

基于单神经元自适应算法的贴标机张力控制方法

陈志红¹, 金旻²

(1. 郑州铁路职业技术学院, 郑州 450052; 2. 华中科技大学, 武汉 430074)

摘要: **目的** 为了保证贴标机标带张力的恒定, 以提高贴标精度。**方法** 基于单神经元自适应算法提出一种贴标机恒张力控制方法, 详细分析贴标机供标机构的动力学模型, 并得到动态力矩平衡方程, 阐述影响张力恒定的关键因素。根据单神经元控制理论, 提出一种张力自适应控制算法, 并设计相应控制器。搭建试验平台, 进行相关试验研究。**结果** 采用所述控制方法, 贴标机正标率均大于 97%, 贴标过程张力恒定。**结论** 该控制系统贴标精度较高, 适用范围广, 响应快速稳定。

关键词: 贴标机; 张力控制; 单神经元; 自适应控制

中图分类号: TP273 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)17-0169-05

Labeling Machine Tension Control Method Based on Single Neuron Adaptive Algorithm

CHEN Zhi-hong¹, JIN Min²

(1. Zhengzhou Railway Vocational & Technical College, Zhengzhou 450052, China;
2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 4300074, China)

ABSTRACT: The work aims to ensure the constant tension of mark tapes used in the labeling machine to improve the labeling accuracy. A constant tension control method for labeling machine was put forward based on the single neuron adaptive algorithm. The dynamic model of label deliver mechanism of the labeling machine was analyzed in detail, and the dynamic torque balance equation was obtained. The key factors influencing constant tension were expounded. A tension adaptive control algorithm was proposed based on the single neuron control theory and the corresponding controller was designed. Finally, a test platform was set up to carry out the related experiment studies. The results showed that, based on the control method described herein, the labeling machine's standard-label rate was more than 97% and the tension was constant during the labeling. The proposed control system has advantages such as high labeling precision, wide application range and fast and stable response.

KEY WORDS: labeling machine; tension control; single neuron; adaptive control

随着社会和经济的发展, 在商品生产过程贴标是一个不可或缺的环节。通常情况下, 标签的形状、材质比较多, 而且被贴标对象的种类也多种多样, 贴标要求各异^[1-3]。同时要求贴标速度越来越快, 如果仅依靠人工贴标, 则很难满足生产需求^[4-5]。机械自动化贴标逐步代替人工贴标已成为一种发展趋势, 这样就可以解决诸多生产问题^[6]。在某种意义上, 贴标机是实现产品包装过程自动化的重要保证, 贴标机在包装工业中发挥着举足轻重的作用^[7]。

贴标机一般由供标机构、分瓶机构、抚压机构、传送带和控制系统等组成。其中供标机构负责完成标签传送和控制, 主要由放标机构、伺服或步进电机、标带、剥离板、收纸机构和制动器等组成^[8-10]。工作过程可描述为: 盘状标签通常固定在放标盘上, 通过电机驱动实现牵引辊拉动标签, 保证标签传送速度和张力恒定。为了提高贴标的精确度, 确保标带张力的恒定是关键^[11]。标带张力受多种因素影响, 且其变化具有一定的非线性, 传统的 PID 控制很难保证控制的

收稿日期: 2017-06-07

基金项目: 河南省教育厅科技攻关项目 (2009C510002); 河南省软科学研究项目 (152400410296)

作者简介: 陈志红 (1967—), 女, 硕士, 郑州铁路职业技术学院讲师, 主要研究方向为控制系统。

实时性、准确性^[12-13]。神经网络控制可以比较完美地解决非线性问题,但其计算过程比较复杂^[14-15]。单神经元控制则兼顾传统 PID 控制和神经网络控制的优点,可以用于贴标机的恒张力控制^[16]。文中基于单神经元自适应算法提出一种贴标机恒张力控制方法,分析供标机构动力学特性并设计相关控制器,通过试验验证所述方法的有效性。

1 供标机构动力学分析

假设标带张力为 T ,在电机驱动下,放标盘处标带线速度为 v_1 ,牵引辊处标带线速度为 v_2 ,放标系统受力情况见图 1。若 $v_2 < v_1$,此时标带会比较松弛,张力变小;若 $v_2 > v_1$,此时标带被拉伸,张力变大。故张力与速度 v_2, v_1 密切相关。

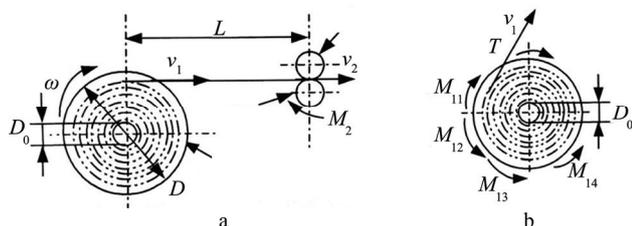


图 1 放卷系统受力分析
Fig.1 Stress analysis of reeling system

基于胡克定律,张力 T 可表示为:

$$T = \frac{s\varepsilon}{L} \int_0^L (v_2 - v_1) dt \tag{1}$$

式中: s 为标带横截面积; ε 为弹性模量; L 为方标盘和牵引辊之间标带的长度。由式(1)可知:若以张力作为被控对象,其实质就是对线速度差 ($v_2 - v_1$) 的控制且涉及到积分环节。具体地讲,该系统就是一个线速度跟踪系统。

贴标过程中,应保证速度 $v_2 > v_1$,并通过速度差产生一定张力。当张力发生变化时,可及时调整线速度 v_1 ,确保张力恒定。通过力学分析可以看出,标签盘的动态力矩方程可以表示为:

$$M_{11} = M_{12} + M_{13} + M_{14} \tag{2}$$

式中: M_{11} 为动力矩, $M_{11} = \frac{TD}{2}$; M_{12} 为制动力矩; M_{13} 为阻力矩; M_{14} 为惯性力矩, $M_{14} = \frac{d(J\omega)}{dt}$ 。

式(2)可表示为:

$$\frac{TD}{2} = M_{12} + M_{13} + \frac{d(J\omega)}{dt} \tag{3}$$

式中: D 为标签盘直径; J 为转动惯量。

相对来说,标带十分薄,贴单个标签对半径的影响很小,故可认为标签盘匀速转动,即 $\frac{d\omega}{dt} \approx 0$ 。由于

$M_{14} = \frac{d(J\omega)}{dt} = 0$, 所以其静态力矩方程可表示为:

$$\frac{TD}{2} = M_{12} + M_{13} \tag{4}$$

那么张力 T 可表示为:

$$T = \frac{2}{D} (M_{12} + M_{13}) \tag{5}$$

由式(5)可以看出,静态情况下,只需保证 $M_{12} + M_{13}$ 能够实时调整,即可实现恒张力控制,而且控制过程比较简单。静态放标仅仅是一种理想情况,在实际应用中影响力矩平衡的因素很多,标签盘转动惯量可表示为:

$$J_k = \frac{D}{2} \int_{D_0}^D d \left(m \frac{D^2}{4} \right) = \int_{D_0}^D \frac{\pi \rho b D^3}{8} dD = \frac{1}{32} \pi b \rho (D^4 - D_0^4) \tag{6}$$

式中: b 为宽度; ρ 为密度; D_0 为芯轴轴径。

根据式(3)推导可得:

$$T = \frac{2M_{12}}{D} + \frac{2M_{13}}{D} + \frac{8\delta}{\pi} \cdot J_0 \cdot \frac{V_1^2}{D^4} - \frac{3\rho\delta b V_1^2}{4} - \frac{\rho\delta b V_1^2}{4} \left(\frac{D_0}{D} \right)^4 + \frac{4}{D^2} \left[J_0 + \frac{\pi\rho b (D^4 - D_0^4)}{32} \right] \frac{dV_1}{dt} \tag{7}$$

式中: δ 为标带厚度; J_0 为放标盘转动惯量。标带一旦确定,那么与其相关参数 (如 δ, ρ, b, J_0) 则不会发生变化,所以张力 T 仅与 M_{12}, M_{13}, D 和 v_1 有关。为便于分析,在很小时间段内,可将直径 D 看作常数;摩擦阻力矩 M_{13} 为恒定值。综上所述,影响标带张力 T 的主要因素为线速度 v_1 ,而且线速度 v_1 的微小变化势必造成张力 T 发生较大幅度变化。

2 控制器设计

受参数不确定性和外界扰动的影响,贴标机张力控制系统具有一定非线性。为解决此问题,可采用自适应控制。当被控对象参数发生变化时,控制器能够主动修改自身相关参数,以确保系统性能满足期望指标。目前神经网络是一种比较常用的自适应控制算法,但是其计算过程比较繁琐,所以文中采用单神经元自适应控制算法,以提高张力控制系统的稳定性和动态性能。控制器结构见图 2。

图 2 中 T 表示张力设定值, $T(k)$ 表示张力实际采样值, $u(k)$ 表示控制量, $e(k)$ 表示张力偏差值。通过转换器可将张力偏差 $e(k)$ 转换为自适应控制状态变量 $x_1(k), x_2(k), x_3(k)$, 即:

$$\begin{cases} x_1(k) = e(k) \\ x_2(k) = e(k) - e(k-1) \\ x_3(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2) \end{cases} \tag{8}$$

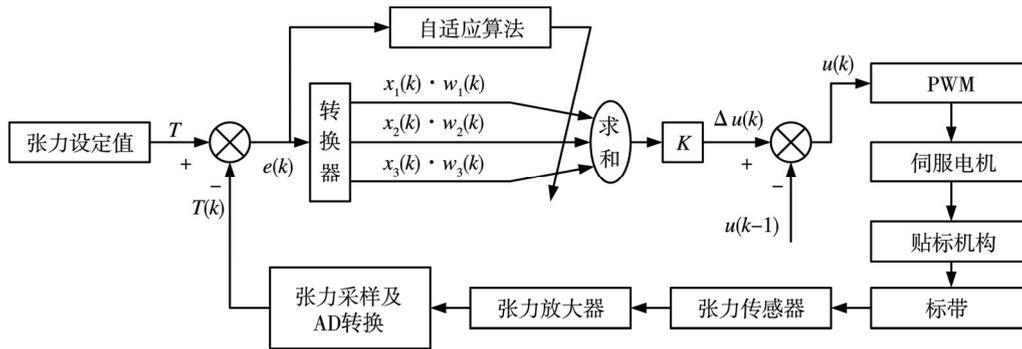


图 2 单神经元自适应控制器结构
Fig.2 The single neuron adaptive controller structure

状态变量 $x_i(k)$ 对应权值为 $w_i(k)$ 。为提高控制器自动调整能力，可根据系统输入量、输出量以及张力偏差值对权值进行调整，即：

$$\begin{cases} w_1(k+1) = w_1(k) + \eta_P e(k) u(k) x_1(k) \\ w_2(k+1) = w_2(k) + \eta_I e(k) u(k) x_2(k) \\ w_3(k+1) = w_3(k) + \eta_D e(k) u(k) x_3(k) \end{cases} \quad (9)$$

式中： η_P, η_I, η_D 为学习率，且均大于零。如果 η_P 数值较大，那么系统响应速度较快，但是超调量同样会较大。如果 η_I 数值较大，则系统超调量较小，但是响应速度较慢。另外， η_D 增大会进一步降低响应速度，减小超调量。根据系统需要，神经元激活函数选取如下：

$$f(x) = Kx \quad f \in [-1, 1] \quad (11)$$

式中： K 为比例系数， K 值越大系统响应速度越快，但容易导致系统不稳定，故需要通过试验选取。另外，控制增量可描述为：

$$\Delta u(k) = K \sum_{i=1}^3 \omega_i^*(k) x_i(k) \quad (12)$$

其中：

$$\omega_i^*(k) = \frac{\omega_i(k)}{\sum_{i=1}^3 |\omega_i(k)|} \quad i = 1, 2, 3 \quad (13)$$

标带张力控制量的增量表达式为：

$$u(k) = u(k-1) + K \sum_{i=1}^3 \omega_i^*(k) x_i(k) \quad (14)$$

控制器根据式(14)调节 PWM 模块输出脉冲驱动贴标伺服电机，实现标带恒张力控制。利用 Matlab 针对自适应单神经元算法和 PID 算法进行控制效果仿真，控制效果见图 3。由图 3 可以看出，与常规数字 PID 相比，自适应单神经元控制能够显著地减小超调量，改善系统的动态响应性能。

3 试验与分析

3.1 平台搭建

根据工艺要求，贴标机控制系统需具备的功能包

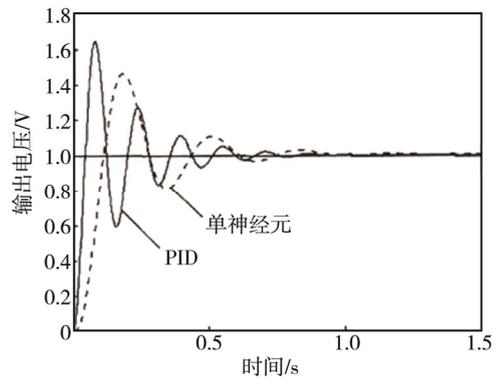


图 3 控制效果对比
Fig.3 The comparison of control effect

括参数设置、信号采集与处理、精确定位、贴标控制、系统报警等。总体来说，该控制系统采用 ARM9 作为核心控制器并搭配工业触摸屏使用，同时包括伺服电机、变频电机、电磁阀、光电传感器、执行机构等。为较好地实现标带恒张力控制，进而保证贴标精度，可通过工业触摸屏进行贴标速度、标签偏移量、贴标延时等参数的设置，另外还可对电机进行调试、监控生产状态等。

贴标机控制系统结构见图 4。大多数情况下，被贴标对象多为瓶状物体，故文中以圆瓶、扁瓶、异形瓶贴标为研究对象。信号采集模块主要负责色标信号、普通瓶位置信号、异形圆瓶旋转定位信号采集等。所采集信号经 ARM9 运算处理后可实现对伺服电机、变频电机、电磁阀的控制。通过 MODBUS 协议实现工业触摸屏和 ARM9 的通信。利用编码器反馈，实

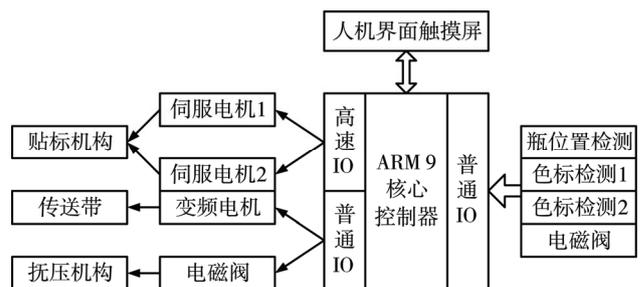


图 4 控制系统结构
Fig.4 The control system structure

现伺服电机转速、位置控制。对于单神经元自适应算法,可根据工作状况实时计算相关参数,或者预判工作状况,事先计算相关参数,在控制过程中查表即可。

3.2 试验测试

将所述控制系统移植到某型号的多功能贴标机上,并进行相关试验测试。测试对象为扁瓶、圆瓶、异形瓶,其中扁瓶为双侧贴标,圆瓶为连续贴标,异形瓶为定位贴标。持续测试 6 h,标签宽度均为 6 cm;

根据工艺要求和控制需求,贴标误差小于±1 mm 可视作正标。测试结果见表 1—3。

通过分析数据可知:对于扁瓶双侧贴标,设定贴标速度为 60 瓶/min,其正标率约为 97.7%;对于圆瓶连续贴标,设定贴标速度为 30 瓶/min,其正标率约为 99%;对于异形瓶定位贴标,设定贴标速度为 20 瓶/min,其正标率约为 98.8%。综上,基于文中所述单神经元自适应张力控制方法,可以保证贴标过程张力恒定,进而提高正标率。

表 1 扁瓶贴标结果
Tab.1 Labeling results of flat bottles

| 序号 | 贴标数目 | 单侧正标 | 双侧正标 | 总正标 | 正标率/% |
|----|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 13 392 | 13 190 | 13 150 | 13 032 | 97.3 |
| 2 | 13 214 | 13 113 | 13 139 | 12 981 | 98.2 |
| 3 | 13 273 | 13 176 | 13 126 | 12 947 | 97.5 |
| 平均 | 13 293 | 13 160 | 13 138 | 12 987 | 97.7 |

表 2 圆瓶贴标结果
Tab.2 Labeling results of round bottles

| 序号 | 贴标数目 | 单张正标 | 两张正标 | 总正标 | 正标率/% |
|----|------|------|------|------|-------|
| 1 | 6187 | 6161 | 6133 | 6124 | 99 |
| 2 | 6224 | 6189 | 6192 | 6164 | 99 |
| 3 | 6265 | 6238 | 6217 | 6201 | 99 |
| 平均 | 6225 | 6196 | 6181 | 6163 | 99 |

表 3 异形瓶贴标结果
Tab.3 Labeling results of irregular bottles

| 序号 | 贴标数目 | 总正标 | 正标率/% |
|----|------|------|-------|
| 1 | 4563 | 4511 | 98.8 |
| 2 | 4658 | 4604 | 98.8 |
| 3 | 4561 | 4502 | 98.7 |
| 平均 | 4594 | 4539 | 98.8 |

4 结语

贴标机在商品生产中的应用十分广泛,其贴标精度在很大程度上影响着产品的外形美观。大多数贴标机的供标机构无法保证标带张力的恒定,导致贴标精度不高。为解决此问题,文中基于单神经元设计了一种自适应算法,用于保证贴标机张力的恒定。通过具体试验验证了所述方法的可行性和有效性,能够提高贴标机的贴标精度,降低次品率,提高其自动化水平。文中所述控制方法和系统对贴标机控制系统设计具有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 杨绮云,孟爽,卜迟武,等.方瓶三面贴标过程运动

轨迹的仿真研究[J].包装工程,2012,33(9):7—10.
 YANG Qi-yun, MENG Shuang, BU Chi-wu, et al. Study on Movement Tracks Simulation of Three Sides Labeling Mechanism for Rectangular Bottle[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 7—10.
 [2] 武志祥.贴标机自动取标贴标的研究与分析[J].机械设计,2013,30(12):62—64.
 WU Zhi-xiang. Research and Analysis of Auto-taking and Pasting Label of Sticker Labeling Machine[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(12): 62—64.
 [3] 潘绍明,罗功坤,蔡启仲.全自动平面贴标机的系统设计与实现[J].制造业自动化,2010,32(12):95—97.
 PAN Shao-ming, LUO Gong-kun, CAI Qi-zhong. Fully Automatic Flat Labeling Machine System Design and Implementation[J]. Manufacturing Automation, 2010, 32(12): 95—97.
 [4] 滕燕,李小宁,孙静.气动全自动贴标机的研究与开发[J].中国制造业信息化,2005,33(12):118—120.
 TENG Yan, LI Xiao-ning, SUN Jing. Research and Development of Pneumatic Automatic Labeling Machine[J]. China Manufacturing Information, 2005, 33(12): 118—120.
 [5] 刘俊,于忠海,侯佳雯.基于PLC的气动贴标机系统设计[J].液压与气动,2011(11):85—87.
 LIU Jun, YU Zhong-hai, HOU Jia-wen. The System Design of Pneumatic Labeling Machine Based on

- PLC[J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics, 2011(11): 85—87.
- [6] 陈立定, 谢青延, 梁联冠. 瓶装自动贴标机的研制[J]. 食品工业科技, 2009(12): 303—304.
CHEN Li-ding, XIE Qing-yan, LIANG Lian-guan. The Development of Bottles of Automatic Labeling Machine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009(12): 303—304.
- [7] 王永德, 赵宏才, 陈晓维. 饮料瓶装线上贴标机控制系统的改造[J]. 食品与机械, 2006, 22(5): 83—85.
WANG Yong-de, ZHAO Hong-cai, CHEN Xiao-wei. An Improvement on the Label-affixing Machine Control System on the Manufacture Line Pouring Drink into Bottle[J]. Food & Machinery, 2006, 22(5): 83—85.
- [8] 王永秋, 方华志. 更精准的标签定位——基于伺服驱动器内置功能的立式贴标机控制系统[J]. 国内外机电一体化技术, 2013(3): 35—35.
WANG Yong-qiu, FANG Hua-zhi. More Accurate Positioning Labeling-Based on Servo Driver Built-in Function of Vertical Labeling Machine Control System [J]. International Mechatronics Technology, 2013(3): 35—35.
- [9] 齐建虹, 蔡锦达, 许鹏程. 基于 ARM9 的蜂窝纸板包边机控制系统研发[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 74—77.
QI Jian-hong, CAI Jin-da, XU Peng-cheng. Development of Control System for Honeycomb Cardboard Edge Packaging Machine Based on ARM9[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 74—77.
- [10] 陈立定, 谢青延, 梁联冠. 新型网络化贴标机控制系统的研究与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2009(9): 66—69.
CHEN Li-ding, XIE Qing-yan, LIANG Lian-guan. Research and Realization of Control System of a New Type of Network Labeling Machine[J]. Modular Machine Tool & Automatics Manufacturing Technique, 2009(9): 66—69.
- [11] 韦晓孝, 郭旭红. 基于 VRML 高速贴标机的虚拟操作研究[J]. 苏州大学学报(工科版), 2005, 25(4): 56—58.
WEI Xiao-xiao, GUO Xu-hong. Study of VRML Based Virtual Manipulation for High Speed Pasting Label Machine[J]. Journal of Soochow University (Engineering Science Edition), 2005, 25(4): 56—58.
- [12] 郭小和, 刘科, 周继强, 等. 基于改进遗传算法的单神经元自适应 PID 控制[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2012, 26(4): 14—18.
GUO Xiao-he, LIU Ke, ZHOU Ji-qiang, et al. Single Neuron Adaptive PID Control Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Journal of Nanchang Hankong University (Natural Sciences), 2012, 26(4): 14—18.
- [13] 王磊, 杜晓强, 宋永瑞. 用于飞轮储能单元的神经元自适应比例-积分-微分控制算法[J]. 电网技术, 2014, 38(1): 74—79.
WANG Lei, DU Xiao-qiang, SONG Yong-rui, et al. Neuron Adaptive PID Control Algorithm with Application to Flywheel Energy Storage System Unit[J]. Power System Technology, 2014, 38(1): 74—79.
- [14] 刘宁宁, 孙伟, 娄奔月, 等. 二次型单神经元自适应算法在电动机控制中的应用[J]. 工矿自动化, 2011(8): 64—66.
LIU Ning-ning, SUN Wei, LOU Ben-yue, et al. Application of Quadratic Single Neuron Adaptive Algorithm in Motor Control[J]. Industry and Mine Automation, 2011(8): 64—66.
- [15] 林坤, 吴震宇, 郑舟. 基于单神经元自适应算法的经纱张力控制器设计[J]. 现代纺织技术, 2011(3): 5—9.
LIN Kun, WU Zhen-yu, ZHENG Zhou. Design of Warp Tension Controller Based on the Single Neuron Adaptive Algorithm[J]. Advanced Textile Technology, 2011(3): 5—9.
- [16] 王秀君, 胡协和. 一种改进的单神经元 PID 控制策略[J]. 浙江大学学报(工学版), 2011, 45(8): 1498—1501.
WANG Xiu-jun, HU Xie-he. An Improved Control Strategy of Single Neuron PID[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2011, 45(8): 1498—1501.