

枕式包装机包装材料运送速度控制

李艳, 轩建举

(许昌电气职业学院, 许昌 461000)

摘要: **目的** 为了提高包装袋的袋长精度, 提升包装袋体外观质量。**方法** 提出一种基于神经网络 PID 自适应的三伺服枕式包装机包装材料速度控制方法, 将传统的 PID 控制方法同神经网络控制相结合, 设计一个神经网络 PID 控制器, 包括控制器结构和学习算法, 可用于解决相关非线性问题。**结果** 仿真和实验结果表明, 采用神经网络 PID 控制方法, 包装材料速度达到稳态时, 所用时间约为 2 s, 最大超调量不超过 2%, 包装袋长误差能够有效控制在 ± 1 mm 以内。**结论** 所设计的控制方法与传统的 PID 控制相比, 具有响应速度快、抗干扰能力强、控制输出稳定等优点, 能够显著提高包装袋长精度。

关键词: 包装材料; 速度控制; 神经网络 PID; 仿真

中图分类号: TP273.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)11-0183-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.028

Feeding Speed Control of Packing Material for Pillow Type Packing Machine

LI Yan, XUAN Jian-ju

(Xuchang Electric Vocational College, Xuchang 461000, China)

ABSTRACT: The paper aims to improve the precision of bag length and the appearance quality of bag. A new speed control method for packaging material of three-servo pillow type packing machine based on neural network PID adaptive control was proposed. The traditional PID control method was combined with the neural network control. A neural network PID controller was designed, including its structure and learning algorithm, which can be used to solve related non-linear problems. The simulation and experimental results showed that when the neural network PID control method was adopted and the speed of packaging material became stable, the time was about 2 s and the maximum overshoot was less than 2%. The bag length error can be effectively controlled within ± 1 mm. Compared with the traditional PID control, the designed control method has the advantages of fast response speed, strong anti-interference ability, stable control output, etc. It can significantly improve the length accuracy of the packaging bag.

KEY WORDS: packaging materials; speed control; neural network PID; simulation

枕式包装机是一种能够自动完成送料、供膜、制袋、纵封、横封横切、成品传送等任务的自动包装设备, 该设备包装的物品广泛, 如方便面、小型饼干、纸巾等^[1-3]。枕式包装机因其拥有智能自动化、生产效率高等优点, 在诸多领域中被广泛使用, 因此国内外在枕式包装机方面的研究逐渐普遍^[4-6]。

枕式包装机通常采用薄膜材料实现物品的包装,

包装材料的运送是实现物品连续自动化包装的必要条件, 在运送包装材料时, 必须要保证运送速度的快速性、稳定性以及可控性。枕式包装机长期存在包装材料运送速度难以稳定控制的问题, 速度的波动直接对包装袋体精度以及袋形外观造成严重影响。包装材料的运送系统通常是一个复杂多变的非线性系统, 因此很难建立准确可靠的数学模型。在包装材料运送速

度控制上,通常采用PID进行闭环控制,通过色标传感器检测薄膜上的色标然后进行速度计算,并将该速度与初始速度进行比对,通过该差值大小实现包装材料速度的调整。传统PID控制算法结构简单、适用性强,在工业控制领域中被广泛使用^[7-10],但传统PID控制由于其控制参数固定不变,参数不能随时根据外部因素变化而自动变化,从而导致该算法稳定性差,控制精度不高。神经网络控制具有较强的自我学习能力,在控制过程中不依赖于被控对象能否建立精确的数学模型^[11-13]。文章将传统PID控制与神经网络相结合,设计一款基于神经网络PID的包装机材料供送速度控制算法,以实现包装材料速度的自适应控制。

1 枕式包装机送膜系统

包装材料的稳定供送是实现产品自动化包装的必要条件,在包装材料供送过程中必须要保证材料供送速度快、稳定性高、可控性强,因此在送膜装置的设计过程中就必须满足以下几个基本要求:能够实现包装工艺,实现包装材料的连续平滑供送;能够根据包装效率,对送膜速度进行调整;满足包装材料供送的定长、定位、定向控制要求;供膜装置的设计要利于包装机总体布局,能够实现连续传动、色标检测、传感器安装、后期维修等工作。

滚筒装包装材料在传送过程中受到多种因素影响,使得包装材料供送速度不断变化,包装材料时松时紧,严重时使包装材料在传送过程中出现摆动甚至跑偏,从而不得不停机进行包装材料位置调整,从而严重影响包装效率。为了使包装材料张紧有度,通常在卷盘到拉膜牵引装置之间添加张紧装置。

文中所研究的枕式包装机采用的是柔性滚筒装复合薄膜包装材料,送膜装置的工作过程见图1,滚筒薄膜被安装在支撑轴上,绕到导辊导向,通过张紧

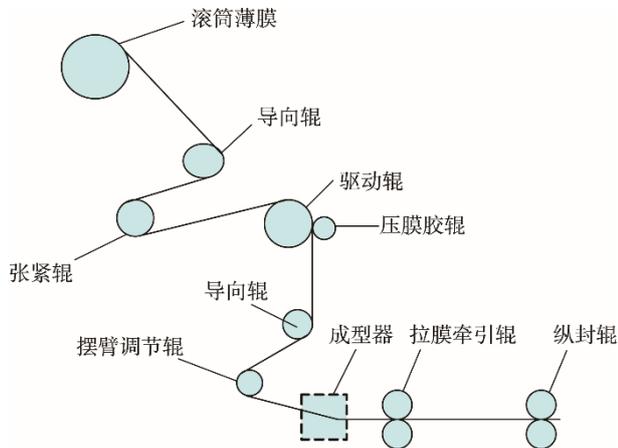


图1 送膜过程
Fig.1 Film feeding process

辊进行张紧,再通过牵引输出轴进行牵引,从而使薄膜向前运动,薄膜在运动过程中可能出现偏移,此时通过摆臂调节辊进行跑偏调整,同时通过色标传感器对材料上的色标进行位置检测,便可得到薄膜输送速度,通过控制器可以保证送膜与送料的速度同步控制,最后将薄膜经过成型器制作成所需的形状。

2 供膜速度PID控制

在供膜速度控制过程中,只有对包装材料速度进行精确控制,才能保证包装产品的质量。PID由于结构简单、稳定性强等特点,被广泛应用于闭环控制系统中,传统PID控制结构见图2。

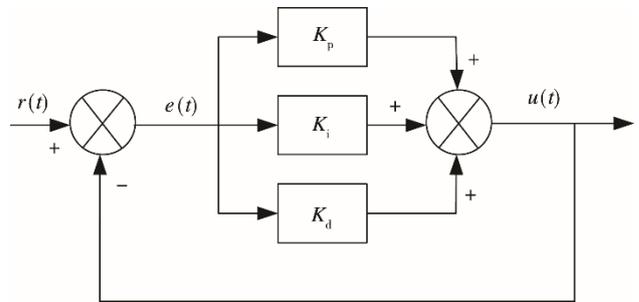


图2 传统PID控制结构
Fig.2 Traditional PID control structure

传统PID控制模型为:

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

式中: K_p 为比例参数; T_i 为积分参数; T_d 为微分参数。

将PID进行离散化可得:

$$\begin{cases} \int_0^t e(t) dt \approx T_0 \sum_{i=0}^n e(i) \\ \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e_n - e_{n-1}}{T_0} \end{cases} \quad (2)$$

由以上两式可得PID控制算式为:

$$U_n = K_p \left[e_n + \frac{T_0}{T_i} \sum_{i=1}^n e_i + \frac{T_d}{T_0} (e_n - e_{n-1}) \right] \quad (3)$$

式中: n 为采样次数; e_n 为采样数值; U_n 为控制器输出。

在PID控制过程中,用增量形式进行控制,即:

$$\Delta U_n = K_p (e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \quad (4)$$

式(4)中 K_p , K_d , K_i 为分别为比例系数、微分系数、积分系数。

3 神经网络PID控制

包装机通常的工作环境恶劣,从而导致包装材料

速度具有参数时变、时滞、非线性等特点，传统 PID 控制方法使得该速度控制超调量大、速度控制精度低。为了提高控制响应速度，提高控制精度，设计了一种基于神经网络 PID 的控制器，控制器结构见图 3，控制器输入可以是 $e_i(t)$ 或 $\varepsilon_i(t)$ 。

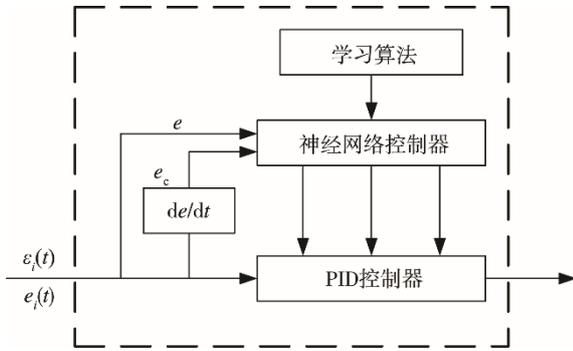


图 3 神经网络 PID 控制器
Fig.3 Neural network PID controller

以跟踪误差 $e_i(t)$ 为例，神经网络控制器采用 3 层结构，跟踪误差为 e 及其变化率为 e_c ； K_p, K_d, K_i 为 PID 的 3 个重要参数，定义 $W_{ij}(k)$ 为权值函数，隐含层和输出层之间的连接权为 $w_{js}(k)$ 。根据包装材料速度控制要求，选取如下性能指标函数：

$$E(k) = (v_i^d(k) - v_i(k))^2 / 2 \quad (5)$$

式中： $v_i^d(k)$ 表示 k 时刻包装材料速度给定值； $v_i(k)$ 表示 k 时刻包装材料速度实际值。

同时采用增量式数字 PID 控制算法，相应表达式为：

$$u(k) = u(k-1) + K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d (\Delta e(k))^2 \quad (6)$$

对于神经网络之间的权值采用梯度下降法进行修改，对应修正数学模型为：

$$\Delta \omega(k) = -\mu \frac{\partial E(k)}{\partial \omega(k)} + \alpha \Delta \omega(k-1) \quad (7)$$

其中：

$$\frac{\partial E(k)}{\partial \omega(k)} = \frac{\partial E(k)}{\partial \mu(k)} \cdot \frac{\partial \mu(k)}{\partial \omega(k)} = \frac{\partial E(k)}{\partial \mu(k)} \cdot \frac{\partial \mu(k)}{\partial o(k)} \cdot \frac{\partial o(k)}{\partial net(k)} \cdot \frac{\partial net(k)}{\partial \omega(k)} \quad (8)$$

式(7)中 μ 表示学习速率且满足 $\mu > 0$ ； α 表示惯性系数且满足 $0 < \alpha < 1$ 。

输出层满足：

$$\frac{\partial E(k)}{\partial \omega(k)} = -(v_i^d(t) - v_i(t)) = -e(k) \quad (9)$$

综合式(5—9)可以得到输出层权值学习算法，描述如下：

$$\Delta \omega_{js}(k) = \delta_s o_j(k) + \alpha \Delta \omega_{js}(k-1) \quad (10)$$

$$\delta_s = e(k) \frac{\partial u(k)}{\partial o_s(k)} g(\text{net}_s(k)) \text{sgn} \left(\frac{\partial \omega(k)}{\partial u(k)} \right) \quad (11)$$

$$g(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (12)$$

同理，可以得到隐含层权值学习算法，描述如下：

$$\Delta \omega_{ij}(k) = \delta_j o_i(k) + \alpha \Delta \omega_{ij}(k-1) \quad (13)$$

$$\delta_j = f(\text{net}_j(k)) \delta_s \omega_{js}(k) \quad (14)$$

$$f(x) = \frac{e^x}{e^x + e^{-x}} \quad (15)$$

4 仿真与实验分析

为了验证文中提出的神经网络 PID 控制算法的有效性，采用 MATLAB 对神经网络 PID 控制与传统 PID 控制分别进行仿真，采样周期为 0.5 s，并将其进行离散化。其中学习速率 $\mu=0.3$ ，惯性系数 $\alpha=0.02$ ，PID 参数为 $K_p=5, K_d=1.5, K_i=0.8$ 。2 种不同控制方法的单位阶跃响应曲线见图 4。由仿真结果可以看出，神经网络 PID 控制时振荡和超调量都很小，神经网络 PID 在 2 s 后便可趋于稳定，而单纯 PID 控制器需要 5 s，此外传统 PID 超调量为 23%，而神经网络 PID 控制时超调量仅为 1.9%，其远远小于传统 PID 控制，由此可以看出，神经网络 PID 控制性能明显优于传统 PID 控制，可以大大提高包装材料运送速度控制性能。

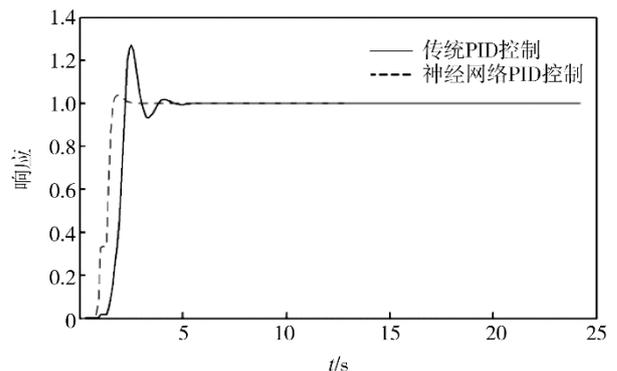


图 4 仿真曲线
Fig.4 Simulation curve

为了进一步验证提出的控制方法对于提升包装袋体精度的可行性，进行了相关实验数据采集。设定包装袋体长度为 100 mm，包装速度为 30 包/min，由采集到的数据得到包装袋体误差，见图 5。由图 5 可以看出，采用神经网络 PID 控制方法，可以将包装误差控制在 ± 1 mm 以内。

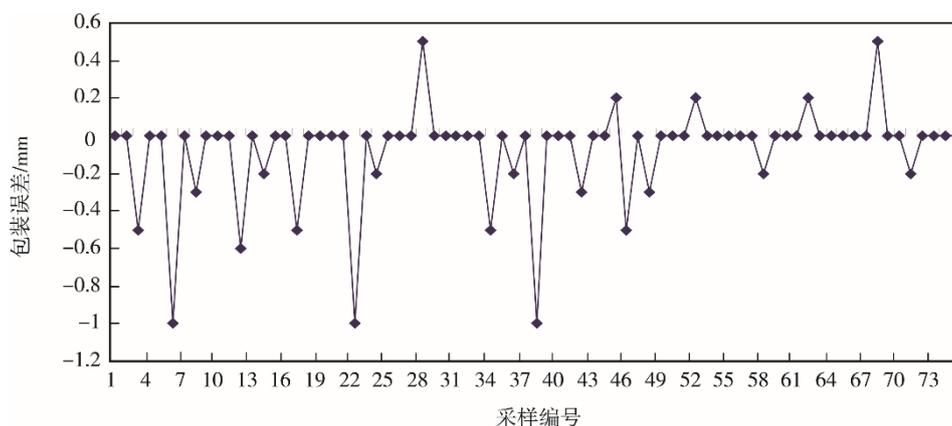


图5 包装误差折线

Fig.5 Packaging error line chart

5 结语

枕式包装机是工业包装领域中非常重要的一种自动包装机械设备,其送膜速度的稳定控制是保证包装精度的前提。包装机由于摩擦、机械装配误差的存在,导致包装材料速度控制具有很强的非线性特点,很难建立精确的数学模型。为了保证包装材料供送速度恒定,基于神经网络PID设计了一种包装机包装材料速度控制系统。仿真实验结果表明,该控制方法能够有效提高系统的响应速度,保证包装袋体误差稳定在 ± 1 mm以内。

参考文献:

- [1] 康瑞芳, 刘鑫. 基于 DSP 全自动食品包装控制系统设计[J]. 控制工程, 2017, 24(2): 336—340.
KANG Rui-fang, LIU Xin. Motion Analysis and Control System Design for Automation Packaging Machine[J]. Control Engineering of China, 2017, 24(2): 336—340.
- [2] 郁洋. 基于小波去噪的自动包装机控制系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2015.
YU Yang. Research on Automatic Packaging Machine Control System Based on Wavelet Denoising[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2015.
- [3] 聂学俊, 岳森峰, 李坤. 食品机械自动称重系统计量精度研究[J]. 食品与机械, 2014(4): 67—69.
NEI Xue-jun, YUE Sen-feng, LI Kun. Measuring Accuracy Research on Automatic Weighing System of Food Machine[J]. Food & Machinery, 2014(4): 67—69.
- [4] 唐宗美, 杨光友, 马志艳, 等. 包装设备控制系统综述[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 107—110.
TANG Zong-mei, YANG Guang-you, MA Zhi-yan, et al. Summarization of Packaging Equipment Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 107—110.
- [5] 卫光, 郭坤. 三伺服枕式包装机电子凸轮控制系统的研究与应用[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] LIU Ran, SUN Jian-zhong, LUO Ya-qin, et al. Research on Multi-motor Synchronization Control Based on the Ring Coupling Strategy for Cutter-head Driving System of Shield Machines[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 52/54: 65—72.
- [7] 邹文栋, 魏永强, 纪海燕. 基于 Fuzzy-PID 的 PZT 微纳扫描控制算法[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(5): 932—937.
ZOU Wen-dong, WEI Yong-qiang, JI Hai-yan. Fuzzy-PID Control Algorithm for PZT Micro/nano Scanner [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(5): 932—937.
- [8] 李学军, 周元, 宾光富. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(10): 37—42.
LI Xue-jun, ZHOU-Yuan, BIN Guang-fu. Temperature Control System for Cement Decomposing Furnace Based on Three-dimensional Fuzzy and PID Control Strategy[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2009, 23(10): 37—42.
- [9] 韩广, 乔俊飞, 韩红桂, 等. 基于 Hopfield 神经网络的污水处理过程优化控制[J]. 控制与决策, 2014, 29(11): 2085—2088.
HAN Guang, QIAO Jun-fei, HAN Hong-gui, et al. Optimal Control for Wastewater Treatment Process Based on Hopfield Neural Network[J]. Control and Decision, 2014, 29(11): 2085—2088.
- [10] B é RAUD B, STEYER J P, LEMOINE C, et al. Towards a Global Multi Objective Optimization of Wastewater Treatment Plant Based on Modeling and Genetic Algorithms[J]. Water Science and Technology, 2007, 56(9): 109—116.

- [11] HAKANEN J, SAHLSTEDT K, MIETTINEN K. Wastewater Treatment Plant Design and Operation under Multiple Conflicting Objective Functions[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2013, 46: 240—249.
- [12] YOSHIHIRO Ohnishi, TALIK K Gravel. A New Type Neural Network PID Control for Nonlinear Plants Control[J]. *IEEE Trans on Neural Networks*, 2003, 11(4): 495—506.
- [13] 徐川川, 朱凤凤, 李铁. BP 神经网络 PID 控制器在温室温度控制中的研究[J]. *中国农机化*, 2012(2): 151—154.
XU Chuan-chuan, ZHU Feng-feng, LI Tie. Study on BP Neural Network PID Controller in the Temperature Control of Greenhouse[J]. *China Agricultural Mechanization*, 2012(2): 151—154.
- [14] 陈怀忠. 基于 BP 神经网络 PID 算法的水箱液位控制系统设计[J]. *实验技术与管理*, 2012, 29(12): 81—84.
CHEN Huai-zong. The Design of the Water Tank Liquid Level Control Based on BP Neural Network PID [J]. *Experimental Technology and Management*, 2012, 29(12): 81—84.
- [15] 朱海峰, 杨志刚. 基于 BP 神经网络整定的 PID 控制[J]. *国内外机电一体化技术*, 2006(1): 55—58.
ZHU Hai-feng, YANG Zhi-gang. The Control of Tuning PID Based on BP Neural Network[J]. *International Mechatronics Technology*, 2006(1): 55—58.