

基于模糊控制的包装膜自动纠偏系统设计

侯立功, 陈天娥, 史荧中

(无锡职业技术学院 江苏省传感网工程技术研究开发中心, 无锡 214121)

摘要: **目的** 为了解决包装过程中薄膜纵向跑偏, 以及常规控制方法性能较差等问题。**方法** 基于模糊控制设计一种包装膜自动纠偏系统。分析包装薄膜跑偏的原因, 并给出自动纠偏装置结构。在此基础上, 建立纠偏系统数学模型, 同时设计一种模糊控制器。利用 MCF52235 嵌入式芯片给出控制器的硬件结构。最后进行试验验证。**结果** 跑偏量绝对值的最大值仅为 0.4 mm, 满足包装工艺控制要求。**结论** 所述模糊控制方法能够有效地改善系统纠偏能力, 具有较好的动态响应性能。

关键词: 包装膜; 纠偏; 模糊控制; 嵌入式系统

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0130-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.020

Design of Automatic Correction System for Packaging Films Based on Fuzzy Control

HOU Li-gong, CHEN Tian-e, SHI Ying-zhong

(Wuxi Institute of Technology, Jiangsu Provincial Sensor Network Engineering Technology Research Center,
Wuxi 214121, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problems like films' longitudinal deviation and poor performance of conventional control methods in the packaging process. An automatic correction system of packaging films was designed based on fuzzy control. The reasons for packaging film deviation were analyzed and the automatic correction device structure was also given. On this basis, the mathematical model of correction system was established and a fuzzy controller was designed. The hardware structure of the controller was presented by MCF52235 embedded chip. Finally, the test verification was carried on. The maximum absolute value of deviations was only 0.4 mm and it could satisfy the requirements of packaging process control. The proposed fuzzy control method can effectively improve system correction ability and it has better dynamic response performance.

KEY WORDS: packaging film; correction; fuzzy control; embedded system

纠偏控制装置已经广泛应用于电线电缆、冶金、印染、纺织、轮胎橡胶、薄膜、造纸、印刷包装等诸多行业, 是一种保证卷边整齐的自动化装置^[1-4]。通常情况下对于高速运行的包装机械、包装生产线, 由于机组运行速度变化、生产线延伸以及柔性包装材料本身特性的影响, 往往容易出现“跑偏”现象, 进而极大地影响包装材料收放的整齐性, 导致包装产品质量下降^[5-6]。为了解决该问题, 亟需设计一种高效、精准的纠偏控制装置, 以实现传送过程中对柔性包装材

料水平位置的在线检测和纠正, 提高包装、印刷等行业的自动化水平^[7]。

根据使用对象或应用场合差异, 自动纠偏系统大体包括 2 类: 电动式和气液驱动式^[8]。其中电动式纠偏系统大多以电机作为执行机构, 具有响应速度快、集成度高等特点, 比较适合质量较小的物料, 特别是宽度不大的包装带材^[9]。气液驱动式纠偏系统具有抗干扰能力强、简单可靠等优点, 比较适用质量较大的物料。气液回路中的阀门膜片可以实现压力-位移的

收稿日期: 2017-06-13

基金项目: 国家自然科学基金(青年科学基金)(61502204); 江苏高校品牌专业建设工程资助项目(PPZY2015C240); 江苏省青蓝工程科技创新团队(苏教师[2014]23号)

作者简介: 侯立功(1967—), 男, 无锡职业技术学院副教授, 主要研究方向为嵌入式与自动化技术应用。

变换,而且具有一定放大作用,可以不使用放大器,系统结构简单^[10]。另外,纠偏系统具有非线性,往往无法确定其精确的数学模型,因此常规 PID 控制很难取得理想控制效果,即无法保证能够准确、及时地调整带材跑偏量。模糊控制则可以利用控制经验或专家知识有效地解决非线性问题,比较适合包装膜自动纠偏系统^[11—15]。

文中基于模糊控制和前馈控制设计一种包装膜自动纠偏控制方法,并搭建相应控制系统,通过试验验证所述控制方法及系统的可行性、有效性。

1 跑偏分析和自动纠偏装置

1.1 跑偏分析

跑偏指在包装过程中包装材料(如纸张、塑料等)会受到不可控力的影响,无法保持直线运行,从而导致带材幅宽中心线偏离基准中心线。通常情况下,包装材料跑偏的原因主要包括以下几方面。

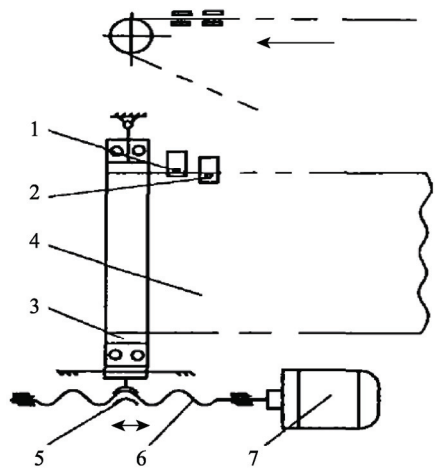
- 1) 包装材料表面不平,例如厚薄不均、带有印刷图案等。
- 2) 薄膜张力的波动或外部振动等。
- 3) 各传动辊之间位置不水平或不平行。
- 4) 传动辊表面存在加工缺陷,形状不是标准的圆柱形。
- 5) 温度、湿度、牵引力波动等因素导致的包装机械或材料变形。

如上所述,导致包装材料跑偏的原因是多种多样的。如果要求包装机械本身将跑偏量控制在误差允许的范围内存在一定困难,可通过附加纠偏系统实现跑偏量的自动调整。

1.2 自动纠偏装置

以包装机械为例,其自动纠偏装置见图 1。牵引辊一端绕固定点旋转,另一端可摆动;在牵引辊的作用下,薄膜正常输送;在薄膜边缘可设置 2 个光电传感器,用于检测包装膜的位置偏差。在运转过程中,如果偏差在允许范围内,光电传感器 1 和 2 的状态没有发生变化,即不会向系统发出任何信号,此时步进电机处于停止状态;如果偏差较大,光电传感器 1 或 2 的状态会发生变化,发送相应信号到控制系统,步

进电机正转或反转,通过丝杠使牵引辊转动一定角度,进而调整偏差。



1,2. 光电传感器 3. 牵引辊 4. 薄膜 5,6,7. 纠偏执行机构

图 1 自动纠偏装置

Fig.1 Automatic correction devices diagram

2 模糊控制器设计

2.1 纠偏系统建模

包装薄膜的“跑偏”现象具有随机性、不稳定性等特点,如何解决此问题是实现高精度、高速纠偏的关键,纠偏控制系统数学模型见图 2。

该系统将模糊控制与前馈控制结合起来,相对来说比较复杂。其中 y 和 y^* 分别表示跑偏量综合数值及其期望值; x 表示纠偏控制量; x_{p0} 表示放卷处跑偏量; x_p 表示检测点处跑偏量; $P(s)$ 表示步进电机的传递函数; $G_f(s)$ 表示前馈补偿器的传递函数。

可将步进电机和驱动器视为一体,输入为脉冲指令,输出为电机转角,二者之间关系可近似成 θ/s ; 纠偏辊和丝杠可看成一阶惯性环节,故其传递函数可近似表示成 $P(s) = \frac{\theta}{s(ms+1)}$; 同时前馈环节可表示成 $G_f(s) = \frac{1}{(\tau_0s+1)P(s)}$, 进一步 $G_f(s) = \frac{s(ms+1)}{\theta(\tau_0s+1)}$, 其中 τ_0 为包装膜由放卷点运行到检测点所需时间。

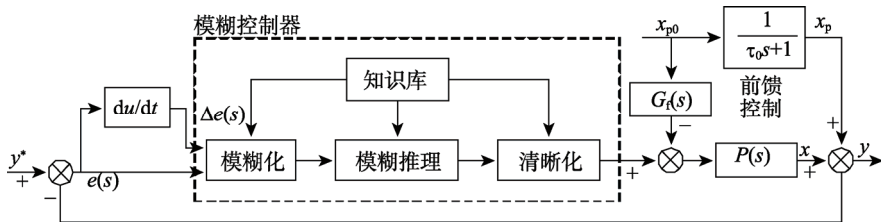


图 2 系统控制原理

Fig.2 Control principle of the system

2.2 模糊控制器

如上所述,模糊控制器输入量为偏差 e 和偏差变化率 Δe ;模糊控制器输出量为电机控制信号 u ; e 和 Δe 可分别表示为:

$$\begin{cases} e(k) = y(k) - y^*(k) \\ \Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \end{cases} \quad (1)$$

偏差 $e(k)$ 可用语言变量 E 描述,对应模糊子集为 $A_i = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}$ 。同理,偏差变化率 $\Delta e(k)$ 可用语言变量 EC 描述,对应模糊子集为 $B = \{NB, NM, NS, O, PS, PM, PB\}$ 。模糊关系为:

R : 如果 $e_i = A_i$, $\Delta e_i = B_i$, 则 $\Delta u = C_i$ 。

控制器输入量和输出量的隶属度函数分布见图3。

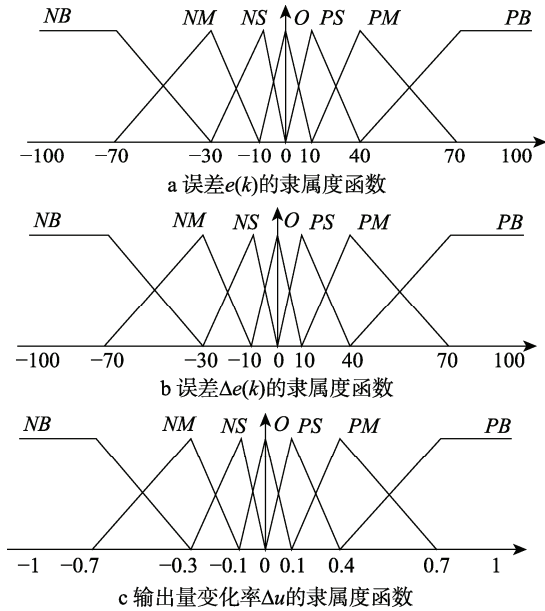


图 3 隶属度函数

Fig.3 Membership functions

模糊控制规则见表1。

文中选择 Mamdani 型推理法,那么第 i 条规则的强度可表示为:

$$a_i = \min(u_{A_i}(e), u_{B_i}(\Delta e)) \quad (2)$$

表 1 模糊规则库

Tab.1 Fuzzy rule base

	PB	PM	PS	0	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NM	NM	NS	0	0
PM	NB	NB	NM	NS	NS	0	PS
PS	NM	NM	NS	NS	0	PS	PS
0	NM	NM	NS	0	PS	PM	PM
NS	NS	NS	0	PS	PS	PM	PB
NM	NS	0	PS	PS	PM	PB	PB
NB	0	0	PM	PM	PM	PB	PB

式中: $u_{A_i}(e)$ 为偏差 e 相对于模糊集 A_i 的隶属度函数; $u_{B_i}(\Delta e)$ 为偏差率 Δe 相对于模糊集 B_i 的隶属度函数。

第 i 条规则的模糊输出可表示为:

$$u_i(\Delta u) = \sup(\min(a_i, u_{C_i}(\Delta u))) \quad (3)$$

式中: $u_i(\Delta u)$ 为 Δu 相对于模糊集 C_i 的隶属度。

总输出的模糊子集可表示为:

$$u_C(\Delta u) = \sum_{i=1}^{25} u_i(\Delta u) \quad (4)$$

清晰化处理可选用中心平均法,那么控制器输出量可表示为:

$$\Delta u = \frac{\sum_{j=1}^{25} u_C(\Delta u_j) \cdot C(\Delta u_j)}{\sum_{j=1}^{25} u_C(\Delta u_j)} \quad (5)$$

式中: Δu 为实际输出变化量; $u_C(\Delta u_j)$ 为输出论域内第 j 条规则所对应隶属度; $C(\Delta u_j)$ 为输出论域内最大隶属度对应数值。

3 试验研究

3.1 平台搭建

控制系统硬件结构见图4,控制器选用嵌入式芯

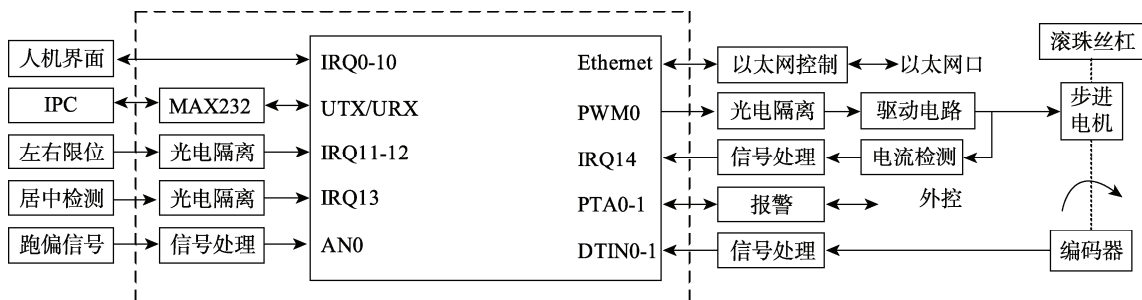


图 4 控制系统硬件

Fig.4 Hardware of control system

片 MCF52235；纠偏执行机构则由步进电机驱动电路、步进电机和滚珠丝杠等组成。跑偏信号经处理后传送至芯片 A/D 口，同时执行机构的行程限位、编码器信号、电机过流信号经处理后传送至芯片。经运算后，控制信号由 PWM0 口输出。

另外，人机界面由显示屏、相关按键组成，可实现工艺参数设置、运行状态指示、纠偏数据统计等。同时具有操作模式（自动/手动）选择、点动操作、纠偏控制算法选择等。通过串口通信可实现与上位机的通讯，同时预留 Ethernet 接口可用于联网控制。

自动纠偏控制系统以嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 为基础，系统布置了 9 个优先级不同的任务，可用于跑偏信号检测以及实时纠偏等，主要实现实时采样、纠偏控制、串口通讯、LCD 显示、设备外控、网络通信等功能。

3.2 试验结果与分析

试验对象选定 150 mm 塑料包装薄膜，包装袋传送速度为 0~2 m/s，速度可以调整。纠偏基准设定为 2 个光电传感器的中心位置。若以光电传感器 1 为坐标原点，那么对应坐标偏移量为 10 mm。通过纠偏试验，纠偏效果实际数据见表 2。

从表 2 可以看出，包装薄膜跑偏量绝对误差的最大值为 0.4 mm，其平均值仅为 0.22 mm。说明所述模糊控制方法能够有效地改善系统纠偏能力，具有较好的动态响应性能，能够满足包装工艺对薄膜跑偏量的控制要求。

表 2 试验数据
Tab.2 Test data

序号	偏移量/mm	实测值/mm	绝对误差/mm	相对误差/%
1	10	9.9	0.1	1
2	10	10.2	0.2	2
3	10	10.4	0.4	4
4	10	9.8	0.2	2
5	10	9.9	0.1	1
6	10	9.7	0.3	3
7	10	9.9	0.1	1
8	10	10.3	0.3	3
9	10	10.3	0.3	3
10	10	9.8	0.2	2
平均值			0.22	2.2

4 结语

包装过程普遍存在带材跑偏现象，影响包装精度，势必导致一定程度的浪费。如何实现自动纠偏是提高包装精度的关键。文中以包装膜自动纠偏为研究对象，基于模糊控制和前馈控制设计了一种自动纠偏

控制系统。给出了模糊控制器的设计方法，搭建了相应平台并进行了试验研究。研究表明，所述控制方法和控制系统能够有效地改善系统纠偏能力，具有较好的动态响应性能，能够满足包装工艺对薄膜跑偏量的控制要求。对提高包装精度具有一定的借鉴意义。

参考文献：

[1] 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(3): 107—110.
TANG Zong-mei, YANG Guang-you, MA Zhi-yan, et al. Summarization of Packaging Equipment Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 107—110.

[2] 张继忠, 张艳平, 王晓东. 包装机供料机构方案设计与分析[J]. 现代制造工程, 2008(10): 97—98.
ZHANG Ji-zhong, ZHANG Yan-ping, WANG Xiao-dong. Scheme Analysis and Design of Feeding Mechanism in Packing Machine[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2008(10): 97—98.

[3] 韩凌, 陆荣鑑. 制袋机的检测与控制技术发展概述[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 135—139.
HAN Ling, LU Rong-jian. Profile of Bag-making Machine Detection and Development of Control Technique[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 135—139.

[4] 赵美宁, 王芳, 王小翠. 无菌袋装机中薄膜自动纠偏装置及控制系统[J]. 轻工机械, 2005(3): 92—94.
ZHAO Mei-ning, WANG Fang, WANG Xiao-cui. Automatic Rectifying Mechanism and Control of Film in Aseptic Packaging Machine[J]. Light Industry Machinery, 2005(3): 92—94.

[5] 陈德传, 彭庆海. 基于重复控制的织物类带材新型纠偏系统[J]. 纺织学报, 2010, 31(6): 134—138.
CHEN De-chuan, PENG Qing-hai. Advanced Deviation Correcting System of Fabric Strips Based on Repetitive Control[J]. Journal of Textile Research, 2010, 31(6): 134—138.

[6] 奉泽昊, 徐杜, 蒋永平, 等. 基于 CIS & CPLD 的光电纠偏控制系统的设计[J]. 计算机系统应用, 2008(9): 122—124.
FENG Ze-hao, XU Du, JIANG Yong-ping, et al. An Opto-electronic Correction Control System Based on CIS and CPLD[J]. Computer System and Its Application, 2008(9): 122—124.

[7] 孙智娟. 自动纠偏控制系统的设计与开发[J]. 机械工程与自动化, 2010(4): 138—140.
SUN Zhi-juan. Design of Automatic Correct Offset Control System[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2010(4): 138—140.

[8] 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.
- [9] 柯居鑫, 徐杜, 王日明, 等. 基于 CIS 的自动纠偏控制器的设计与实现[J]. 光学与光电技术, 2009, 7(2): 1—54.
- KE Ju-xin, XU Du, WANG Ri-ming, et al. Design and Realization of Automatic Rectifying Deviation Control System Based on CIS[J]. Optical And Photoelectric Technology, 2009, 7(2): 51—54.
- [10] 尹亮, 宫文宁. 模糊自适应 PID 控制算法分析[J]. 变频器世界, 2011(9): 86—88.
- YIN Liang, GONG Wen-ning. Analysis of Fuzzy Adaptive PID Control Algorithm[J]. The World of Inverters, 2011(9): 86—88.
- [11] 杨原清, 刘卫东, 李乐. 基于自适应模糊 PID 算法的切纸机伺服控制器设计[J]. 微特电机, 2010(3): 55—58.
- YANG Yuan-qing, LIU Wei-dong, LI Le. Design of Guillotine Servo Controller Based on Fuzzy PID Algorithm[J]. Small & Special Electrical Machines, 2010(3): 55—58.
- [12] 周晋军, 李少纲. 模糊控制在涂布生产中的应用研究[J]. 包装工程, 2006, 27(10): 114—115.
- ZHOU Jin-jun, LI Shao-gang. Application Research of Fuzzy Control Technology in Production of Coated Paper[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(10): 114—115.
- [13] 齐建虹, 蔡锦达. 基于 ARM9 和自适应模糊 PID 算法的蜂窝纸板飞剪控制系统[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 75—79.
- QI Jian-hong, CAI Jin-da. Honeycomb Cardboard Flying Shear Control System Based on ARM9 and Adaptive Fuzzy PID Control Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 75—79.
- [14] 蔡锦达, 刘劲阳, 杨宝山. 基于自适应模糊 PID 飞剪式冲切控制研究[J]. 控制工程, 2016, 23(5): 693—697.
- CAI Jin-da, LIU Jin-yang, YANG Bao-shan. Flying Shear Punching Machine Based on Adaptive Fuzzy PID Control Algorithm[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(5): 693—697.
- [15] 张乐, 吴金男, 毕少杰. 基于模糊 PID 的直升机模型飞行姿态控制[J]. 控制工程, 2014, 21(3): 387—394.
- ZHANG Le, WU Jin-nan, BI Shao-jie. Helicopter Model Flight Attitude Control Based on Fuzzy-PID[J]. Control Engineering of China, 2014, 21(3): 387—394.