

基于 ARM 的包装袋成型机嵌入式控制系统设计

侯立功, 吴伟, 肖颖

(无锡职业技术学院, 无锡 214121)

摘要: **目的** 为提高包装袋成型机的控制精度、实时性、系统集成度, 基于 ARM 微控制器设计一种嵌入式控制系统。**方法** 详细论述包装袋成型机的工作原理, 通过送料、牵引、热封、分切等工序, 将包装薄膜制成包装袋。给出硬件设计方法, 包括控制器、传感器模块、电动执行模块等。同时讨论伺服电机升降速控制算法和张力浮动辊控制算法, 基于 uC/OS-II 给出软件设计方法。**结果** 该控制系统具有集成度高、实时性好、开发成本不高等优点。**结论** 该控制系统能够满足包装袋成型机的工艺要求和控制需求。

关键词: 包装袋; 成型机; ARM; 嵌入式控制; 协调控制

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)01-0121-05

Embedded Control System for Bag-making Machines Based on ARM

HOU Li-gong, WU Wei, XIAO Ying

(Wuxi Institute of Technology, Wuxi 214121, China)

ABSTRACT: The work aims to design an embedded control system based on ARM microcontroller for the purpose of improving the control precision, real-time and system integration of bag-making machine. The working principle of bag-making machine was described in detail. The packaging bag was made from film through feeding, traction, heat sealing and cutting process. The hardware design method was given, including controller, sensor module and electric execution module. Meanwhile, the servo motor speed control and tension floating roll control algorithms were discussed. The software design method was given based on uC/OS-II. The control system described had advantages such as high integration level, good real time, low development cost and so on. The control system can meet the technological requirements and control requirements of bag-making machines.

KEY WORDS: bag; making machine; ARM; embedded control; coordinated control

包装机械是一种普遍使用且十分重要的工业机械, 而针对柔性包装材料的包装机械则是一个比较重要的分支^[1-2]。包装袋成型机既可作为生产线的工位设备也可单独使用, 其主要完成制袋工艺。根据塑料热塑性, 通过牵引、送料、热封、冲切操作可将包装薄膜制成包装袋^[3-4]。包装袋成型机在医药、化工、食品等众多领域的应用比较广泛。

控制系统是包装袋成型机的核心, 用于保证工艺流程的顺利进行。通常情况下, 控制器分为三大类: PLC、工控机和单片机^[5]。其中 PLC 优点突出且使用

比较普遍, 例如: 可靠度高、应用灵活、编程简单、易于维修。不过 PLC 的延迟现象比较严重, 实时处理效果不佳, 而且国内 PLC 大多依靠进口, 使用成本较高^[6-8]。工控机的抗干扰性能比较理想, 可用于一些环境恶劣的场所, 并且工控机的处理速度较快、数据处理能力接近计算机, 但是其使用成本较高^[9]。单片机价格低廉、开发难度不大、灵活性大, 同时单片机数据处理能力欠缺、处理速度较慢、实时效果不理想^[10-12]。近几年, ARM 嵌入式处理器发展十分迅速, RISC 结构简单、有效, 利用 ARM 能够设计出

收稿日期: 2017-03-29

基金项目: 国家自然科学基金(61502204); 江苏省优秀科技创新团队基金(苏教科[2017]6号); 无锡职业技术学院智能制造工程中心专项课题(ZN201602)

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

高性能、低成本、低功耗的控制系统。另外, ARM处理器的运算速度正在不断提高^[13]。综上所述, ARM处理器在处理速度、开发成本、灵活性等方面均具有一定优势, 综合性能占优。文中在分析包装袋成型机工作原理的基础上, 基于 ARM 嵌入式处理器设计一种包装袋成型机控制系统, 同时结合 uC/OS-II 给出软件设计方法。

1 包装袋成型机工作原理

包装袋成型机可将薄膜直接制成袋子, 主要工序包括送料、烫压、牵引、分切等, 各工序之间的协调工作才能精准地完成制袋任务。基于双伺服的包装袋成型机原理见图1。导辊A和压辊A由牵引伺服电机, 通过二者之间的压紧力牵引薄膜运动。为防止牵引力过大造成薄膜伸长变形, 往往需要添加送料机构, 即

导辊B和压辊B。导辊B由伺服电机直接驱动, 配合牵引电机完成薄膜送料。由于加工精度、摩擦、磨损等原因, 无法保证单位时间内牵引机构和送料机构所拖动的薄膜长度相等。一旦出现偏差, 容易导致二者之间薄膜张力不恒定; 过紧的话, 容易拉伸薄膜; 过松的话, 无法制袋。为解决此问题, 可在导辊A、B之间安装浮动辊, 通过浮动辊小范围内上升、下降保证薄膜始终处于恒张力状态。利用连杆机构将烫排I, 烫排II和切刀串联在一起, 由主变频器和交流电机控制、驱动, 完成的上下切封动作。当成品袋子个数达到预设数目, 利用电机驱动传送带将成品袋送出。另外, 纠偏装置可用于检测包装膜宽度方向是否出现偏差以便及时调整, 保证制袋精度。对于带有色标的包装膜, 可由色标传感器定位色标位置, 即检测到色标时, 送料和牵引均停止等待切封。

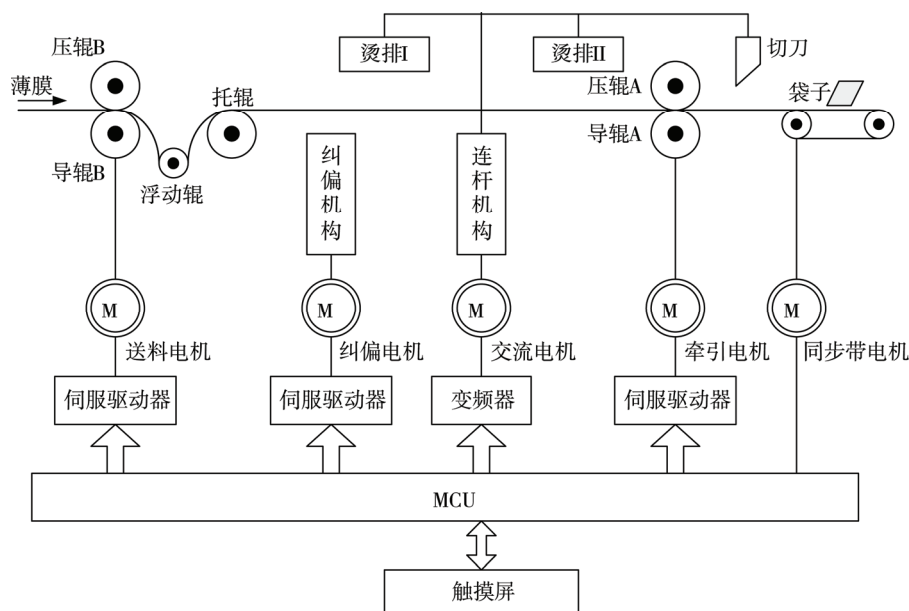


图1 包装袋成型机结构

Fig.1 The structure of bag-making machine

通过 MCU 所发脉冲信号可实现上述各电机的启动、停止、加减速控制。制袋过程中, 薄膜材料首先折叠成型。然后, 经牵引、定位处理后进入热封工序, 已热封包装袋可根据需求进行切口、打孔。最后, 经裁切成成品袋。所谓热封工序是指通过加热使热封位置处的薄膜融化成粘流状态, 借助外部压力, 使2层薄膜熔合在一起, 冷却后具有一定的强度和密封性等。

2 控制系统硬件设计

包装袋成型机控制系统硬件结构见图2, 主要包括微控制器、传感器模块、光电隔离模块、电动执行模块、继电器模块。

1) 微控制器, 文中采用 ARM7 TDMI 系列。

2) 传感器模块。色标传感器, 检测色标信号, 用于有色标包装袋的封切、定位。霍尔传感器, 用于检测浮动辊位置, 确保浮动辊在允许范围内浮动, 进而实现送料电机、牵引电机的速度同步控制以及导辊A、B之间薄膜张力的恒定控制; 用于检测拉袋信号和高位信号, 实现切刀位置判断。光电开关, 检测薄膜位置, 用于薄膜纠偏控制。

3) 光电隔离模块。由于工作环境比较恶劣, 干扰信号多且强, 因此需要通过光耦将控制电路和驱动电路隔离开, 即光电隔离。这样既可以保证信号的正确传递, 也可以实现电平转换。针对固态继电器、顶杆阀、冲孔阀、报警控制等, 文中选用光耦型号为 TLP521。对于伺服驱动器的脉冲信, 文中选用高速光耦 6N137 进行隔离。

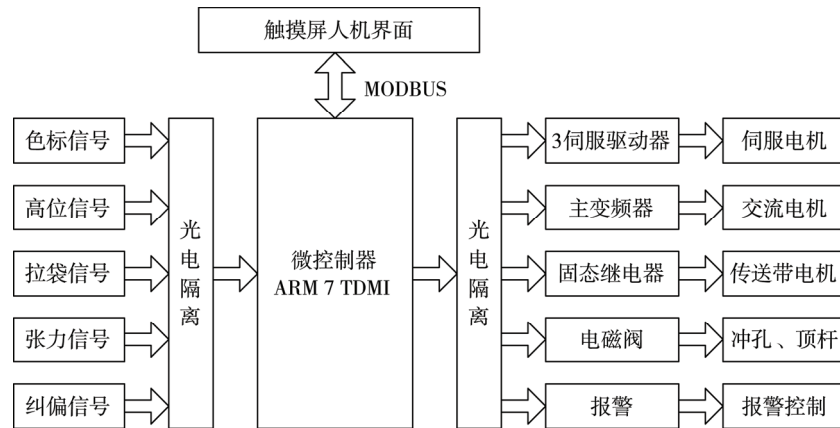


Fig.2 The control system hardware structure

4) 人机交互界面。采用触摸屏设计，可进行参数设置、启动、停止等控制，同时能够实时显示袋长、制袋数量、温度、速度等参数。

5) 电动执行模块。伺服电机接收一定频率、数量的脉冲，实现送料、牵引功能。伺服电机接收纠偏信号实现包装膜位置偏差纠正。交流电机驱动烫排和切刀上下往复运动。同步袋电机，将一定数量的成品袋批量移出切封处，以便于收集和整理。

6) 继电器模块。如果出现异常时，蜂鸣器报警同时在触摸屏显示异常代码。

3 软件设计

3.1 算法

包装袋成型机控制内容主要包括电机升降速控制、张力浮动辊控制。其中电机升降速控制目的在于保证伺服电机按照设定的轨迹曲线运动。另外，优良的电机升降速算法还可以充分利用电机有效转矩，进而提高送料和牵引速度。张力浮动辊控制目的在于保证制袋过程中的张力平衡。如果张力失衡，包装薄膜会出现伸长或缩短的情况，导致切割精度降低。

3.1.1 电机升降速控制

通常情况下，伺服电机升降速曲线可选用正弦曲线或指数曲线，2 种曲线稍有不同。文中所述控制系统采用指数曲线，那么伺服电机运行频率 $f(n)$ 可表示为：

$$f(n) = f_0 + k \cdot f_{\max} (1 - e^{-n/\tau}) \quad (1)$$

式中： f_0 为启动频率； f_{\max} 为最大运行频率； k 为比例系数； n 为伺服电机升速所需步数； τ 为快慢系数， τ 越小，升频速度越大；反之，则升频速度越小。可根据实际情况确定比例系数 k 和快慢系数 τ 的具体取值。

由式 (1) 可得相邻脉冲之间的时间间隔 $t(n)$ 为：

$$t(n) = \frac{1}{f(n)} \quad (2)$$

假设伺服电机升频过程所需脉冲总数为 N ，那么当 $n=N$ 时，比例系数 k 的选择应满足 $f(N) = f_{\max}$ ；快慢系数 τ 的选择应满足：在 $n \rightarrow N$ 时，升频曲线 $f(n) - n$ 的导数趋近于 0。降速过程为升速过程的逆过程。

3.1.2 张力浮动辊控制

送料电机和牵引电机之间薄膜张力的恒定取决于二者的协调动作，为解决此问题，可在两电机之间设置浮动辊来确保张力恒定。受薄膜“拉扯”、导辊直径偏差、摩擦、“打滑”等因素影响，送料电机和牵引电机在制袋过程中所受脉冲数目存在一定差异。一般情况下，牵引电机的脉冲数量要大于送料电机的脉冲数量，可定义为“漏脉冲数”。假设制袋长度为 l ，牵引电机的脉冲当量为 δ ，那么所需脉冲数目 P_A 可表示为：

$$P_A = \frac{l}{\delta} \quad (3)$$

所需总时间可表示为：

$$t_A(n) = \left[\sum_{n=0}^{N-1} t(n) \right] \times 2 + (P_A - 2 \times N) \times t(N-1) \quad (4)$$

假设“漏脉冲数”为 m ，那么送料电机所需脉冲个数为 $P_B = P_A - m$ 。同时可以得到牵引、送料电机脉冲间隔之差 Δt ：

$$\Delta t = \frac{(T/P_A) \times m}{P_A - m} \quad (5)$$

结合式 (4) 和式 (5) 可得送料电机的脉冲时间间隔：

$$t_B(n) = t_A(n) + \Delta t \quad (6)$$

制袋过程中，控制系统可根据浮动辊的高度自动调节“漏脉冲数” m 。利用张力传感器判断浮动辊位置，如果浮动辊上升，则需要减小 m ；如果浮动辊降低，则需要增加 m 。如此，则可以保证浮动辊始终位于张

力传感器附近,即保持张力恒定。

3.2 嵌入式软件系统

文中在嵌入式实时操作系统 uC/OS-II 下,进行控制系统软件设计。软件设计的基本思路就是在充分利用现有硬件资源的条件下,通过任务设计、分配实现数据采集、系统控制、信息处理等,进而提高制袋精度。如上所述,任务设计和分配是软件设计的关键。根据包装袋成型机工作过程中的工作状态和控制要求,控制系统需要实现电机运行状态调整、制袋过程监控、参数设定等功能。文中在 uC/OS-II 系统上设计了如下几个功能模块,各模块功能简要描述如下所述。

1) ARM7 与触摸屏通讯模块。利用 MODBUS 实现制袋参数的设定以及制袋过程动态显示,加工数量、工艺参数、故障的显示和查询等。

2) 监视模块。用于监测各模块的运行情况,并对异常情况进行处理。

3) 信号采集模块。对各传感器信号进行实时采集。

4) 信号处理模块。对所采集的信号进行分析、处理。

5) 实时控制模块。根据包装袋成型机的工艺要求以及相关控制算法,实现电机协调同步控制、薄膜张力稳定控制、纠偏控制、热封、切割、传送控制等。控制系统流程见图 3。

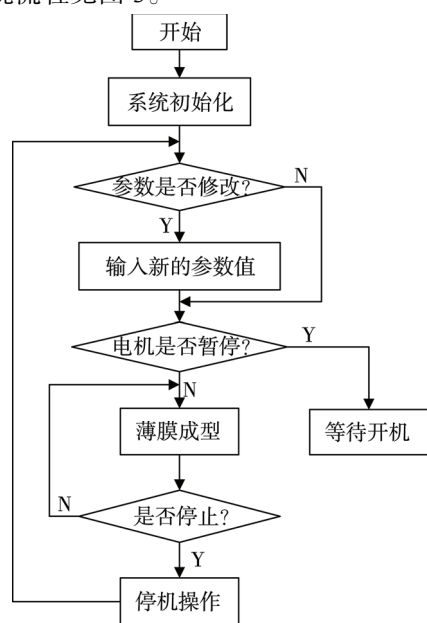


图 3 控制系统流程

Fig.3 The control system process

首先进行参数初始化;然后,判断是否需要当前参数,如制袋长度、制袋速度、热封温度进行修改;参数确定后,需要检测、调整刀架位置,便于开机后制袋;准备就绪后,开机进行制袋,直到正常停机或故障停机。包装袋成型机处于正常运转状态时,主程

序主要实现定长控制、牵引和送料电机协调控制、恒张力控制、纠偏控制等,这是控制系统最重要的部分。

对于主程序,设定任务 1 为牵引电机和送料电机正常运转,相应消息 1 为启动按钮,其优先级最低。设定任务 2 为热封和切割,相应消息 2 为高位和拉袋信号,其优先级次低;设定任务 3 为浮动辊控制,相应消息 3 为张力传感器,其优先级为中;设定任务 4 为纠偏控制,相应消息为纠偏信号,其优先级次高;设定任务 5 为紧急停机,相应消息为故障信号,其优先级最高。

4 结语

包装袋成型机在包装工业中的应用十分广泛,可以将包装膜直接制成包装袋。由于在制袋过程中普遍存在薄膜张力不均匀、电机运转不协调等问题,导致包装精度下降。为了提高包装精度、控制实时性,文中基于 ARM 设计了一种嵌入式控制系统,并给出了具体的硬件结构。在论述电机升降速控制算法和浮动辊控制算法的基础上,采用 uC/OS-II 给出了软件设计方法,该控制系统对改善成型机控制效果具有一定的指导意义。

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(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.
- [2] 彭泽光,陈忠,许美强,等. 制袋机连续送料嵌入式控制系统开发[J]. 机电工程技术, 2014, 43(3): 45—46.
PENG Ze-guang, CHEN Zhong, XU Mei-qiang, et al. Development of Embedded Control System for Continuous Film Feeding of Bag-Making Machine[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2014, 43(3): 45—46.
- [3] 彭泽光,陈忠,许美强,等. 制袋机薄膜速度传感方法与定长控制[J]. 测控技术, 2014, 33(8): 61—63.
PENG Ze-guang, CHEN Zhong, XU Mei-qiang, et al. Film Speed Sensing and Dead Length Control for Bag-making Machine[J]. Measurement & Control Technology, 2014, 33(8): 61—63.
- [4] 侯飞. 新型纸纱复合制袋印刷一体机开发研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2012, 4(6): 22—27.
HOU Fei. Research and Exploitation of the New Paper and Yarn Compounding Bag-making and Printing All-in-one Machine[J]. China Printing and Packaging Study, 2012, 4(6): 22—27.
- [5] 李晓娜,刘宝顺,刘瑞昌. 基于 PLC 和触摸屏技术

- 的制袋设备控制系统及界面设计[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 50—53.
- LI Xiao-na, LIU Bao-shun, LIU Rui-chang. Design of Bag-making Equipment Control System and Interface Based on PLC and Touch Screen Technique[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 50—53.
- [6] 殷红, 董海棠, 汪净, 等. 纸纱复合制袋机控制系统设计[J]. 自动化仪表, 2012, 33(3): 24—27.
- YIN Hong, DONG Hai-tang, WANG Zheng, et al. Design of the Control System for Compound Paper-yarn Bag-making Machine[J]. Process Automation Instrumentation, 2012, 33(3): 24—27.
- [7] 王勇, 王伟, 杨文涛. 步进电机升降速曲线控制系统设计及其应用[J]. 控制工程, 2008, 15(5): 576—579.
- WANG Yong, WANG Wei, YANG Wen-tao. Control System Design of Acceleration and Deceleration Curves of Stepping Motor and Its Application[J]. Control Engineering of China, 2008, 15(5): 576—579.
- [8] 蔡旭明. 基于全自动包装机 PLC 的优化设计[J]. 机电工程技术, 2012, 41(7): 31—34.
- CAI Xu-ming. Optimization Design of the Full Automatic Packaging Machine Based on PLC[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2012, 41(7): 31—34.
- [9] 邓连超. 高速制袋机烫压装置的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.
- DENG Lian-chao. Hot Pressure Machinery Research of High Speed Bag-making Machine[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2013.
- [10] 张淞钦. 嵌入式 Linux 的驱动程序设计与 GUI 界面开发[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
- ZHANG Song-qin. Embedded Linux Driver Design and GUI Interface Development[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [11] ALTINTANS A. Electronic Cam Motion Generation by Using Stepper Motors and Gears[J]. Journal of Science, 2009, 22(3): 197—201.
- [12] 韩东霖, 薛伟. 基于 STM32 的高速制袋机控制系统设计[J]. 信息技术, 2016(2): 43—46.
- HAN Dong-lin, XUE Wei. Design of Making Machine Control System Based on the STM32[J]. Information Technology, 2016(2): 43—46.
- [13] QIU H, LIN C J. A Universal Optimal Approach to Cam Curve Design and Its Application[J]. Mechanism and Machine Theory, 2005, 40(6): 669—692.