

基于 ARM 的机组式凹印机色组人机界面系统设计

刘善慧¹, 钱颂¹, 陶涛², 李骏烽³, 文庆³

(1. 西安理工大学 印刷包装与数字媒体学院, 西安 710048; 2. 西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049; 3. 北方自动控制技术研究所, 太原 030006)

摘要: **目的** 根据机组式凹印机色组控制操作方便、快捷的功能需求, 文中设计一款基于 ARM 的嵌入式色组人机界面系统。**方法** 在剖析电子轴控制系统结构组成的基础上, 分析色组人机界面系统功能需求, 提出基于 ARM 的嵌入式人机界面系统总体方案。利用 Altium Designer 软件对人机界面系统的硬件电路进行设计, 利用 Keil C 软件对人机界面系统的软件进行开发, 并对其性能进行实验研究。**结果** 经实验可知, 人机界面系统具备显示、触摸操作、数据管理等功能, 且触摸精度小于 5 个像素。**结论** 实验结果表明, 文中设计的嵌入式人机界面系统可以满足机组式凹印机色组控制操作的要求。

关键词: 凹印机; 电子轴; 人机界面; 嵌入式系统; ARM

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)15-0258-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.15.030

Design of HMI System for Color Group of Gravure Printing Machine Based on ARM

LIU Shan-hui¹, QIAN Song¹, TAO Tao², LI Jun-feng³, WEN Qing³

(1. Faculty of Printing, Packaging Engineering and Digital Media Technology, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 3. North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China)

ABSTRACT: The work aims to design an embedded color group human-machine interface (HMI) system based on ARM to meet the functional demand of controlling gravure printing machine color group conveniently and quickly. On the basis of studying the structure of shaft-less drive control system, the functional demand of the color group HMI system was analyzed and the overall scheme of the embedded HMI system based on ARM was proposed. Altium Designer was used to design the hardware circuits of HMI system. Then, Software Keil C was applied to develop the software of HMI system, of which the performance was studied experimentally. Through experiment, the HMI system was verified to have display, touch and data management functions, and the touch accuracy was less than 5 pixels. The experimental results show that the embedded HMI system designed can meet the operational requirements of color group in gravure printing machine.

KEY WORDS: gravure printing machine; shaft-less drive; human machine interface; embedded system; ARM

机组式凹印机具有墨层厚实、层次清晰、色泽鲜艳、工艺稳定、耐印力高等特点, 在食品、饮料、医药、洗涤用品等领域得到了广泛应用, 在印刷电子制造领域已尝试应用于柔性电路板^[1]、薄膜晶体管^[2]等材料的制造。电子轴传动(又称“无轴传动”)技术的

引入为机组式凹印机带来了革命性的进步, 不但使机组式凹印机取消了机械长轴传动链, 还彻底摒弃了套色系统所需的浮动辊机构, 将同步、张力与套准融为一体进行集中控制^[3]。

电子轴控制系统从运动控制上划分包括多轴同

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 陕西省重点研发计划(2020ZDLGY14-06); 陕西省技术创新引导专项(2020QFY03-08)

作者简介: 刘善慧(1982—), 男, 博士, 西安理工大学副教授, 主要研究方向为先进印刷技术与设备。

步控制系统、张力控制系统和套准控制系统 3 个子控制系统。目前,对电子轴控制系统的理论研究主要集中在张力及套准系统的建模与控制方面。Kang 等^[4-5]建立了张力系统的全局耦合数学模型,设计了基于降阶观测器的摆辊系统张力控制方法。Jabbar 等^[6]考虑温度和黏弹特性因素建立了张力系统动力学模型。Kim 等^[7]设计了无速度传感器分散张力控制方法。Kang 等^[8-9]先建立了横向套准误差模型,随后建立了纵向套准误差模型,并针对前级版辊速度波动设计了前馈 PID 控制器。Chen 等^[10]提出了一种优化前馈解耦 PID 套准控制方法。Lee 等^[11]在分析卷筒料印刷系统固有特性的基础上设计了套准系统前馈 PID 控制。笔者所在团队针对张力控制系统研究了温度影响料带张力的内在机理^[12],以 ADRC 技术为核心设计了放卷张力系统解耦控制器^[13]和收卷张力系统解耦控制器^[14];针对套准控制系统建立了套准误差非线性模型,分别以前馈控制、ADRC 为核心设计了套准系统解耦控制器^[15-16]。在电子轴控制系统开发方面,我国起步较晚,直到 2019 年渭南科赛机电设备有限责任公司才针对凹版印刷机需求开发出完全国产化的电子轴控制系统 KSES8000。

色组人机界面系统是电子轴控制系统的核心子系统之一,其性能直接决定着电子轴控制系统的可操控

性,因此,文中根据机组式凹版印刷机色组操控的具体需求,设计一款基于 ARM 的嵌入式色组人机界面系统。

1 人机界面系统总体方案

电子轴机组式凹印机主要包括凹印机机械结构和电子轴控制系统两大部分。忽略 IO 模块,以国产电子轴为核心构建的机组式凹印机整体方案见图 1。电子轴控制系统在结构上采用分布式控制方式,放卷、牵引、色组等单元均根据反馈信息采用驱控一体伺服驱动器独立驱动伺服电机进行控制。由于机组式凹印机体积庞大,除主、副操作屏外,各色组伺服驱动器均连接色组人机界面,以实现实现对单个色组的数据管理和命令控制。

如图 1 所示,色组人机界面系统是机组式凹印机电轴控制系统的重要组成部分。用户通过人机界面系统不仅能够获知所连接色组当前的套准信息和运行信息,还能设置、保存、上传相关的一系列参数,并且可以手动操作对应色组的横纵向电机,进而调整版辊位置以实现精准套色。针对色组人机界面系统的功能需求,文中设计了以微控制单元(MCU)为控制核心的嵌入式人机界面系统总体方案,见图 2,主要包括 4 个功能模块。

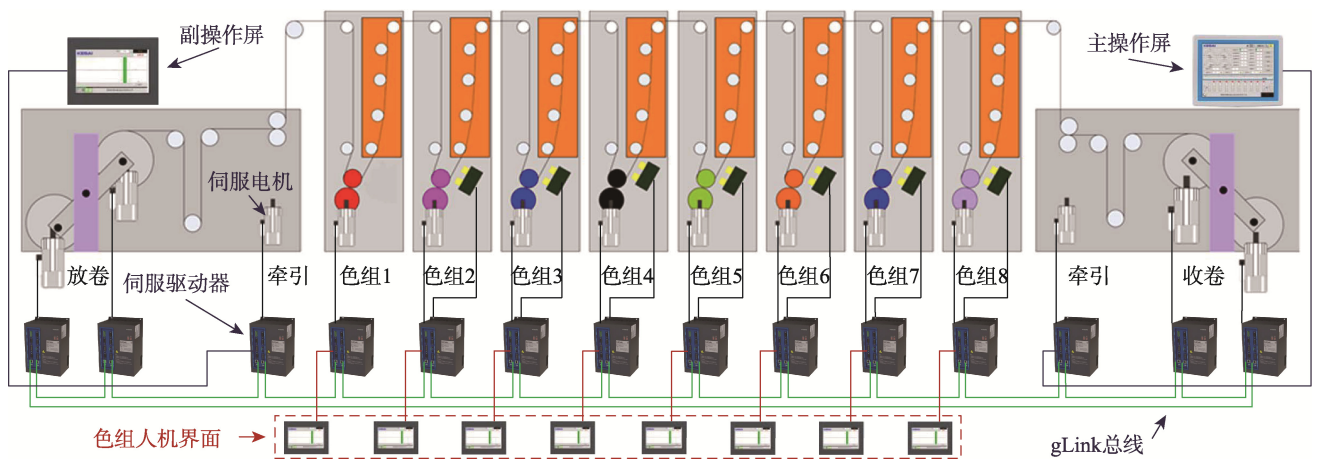


图 1 机组式凹印机整体方案
Fig.1 Overall scheme of gravure printing machine

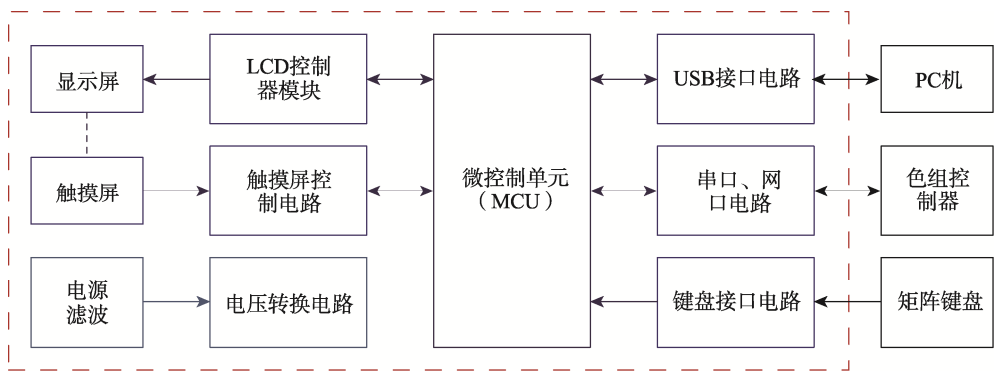


图 2 嵌入式人机界面系统总体方案
Fig.2 Overall scheme of embedded HMI system

1) 电源管理模块。采用直流开关电源和电压转换电路模块对人机操作界面系统进行供电,其中开关电源主要为显示屏、触摸屏、USB 线缆等供电,电压转换电路主要为系统中芯片类元器件供电。

2) 显示模块。MCU 向 LCD 控制器模块发送显示指令,LCD 控制器模块同时进行指令解析和数据处理,控制 LCD 的显示与刷新。

3) 操作模块。搭建触摸屏控制电路以及键盘接口电路,利用触摸屏和矩阵键盘采集操作信息并交给 MCU 来实现用户操作的响应。

4) 通信模块。主要采用串口通信实现人机界面系统与色组控制器的通信,同时选择网口通信作为在人机界面系统与色组控制器之间数据传输速率要求较高时的备用通信方式;采用 USB 通信实现人机界面系统与 PC 机的通信,主要完成“将 PC 上制作好的显示资源传入人机界面系统”、“将某段时间的实时数据传输给 PC 进行保存”这 2 个功能。

2 人机界面系统硬件设计

文中使用 Altium Designer 软件设计了色组人机界面系统的原理图和 PCB 图,其中核心芯片选型遵循功能性、普遍性、兼容性、高性价比、节约资源等原则,具体电路设计如下。

1) MCU 选型及电路设计。针对人机界面系统使用多种通信方式和强大外设支持的需求,选择了 ST 公司 Cortex-M3 内核的 ARM 芯片 STM32F207 作为 MCU,并根据其资源配置搭建了电路系统,见图 3,包括最小系统电路和接口资源分配电路。

最小系统电路主要包括供电电路、时钟电路、JTAG 电路、复位电路等部分。STM32F207 芯片采用

+3.3 V 的电源供电,参考硬件设计手册搭建供电电路,并选择电容和电阻的类型和阻值,在每对电源引脚上都设计有去耦电容,保证供入芯片的电压稳定;采用 25 MHz 的外接晶振作为系统的时钟输入,采用 32.768 kHz 的晶振为 RTC 提供时钟基准,设计了 JTAG 及其软复位电路。在接口资源分配电路中,对串口、网口、USB、触摸屏和显示屏等资源进行了配置。

2) 显示选型及电路设计。根据凹印机色组人机界面功能需求,采用 LG 公司型号为 LB104s01 的 10.4 英寸(1 英寸=2.54 厘米)液晶显示屏(LCD)作为人机界面系统的显示屏。如果将 LCD 控制器输出的 TTL 形式的显示信号直接传输给 LCD,则存在数据传输速率低、传输距离短、抗电磁干扰能力差、并行排线多等缺点。为此,选用 NS 公司型号为 DS90C365 的可编程 LVDS 转换器实现显示信号电平格式的转换。围绕 DS90C365 设计的电路见图 4,为防止负载的变化对供电产生干扰,在电源引脚和地引脚之间设置去耦电容。

3) 触摸屏选型及电路设计。结合人机界面系统触摸屏在工业现场长期使用的需求,选择了 AMT 公司型号为 9509 的 10.4 英寸四线制电阻式触摸屏作为人机界面系统的触摸屏,设计了如图 5 所示兼容四线制和五线制电阻触摸屏操作的触摸屏控制电路。电路使用 PNP 和 NPN 这 2 种三极管控制施加在触摸屏 4 个供电引脚上的电压,使得触摸屏形成不同方向的电压分布,从而根据分压原理获取 x 和 y 方向的触摸电压值,继而根据转换公式计算出触摸坐标值。此处三极管使用“对管”形式,其中三极管 Q1、三极管 Q3、三极管 Q5 均为型号为 9012 的 PNP 型三极管,三极管 Q2、三极管 Q4、三极管 Q6 均为型号为 9013 的 NPN 型三极管。

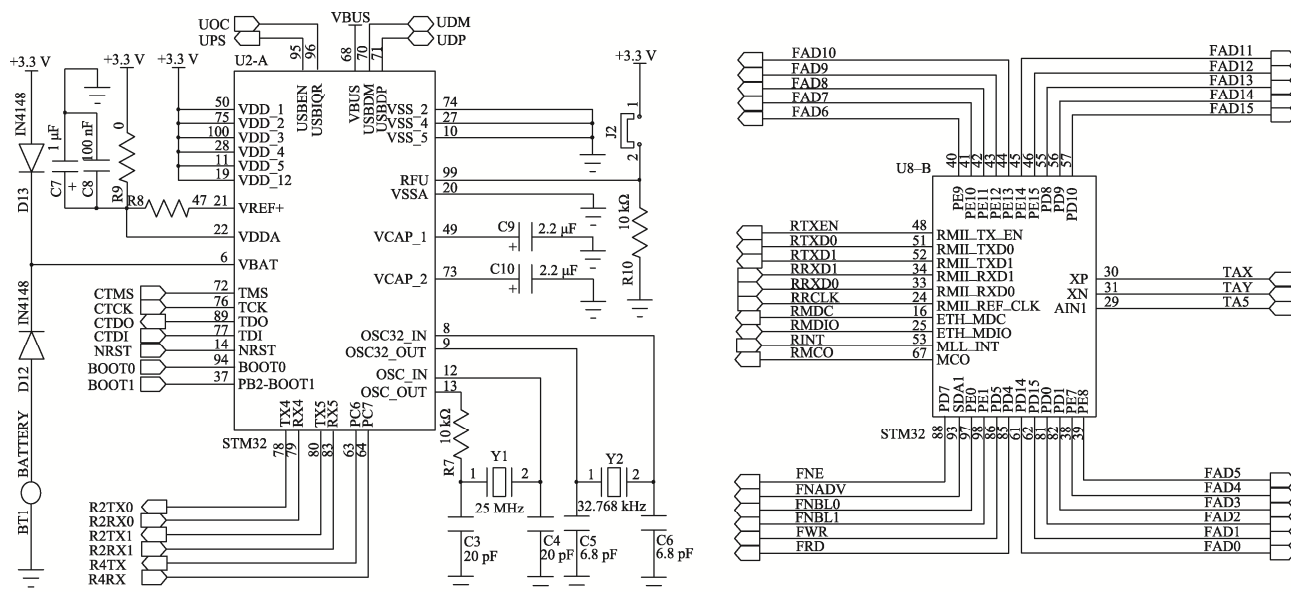


图 3 MCU 核心电路图

Fig.3 Core circuit diagram of MCU

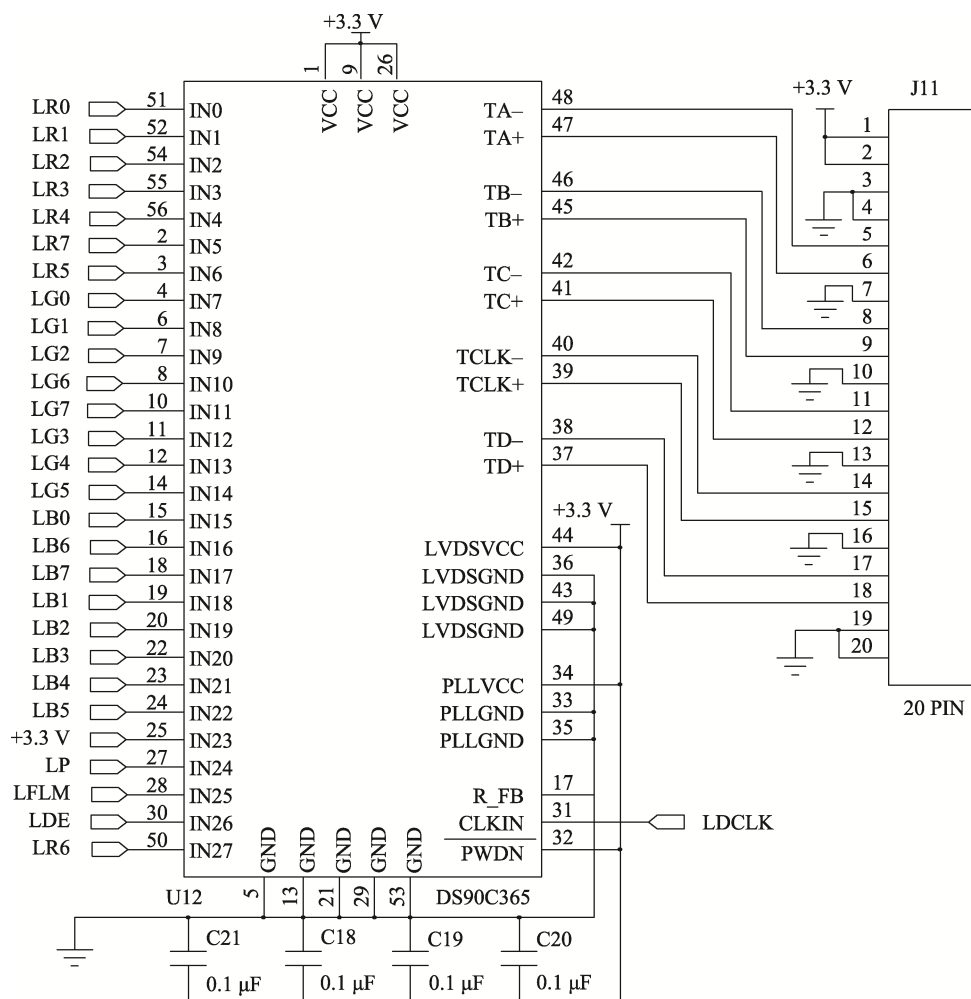


图 4 显示屏电平转换电路
Fig.4 Level conversion circuit of LCD

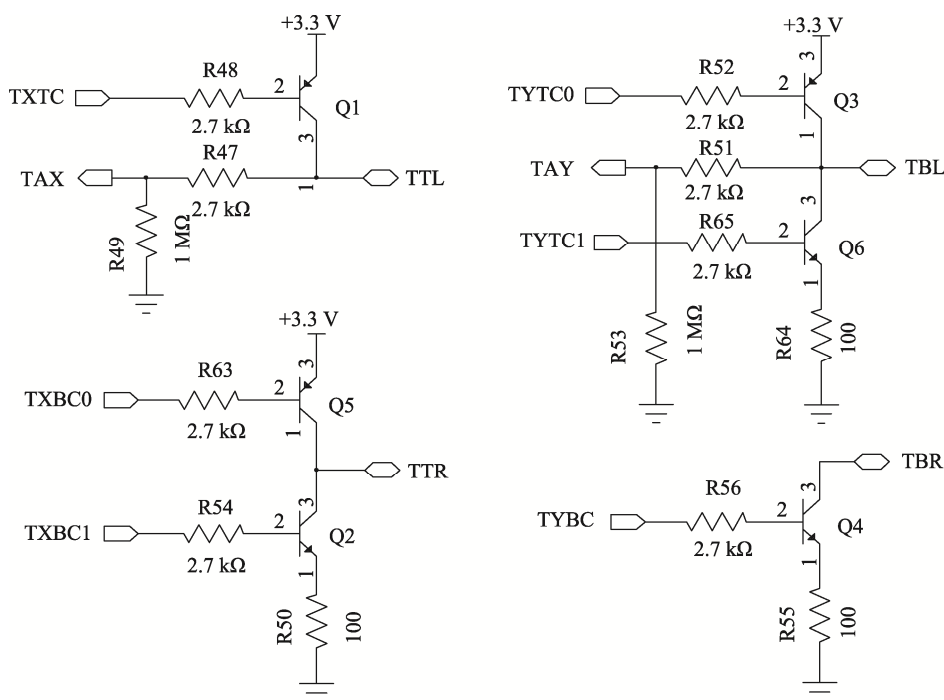


图 5 触摸屏控制电路
Fig.5 Control circuit of touch screen

4) 串口芯片选型及电路设计。为了满足人机界面系统与不同厂家色组控制器通信的需求,设计了兼容 RS-232 和 RS-422 的 2 种标准串口通信方式,选择了 MAXIM 公司的电平转换芯片 MAX3232 和 MAX488,搭建了 3 路通信的串口通信接口电路,见图 6。考虑到印刷工厂现场干扰较大,缺省模式下选择抗干扰能力强的 RS-422 作为人机界面系统与色组控制器的通信方式。在串口电路中,将 3 路串口通信方式全部连接在一个 DB9 接头上,在保证 1 路 RS-422 串口接线标准的前提下,将另外 2 路串口通信接到其余的引脚上。

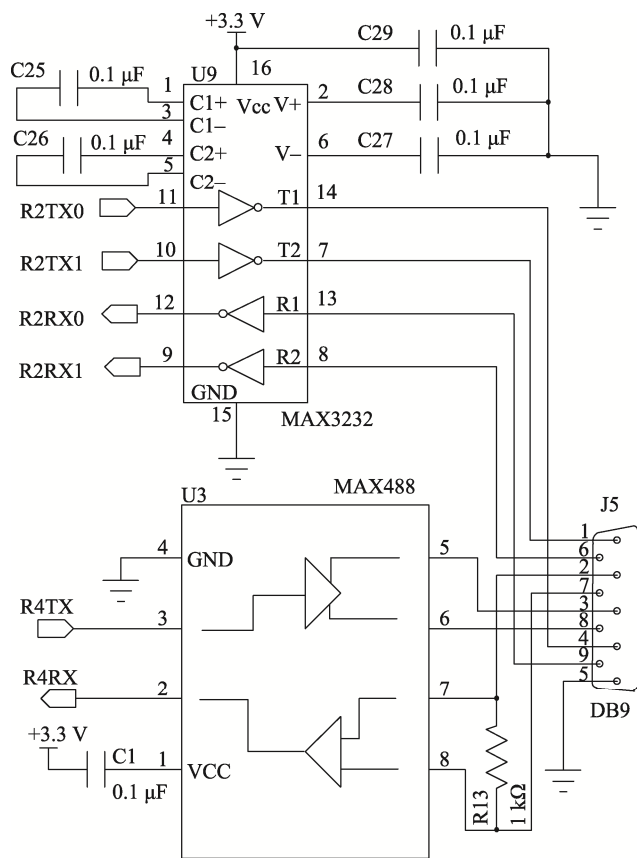


图 6 串口接口电路

Fig.6 Interface circuit of serial port

在完成人机界面系统原理图设计的基础上,文中采用两层板进行布线,按照电源可靠性设计、信号完整性设计、可测性设计准则设计了人机界面系统的 PCB 图。

3 人机界面系统软件设计

根据凹印机色组人机交互需求,人机界面系统 LCD 显示设计为状态监控、色组操作、参数设置、系统设置等 4 个功能模块(见图 7),其中,状态监控功能具体包括纵/横向套准误差监控、报警记录监控、色组 I/O 状态监控。色组操作功能具体包括纵向运动操作、横向运动操作、数据管理。参数设置功能

具体包括参数配方、色组参数、套准参数、伺服参数。系统设置功能包括用户管理、显示与时间。

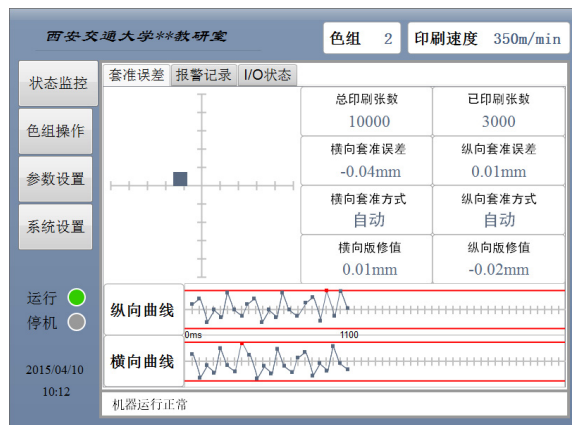


图 7 人机界面系统显示功能模块

Fig.7 Display function module of HMI system

文中使用 Keil C 软件完成了色组人机界面系统的软件设计,其中主程序流程见图 8。程序首先执行系统初始化,实现 ARM 芯片初始化配置、定时器初始化设定、LCD 及触摸屏等外设的初始化配置,然后读取 STM32F207 内寄存器、定时器参数,刷新 LCD 初设参数,进入主程序循环。

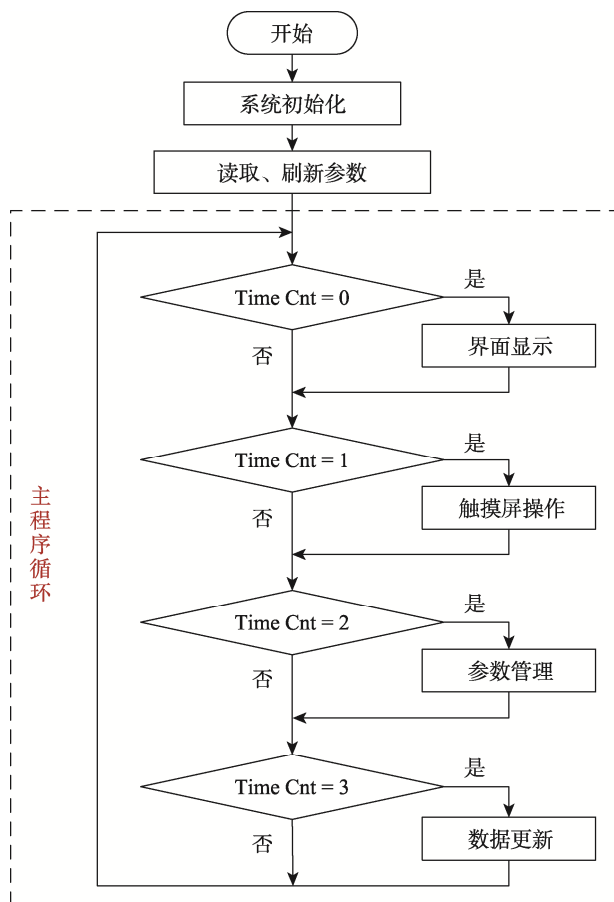


图 8 主程序流程

Fig.8 Main program flow chart

主程序循环采用时间片划分的方法实现显示功能、触摸屏操作、参数管理、数据更新等 4 个功能的并行运行, 具体为: 主程序循环周期为 5 ms, Time Cnt 为主程序计时器, 每个循环周期被划分为 5 个时间节拍, 每个时间节拍 1 ms, 其中前面 4 个时间节拍分别实现显示功能、触摸屏操作、参数管理、数据更新这 4 个功能, 最后 1 个时间节拍为预留节拍, 保证每个功能都在一个确定的时间片段被执行, 并且时间片段不发生重叠。主程序循环具体步骤如下。

步骤 1: Time Cnt = 0, 显示功能时间节拍, 实现显示资源的调用和显示内容的刷新。

步骤 2: Time Cnt = 1, 触摸屏操作时间节拍, 采集触摸屏信号, 根据信号的状态实现显示内容的变化或者操作命令的执行。

步骤 3: Time Cnt = 2, 参数管理时间节拍, 读取参数修改标识 ParaChange_Flag 的状态, 查看是否需要执行参数读/写操作。

步骤 4: Time Cnt = 3, 数据更新时间节拍, 读取数据标识 Data_Flag 的状态, 更新套准误差值、印刷速度值、版辊相位等参数。

在 1 个时间节拍内, 当执行到需要系统延时的程序代码时, 采用分步骤的方法实现其功能, 即将需要延时的代码按照功能划分步骤或者增加计数变量, 使得主程序不在延时代码处停留, 实现程序的零等待。

4 人机界面系统性能实验

在完成色组人机界面系统软硬件设计的基础上, 搭建了包含 LCD (含触摸屏)、人机界面系统主板、JLink 调试器、键盘和直流开关电源的实验系统, 见图 9, 实验系统主要完成人机界面系统的显示、触摸操作、数据管理等功能的验证。

显示性能实验包括显示效果实验和显示稳定性实验。显示效果实验包括对状态监控、色组操作、参数设置、系统设置 4 个功能模块的显示, 部分显示界面见图 7、图 9、图 10。实验结果表明, 所有页面均能良好地显示人机界面系统的相关功能。为了测试人机界面显示的稳定性, 长期运行程序, 观察套准误差页面过程数据刷新的效果, 实验结果如图 7、图 9、图 11 所示的套准误差曲线。实验结果显示, 程序运行一段时间后, 套准误差页面显示了过程数据长期、稳定、动态刷新的效果, 表明人机界面系统的显示稳定性良好, 程序设计满足长期使用的要求。

触摸操作实验包括了触摸精度、页面切换控件和页面内控件 3 个实验。触摸精度实验见图 11, 笔点为实际触摸点, 黑点为显示屏反馈回来的触摸点, 2 点之间的距离小于 5 个像素, 符合触摸屏校准程序的设计思路, 达到了触摸按钮、参数输入框等功能部件的精度要求, 表明触摸屏校准程序设计正确, 触摸精度良好。页面切换控件与显示效果实验同时进行, 如

图 10 所示, 各个页面之间切换自如, 满足操作需求。页面内控件实验主要包括: 纵向操作页面实现了修改步长操作, 表明数字键盘的弹出程序和输入程序编写正确; 参数配方页面实现了修改配方操作, 表明九宫格字母键盘的弹出程序和输入程序编写正确; 色组参数页面实现了修改参数操作, 表明选择框的弹出程序和修改程序编写正确。

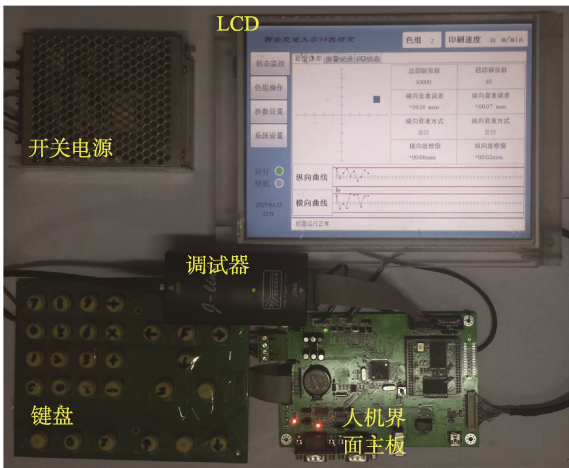


图 9 人机界面实验系统
Fig.9 Experimental platform of HMI system



图 10 部分显示界面
Fig.10 Partial display interface

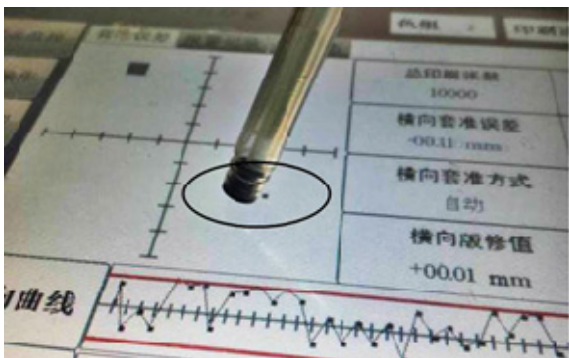


图 11 触摸精度实验
Fig.11 Touch accuracy experiment

数据管理实验主要目的是检测参数修改后写入 Flash, 以及参数从 Flash 中读取的功能是否正常。参数是否成功写入 Flash 最好的检测方式是重新上电, 由人机界面系统对参数列表进行初始化操作, 重新读取 Flash 中的所有参数。实验中, 对参数配方页面的历史配方进行修改、另存等操作后, 点击“载入”按钮, 将参数组写入 Flash。系统重新上电以后, 修改后的参数都显示在了屏幕上, 表明参数已经正确存储在 Flash 中, 参数管理程序设计正确。

5 结语

文中以机组式凹印机电轴控制系统为研究对象, 围绕色组人机界面系统展开了软硬件设计、性能测试等研究工作, 主要成果和结论如下。

1) 在分析国产电子轴控制系统整体方案及对色组人机界面系统需求的基础上, 提出了以 MCU 为控制核心的嵌入式人机界面系统总体方案。

2) 根据电源管理、显示、操作、通信等 4 个功能模块, 利用 Altium Designer 软件设计了人机界面系统的原理图和 PCB 图。

3) 根据色组人机交互需求设计了状态监控、色组操作、参数设置、系统设置等 4 个人机界面系统显示功能模块, 提出了采用时间片划分主程序循环的方法, 实现了显示功能、触摸屏操作、参数管理、数据更新等 4 个功能的并行运行。

实验结果表明, 文中开发的色组人机界面系统能够良好地实现精确显示、触摸操作、数据管理、数据更新等功能, 其中触摸精度小于 5 个像素, 可满足凹印机色组状态监控、色组操作、参数设置、系统设置 4 个功能模块的工业需求, 相关成果对自主研发国产凹印机电轴控制系统具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] SHIN K H, NGUYEN H A D, PARK J, et al. Roll-to-Roll Gravure Printing of Thick-Film Silver Electrode Micropatterns for Flexible Printed Circuit Board[J]. Journal of Coatings Technology and Research, 2017, 14(1): 95-106.
- [2] KIM J, CHAE D, LEE W, et al. Enhanced Performance and Reliability of Organic Thin Film Transistors through Structural Scaling in Gravure Printing Process[J]. Organic Electronics: Physics, Materials, Applications, 2018, 59: 84-91.
- [3] 周晓霞, 郎建华. 无轴传动控制系统在凹版印刷机中的应用[J]. 自动化博览, 2010, 27(9): 78-82.
ZHOU Xiao-xia, LANG Jian-hua. Application of Shaft-less Drive Control System in the Gravure Press[J]. Automation Panorama, 2010, 27(9): 78-82.
- [4] KANG H, BAUMANN R R. Mathematical Modeling and Simulations for Machine Directional Register in Hybrid Roll-to-Roll Printing Systems[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2014, 15(10): 2109-2116.
- [5] KANG H, SHIN K. Precise Tension Control of a Dancer with a Reduced-Order Observer for Roll-to-Roll Manufacturing Systems[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2014, 15(10): 2109-2116.
- [6] JABBAR K A, PAGILLA P R. Modeling and Analysis of Web Span Tension Dynamics Considering Thermal and Viscoelastic Effects in Roll-to-Roll Manufacturing[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2018, 140(5): 1-9.
- [7] KIM Y, KIM K S, KIM S K. Velocity-Sensorless Decentralized Tension Control for Roll-to-Roll Printing Machines[J]. IEEE Access, 2020, 8: 93682-93691.
- [8] KANG H, LEE C, SHIN K. A Novel Cross Directional Register Modeling and Feedforward Control in Multi-Layer Roll-to-Roll Printing[J]. Journal of Process Control, 2010, 20(5): 643-652.
- [9] KANG H, LEE C, SHIN K. Modeling and Compensation of the Machine Directional Register in Roll-to-Roll Printing[J]. Control Engineering Practice, 2013, 21(5): 645-654.
- [10] CHEN Zhi-hua, HE Juan-juan, ZHENG Ying, et al. An Optimized Feedforward Decoupling PD Register Control Method of Roll-to-Roll Web Printing Systems[J]. IEEE Trans Automation Science and Engineering, 2016, 13(1): 274-283.
- [11] LEE J, SHIN K H, KANG H. Design of a Register Controller Considering Inherent Characteristics of a Roll-to-Roll Continuous Manufacturing System[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 102(9/10/11/12): 3725-3737.
- [12] HE Kui, LIU Shan-hui, WANG Ke-dian, et al. Thermal Characteristics of Plastic Film Tension in Roll-to-Roll Gravure Printed Electronics[J]. Applied Sciences, 2018, 8(2): 312.
- [13] LIU Shan-hui, MEI Xue-song, KONG Fan-feng, et al. A Decoupling Control Algorithm for Unwinding Tension System Based on Active Disturbance Rejection Con-

- tro[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2013, 2013: 1-18.
- [14] 何奎, 刘善慧, 史文亮, 等. 卷筒料印刷装备收卷张力系统解耦控制研究[J]. 包装工程, 2020, 41(19): 209-216.
- HE Kui, LIU Shan-hui, SHI Wen-liang, et al. Decoupling Control for Rewinding Tension System of the Roll to Roll Printing Equipment[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(19): 209-216.
- [15] LI J, MEI X, TAO T, et al. Research on the Register System Modelling and Control of Gravure Printing Press[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2012, 226(3): 626-635.
- [16] LIU Shan-hui, YIN Bing-zheng, MA Li'e, et al. A Decoupling Control Strategy for Multilayer Register System in Printed Electronic Equipment[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016, 2016: 1-14.

责任编辑: 曾钰婵