度值如表 1 所示^[7-8]。

表 1 隶属度函数控制规则表

E \ EC	EC							
	-3	-2	-1	-0	0	1	2	3
PB	0	0	0	0	0	0.5	0.5	1
PS	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0
PZ	0	0	0	0	1	0	0	0
NZ	0	0	0.5	1	0	0	0	0
NS	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0
NB	1	0.5	0	0	0	0	0	0

5 控制系统硬件设计

5.1 控制对象和喷头加热控制电路的设计

对于四色温度控制系统来说，四种颜色墨水的电路都是一样的，其电路设计结构框图如图 4 所示。

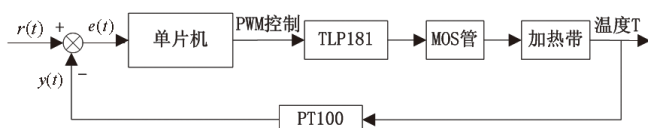


图 4 电路设计框图

5.2 控制系统设计说明

本系统中单片机使用的是 STC12C5620 系列的单片机，其价格便宜，性能可靠，运行处理速度快，并且具有四路的 PWM 输出口，这样单片机就可以通过这四路 PWM 输出口分别对四种颜色的墨水加热电路进行控制，实现四种颜色墨水单独控制的目的。由于本次温度控制设计通讯的实时性要求不是很严格，所以就用很普遍的 RS232 通讯方式，单片机把实际的墨水温度通过 RS232 总线传到 PC 中进行显示和观察，同时 PC 也可以对墨水的温度参数的设置。

PT100 是一个铂热电阻，它的阻值会随着温度的升高而变小，但是温度变化与电阻变化之间不是线性关系，所以要利用查找表的方法查出不同电压的情况下所对应的墨水的温度，利用这一特性系统控制通过 PT100 温度传感器检测到环境温度和墨水的温度转化为电信号，然后经过运算放大器进行放大，将放大的信号输入到单片机中，在单片机中经过 PID 运算处理转换为 PWM 波的占空比输出到加热控制电路，控制电路控制加热片开关的通断时间进而调节墨水温度。

由于加热带加热是用 24V 加热，电流要求比较大，用三极管直接驱动会烧坏三极管，所以就要用 MOS 管驱动加热带进行加热。用单片机的 PWM 控制三极管的通断，然后用 MOS 驱动加热带工作。

6 仿真结果

6.1 建立系统的 Simulink 仿真框图

本论文是对红黄蓝黑四种颜色墨水进行加热，由于这四路仿真框图都是一样的，所以只需要用 MATLAB 的 Simulink 搭出一个颜色墨水的系统即可，根据图 3 设计出系统的仿真框图^[9-10]，如图 5 所示。

6.2 MATLAB 的仿真结果

喷头墨水温度控制系统其数学模型为

$$G(s) = \frac{1}{(50s+1)(s+1)} e^{-5s}$$

把仿真模型搭建好之后对各个模块参数进行设置。通过多次参数的调整和仿真结果的观察得到它们的最佳参数，其中模糊化因子 $k_e=0.12$ $k_{ec}=0.02$ ，解模糊化因子为 $k_1=1.8$ ， $k_2=0.03$ ， $k_3=0.01$ ，参数设置好之后进行仿真，其结果如图 6 所示。

SG1024 喷头的红黄蓝黑四种墨水对应的最佳温度：黑色 36 度，蓝色 35 度，黄色 34 度，红色 33 度，由于这四种颜色墨水对应的最佳温度不一样，所以需要单独进行温度设置。通过上图的仿真结果可以得知模糊

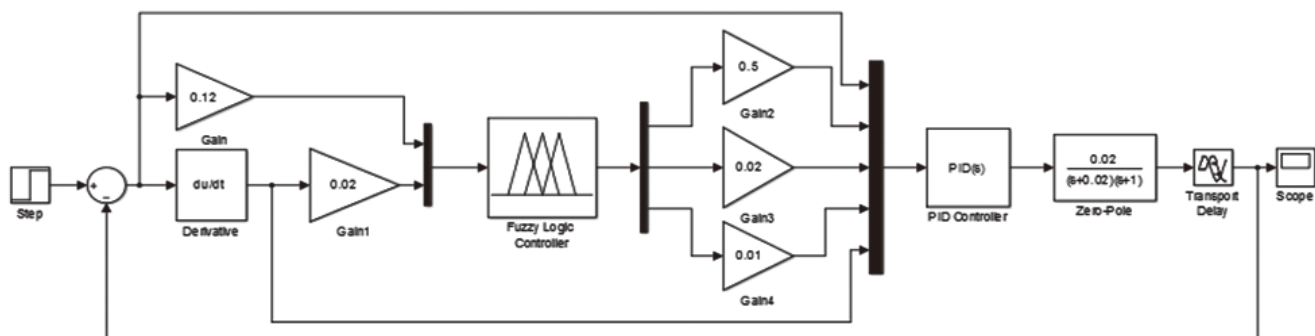


图5 模糊PID控制器的仿真模型

PID 在控制过程中没有振荡、较高的控制精度、较小的影响时间，而且超调量只有 2.5%。得到了本次喷头温度控制系统的设计目的。

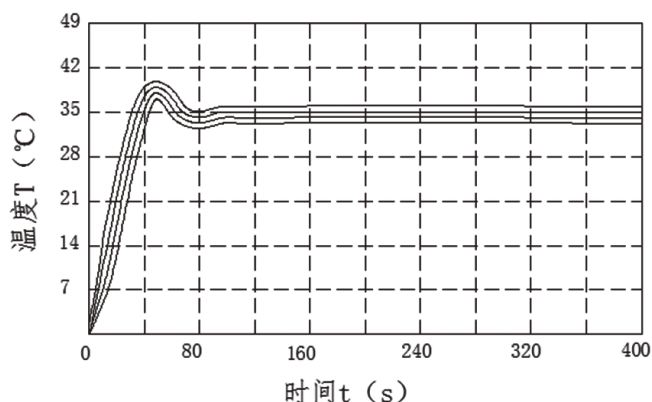


图6 四色温度控制仿真结果

7 结束语

本论文研究的喷头温度控制系统，在现实中喷墨打印机中具有重要的意义，对喷墨打印机行业的发展有很大的推动作用，可以提高喷墨打印机的打印效果。温度控制系统本身就具有非线性、时变性、滞后性的特性比较难控制，而且喷墨打印机的喷头墨水系统也是一个复杂的系统，这样又增强了温度控制的复杂性。现在的喷墨打印机喷头墨水加热是单路一起加热，用一个加热电路对四种墨水进行加热，这样就不能同时满足这四种墨水的最佳粘度，设计一个具有多路控制功能的集成温度加热单元，这样就可以保证四种墨水的最佳粘度，模糊PID控制算法提高了控制系统的控制精度、缩短了影响时间、减小超调量，抗干扰能力较传统PID效果有了很大的提高。

参考文献：

[1] 何芝强.PID控制器参数整定方法及其应用研究[D].杭州：浙江大学，2005.

[2] 方康玲.过程控制系统[M].武汉：武汉理工大学出版社，2002.

[3] 楼顺天，胡昌华.基于Matlab的系统分析与设计：模糊系统[M].西安：西安电子科技大学出版社，2001.

[4] SOUSA J M.Fuzzy predictive control applied to an air-conditioning system[J].Control Engineering, 1997,5(10):1395-1406.

[5] 李俊婷，石文兰，高楠.参数自整定模糊PID在温度控制中的应用[J].自动化技术与应用，2006,(11):34-36.

[6] 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，1998.

[7] 俞红卫.一种PID控制与模糊控制相结合的智能温度控制系统[J].上海应用技术学院学报，2007,7(2):106-109.

[8] 吴宏鑫，沈少平.PID控制应用于理论依据[J].控制工程，2003,37(1):6-10.

[9] 吴晓燕，张双选.Matlab在自动控制中的应用[M].西安：西安电子科技大学出版社，2006.

[10] 王辘，张科.基于Matlab的自整定模糊PID控制系统[J].探测与控制学报，2008,30(2):73-76.

作者简介：王晓明(1954-)，男，教授，研究方向：计算机控制技术。