

瓦楞纸板生产线原纸张力模糊自适应PID控制

Fuzzy adaptive PID paper tension control in production line for corrugated board

王保升^{1,2}, 左健民², 汪木兰²

WANG Bao-sheng^{1,2}, ZUO Jian-min², WANG Mu-lan²

(1. 南京工程学院 材料工程学院, 南京 211167; 2. 先进数控技术江苏省高校重点实验室, 南京 210013)

摘要: 为解决不适张力对瓦楞纸板生产的影响, 通过放卷辊的动力学分析, 建立了张力数学模型, 分析了影响张力的主要因素。针对常规PID控制在原纸张力控制过程中难以实现参数整定, 提出模糊自适应PID张力控制算法, 建立了相关变量的隶属度函数, 依据PID参数调节规则和专家知识给出了模糊规则, 采用重心法实现了输出量的去模糊化。为分析系统性能, 建立了控制系统模型, 并进行了仿真。结果表明, 该方法可以在线调整控制器参数, 控制效果优于常规PID, 系统响应迅速、抑制扰动能力强、稳定性较好。

关键词: 瓦楞纸板; 张力控制; 模糊自适应PID

中图分类号: TP273

文献标识码: B

文章编号: 1009-0134(2009)06-0066-04

0 引言

瓦楞纸板是商品包装中应用最广的一种纸板, 是由瓦楞原纸加工而成。首先把原纸加工成瓦楞状, 然后用胶黏剂从两面将表层黏合起来, 使纸板中层呈空心结构, 其强度、挺度、硬度、耐压、耐破、延伸性等性能均比一般的纸板高, 有利于保护所包装的产品。由于瓦楞纸板具有环保性和质量轻的优点, 用途又进一步延展, 在缓冲衬垫、商品展示架、家具等领域逐步得到广泛应用。目前国内有瓦楞纸板生产线几千条, 都不同程度的存在断纸与质量问题, 这其中一个重要的因素就是原纸张力控制不当。张力过大或过小可引起原纸的塑性变形、断裂、起皱、翘曲等严重缺陷, 张力不均衡可导致原纸的走偏、漂移等, 从而影响到瓦楞纸板的质量和生产效率^[1]。在原纸放卷过程中, 由于放卷辊半径变化, 其转动惯量随之改变, 造成系统动力学模型具有时变性^[2]。模糊控制作为智能控制的重要分支之一, 它的最大特点是针对各类具有非线性、不确定性、时变的复杂系统, 可以取得良好的控制效果^[3]。结合PID控制原理简单、易于实现的优点, 本文提出模糊自适应PID控制策略实现原纸张力控制。

1 放卷辊张力数学模型

瓦楞纸板生产线原纸供送如图1所示。图中, v

为原纸供送速度; R 为纸卷半径; r 为纸卷芯轴半径; F_r 为原纸张力; M_R 为制动力矩; M_f 为摩擦力矩; w 为带卷角速度。带卷在放卷过程中, 原纸受到主动辊的拉力、摩擦力和磁粉制动器产生的制动力矩的作用, 其之间的关系满足^[4]:

$$\frac{d(J\omega)}{dt} = F_r R - M_R - M_f \quad (1)$$

式中: J 为带卷的转动惯量。

带卷的转动惯量 J 由卷带材料和芯轴两部分组成, 其计算公式为:

$$\begin{aligned} J &= J_R + J_r = \frac{1}{2} \pi b \rho (R^4 - r^4) + \frac{1}{2} \pi b \rho_1 r^4 \\ &= \frac{1}{2} \pi b \rho R^4 + J_0 \end{aligned} \quad (2)$$

式中: J_R 为卷带材料的转动惯量, J_r 为芯轴的转动惯

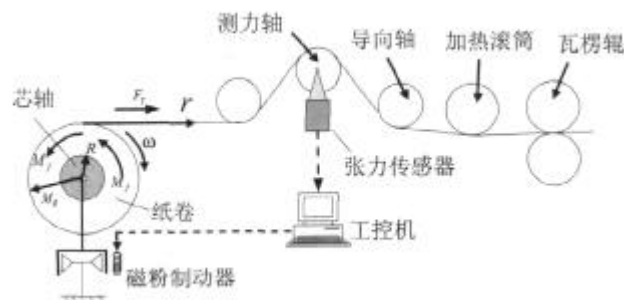


图1 原纸供送系统示意图

收稿日期: 2008-11-17

基金项目: 先进数控技术江苏省高校重点实验室开放基金资助项目(KXJ06121); 南京工程学院科研基金资助项目(KXJ07001)

作者简介: 王保升(1978-), 男, 山东菏泽人, 讲师, 主要研究方向为包装设备数字控制技术等。

量; ρ 为卷带材料的密度; ρ_1 为芯轴的密度; b 为卷带材料的宽度; $J_0 = \frac{1}{2}\pi b(\rho_1 - \rho)r^4$, 为常数。

在供送过程中, 由于卷带的半径 R 逐渐变小, J 和 ω 为时变量。由 $\omega = \frac{v}{R}$, 得:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{R} \frac{dv}{dt} - \frac{v}{R^2} \frac{dR}{dt} \quad (3)$$

由于包装材料的厚度 δ 非常小, 在此假定 $\delta v dt = 2\pi R dR$, 则:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{\delta v}{2\pi R} \quad (4)$$

将式 2、式 3 和式 4 代入式 1, 得:

$$F_T = \frac{M_R}{R} + \frac{M_f}{R} + \left(\frac{1}{2}\pi b \rho R^2 + \frac{J_0}{R^2}\right) \frac{dv}{dt} + \left(\frac{3}{4}b\rho\delta - \frac{J_0\delta}{2\pi R^4}\right)v^2 \quad (5)$$

由于供送过程中摩擦力矩的影响较小, 忽略摩擦力矩, 并假设速度 v 恒定, 则式 5 可写成:

$$F_T = \frac{M_R}{R} + \left(\frac{3}{4}b\rho\delta - \frac{J_0\delta}{2\pi R^4}\right)v^2 \quad (6)$$

由式 6 可得出, 在速度 v 稳定不变的情况下, 制动力矩 M_R 和带卷半径 R 直接影响张力的变化。如需维持张力 F_T 恒定, 必须根据 R 的变化及时调整 M_R 。 R 可以通过测径仪直接测得, 也可以通过纸卷半径的变化规律求解其实时数值^[5]。

2 模糊自适应 PID 控制器设计

2.1 模糊自适应 PID 控制器结构

模糊自适应 PID 控制器主要由模糊推理器和参数可调整的 PID 控制器两部分组成, 模糊推理器由偏差 e 和偏差变化 ec 作为输入, 以常规 PID 控制器的 3 个参数的调节量为输出, 即建立 PID 3 个参数与 e 和 ec 的关系。在运行过程中通过不断检测 e 和 ec , 采用模糊推理方法实现 K_p 、 K_i 和 K_D 的在线调整^[6]。其基本结构如图 2 所示。

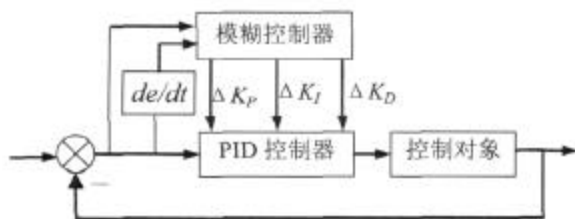


图 2 模糊自适应 PID 控制系统框图

根据瓦楞原纸张力控制实际情况, 此控制器采用二输入三输出的结构。依据张力传感器检测的实际张力值, 求出其张力偏差 e 和偏差的变化率 ec , 经模糊化后由精确量变为模糊量, 再经模糊推理做出模糊决策。

2.2 隶属度函数的确定

在瓦楞原纸张力控制系统中, 考虑到系统的特点, 将输入语言变量 e 和 ec 在模糊集上的论域定义为: $e, ec = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 其模糊子集为: $e, ec = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, 子集中的元素分别表示负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大。

同理, 输出语言变量 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_D 在模糊集上的论域定义为: $\Delta K_p, \Delta K_i$ 和 $\Delta K_D = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 其模糊子集为: $\Delta K_p, \Delta K_i$ 和 $\Delta K_D = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, 子集中的元素同样表示负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大。其隶属度函数如图 3 所示。

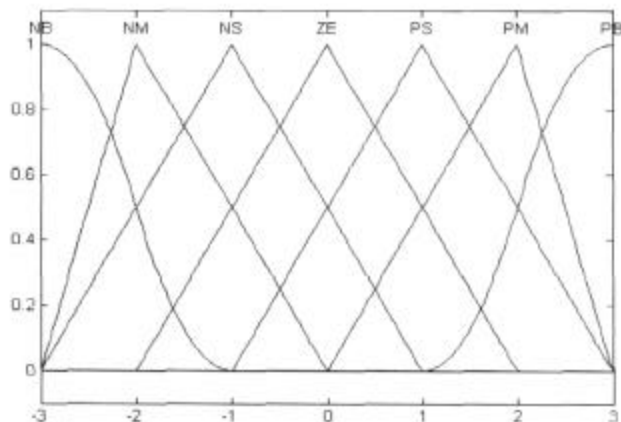


图 3 e 、 ec 以及 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_D 的隶属度函数

2.3 模糊规则的建立及模糊推理

模糊规则是模糊控制器的一个重要组成部分, 是模糊推理的基础, 一般由操作经验和专家知识总结得出。本文依据 PID 参数整定原则, 在总结瓦楞纸板生产线中原纸张力控制的实际经验基础上, 考虑到控制规则的完备性, 建立了 49 条控制规则, 表 1 列出了输出变量 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_D 的控制规则。

模糊推理是模糊控制器的核心, 它具有模拟人的基于模糊概念的推理能力, 通过模糊逻辑中的蕴含关系及推理规则进行推理。本文采用肯定式推理方式, 利用求交法实现 and 运算和蕴含运算, 合成运算采用“最大—最小”方法, 具体算法见文献[7]。

表1 参数、和的调节规则表

c	ec						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	Z/Z/NM	Z/Z/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/Z/Z
NS	PM/NB/Z	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NS/PS/Z
Z	PM/NM/Z	PM/NM/NS	PS/NS/NS	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/Z
PS	PS/NM/Z	PS/NS/Z	Z/Z/Z	NS/PS/Z	NS/PS/Z	NM/PM/Z	NM/PB/Z
PM	PS/Z/PB	Z/Z/PS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	Z/Z/PB	Z/Z/PM	NS/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

2.4 模糊量的精确化

精确化又称为去模糊化,是把模糊量转变成精确量的过程^[8]。通过推理得出的模糊控制量须经过反模糊的变换,使之成为一般的模拟量,才能用于实际的控制器。精确化的方法较多,本文采用重心法,其数学表达为:

$$\Delta K_p = \frac{\sum_{i=1}^7 \mu_i \cdot \Delta K_{pi}}{\sum_{i=1}^7 \mu_i}$$

$$\Delta K_i = \frac{\sum_{i=1}^7 \mu_i \cdot \Delta K_{ii}}{\sum_{i=1}^7 \mu_i} \quad (7)$$

$$\Delta K_D = \frac{\sum_{i=1}^7 \mu_i \cdot \Delta K_{Di}}{\sum_{i=1}^7 \mu_i}$$

式中: μ_i 为 $e_i \times ec_i$ 求属度, ΔK_{pi} , ΔK_{ii} 和 ΔK_{Di} 为各元素在集合中的加权系数。

2.5 输入输出量化

输入量化的作用是将实际输入变量的基本论域变换成为其相应语言变量的论域,因此必须将输入变量乘以相应的量化因子将 e 、 ec 转换到论域[-3,3]上。同样,输出语言变化量也需要通过输出比例因子进行输出量化,将其的论域转化为实际输出变量的论域,具体比例因子应根据系统而定^[9]。

3 模糊自适应PID控制系统仿真

3.1 系统仿真模型的建立

依据模糊张力控制系统原理,利用MATLAB软件提供的 Simulink 工具箱和模糊逻辑工具箱,建立如图4所示的系统仿真模型,模型中的子系统模糊自适应PID控制器如图5所示。主要技术参数如下:带卷的初始半径为600mm,稳态包装速度为5m/s,纸张的厚度为0.05mm,芯轴半径取200mm,卷带

材料的宽度取1000mm,磁粉制动器的惯性时间常数 T_v 取0.02,放大倍数 K_v 取5.0,反馈增益 K_f 取0.1。经过不断控制器的初始参数 K_p 的初始值取0.8, K_i 的初始值取47.6, K_D 的初始值取0, e 和 ec 量化因子取

3和1/12, ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_D 的比例因子取0.1、0.2和0.001。

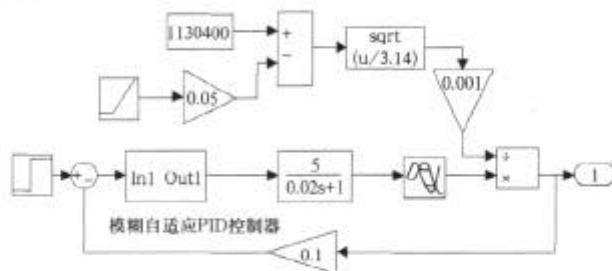


图4 系统仿真模型

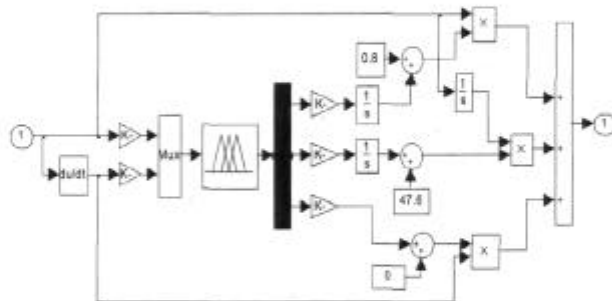


图5 模糊自适应PID控制器

3.2 仿真结果分析

图6为系统的阶跃响应,从仿真结果可以看出应用模糊自适应PID控制使得系统动静态性能得到了提高。模糊自适应PID控制响应速度有所提高,超

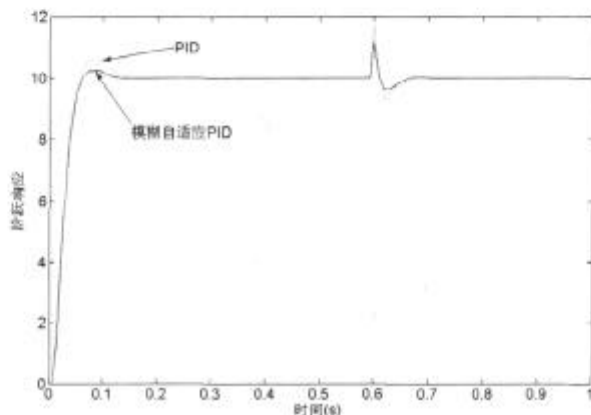


图6 系统响应

调量相对于常规PID减小了58%。由于其参数可调,模糊自适应PID在0.14s就可以到达稳定状态,而常规PID控制则在0.2s才到达稳定。

在实际张力控制系统中,扰动是客观存在的。为测试系统的抗干扰特性,在0.6s时加入振幅为1的脉冲干扰,系统的响应如图6所示。从仿真的结果可以得出,模糊自适应PID控制除响应速度快、超调量小以外,还能有效地抑制扰动。在抑制扰动方面,与常规PID控制相比,超调量降低了20%,调节时间缩短了38%。

4 结束语

本文将模糊自适应PID控制应用于瓦楞纸板原纸张力控制中,克服了常规PID参数不能在线调节的特点。该方法能够根据瓦楞纸板生产线中放卷辊的半径不断变化在较大范围内自动调节控制器参数,表现出良好的控制性能。与常规PID控制比较,具有超调量小、精度高、同时系统的鲁棒性也较好。

随着瓦楞纸板生产线的生产速度和生产质量要求的提高,摩擦和速度扰动对系统性能的影响将进一步加大。本文所提出的张力控制方法为进一步研究精密张力控制以及速度与张力的解耦控制提供了

基础。

参考文献:

- [1] 刘苗生,潘宗预.瓦楞纸板生产线原纸恒张力在线自动测控装置的设计与实现[J].湖南大学学报(自然科学版),2002,29(3):12-14.
- [2] 康家玉,王孟效,米林安.交流幅卷机退纸辊的控制策略[J].中国造纸,2007,26(10):29-32.
- [3] Kenji Okada,Tetsuzo Sakamoto. An adaptive fuzzy control for web tension control system[J]. IEEE transaction on industry applications,1998,34(4):1762-1767.
- [4] 王保升,武华,潘超.卷筒包装材料供送系统动力学分析及张力自适应控制[J].中国制造业信息化,2007,36(19):56-59.
- [5] 孙智慧,岳亚东,刘晔.卷带包装材料连续供送恒张力控制系统的设计[J].农业机械学报,2006,37(8):208-210.
- [6] 蒋胜,刘惠康.模糊自适应PID控制器在张力控制中的应用[J].微计算机信息,2006,22(8):32-34.
- [7] 孙增圻.智能控制理论与技术[M].北京:清华大学出版社,1997.
- [8] 董千里,史耀耀,周云端,等.基于模糊自整定PID的布带缠绕机张力控制算法的研究[J].现代制造工程,2006(12):103-105.
- [9] F.Janabi-Sharifi.A neuron-fuzzy system for looper tension control in rolling mills[J].Control engineering practice,2005,13(1):1-13.

【上接第49页】

理制度、质量文档管理、质量成本管理、人员及标识管理等。如质量管理体系包括产品质量保证与管理制度、生产装备的操作、维护、修理等管理制度、模具设计与工艺文件的审查与批准程序规定、标准化及其管理制度、仓库管理制度、人员教育与培训、奖励制度等;质量文档管理的内容有质量体系程序文件、标准、任务书、检测记录及报表等,各种设计评审记录、工艺会签记录等;质量成本管理是进行质量成本核算,使质量成本在可控范围之内。人员及标识管理主要对各个工序的上岗人员资格、培训经历、责任分工、考核记录等进行管理。针对物料、工件或产品进行检测后质量等级的划分或区分。

4 结论

详细分析了模具企业TQMS系统和CRM、CAX、SCM、KM、MES的特点及其之间的联系,建立了系统信息集成模型和对应的功能模型,为模具企业质量管理和其他技术人员之间提供了良好

的信息沟通和管理解决方案,彻底解决因为沟通不便而造成的模具质量问题,形成了以计划—检测—评价的方式来控制模具质量,持续改进提高模具质量,将极大提高客户的满意度和忠诚度,为模具企业提供更多的订单机会,提高了企业的竞争力。

参考文献:

- [1] 周善中.制造业面向持续改进的集成质量系统研究[D].天津大学,2006.
- [2] 王毅,陈庆新,毛宁,等.基于模具企业的CRM研究[J].模具工业,2004,(1).
- [3] 陈可义,高长元.基于工作流的制造业质量管理体系模型[J].科技与管理,2008,(3).
- [4] 杨乐,岳彦芳.基于MES的质量管理系统的设计与研究[J].计算机技术应用,2007,(7).
- [5] 王毅,陈庆新.模具CRM系统的信息集成研究与功能设计[J].制造业自动化,2005,(6).
- [6] 韦余传,韦福华.柳钢质量管理体系的构建及展望[J].柳钢科技,2007,(1).
- [7] 高文俊,王海龙,王冰冰,等.航天产品制造过程质量管理体系的研究[J].航天制造技术,2007,(5).