

# 基于模糊神经网络 PID 的卷材纠偏控制

谭印, 李川

(桂林电子科技大学, 北海 536000)

**摘要:** 目的 为了提高卷材边缘的整齐度, 提升包装产品质量, 降低包装材料损耗。方法 分析卷材放卷过程中跑偏的原因, 在分析放卷纠偏系统数学模型的基础上, 提出一种模糊神经网络 PID 的纠偏控制器以实现复杂的卷材放卷系统参数自调整以及优化。结果 仿真和实验结果表明, 模糊神经网络 PID 具有更快的响应速度, 超调量更小, 纠偏控制精度达到 $\pm 0.5$  mm。结论 所述控制方法能够明显降低软性包装材料跑偏误差, 大大提高了产品包装质量。

**关键词:** 卷材; 纠偏; 模糊神经网络 PID; 参数自调整

**中图分类号:** TB486; TP272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)19-0190-04

## Coil Deviation Control Based on Fuzzy Neural Network PID

TAN Yin, LI Chuan

(Guilin University of Electronic Technology, Beihai 536000, China)

**ABSTRACT:** The work aims to improve the coil edge uniformity, improve the quality of the packaging products and reduce the packaging material loss. The cause for coil deviation in the unwinding process was analyzed. Based on the analysis of the mathematical model for the unwinding deviation control system, a deviation controller based on the fuzzy neural network PID was proposed to achieve the complicated parameter self adjustment and optimization of the coil unwinding system. The simulation and experimental results showed that, the fuzzy neural network PID had faster response speed and smaller overshoot, and the deviation control accuracy was up to  $\pm 0.5$  mm. The proposed control method can obviously reduce the deviation error of the flexible packaging material, and greatly improve the packaging quality of the product.

**KEY WORDS:** coil; deviation; fuzzy neural network PID; parameter self adjustment

随着生活水平的不断提高, 人们对现代商品包装要求越来越高, 在高速运行的包装生产线上, 由于生产线过长和快速的包装要求, 以及软包装材料自身因素导致包装材料在放卷过程中出现蛇形“跑偏”现象, 这种带材跑偏大大降低了包装产品品质, 增加了包装材料消耗<sup>[1-3]</sup>。为了解决这一严重影响现代包装质量和包装自动化水平的问题, 亟需一种有效可行的纠偏控制方法对包装材料在传送过程中进行在线检测, 并根据检测值对其加以补偿, 从而实现包装材料跑偏的纠正。

按照不同的检测装置可以将纠偏控制系统分为光电纠偏控制系统、红外纠偏控制系统、图像采集处

理纠偏控制系统。上述 3 种纠偏控制系统各有各的优点和不足, 适用于不同的纠偏装置中。在包装生产线中, 通常采用光电纠偏控制, 利用色标传感器对包装材料中的色标线进行跟踪检测, 并将检测结果传送到控制器中, 然后控制器根据偏差量控制纠偏机构, 由纠偏机构对包装材料进行纠偏<sup>[4-6]</sup>。

产品包装过程中, 包装材料输送不是一个线性过程, 且在传送过程中存在较大的随机扰动, 以至于纠偏系统数学模型的建立较为困难, 因此传统 PID 控制算法并不能取得令人满意的效果。模糊控制算法不需要建立控制对象的精确数学模型, 非常适用于非线性、时滞性系统<sup>[7-11]</sup>, 因此, 文中针对包装材料出现

收稿日期: 2017-04-19

基金项目: 教育部职业院校信息化教学指导委员会课题 (2015LX093)

作者简介: 谭印 (1982—), 男, 硕士, 桂林电子科技大学讲师, 主要研究方向为计算机网络和计算机控制。

的跑偏现象，提出一种模糊 PID 控制方法，并引入神经网络对控制系统参数进行优化。

### 1 包装材料跑偏原因分析

包装材料跑偏是指包装材料在传输过程中受到不可控制力的作用而不能沿基准线均匀传送，出现偏离基准中心线。包装材料在传输过程中需要经过多个导向辊因此跑偏的概率较大，其跑偏的原因主要可以总结为：放卷导辊安装精度出现偏差，即导辊的轴线与材料传送方向不垂直导致包装材料的张力分布不均匀，从而导致材料跑偏；导辊自身精度存在问题；包装机在运转过程中由于机械振动导致包装材料在传送过程中跑偏。从这几个原因可以看出，前 2 点可以通过安装和加工精度保证机械精度从而尽量避免机械结构因素影响而使带材跑偏，第 3 点是在生产过程中客观存在的，不可避免。包装材料在沿着导辊向前运转时，其张力分布必然不均匀，当摩擦条件相同时，必然存在张力大摩擦力就大，张力小摩擦力小，因此在没有外界干预的情况下，包装材料便会沿着摩擦力小的地方向摩擦力大的地方移动，从而使包装材料跑偏，见图 1。包装材料跑偏时其表面存在着分布不均的张力，因此导辊上同样存在着不均匀的摩擦力，此时导辊应向右移动阻碍包装材料继续跑偏而获得在此的平衡。

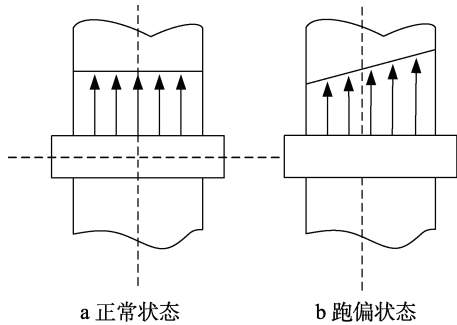


图 1 包装材料张力分布  
Fig.1 Packaging material tension distribution

### 2 纠偏控制系统数学模型

放卷纠偏控制系统主要用在包装材料放卷过程中，通过对放卷滚筒位置的移动对包装材料传送方向进行调整，从而保证包装材料始终沿着理想方向运动。通过安装在放卷辊上的光电传感器检测材料边缘跑偏量，其跑偏量通常为时间常数的一阶惯性分量，纠偏系统数学模型见图 2。

$x_1$  为包装材料放卷处的固有跑偏信号，经过干扰通道和传感器检测后得到包装材料总偏差量  $e(t)$ ； $T(s)$  为控制器传递函数。 $y$  为纠偏执行机构输出的纠偏量，且有： $T = \frac{L}{v}$ 。式中： $v$  为包装材料传送速度； $L$  为

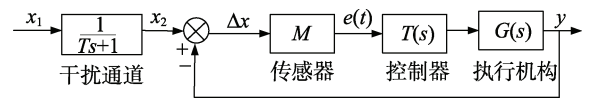


图 2 纠偏系统数学模型  
Fig.2 Mathematical model of deviation control system

滚筒上的包装材料与传感器监测点之间的距离。 $L$  随着包装机的运转不断减小，由此可以看出纠偏系统数学模型是时刻变化的。 $x_1 = X \sin 2\pi ft$ 。式中： $X$  为包装材料跑偏幅度； $f$  为跑偏频率。当包装材料传送速度越快时， $f$  也会越大， $f$  和  $v$  的关系表达式为：

$$f = k \frac{v}{100}$$

式中： $k$  为修正系数。

### 3 模糊神经网络 PID 控制器设计

包装机包装材料传送过程是一个复杂的非线性过程，在各环节中存在着许多不确定因素以至于很难建立纠偏系统的数学模型，因此传统 PID 算法对于纠偏系统控制并不理想。模糊控制、神经网络等智能控制方法的出现和不断发展，为非线性系统提供了一种有效可行控制方法。模糊控制是一种以工程经验为控制模型，不需要建立精确的数学模型的一种智能控制方法。神经网络拥有强大的自学习能力，可以逼近任意非线性函数<sup>[12-16]</sup>。文中将二者结合用于包装材料供送系统，形成纠偏系统的复合控制。模糊神经网络 PID 控制结构见图 3， $e(k)$  为输入量偏差， $e_c(k)$  为偏差变化率，经过模糊神经网络处理后得到  $\Delta k_p$ 、 $\Delta k_i$  和  $\Delta k_d$ 。

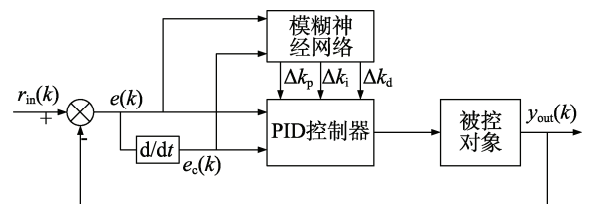


图 3 模糊神经网络 PID 控制器结构  
Fig.3 A fuzzy neural network PID controller structure

整个模糊神经网络包含 4 层，I 为输入层，O 为输出层，下标为神经网络第几层。输入层表示为：

$$\begin{cases} I_1(1) = e(k) \\ I_1(2) = e_c(k) \end{cases} \quad (1)$$

对应输出层为：

$$O_1(i, j) = I_1(i) \quad (i = 1, 2; j = 1, 2 \dots n) \quad (2)$$

式中： $n$  为模糊子集个数。

模糊化层表示为：

$$I_2(i, j) = \frac{[O_2(i, j) - c_{ij}]^2}{(b_{ij})^2} \quad (i = 1, 2; j = 1, 2 \dots n) \quad (3)$$

对应输出层为：

$$O_2(i, j) = \exp(I_2(i, j)) \quad (i = 1, 2; j = 1, 2 \dots n) \quad (4)$$

式中： $b_{ij}$ 为隶属度函数的宽度； $c_{ij}$ 为隶属度函数的中心值。

模糊推理层表示为：

$$I_3(i) = O_2(1, k_1) \cdot O_2(2, k_2) \quad (5)$$

$$(k_1, k_2 = 1, 2 \dots n; i = 1, 2 \dots n^2)$$

对应输出层为：

$$O_3(i) = I_3(i) \quad (i = 1, 2, \dots, n^2) \quad (6)$$

输出层可表示为：

$$I_4(j) = \sum_{i=1}^{n^2} O_3(i) \cdot \omega_{ij} \quad (i = 1, 2 \dots n^2; j = 1, 2, 3) \quad (7)$$

对应输出层为：

$$O_4(j) = I_4(j) \quad (j = 1, 2, 3) \quad (8)$$

式中： $\omega_{ij}$ 为模糊推理层和输出层之间的权值系数。输出层的输出对应PID控制器的3个参数为：

$$\begin{cases} O_4(1) = \Delta k_p \\ O_4(2) = \Delta k_i \\ O_4(3) = \Delta k_d \end{cases} \quad (9)$$

对于PID控制器结构：

$$\Delta u(k) = k_p(e(k) - e(k-1)) + k_i e(k) + k_d(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \quad (10)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (11)$$

式中： $k_p = k_{p0} + \Delta k_p$ ； $k_i = k_{i0} + \Delta k_i$ ； $k_d = k_{d0} + \Delta k_d$ 。

如上所述，模糊神经网络有3个参数 $\omega_{ij}$ ， $b_{ij}$ ， $c_{ij}$ 需要学习。神经网络学习能力的性能指标函数为：

$$E(k) = \frac{1}{2}(r_{in}(k) - y_{out}(k))^2 = \frac{1}{2}(e(k))^2 \quad (12)$$

式中： $r_{in}(k)$ 为理论输出值； $r_{out}(k)$ 为实际输出值； $e(k) = r_{in}(k) - y_{out}(k)$ 则表示控制误差。采用BP法在线计算上述3个参数，即：

$$\begin{cases} \omega_{ij}(k+1) = \omega_{ij}(k) - u \frac{\partial E(k)}{\partial \omega_{ij}(k)} + \eta(\omega_{ij}(k) - \omega_{ij}(k-1)) \\ b_{ij}(k+1) = b_{ij}(k) - u \frac{\partial E(k)}{\partial b_{ij}(k)} + \eta(b_{ij}(k) - b_{ij}(k-1)) \\ c_{ij}(k+1) = c_{ij}(k) - u \frac{\partial E(k)}{\partial c_{ij}(k)} + \eta(c_{ij}(k) - c_{ij}(k-1)) \end{cases} \quad (13)$$

式中： $u$ 为学习速率； $\eta$ 为惯性系数。

其中：

$$\begin{aligned} \frac{\partial E(k)}{\partial \omega_{ij}(k)} &= \frac{\partial E(k)}{\partial y_{out}(k)} \cdot \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \cdot \frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_4} \cdot \frac{\partial O_4}{\partial \omega_{ij}(k)} \\ &= -(r_{in}(k) - y_{out}(k)) \cdot \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \cdot xc \cdot O_3 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial E(k)}{\partial b_{ij}(k)} = \frac{\partial E(k)}{\partial y_{out}(k)} \cdot \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \cdot \frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_4} \cdot \frac{\partial O_4}{\partial O_3} \cdot \frac{\partial O_3}{\partial O_2} \cdot \frac{\partial O_2}{\partial b_{ij}(k)}$$

$$\begin{aligned} &= -(r_{in}(k) - y_{out}(k)) \cdot \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \cdot xc \cdot O_3 \cdot \frac{2(I_1(i) - c_{ij})^2}{b_{ij}^2} \\ \frac{\partial E(k)}{\partial c_{ij}(k)} &= \frac{\partial E(k)}{\partial y_{out}(k)} \cdot \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \cdot \frac{\partial \Delta u(k)}{\partial O_4} \cdot \frac{\partial O_4}{\partial O_3} \cdot \frac{\partial O_3}{\partial O_2} \cdot \frac{\partial O_2}{\partial c_{ij}(k)} \\ &= -(r_{in}(k) - y_{out}(k)) \cdot \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \cdot xc \cdot \omega \cdot O_3 \cdot \frac{2(I_1(i) - c_{ij})^2}{b_{ij}^2} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{式中：} \frac{\partial y_{out}(k)}{\partial \Delta u(k)} \approx \text{sgn} \left( \frac{y_{out}(k) - y_{out}(k-1)}{\Delta u(k) - \Delta u(k-1)} \right)$$

### 4 仿真与实验

利用 Matlab 中的 Simulink 对传统 PID 控制和模糊神经网络 PID 控制进行仿真，2 种不同控制方式下的阶跃响应仿真曲线见图 4。由图 4 可看出，传统 PID 算法趋于稳定的时间约为 5 s，模糊神经网络 PID 控制算法调节时间为 2 s，传统 PID 超调量为 24%，模糊神经网络 PID 超调量仅为 1.7%，由此可以看出模糊神经网络控制相应速度快、超调量小，具有更好的动静态性能。

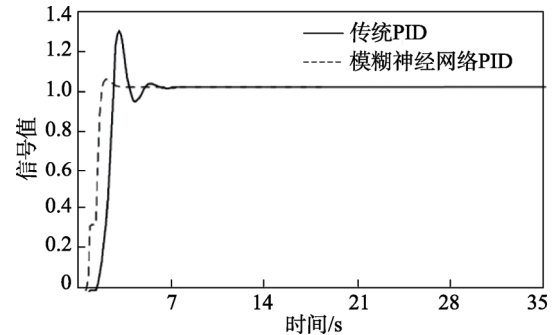
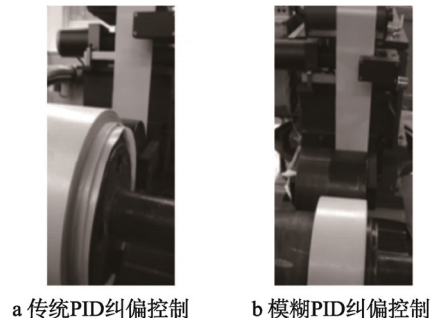


图 4 仿真结果

Fig.4 The simulation results

由仿真结果可知，与传统 PID 控制相比，文中提出的模糊神经网络 PID 控制算法响应速度更快，超调量更小，系统在较短时间内便可达到稳定，具有更好的动静态性能。基于以上分析，选用 XP-1000 数控缠绕机为实验机，通过基恩士 FS-V21R 色标传感器检测包装材料跑偏量，其中传统 PID 控制和模糊神经网络 PID 控制下的卷材纠偏结果见图 5，跑偏实验数据：



a 传统PID纠偏控制 b 模糊PID纠偏控制

图 5 卷材纠偏实验

Fig.5 Coil deviation control experiment

传统 PID 控制测量值为 3.2, 2.5, 2.7, 3.1, 4.3, 2.6, 1.7, 1.9, 3.5, 2.7; 模糊神经网络 PID 控制测量值为 0.6, 0.5, 0.3, 0.4, 0.3, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.4。可知, 传统 PID 控制时纠偏平均误差约为 2.82 mm, 模糊神经网络 PID 控制下纠偏平均误差约为 0.43 mm。实验结果表明, 模糊神经网络控制下包装机纠偏系统误差大大降低, 能够有效提高包装产品质量。

## 5 结语

分析了包装机卷材跑偏的原因以及纠偏系统数学模型, 并在此基础上针对纠偏系统存在时变性、非线性等特点提出了一种模糊神经网络 PID 纠偏控制方法, 在 Simulink 环境下针对传统 PID 控制和模糊神经网络 PID 控制进行了仿真和实验分析, 仿真和实验结果表明, 模糊神经网络 PID 纠偏控制具有更好的鲁棒特性, 该控制方法能够明显提高纠偏系统控制精度, 纠偏误差控制在 0.5 mm 以内。

### 参考文献:

- [1] 阎龙, 江伟, 史耀耀. 复合材料布带缠绕纠偏控制系统设计[J]. 宇航学报, 2012, 33(8): 1171—1176.  
YAN Long, JIANG Wei, SHI Yao-yao. Design of the Rectification Control System for Composites Tape Winding[J]. Journal of Astronautics, 2012, 33(8): 1171—1176.
- [2] 黄梦涛. 磁粉制动器在卷取机张力控制系统中的应用[J]. 西安矿业学院学报, 1999, 9(2): 173—175.  
HUANG Meng-tao. Application of Magnetic Powder Brake to Tension Control System for Coiler[J]. Journal of Xi'an Mining Institute, 1999, 9(2): 173—175.
- [3] 杨开平, 史耀耀, 何晓东, 等. 复合材料布带缠绕智能纠偏控制技术[J]. 航空学报, 2011, 32(7): 1318—1325.  
YANG Kai-ping, SHI Yao-yao, HE Xiao-dong, et al. Controlling Technology of Intelligent Position Correcting in Winding Process of Composites[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2011, 32(7): 1318—1325.
- [4] 赵万剑, 徐耀良, 杨宁, 等. 一种带颜色自动识别功能的卷材纠偏控制方法[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 99—103.  
ZHAO Wan-jian, XU Yao-liang, YANG Ning, et al. Coil Correction Control Method with Color Automatic Recognition Function[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 99—103.
- [5] 卫光, 郭坤. 三伺服枕式包装机电子凸轮控制系统的应用[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(6): 57—59.  
WEI Guang, GUO Kun. The Research and Implementation of Electronic Cam of Three-servo Pillow Packaging Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2012, 30(6): 57—59.
- [6] 李支茂, 湛永祥, 李双跃, 等. 柔性水泥包装线控制系统的研究[J]. 机械设计与制造, 2016(1): 169—171.  
LI Zhi-mao, CHEN Yong-xiang, LI Shuang-yue, et al. The Control System Design and Research of Flexible Cement Packaging Line[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(1): 169—171.
- [7] 薛雷, 孙以泽, 李培兴, 等. 基于模糊 PID 的裤袜包装机热封切刀温度控制的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 16—20.  
XUE Lei, SUN Yi-ze, LI Pei-xing, et al. Research on Temperature Control of Heat-sealing Cutting Knife of Pantyhose Packaging Machine Based on Fuzzy-PID[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 16—20.
- [8] 宋乐鹏, 刘斌, 陈红芬, 等. 基于 Bang-Bang 模糊自适应 PID 的干燥窑温度控制[J]. 计算机与应用化学, 2012, 29(7): 881—884.  
SONG Le-peng, LIU Bin, CHEN Hong-fen, et al. Approach to Controlling the Temperature of Drying Kiln Using Bang-Bang Adaptive Fuzzy PID Controller[J]. Computer and Applied Chemistry, 2012, 29(7): 881—884.
- [9] DU Chun-hua, CHEN Shao-ke, LIANG Xiao-ming. Application of Fuzzy Theory in Temperature Control System of Thermoforming Machine[J]. Procedia Engineering, 2011(15): 639—643.
- [10] 张俊, 李明. 基于 PLC 的模糊控制器在定量包装秤中的应用[J]. 制造业自动化, 2014, 36(5): 110—112.  
ZHANG Jun, LI Ming. Application of Quantitative Packaging Machine based on PLC Fuzzy Controller[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(5): 110—112.
- [11] 王慧华. 基于线阵 CCD 传感器的跑偏检测与控制[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.  
WANG Hui-hua. Detection and Control of Deviation Based on Linear CCD[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2008.
- [12] DENG J Q. The Smith-PID Control of Three-tank-system Based on Fuzzy Theory[J]. Journal of Computers, 2011, 6(3): 514—522.
- [13] 吴渊. 基于模糊 PID 的循环水温度控制系统研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.  
WU Yuan. The Circulating Water Temperature Control System based on Fuzzy PID[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [14] MANUEL G, ETIENNE V. Temperature Regulation and Tracking in a MIMO System with a Mobile Heat Source by LQG Control With a Low Order Model[J]. Control Engineering Practice, 2013, 21: 333—349.
- [15] HAN L, ZHANG Z Y. The Application of Immune Genetic Algorithm in Main Steam Temperature of PID Control of BP Network[J]. Physics Procedia, 2012, 24: 80—86.
- [16] 赵金, 刘洋. 基于模糊推理的专家自整定 PID 控制器[J]. 华中科技大学(自然科学版), 2010, 38(6): 5—7.  
ZHAO Jin, LIU Yang. Fuzzy Reasoning-based Expert Self-Tuning PID Controller[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition), 2010, 38(6): 5—7.