

基于模糊自适应PID的定型机温度智能控制

苗荣霞,王磊*,杨婧,刘鑫森

(西安工业大学,陕西 西安 710000)

摘要:传统定型机在作业过程中热风箱温度控制系统存在惯性大和非线性等问题,为了保证织物加工后质量,根据定型机温度系统加热原理建立温度系统数学模型,提出基于模糊自适应PID调节原理的动态控制算法,通过分析模糊自适应PID控制原理,以PLC为控制器,依据现场热风箱内温度分析结果,对电加热器进行控制,进而保证现场温度在设定范围内。通过仿真结果表明,经过研究提出的模糊自适应PID对温度控制有较好效果,能够很好满足织物定型的工艺要求,具有一定的实用价值。

关键词:定型机;模糊自适应PID;OPC;温度控制

中图分类号:TP 273+.2

文献标志码:B

文章编号:1673-0356(2022)03-0027-03

织物在加工过程为了达到工艺要求,会承受各种形式的外力,进而导致织物内部结构发生变化。为了使织物内部结构重新恢复稳定,并使其质量获得改善和提高,需要对织物进行定型整理,定型机是对织物进行整理的设备。在定型过程中,需要在一定温度下对织物进行拉伸和拉幅,温度的精准控制是保证织物质量的关键因素,传统控制系统多采用PID控制器调节,但传统PID在系统运行开始后参数固定,无法应对温度大范围变化这类被控对象。研究基于模糊自适应PID控制算法在定型机温度控制系统中应用的可行性,使其实现对热风箱内温度的精准控制,满足织物定型的工艺要求。

1 定型机温度控制系统

温度控制系统是热定型过程中一个非常重要的组成部分,温度是否适宜直接决定定型织物的质量。热风箱通过对聚酯网的热处理来消除分子间内应力不均匀导致的织物形变,使纤维分子内部达到平衡状态。

定型机温度控制单元的作业过程包含两部分:一是必须快速无超调升温,包括起始升温 and 二次升温;二是在需要恒定温度时能够保持温度不发生变化。

图1为定型机的温度控制系统框图,操作人员通过上位机设置给定温度,现场热风箱内温度传感器采集环境温度,将模拟量信号转换为数字量信号上传给PLC,PLC使用环境温度与给定温度进行PID运算,再

由数字量信号转换为模拟量信号控制电力调整器,由电力调整器控制输出电压,调节电加热管的输出,保证环境温度与给定温度一致。

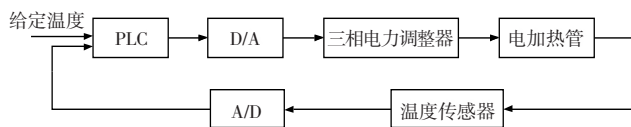


图1 温度控制示意图

2 温度系统数学模型

温度控制系统中采用空气对流式加热系统对织物表面进行加热,在热风箱中使用多个电加热管对热风箱内空气进行加热。被控对象的被控参数为热风箱内温度 T ,控制量为电热丝两端电压 u ,设加热丝质量为 M ,比热为 C ,热传系数为 H ,热传面积为 A ,未加温前热风箱内温度为 T_0 ,加热后温度为 T 。

根据热力学知识有:

$$MC \frac{d(T - T_0)}{dt} + HA(T - T_0) = Q_i \quad (1)$$

式中, Q_i 为单位时间内电热丝产生的热量。

考虑到 Q_i 与外加电压 u 的平方成比例,故 Q_i 与 u 是非线性关系。对平衡点 (Q_0, u_0) 周围进行线性化处理,得:

$$K_u = \frac{\Delta Q_i}{\Delta u} \quad (2)$$

于是可得微分增量方程:

$$MC \frac{d\Delta T}{dt} + HA\Delta T = K_u \Delta u \quad (3)$$

令 $T = \frac{MC}{HA}$, $K = \frac{K_u}{HA}$, 则式(3)可写为:

收稿日期:2021-11-17;修回日期:2021-11-25

第一作者:苗荣霞(1971—),女,副教授,主要研究方向为计算机测控技术。

*通信作者:王磊(1998—),男,硕士,主要研究方向为计算机测控技术,

E-mail:1643242249@qq.com。

$$T \frac{d\Delta T}{dt} + \Delta T = K_u \Delta u \quad (4)$$

考虑到控制系统存在迟滞性和鲁棒性,所以在公式(4)的基础上串联一个滞后环节,最终得到热风箱内温度变化量与给定电加热管的电压变化量之间的传递函数为:

$$G(s) = \frac{\Delta T(s)}{\Delta u(s)} = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \quad (5)$$

由试验数据可算出 $K = 1, T = 3, \tau = 3$ 。

3 模糊自适应 PID 控制

3.1 算法分析

定型机温度控制系统属于典型的负反馈系统,该系统由 PLC、电加热管、温度传感器、三相电力调整器等设备构成。由于温控系统属于非线性控制系统,各参数不断变化,为了达到控制要求,必须对参数进行不断设置,传统 PID 控制系统往往没有准确的模型,导致参数难以确定。利用模糊控制规则调节 PID 参数,实现了对热风箱内温度的精准控制。

基于 PLC 的模糊自适应 PID 控制器设计,由操作人员通过上位机输入温度给定值,记为 r_{in} ,热风箱内温度采集平均值为系统输出,通过测量装置反馈给系统,也是系统反馈值,记为 y_{out} ,PLC 经过 PID 算法整定后输出模拟量信号电压值通过三相电力调整器控制电加热管, K_p, K_i, K_d 分别为 PID 控制器的控制系数。模糊自适应 PID 控制器结构如图 2 所示。

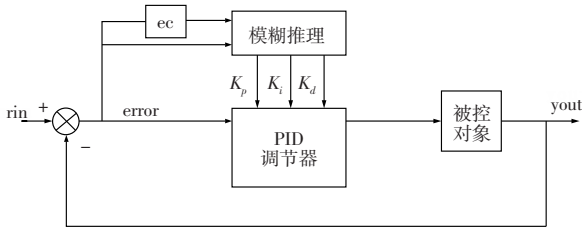


图 2 模糊自适应 PID 控制器

3.2 算法实现

定型机温度模糊自适应 PID 控制器是一个二维控制器,输入变量为现场实际温度与操作员的设定温度之差 e 和误差的变化率 e_c ,根据实际控制需求,对于误差 e 和误差变化率 e_c 的模糊集定义为:

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

以工程项目中实际的误差变化范围以及误差变化率大小确定 e 和 e_c 的基本论域为:

$$e, e_c = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$$

隶属度函数曲线如图 3 所示。

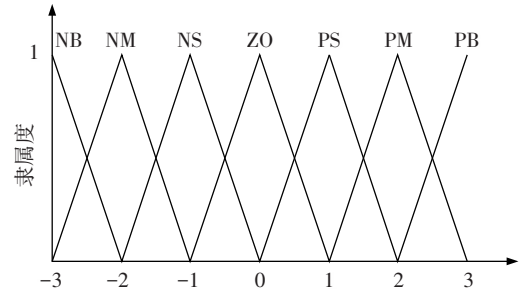


图 3 隶属度函数曲线

参数的整定规则是模糊控制的核心部分。根据现场实际情况以及专家经验可以得到以下整定规则,表 1 为模糊控制规则表。

表 1 模糊控制规则

E	ec						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	ZO/ZO/NM	ZO/ZO/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/ZO/ZO
NS	PM/NB/ZO	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NS/PS/ZO
ZO	PM/NM/ZO	PM/NM/NS	PS/NS/NS	ZO/ZO/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/ZO
PS	PS/NM/ZO	PS/NS/ZO	ZO/ZO/ZO	NS/PS/ZO	NS/PS/ZO	NM/PM/ZO	NM/PB/ZO
PM	PS/ZO/PB	ZO/ZO/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	ZO/ZO/PB	ZO/ZO/PB	NM/PS/PM	NM/PM/NM	NM/PM/PS	NB/PB/PB	NB/NB/PB

表 1 中 NB、NM、NS、ZO、PS、PM、PB 分别表示负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。采用最大隶属度法对输入信息进行模糊化处理,隶属度图形选取三角隶属函数,使用加权平均法将模糊量转化为论域中表示的清晰量,最终转化为所需实际控量。

在实际运行过程中,控制系统通过查询模糊控制规则表并进行进一步的运算,进而对 PID 参数完成校正,模糊 PID 控制器参数调整方式为:

$$k_p = k'_p + \{e_i, ec_i\}_p \quad (6)$$

$$k_i = k'_i + \{e_i, ec_i\}_i \quad (7)$$

$$k_d = k'_d + \{e_i, ec_i\}_d \quad (8)$$

将运算调整后的 PID 参数写入 PLC 系统的 PID 算法控制模块中,最终 PLC 用于控制三相电力调整器的模拟量电压输出信号值为:

$$u(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot \int_0^k e(k) + K_d \cdot \frac{de(k)}{dk} \quad (9)$$

模糊 PID 控制流程如图 4 所示。

在实际工作现场中,温度传感器采集现场环境温度,PLC 接收温度传感器反馈的模拟量信号进行 PID 运算,PID 参数需要实时调整在线修正,因此在 PLC

和上位机之间需要建立数据通道,作为 PLC 和上位机数据交换的服务器。本文用到基于 OPC 服务器,将底层 PLC 计算得到的误差 e 和误差变化率 e_c 读取到上位机的 MATLAB 软件中,作为模糊控制器的输入,经过模糊推理和决策,得到 PID 控制器的 3 个参数调整值 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d ,PLC 接收来自上位机的 PID 参数,再结合初始参数进行运算得出实际控制参数。

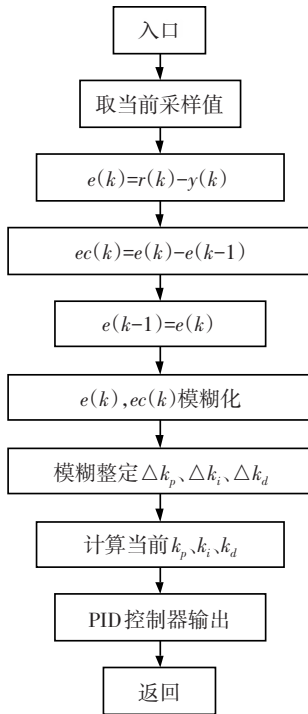


图 4 模糊 PID 控制流程

4 仿真及结果分析

为了检验该系统控制算法能否有效控制热风箱内温度变化,对系统控制算法进行仿真试验。根据定型机温度控制系统的数学模型,该仿真模型在输入端输入阶跃信号,在不考虑其他信号干扰的情况下,利用传统 PID 控制器和模糊自适应控制器,分别对输入信号进行处理,观察输出端信号变化情况,如图 5 所示。

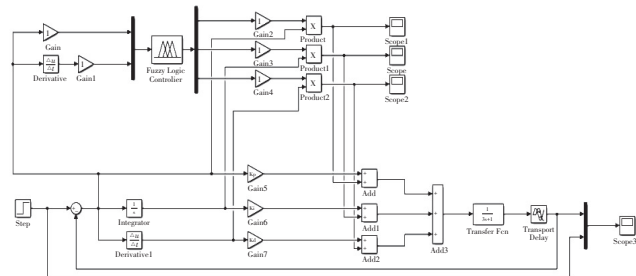


图 5 系统模型搭建

当设定温度值为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,模糊 PID 的温度输出曲线如图 6 所示,虚线是传统 PID 控制曲线,实线为模糊 PID 控制效果曲线,从图 6 中可以看出传统 PID 具有较大的超调量,并且响应时间较长,与传统 PID 控制器相比,模糊自适应 PID 控制响应速度快且几乎无超调,达到稳定之后稳态误差维持在 $\pm 3\%$ 的范围内,满足控制系统的要求,进一步证实将模糊 PID 应用于热定型中温度控制的可行性与有效性。

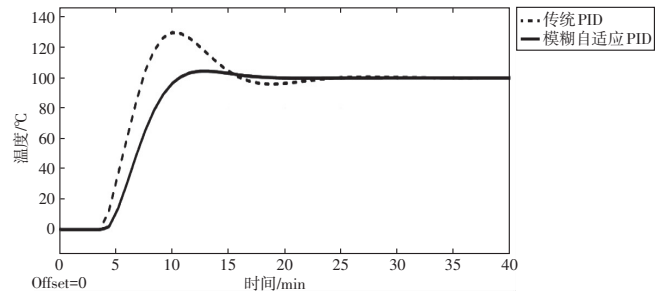


图 6 模糊自适应 PID 与 PID 控制响应曲线

5 结束语

研究基于 PLC 的定型机温度控制系统,该控制系统主要使用 PLC 做主控制器,对定型机的温度控制模块进行实时监测与控制,将模糊自适应 PID 控制算法应用于定型机温度控制系统中,通过在 Matlab/simulink 中搭建传统 PID 和模糊自适应 PID 模型进行仿真验证,证明模糊自适应算法使系统具有更好的动态性能和调节性能,能有效提高定型机温度控制系统的控制精度和控制效果,具有一定的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 黄金霖,宣艳,张莉,等. 基于 PLC 的电锅炉温度模糊预测 PID 控制[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2021,39(5):101-103,114.
- [2] 陈爽. 基于 PLC 的纺织机械自动控制方法[J]. 轻纺工业与技术,2021,50(7):10-11.
- [3] 王超,孙文旭,马晓静,等. 基于模糊控制的 HVPE 生长设备温度控制系统[J]. 工程设计学报,2020,27(6):765-770.
- [4] 黄建平. 热风拉幅定型机电气系统及控制策略设计[D]. 广州:广东工业大学,2020.
- [5] 李果. 热定型机温湿度控制系统研究[D]. 天津:天津工业大学,2020.

(下转第 61 页)

Improvement of Details in the Construction of Secondary Vocational Clothing Specialty in Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture, Southern Xinjiang

LI Yi^{1,2}

(1. School of Textiles & Fashion, Jiangsu College of Engineering and Technology, Nantong 226007, China; 2. Kizilsu Vocational Technical College, Atushi 845350, China)

Abstract: Taking the teaching of secondary vocational and technical clothing specialty in Kizilsu Vocational Technical College as the background and based on the policy direction of promoting employment by industry, a series of explicit and implicit basic problems were summarized from the perspectives of the current learning situation, the composition of professional teachers, the form of professional courses and the teaching environment in the process of participating in its professional teaching. The overall development path of secondary vocational clothing specialty in Kizilsu Kirghiz Autonomous Prefecture was considered under the initiative of the high-quality development of modern vocational education and the measures taken by Southern Xinjiang to revitalize resources in the mode of family factory and satellite factory and promote employment by textile and garment industry. The improvement direction was put forward for some detailed problems, so as to provide reference for the transformation of clothing specialty construction from coarse to fine.

Key words: secondary vocational school; professional development; clothing specialty

(上接第 29 页)

- [6] 汪浩洋,徐恺,曹玉. 基于 PLC 及 OPC 通信的模糊 PID 控制实现[J]. 自动化与仪表,2019,34(5):35-40,44.
- [7] 李继松,袁霏. 基于变频器通信技术的定型机燃烧器安全设计[J]. 纺织科技进展,2018(10):12-15.
- [8] 谭宝成,陈超,张立广. 定型机温度张力控制系统研究[J].

西安工业大学学报,2015,35(1):33-38.

- [9] 吕俊. 基于 OPC 的 PLC 在线 PID 模糊自整定系统[J]. 轻工机械,2013,31(2):35-39.
- [10] 王士鹏,陆宇平,吉顺平. 一种网络控制系统的组建及模糊 PID 算法仿真[J]. 仪表技术与传感器,2008(7):30-31,87.

Temperature Intelligent Control of Setting Machine Based on Fuzzy Adaptive PID

MIAO Rongxia, WANG Lei*, YANG Jing, LIU Xinsen

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710000, China)

Abstract: Due to large inertia and non-linearity problems in the temperature control system of hot air box during the operation of traditional sizing machine, in order to ensure the quality of the fabric after processing, a mathematical model of temperature system was presented based on heating principle. A dynamic algorithm based on the PID tuning principle was proposed. Through analyzing the fuzzy adaptive PID control principle, taking PLC as the controller, according to the temperature analysis results in the hot air box, the electric heater was controlled to ensure that the temperature is within the specified limits. Simulation results showed that the fuzzy adaptive PID had an excellent effect on temperature control, could fully meet the process requirements and had some practical application.

Key words: setting machine; fuzzy adaptive PID; OPC; temperature control