

电子制作

PRACTICAL ELECTRONICS

欢迎关注微信公众号



总第483期
2024年1月(上)
www.ele169.com

电子制作

第三十二卷
第一期

二〇二四年一月



基于图像识别的目标控制与追踪系统设计
基于 OpenCV 的水下管道自巡检机器人的设计
基于 ROS 的双臂机器人的协同控制路径规划研究

ISSN 1006-5059



9 771006 505240

0.1

国际标准连续出版物号 ISSN1006-5059 国内统一连续出版物号 CN11-3571/TN 邮发代号 82-541 定价: 20元

广告

电子制作杂志社

抖音开播

能看见的未来DOU很精彩

科学
Science

直播 专题 采访 技巧

电子
Electronic

科技
Technology

未来
Future

分享
Share

M制作
ake



更多精彩内容请关注我们，抖音号：elediy

目次 CONTENTS

电子电路设计与方案

- 基于 AMBA 总线协议的多请求 DMAC 设计及 UVM 验证.....蔡挺, 王仁平, 卢朝辉 3
- 基于图像识别的目标控制与追踪系统设计.....章扬 8
- 一种便携式三端口交流稳压器的研发.....梁菁夏, 慕光睿, 邱杰晋, 陈振文, 洪伟声, 罗有焕 14
- 一种时差法超声流量计的设计.....曾彬洋 18
- 基于单片机的无线点餐系统设计.....李康 23

智能应用

- 基于 Arduino 的智能药箱设计.....朱茵霓, 李敏纯, 蓝晓琪, 廖华林 27
- 基于 OpenCV 的水下管道自巡检机器人的设计.....陈洵圻, 张远峰, 连一凡, 吴矜萱, 何建景, 杨喆 32
- 基于 STM32 单片机的智能小车设计.....唐志军, 何欣荣 36
- 基于 STM32 的模块化智能消毒门锁设计.....陈伟杰, 彭佳辉, 张江龙, 李兢 42
- 基于 STM32 的智能头盔系统设计.....于帅武, 丁浩, 韦袁华, 黄同欣 48

信息工程

- 基于 ROS 的双臂机器人的协同控制路径规划研究.....李博, 孔令云, 毛东宸, 李明科 52
- 基于 IIR 的智能传感器实时监测系统设计.....陈苑冰, 叶青, 吕佩洁, 范珠燕, 陈幸儿, 陈智浩, 唐立文 56
- 基于物联网的智慧路灯模拟控制系统设计与实现.....张桂莲, 郑炎辉, 石宜金 61
- 基于物联网的农村家用水池水位监测系统设计与实现.....栗文馨, 梁珊珊, 覃晓芸, 陈梅玲, 吴源颖, 李关泳 65

电子制作

PRACTICAL ELECTRONICS

2024年1月刊(上)
第32卷第01期
总第483期

主管
中国商业联合会

主办
中国家用电器服务维修协会

出版
《电子制作》杂志社有限公司

发行
《电子制作》发行部

社长
刘秀敏

副社长
陈晓薇

主编
胡洁

编辑部
部姗姗 刘丽 马旭 朱泓 谭钧峰

美术编辑
钱超

顾问
高雨春 郭忱 姚国强 石慧斌
朱峰 (排名不分先后)

编委
杨晋 傅骞 程晨 林德耀
陈言俊 郭万有 郝立果 李学礼
万冬 罗凯 王栋 朱照红
耿立明 冀松 杨威 王宏宇
吴劲松 (排名不分先后)

电话
010-62410551

投稿邮箱
ed@ele169.com

发行部
010-62410551

地址
北京市海淀区知春路盈都大厦C座1-7A

邮政编码
100098

网址
www.ele169.com

国际标准连续出版物号
ISSN1006-5059

国内统一连续出版物号
CN11-3571/TN

印刷
北京世纪恒宇印刷有限公司

出版日期
每月1日

国内总发行
北京报刊发行局

订购处
全国各地邮局

国外总发行
中国图书进出口总公司

国内邮发代号
82-541

国外代号
M3571T

订价
20元

广告发布登记证:京海工商广登字 20170137号

版权声明

未经本刊书面同意,不得以任何形式转载、使用

本刊所刊登的文章和图片。

本刊内容可能在杂志和网站同时刊登,以及出版

电子版及合订本、汇编本等作品。

作者向本刊投稿时,应授权本刊依法维护其著作

权等权利。

向本刊投稿的作者,均同意以上条件,如有异

议请在来稿中特别注明。

自动化技术

基于模糊神经网络 PID 变压器恒温箱控制系统研究

..... 苏安杰, 傅中君, 朱金辉, 李可扬, 周磊, 王宇辉 69

组串式 PCS 故障录波数据传输系统设计

..... 张腾云, 隋伟哲, 姜一凡, 赵双双, 张德钊, 刘可述 72

基于 5G 网络的地铁列车定位系统设计..... 邓建芳, 李志明, 张宏亮 75

基于 GD32F103 的无刷直流电机控制电路设计..... 杨通元 79

模糊 PID 控制在生物质锅炉燃烧控制系统的设计及仿真

..... 刘宇菲, 孟亚男, 陈智晗, 祝克强 83

电子基础

基于 MSP430 的智慧导盲小车设计..... 张云, 陈尚, 屈克非 87

一种防止离散量输出电路误保护的方法..... 王鹏博, 徐栋, 康颖 90

一种新型数字可调线性直流稳压电源设计..... 徐丽萍 93

单片机控制太阳能充电系统设计..... 王榆 96

基于高职实训教学的一种智能寻迹小车的设计..... 施少华 99

实验研究

基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统设计..... 李勇 102

基于 STM32 的智能一体化智慧农业大棚设计与实现..... 郑钰祥, 曾鹏宇, 陈浩 106

基于多模感知的智能手机壳研究..... 马稼鸿, 余宇曦, 余锦明, 张焕杰, 郑誉煌 109

基于 PFMEA 的集成电路芯片银导电胶粘接工艺可靠性研究

..... 程晓冉, 丁莺敏, 吴照玺, 孟猛 113

基于 KingSCADA 的换热站智能远程监控的研究

..... 黄润智, 孟亚男, 黄迎旭, 侯圣坤 117

基于 AMBA 总线协议的多请求 DMAC 设计及 UVM 验证

蔡挺, 王仁平, 卢朝辉

(福州大学 物理与信息工程学院, 福建福州, 350108)

基金项目: 基于RISC-V处理器的商品条形码图像识别SoC芯片设计 (2023J01398)。

摘要: 该文章提出一种新的传输技术——基于AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture) 总线的多请求DMAC (Direct Memory Access Controller) 设计方法。该DMAC支持CPU通过APB总线来进行寄存器配置, 通过AHB总线进行内存数据搬运, 支持跨时钟域传输, 支持链表传输模式, 提高了DMAC系统的通用性, 采用了内部多套请求寄存器以及内置轮询权重仲裁器的方式实现了多请求轮询传输模式, 提高了DMA系统在面对多个传输请求时的灵活性, 通过对比正常传输模式节省大量传输时间, 实现了49%的效率提升。设计基于UVM (Universal Verification Methodology) 验证平台, 提出通用scoreboard设计方法快速定位DMA传输过程中数据比对出错位置, 实现100%功能覆盖率。

关键词: SoC; DMA; AMBA; 轮询仲裁; UVM

0 引言

随着近年来芯片行业的飞速发展, 高端芯片的竞争越来越激烈, 其中 SoC 芯片更是各方竞争中的重要一环。而 SoC 芯片中有个常见的数据搬运模块叫 DMA 控制器, DMA (Direct Memory Access) 是一种能够通过 CPU 而直接对内存设备进行访问的传输方式, 采用 DMA 传输方式能够解放 CPU, 大大提高 SoC 芯片的效率的传输方式^[1]。同时 SoC (System on Chip) 芯片的集成度越来越高, 对应的电路结构及期望实现的电路功能越来越复杂, 芯片验证工作难度越来越大, 芯片开发出现错误的代价也越来越高, 如何找出芯片设计中存在的缺陷, 成为芯片验证工作无法规避的问题。基于 UVM (Universal Verification Methodology) 验证平台具有高的灵活性和可重用性, 能帮助验证人员高效完地完成芯片功能验证, 成为 SoC 芯片交付代工厂流片生产前必不可少的步骤。

本文在传统 DMAC 的基础上提出了一种面对多请求可轮询传输而保证数据不丢失的方法, 该方法能够通过提高传输效率从而提高性能整体性能。对设计采用了 UVM 验证平台进行功能仿真验证, 该验证平台支持 APB 从机以及 AHB 主机的功能验证, 支持发送随机激励, 支持 DMA 特有的 scoreboard 设计能够准确地对数据进行比对, 大大提高了芯片的成品率。

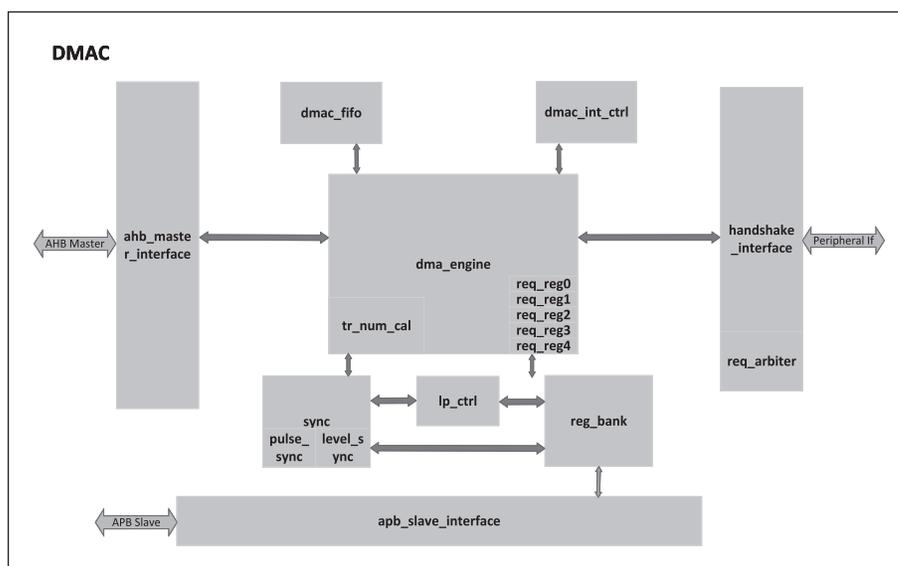


图1 DMAC 整体架构

1 DMAC 架构及传输模式

1.1 DMAC 整体架构

该设计 DMAC 的整体架构如图 1 所示。

本 DMAC 的数据流向是: 首先 CPU 通过 APB 总线对 DMAC 写入配置信息, 配置信息会通过 apb_slave_interface 模块将信号写入到寄存器组模块 reg_bank 当中, 寄存器组中的寄存器信息是处于 APB 时钟域的, 因此需要通过跨时钟域同步模块 sync 进行时钟域同步后才会进行 AHB 时钟域, 而此时也可以通过低功耗控制模块 lp_ctrl 来决定是否执行低功耗模式^[2]。CPU 配置完毕后, 主控模块 dma_engine 开始工作, 该主控模块会根据传输模式来决定是否等待外部请求输入, 等待请求输入后会通过 AHB 主机接口模块 ahb_master_interface 来与 AHB 总线上的存储设备进行数据交互, 通过该总线接口会将外部读到的数据

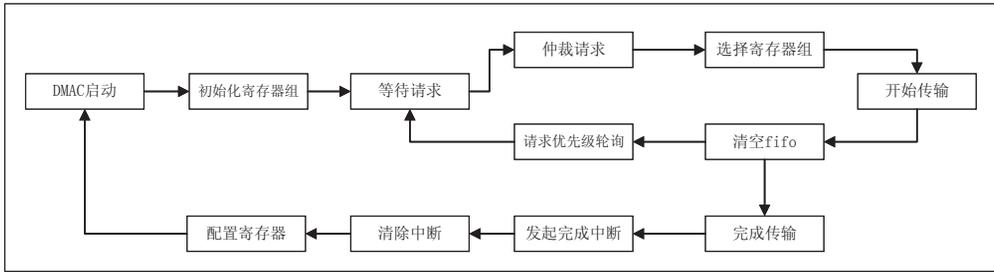


图2 DMAC多请求轮询循环模式

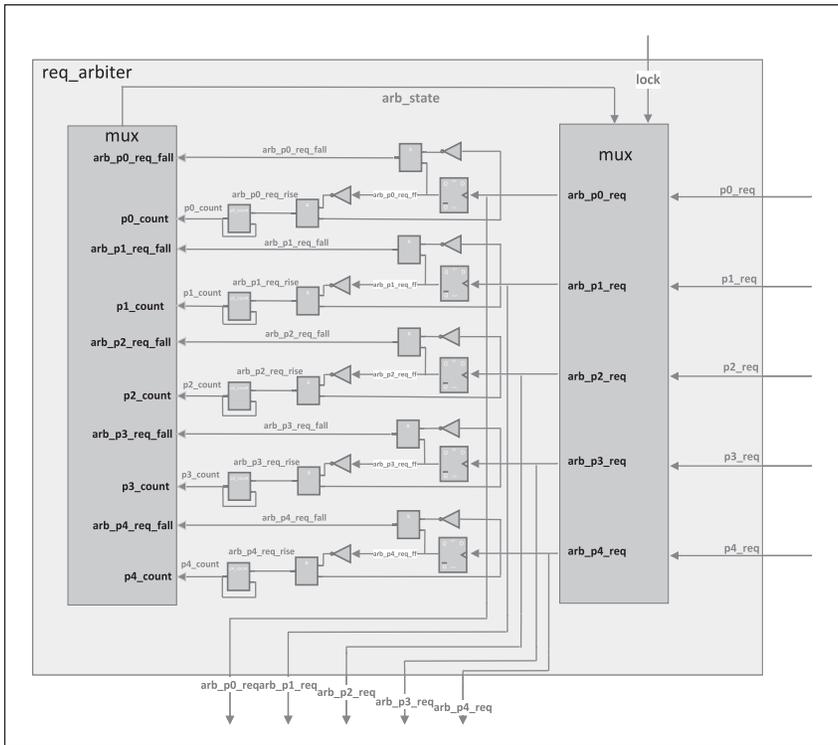


图3 轮询权重仲裁器设计结构

存到内部FIFO模块dmac_fifo当中，并将内部FIFO中的数据写入到外部目的端设备当中，重复如此操作，直到传输完成为止会通过dmac_int_ctrl模块拉起中断通知CPU传输结束^[3]。

1.2 DMAC多请求轮询循环传输模式

传统的传输模式不支持传输请求被打断的功能，必须等待当前传输请求的传输量全部传输结束之后才能进行下一次传输，传输效率较低^[4]。本文提出的DMAC支持多请求轮询循环传输模式，在DMAC等待请求过程中，会根据仲裁器仲裁的请求类型选择内置寄存器组来存放数据，如果当前传输请求跟上一笔传输请求类型不一致，内置寄存器会记录上一笔请求的控制信号，来保证当前传输和被中断的传输互不冲突，且传输可被高优先级的请求插入从而根据仲裁优先级提高传输效率^[5]。该模式传输流程如图2所示。

2 DMAC关键模块设计

本章节主要介绍DMAC中关键模块的设计，以下模块设计的功能点主要包括：轮询权重仲裁器设计、DMAC

主控模块dma_engine设计。

2.1 轮询权重仲裁器设计

轮询权重仲裁器结构如图3所示。该轮询权重仲裁器首先会根据右端进入的请求 px_req ($x = 0,1,2,3,4$)，然后通过第一个选择器mux根据现有的优先级 arb_state 来仲裁选择请求信号 arb_px_req ($x = 0,1,2,3,4$)，而被仲裁后的请求可以作为下面的轮询或者权重来改变优先级，在权重为0的情况下，当前请求被仲裁后其优先级会轮询到最低，后级优先级会往上移。而权重是否为0是通过权重计数器 px_count ($x = 0,1,2,3,4$)决定的，权重计数器可以被CPU配置，而该计数器会在对应请求被仲裁的时候减1，减为0时保持不变，当所有权重计数器都为0时才会重置。另外需要注意该仲裁器支持lock模式，当lock信号接入时，对应请求优先级不会改变。

号接入时，对应请求优先级不会改变。

2.2 主控dma_engine模块设计

主控模块主要利用内部主控状态机来控制DMA与外部总线和内部存储单元进行数据交互，本模块实现的主控状态机如图4所示。

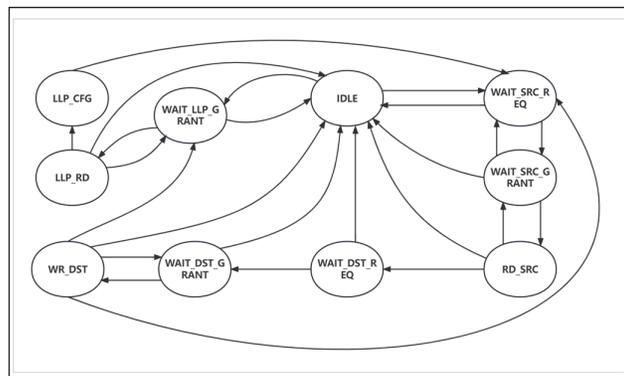


图4 dma_engine状态机实现

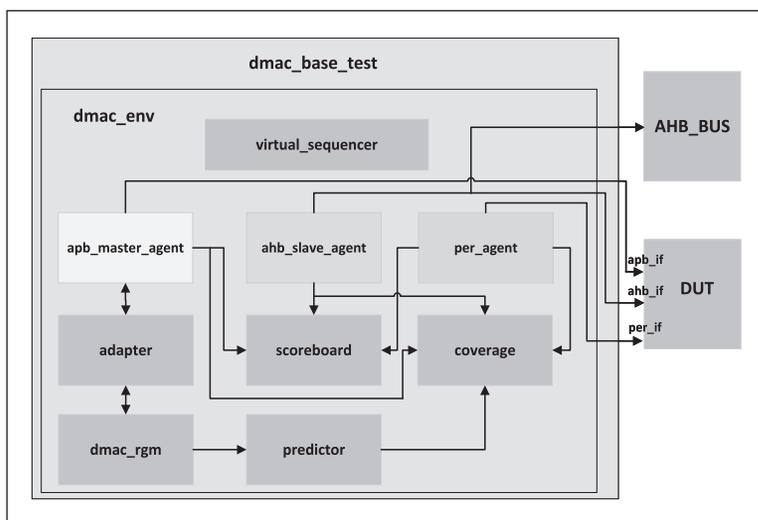


图5 多请求 dmac 验证平台结构

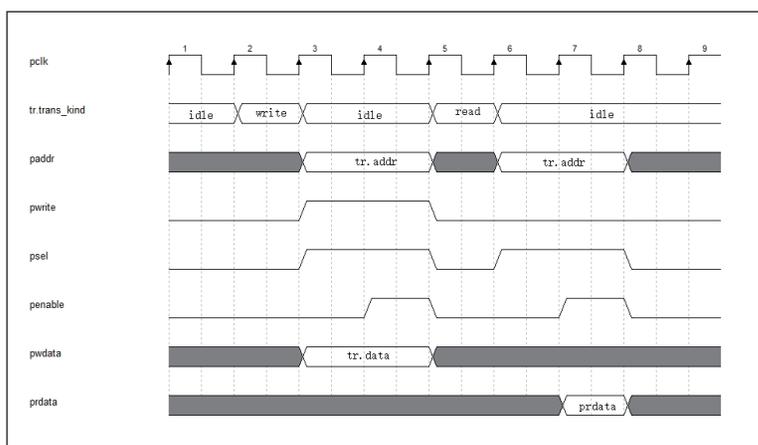


图6 apb_driver 实现时序图

在 IDLE 状态下会等待寄存器配置信息来决定是否启动 DMA 传输，若为链表传输请求会跳转到 WAIT_LLQ_GRANTED 状态，否则会跳转到 WAIT_SRC_REQ 状态来等待外部或软件请求 [5]。

传输过程中若是在等待请求超时或是从 AHB 接口读取到传输数据或地址有误，则会发出传输超时中断或传输错误中断从而跳转回 IDLE 状态并向 CPU 端发出重新配置请求。

在传输执行到 WR_DST 的时候，会通过配置的传输量寄存器以及 dma_engine 内部计数器来判断当前 DMA 传输是否完成，若传输完成则会发出传输完成中断，否则会接着跳转到 WAIT_LLQ_GRANTED 或 WAIT_SRC_REQ 状态去等待下一笔传输开始，直到满足寄存器配置的传输量要求为止，实现了状态机的合理自启动。

在本模块内部有五套寄存器组，分别对应一个软件传输请求以及四个外设传输请求，在 WAIT_SRC_REQ 状态中会根据仲裁的请求选择不同的寄存器组。本寄存器组用于保存不同请求传输时的传输数据量以及控制信息，当不同请求握手时可

以执行对应传输请求，从而可以实现轮询传输的功能 [6]。

3 UVM 验证

本章节主要介绍 DMAC 中关键模块的设计，以下模块设计的功能点主要包括：轮询权重仲裁器设计、DMAC 主控模块 dma_engine 设计、对 ahb 主机需要支持的各种特殊情况设计。

3.1 UVM 验证平台架构

UVM 验证平台的整体架构如图 5 所示。

本验证平台中主要由一个 dmac_env 构成，其中包含了三个 agent：ahb_slv_agent，apb_mst_agent 和 per_agent。并增加了 predictor 作为监测寄存器模型变化的组件，利用 coverage 块来进行覆盖率收集，利用 scoreboard 来进行数据比对。最后通过三个 agent 的 interface 接入到外部 DUT 当中，从而实现与 DUT 的数据交换 [7]。

3.2 apb_master_agent

本 agent 的设计思路主要是模拟 apb 主机协议，需要在 driver 中设计对应时序，driver 可以将来自 sequence 的激励信号 trans_kind（读写类型），addr，data 转换为 apb 协议的时序信号输出到 apb_vif 上。

其中 driver 主要实现的读写时序图如图 6

所示。

对上述时序图的分析如下：

T2 周期：获取来自 sequence 的 trans_kind 为 write；

T3 周期：将 paddr 输出为来自 sequence 的 addr，将 pwwdata 输出为来自 sequence 的 data，拉高 pwrite 和 psel 信号，拉低 penable 信号；

T4 周期：将 penable 信号拉高，代表一次 APB 写操作完成；

T5 周期：获取来自 sequence 的 trans_kind 为 read；

T6 周期：将 paddr 输出为来自 sequence 的 addr，拉高 pwrite 和 psel 信号，拉低 penable 信号；

T7 周期：将 penable 信号拉高，代表一次 APB 读操作完成。

3.3 ahb_slave_agent

本 agent 的设计主要是模拟 AHB 从机协议，AHB 从机激励信号主要包括 hready 以及 hresp，另外此处还考虑了来自 AHB bus 的 hgrant 信号处理。来自 sequence 的

response_type 信号主要驱动 hresp 和 hready 来作为错误传输的响应, hready_random 可以将 hready 变为随机化, 这样便于进行 hready 的随机化测试, wait_hgrant 信号可以给 hgrant 信号增加等待周期, 这样可以模拟正常的 AHB bus 等待授权的功能^[8]。其结构图与 apb_mst_agent 的一致。实现的时序图如图 7 所示。

对上述时序图的分析如下:

T2 周期: 获取来自 sequence 的 response_type 为 ERROR;

T3 周期: hready 拉低一个周期, hresp 为 OKAY 来延长一个周期;

T4 周期: 从机发送 hready 拉低一个周期, hresp 为 ERROR;

T5 周期: 从机拉高 hready 信号, hresp 为 ERROR 代

表错误传输完成;

T7 周期: 获取来自 sequence 的 hready_random 为 RANDOM;

T8 周期: 这时候后面的 hready 信号将会随机拉低拉高;

T9 周期: 获取来自 sequence 的 wait_hgrant 信号为 WAIT;

T10 周期: 这时候 hgrant 会根据 WAIT 值来决定多少周期之后拉高。

3.4 scoreboard

本验证平台的 scoreboard 设计需要考虑到 DMAC 的实际工作情况, 由于 DMAC 工作是从源端读取数据, 再将数据写入目的端中, 所以要注意数据比对的顺序是先读后写。本 scoreboard 的设计如图 8 所示。

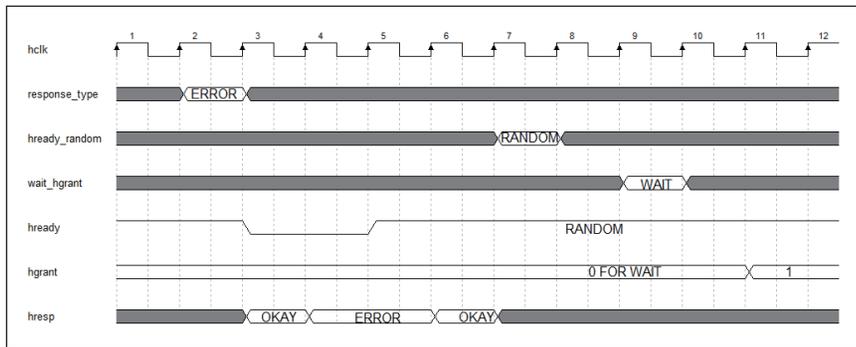


图 7 ahb_driver 实现时序图

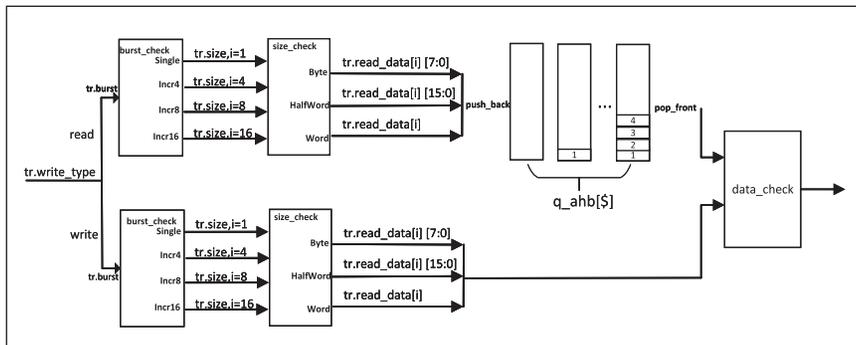


图 8 支持 dma 传输的 scoreboard 结构图

Name	Score	Line	Toggle	FSM	Condition	Branch
dmac_tb	99.51%	99.33%	99.54%	100.00%	98.78%	99.84%
U_LEVEL_SYNC_TB1	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
U_LEVEL_SYNC_TB2	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
U_LEVEL_SYNC_TB3	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
U_LEVEL_SYNC_TB4	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
ahb_if	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
apb_if	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
dmac	99.60%	99.34%	100.00%	100.00%	98.63%	99.83%
U_AHB_MASTER_INTERFACE	99.28%	97.65%	100.00%	100.00%	98.74%	100.00%
U_APB_SLAVE_INTERFACE	100.00%	100.00%	100.00%		100.00%	100.00%
U_DMACE_FIFO	100.00%	100.00%	100.00%		100.00%	100.00%
U_DMACE_INT_CTRL	100.00%	100.00%	100.00%		100.00%	100.00%
U_DMA_ENGINE	99.71%	99.87%	100.00%	100.00%	98.66%	100.00%
U_TR_NUM_CAL	100.00%	100.00%	100.00%		100.00%	100.00%
U_HANDSHAKE_INTERFACE	99.00%	98.24%	100.00%	100.00%	96.77%	100.00%
U_LP_CTRL	99.14%	100.00%	100.00%		96.55%	100.00%
U_REG_BANK	99.71%	99.66%	100.00%		99.74%	99.43%
U_SYNC	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%
avr_if	100.00%	100.00%	100.00%			100.00%

图 9 UVM 代码覆盖率收集结果

如果检测到激励中的传输类型 write_type 为读类型, 则会先进行 burst 类型的判断来决定会存几次数据, 再根据 size 类型来判断数据的多少位有效, 随后使用队列 q_ahb[\$], 将读到的数据通过 push_back() 函数存到队列当中。再当检测到激励中的传输类型为写类型时, 会同样进行 burst 类型的检测来决定进行几次的数据比对, 然后通过 size 来判断多少位的数据来比对, 随后通过 data_check 函数以及队列的 pop_front() 函数来将队列中读到的数据和当前写入的数据进行比对, 并输出对比结果^[9]。

3.5 验证结果分析

本平台验证结果如图 9 所示, 除了一些冗余的部分, 可以看到所有代码几乎完全覆盖到, 且状态机覆盖率百分百。

表 1 展示了普通 DMAC 和支持多请求轮询传输模式 DMAC 以相同配置时在面对需要提前进行下一个请求传输时的所需时钟差距。以下请求的配置都相同, 皆为源端 burst 类型为 INCR8, 而传输 size 为 Word 类型的传输, 不同的只是传输模式和传输数

据量。传输过程中 hready 默认都为高，且不会发生错误传输情况^[10]。

如表 1 中所示数据，在有其他请求需要提前响应时，多请求传输模式能够大大提高传输效率，节省大量传输时间，在其他配置条件下也能达到 49% 以上的效率提升，由此可见该模式对 DMAC 的性能具有非常高的优化效果。

表 1 DMAC 普通传输模式和多请求传输模式效率对比。

传输模式	传输单位(Byte)	时钟使用(周期)	效率提升
普通传输模式	1024	2072	50.19%
多请求传输模式		1032	
普通传输模式	2048	4120	49.32%
多请求传输模式		2088	
普通传输模式	3072	6168	49.54%
多请求传输模式		3112	
普通传输模式	4096	8216	49.65%
多请求传输模式		4136	

4 结论

本文提出了一款支持多请求轮询循环传输模式的 DMAC 设计，在文章中详细描述了该传输模式的设计方式以及优点以及主控状态机的设计方式。本文还展示了对该 DMAC 的 UVM 验证平台的设计方案，提出了对应验证平台的设计架构以及内部 agent 的设计方案，提出了一种验证 DMAC 通用的 scoreboard 的设计方法，该方法可以快速定位 DMA 传输过程中数据比对出错的地方。展示了 UVM 验证的结果，

.....
(上接第 64 页)

3.2 系统集成测试

将路灯各个模块组装集成进行测试，智慧路灯系统如图 11 示。环境信息感知测试，包含环境温湿度获取、环境粉尘、噪声监测；状态监测与调光照明测试，包含监测路灯光照强度，感应行人调光；数据显示与传输通信，包含环境数据显示



图 11 系统集成测试

于 OLED 显示屏，硬件设备和云平台通信传输数据，实现数据上报与远程命令控制。在测试阶段，系统运行稳定、实时性较强。

4 总结

该智慧路灯模拟控制系统通过 Arduino UNO 最小系统、多种环境监测的传感器、Esp8266 WiFi 通信模块以及按键等硬件模块相结合实现环境数据实时采集、传输和监测；通

使用该验证平台达到了几乎百分之百的覆盖率收集，通过对比正常传输模式实现了大于 49% 的效率提升。

参考文献

- * [1] 卞学愚. 基于 AHB 总线协议的 DMA 控制器设计 [D]. 西安电子科技大学, 2019.
- * [2] 高玉鑫. 基于 AHB 总线的 DMA 控制器的设计与实现 [D]. 辽宁大学, 2021.
- * [3] 卢超. 基于 AMBA 总线的 DMA 控制器的设计 [D]. 西安电子科技大学, 2022.
- * [4] 郭志强. 基于 AMBA 总线协议的可编程 DMA 控制器的设计与实现 [D]. 湖南大学, 2021.
- * [5] Saluja Hitanshu. AMBA AHB Bus with Multiple Masters Using VHDL [J]. Electrochemical Society Transactions, 2022, 107(1). (S0026-2714)
- * [6] 高旭栋. 基于新型 AHB 总线架构的多通道 DMA 控制器设计 [D]. 西安电子科技大学, 2022.
- * [7] 张强. UVM 实战 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014
- * [8] 梁光胜, 李朝洋, 梁兆楷等. 基于 UVM 的 AHB 总线 SRAM 控制器设计和验证 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(06).
- * [9] 王佳萌. 基于 UVM 的直接存储器读写控制器的验证平台设计 [D]. 西安电子科技大学, 2021.
- * [10] 林伟峰, 施隆照, 魏陈鸿等. ALU 模块的 UVM 验证 [J]. 中国集成电路, 2022, 31(11):30-37.

过 OLED 屏幕和华为物联网云平台对环境监测数据进行可视化；实现一键求助功能，向云平台发送求助信息；实现路灯亮度自动调节，以及云平台远程控制开关灯。总而言之，该系统利用传感器技术、通信技术、物联网技术等实现智慧调光、环境监测、远程控制的功能，最终达到绿色、节能、智慧照明的目的。

参考文献

- * [1] 郭志英. 智慧城市的基础设施建设——智慧路灯 [J]. 智能建筑电气技术, 2017, 11(1):31-36.
- * [2] Shancheng J, Mao T, Pei D, et al. Design and Implementation of Intelligent Street Lamp Control System Based on STM32 [J]. Computer Measurement & Control, 2018.
- * [3] 谭伟. 基于物联网技术的智慧路灯系统设计 [J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2017(6):2.
- * [4] 李璐, 李昆杰, 刘硕累, 等. 基于物联网的园区智慧路灯控制系统设计 [J]. 湘南学院学报, 2022, 43(2):7.
- * [5] 卢诗瑶, 蔡士东, 龙新宇, 等. 基于物联网技术的智能婴儿摇篮系统开发 [J]. 智能计算机与应用, 2022(008):012.

基于图像识别的目标控制与追踪系统设计

章扬

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江杭州, 310018)

摘要: 本系统采用意法半导体生产的MCU——STM32F407ZET6作为主要控制单片机, 采用OpenMV LLC的OpenMV4 H7作为视觉识别模块来采集彩色图像, 进行优化后的二值化算法后得到黑白图像, 通过边缘检测和矩形检测, 识别矩形框, 之后用以进行图像处理在对采集的图像使用AEC曝光控制技术, 降低快门打开时长以降低图像曝光度, 根据颜色值域的不同识别红色、绿色激光点。根据OpenMV发送的坐标数据, STM32微控制器对数据进行处理, 对比激光点和黑框的位置, 通过PID算法来控制二维云台进行自动跟踪和运动控制。系统采用了SSD和RetinaNet等基于图像处理的目标检测算法, 并结合PID控制算法、插值法等实现了精确的运动和追踪功能。实验结果表明, 该系统能够准确快速地检测和追踪运动目标, 具有良好的实时性和稳定性。

关键词: STM32; OpenMV; 运动目标控制; 自动追踪; 图像处理; PID; AEC

0 引言

随着科技的不断进步和社会的发展, 图像识别技术已经在计算机视觉领域占据了至关重要的地位。图像识别技术的广泛应用领域, 涵盖了从自动驾驶汽车到智能家居安全系统等各个领域, 为实现智能化和自主化提供了强有力的支持。特别是在目标控制与追踪领域, 图像识别技术的应用备受瞩目。通过将图像识别技术与嵌入式系统相融合, 我们可以实现对各种目标的自动识别、跟踪和控制, 从而提高系统的智能程度和自动化水平。本篇论文的主要研究目标在于设计和实施一个基于STM32和图像识别技术的目标控制与追踪系统。该系统旨在充分利用先进的图像处理和识别算法, 以实现对目标物体的实时检测、跟踪和控制。通过将STM32嵌入式系统与图像识别模块相互融合, 我们得以建构一个高效、低成本的目标控制与追踪解决方案, 适用于各种应用场景, 如智能机器人、自动化仓储系统和监控安全系统等。通过本研究, 我们旨在为图像识别技术在目标控制与追踪领域的应用提供新的思路和方法, 为实现智能化和自主化的系统提供更可行的解决方案。此外, 本篇论文还将为嵌入式系统的开发者和研究者提供关于如何将图像识别技术应用于实际系统的有益信息和经验, 以推动该领域的进一步发展。

1 系统整体方案设计

系统整体主要由运动目标控制部分和自动追踪部分构成, 该系统的主控芯片统一使用意法半导体生产的STM32F407ZET6单片机, STM32F407ZET6是意法半导体公司研发的基于ARM Cortex-M4内核的32位微控制器, 且其支持浮点运算单元(FPU), 提高浮点数处理性能, 具有更高的运算性能, 可以使用STMicroelectronics提供的STM32CubeMX、STM32CubeIDE等工具进行开发。基于ARM Cortex-M4内核, 时钟频率可高达168MHz, 具有丰富的通信、定时器和控制外围电路, 充分适用于运动控制与追踪嵌入式系统设计。在系统的视觉方面统一采用

OpenMV LLC开发的OpenMV4 H7, 其设备通常配备了高质量的图像传感器, 能够捕捉图像和视频流, 这些传感器可以捕捉彩色图像或者单色(黑白)图像。同时OpenMV基于MicroPython编程环境运行, 它使用一种特殊的单板计算机(通常基于ARM Cortex-M微控制器), 具有内置的图像传感器、处理器和存储器, 可以对图像数据进行快速、准确的处理。该系统通过MCU之间的配合将各个模块协同起来工作, 使得对物体的精细控制和对运动物体的精准、快速地追踪^[1,2]。

1.1 运动目标控制模块

运动目标控制模块的设计方案如图1所示。在这一方案中, 我们选择了高性能的STM32F4作为主控芯片, 以确保系统的稳定性和可靠性。OpenMV视觉系统被集成进来, 它的主要任务是识别并捕获运动目标的矩形, 并将拐点坐标位置传输给STM32。一旦STM32收到OpenMV传来的数据, 它就会进行高效的数据处理, 将视觉数据转化为实际控制指令。这些指令用于控制二维云台, 使其追踪和定位目标, 实现了对运动目标的精确控制。这种整合视觉和控制的方法, 不仅提高了系统的准确性, 还确保了实时性。此外, 基于用户体验的考虑, 通过添加屏幕界面, 用户可以轻松地进行人机交互。他们可以选择不同的运动模式, 如跟随、固定或自定义路径, 以满足不同场景的需求。同时, 用户还能够直接指定目标点, 实现对运动目标的精确控制和定位。这种用户友好的界面大大提高了系统的可用性和便捷性。

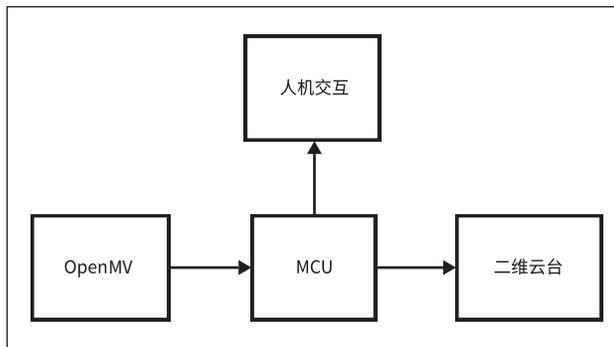


图1 运动目标控制系统

■ 1.2 自动追踪模块

自动追踪模块的设计方案如图 2 所示，它采用了一种智能设计，以 STM32F4 作为核心控制芯片，充分发挥其高性能和可靠性。OpenMV 视觉系统起着关键作用，能够精确识别红色和绿色激光点的位置，并将它们的坐标位置传输给 STM32，从而启动数据处理流程。在这个智能系统中，红色激光点被设定为目标位置，而绿色激光点则表示当前位置。STM32 采用 PID（比例—积分—微分）控制算法，通过处理这两个坐标点的数据，实现了对云台的高度精准控制，确保激光点跟随目标。此外，为了提高用户体验，我们引入了声光提示机制。当系统检测到红色激光点和绿色激光点的坐标差距小于一定范围时，系统会触发声音和光线的提示，以通知用户目标已经在视线范围内。用户还可以通过屏幕进行直观的人机交互。系统提供了一个易于操作的界面，用户可以随时暂停自动追踪，以便进行手动控制或执行其他任务。这个功能增强了系统的灵活性，使用户能够根据具体情况进行操作。

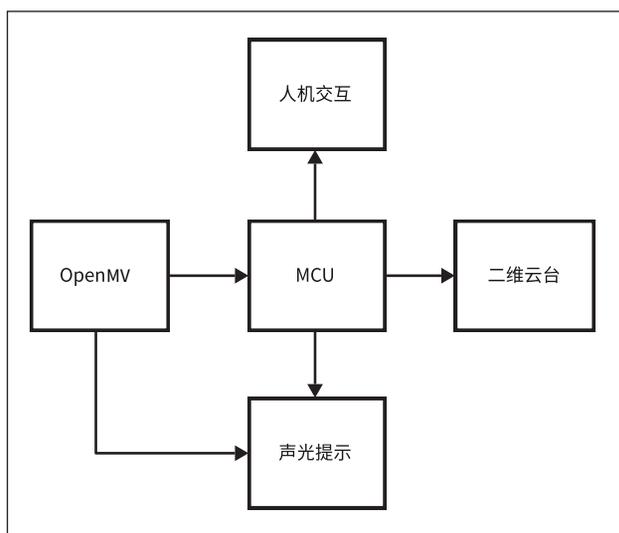


图 2 自动追踪系统

■ 1.3 测距模块

测距模块使用了 MyAntenna 激光测距传感器模块，这是一款可见光测距传感器，其原理是相位测距，利用发射光和反射光在空间中传播时发生的相位差来检测距离，精度可以达到毫米级。其中有模块来接收相位差信息，并且可以通过串口将距离信息发送给 MCU。有利于物体的精准控制和快速追踪。

■ 1.4 旋转控制模块

旋转控制模块选择了使用 180° 角度控制舵机。180° 舵机是通过调节占空比调整旋转角度的器件，输入信号脉冲宽度（周期为 20ms）为 1.5ms 时为 90°，0.5ms 时为 0°，2.5ms

时为 180°，角度与占空比呈线性关系，因此可计算旋转角度。当摄像头传输坐标信息时，可以直接调节角度使激光点复位或巡线，且其调节速度可以通过 PWM 波改变速度而变化，能够更好地调节速度，减小误差。

2 系统结构设计

目标控制模块与目标追踪模块都以云台为主要组成部分，两个模块部分结构相同，即将同样的云台结构复刻到两个模块上。主要系统结构是激光笔的定位、云台和舵机的安装再加上摄像头和蜂鸣器等外设的安装与固定共同组成的，完整系统展示如图 3 所示。

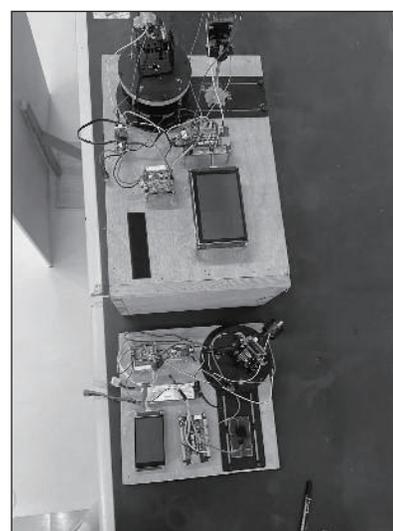


图 3 系统结构图

■ 2.1 舵机安装

舵机转向机构在物体的精确控制和迅速跟踪方面扮演着不可或缺的角色。因此，恰当的舵机安装位置和二维云台的机械结构对控制的精确度产生了深远的影响。为了确保舵机的转向顺畅，我们采用了一种高架的安装方式，即在舵机两侧使用铜柱将其提高，并在其两侧增加了加固支撑，以确保结构稳固。此外，我们还在舵机的上下部分安装了机械组件中的铁座，并使用螺丝进行牢固固定，以确保舵机在上下方向上牢固固定。需要特别注意的是，在安装铜柱时，必须确保左右对称性，这对于维持转向的准确性至关重要。此外，为了满足对精细控制的需求，我们需要极力避免舵机的空程误差，这可以通过定期的维护和校准来实现。

■ 2.2 OpenMV 位置固定

图片捕获在对运动目标的闭环控制和自动追踪系统的判断中扮演着不可或缺的角色。因此，保证 OpenMV 捕获图片的完整性对系统的控制精度和判断的准确性有着关键的影响。为了保证图像的完整性，我们将运动控制模块的

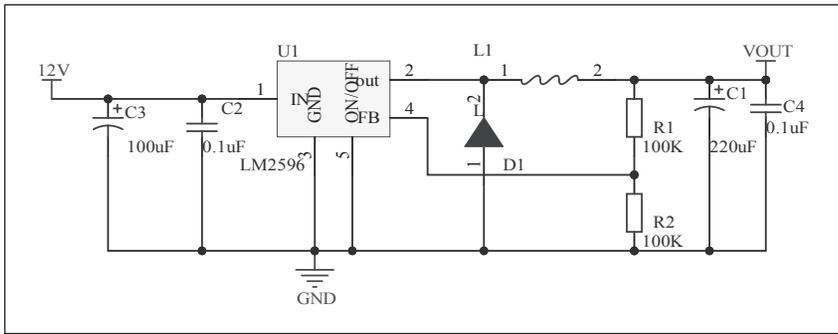


图4 系统部分降压电路

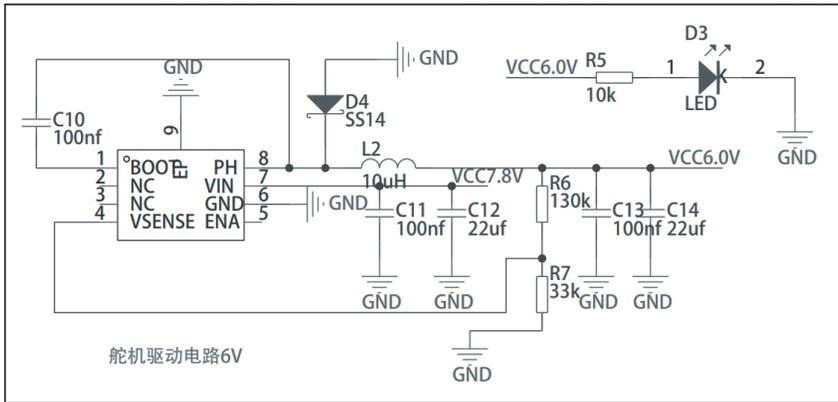


图5 舵机驱动电路

OpenMV 与激光笔平行放置，即垂直面对物体运动的区域；而自动追踪系统的 OpenMV 则放在二维云台上，即与激光笔平行放置于云台上。在此基础上，舵机上下左右扫描的同时，可以保证摄像头的画面一直在不同的角度搜索目标物体，方便对目标物体实施精准追踪。

3 系统硬件电路设计

3.1 系统电源设计

系统电源电路如图 4 所示，本系统使用 12V 锂航电池作为供电总电源，使用 Buck 降压电路，通过控制开关管的导通时间比例，通过周期性地输入电压开关切换给负载，以实现输出电压低于输入电压的降压效果。其中 5V 供给 OpenMV4 H7 模块，3.3V 作为单片机、OLED 显示屏和声光提示模块的工作。电压变换电路均使用 LM2595S-ADJ 这款芯片，具有噪声低、带载能力强的特点。

3.2 舵机驱动电路设计

舵机驱动电路如图 5 所示，舵机额定工作电压为 6.0V，采用 TI 公司的 TPS5450 降压芯片。单芯片的最大持续输出电流高达 5A。输出电压等 $1.229 \times (R6/R7+1)$ ，经过计算选取 $R6=130k\Omega$ ， $R7=33k\Omega$ 。

3.3 声光提示电路设计

使用一个蜂鸣器和一个 LED 灯，并串联一个电阻构成

一个简易的声光提示系统。

4 系统软件设计

系统的软件流程图如图 7、图 8 所示，OpenMV 在识别完之后将物体的坐标点发给 STM32 进行处理，运动控制模块的 MCU 在接收到摄像头传回的图像处理结果后，将黑色方框成一百等分，实时判断激光点与黑色方块的位置，通过舵机对激光进行控制，同时可以通过屏幕进行人机交互，选择对应的运动模式。自动追踪模块则先通过 OLED 的人机交互控制摄像头对环境进行扫描，在识别到目标物体点之后对 MCU 发送串口消息，MCU 处理摄像头发送的串口信息，对舵机进行控制，从而实现对目标物体的快速追踪。在追踪成功之后发出声光提示，并在此之后跟随目标物体运动。

4.1 图像处理和信提取

4.1.1 运动控制系统图像处理流程

利用 OpenMV 库实现了一个图像处理流程^[3]，主要用于检测和分析摄像头捕获的图像中的斑点。首先，它获取了摄像头的一帧图像，并根据条件变量 flag 的值来控制是否执行后续操作。如果 flag 为 0，程序会暂停 200ms 以确保

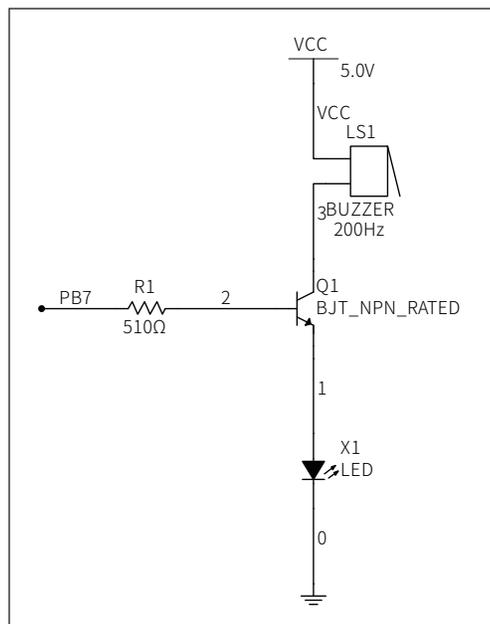


图6 声光提示系统电路

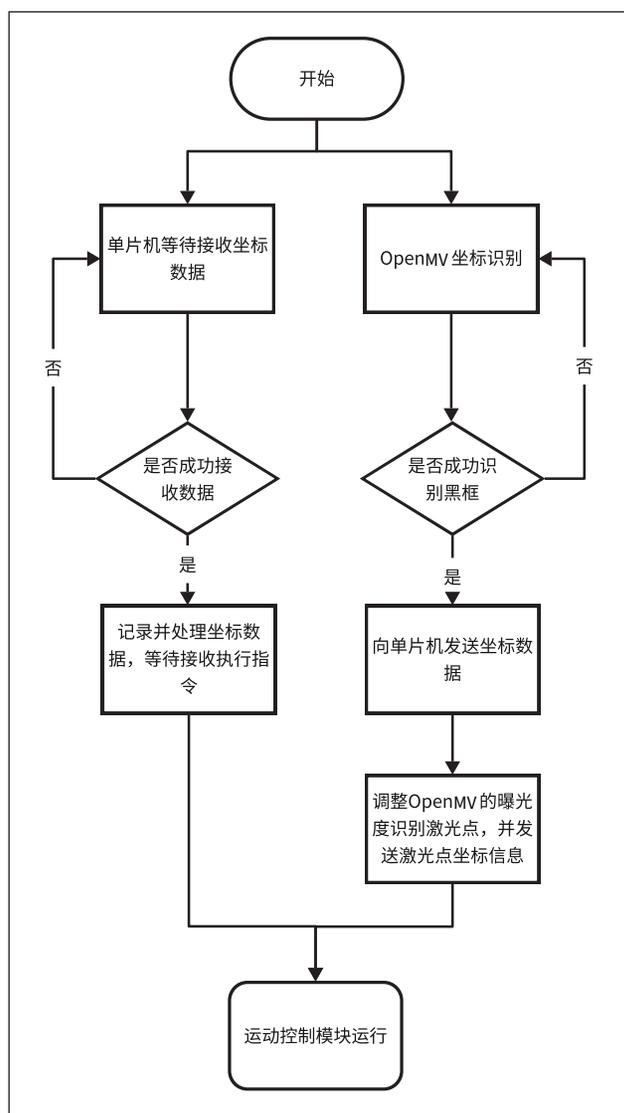


图7 运动控制模块实现流程

图像稳定性。接着，原始图像被绘制在一个灰度图像上，然后应用了侵蚀操作以减小白色区域的大小。代码还定义了一个感兴趣区域（ROI），在该区域内查找斑点，限制斑点的颜色、像素数量和面积。如果发现斑点，代码会绘制它们的边缘和四个角点，并将这些角点的坐标信息打印出来。这段代码的主要目的是检测图像中的斑点，并提取有关它们的信息，这些信息可以在后续的任务中用于目标识别、跟踪或其他图像处理应用中^[4]。

4.1.2 自动追踪系统图像处理流程

使用 OpenMV 摄像头识别红色和绿色物体的位置，通过串口将它们的坐标传输出去。它通过不断捕获摄

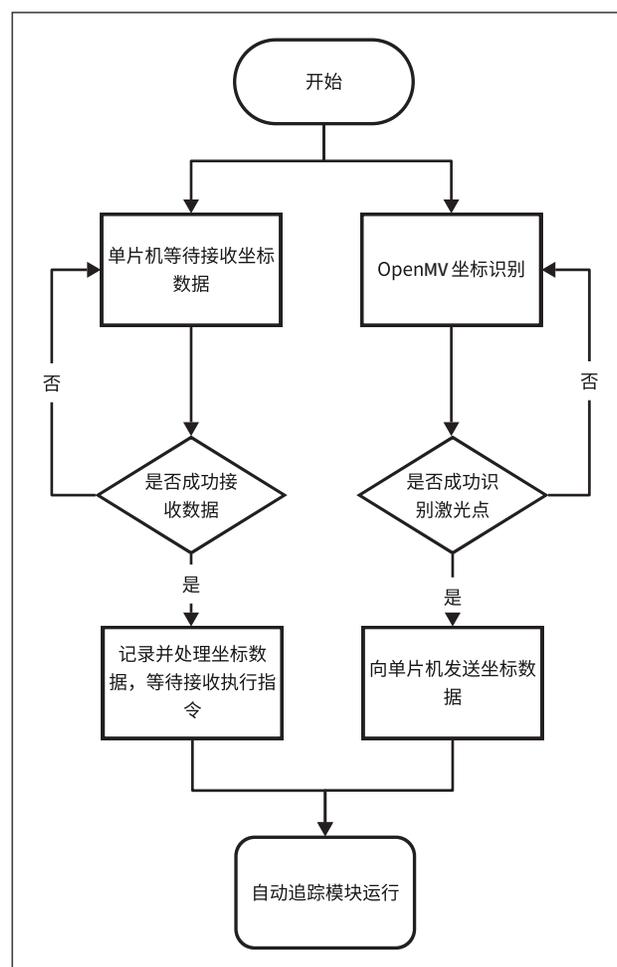


图8 自动追踪模块实现流程

像头图像，交替查找红色和绿色物体的斑点，并发送这些物体的中心坐标，从而实现基本的颜色物体跟踪和控制功能。

4.2 云台控制系统设计

4.2.1 运动控制算法设计

首先通过 UART 接收检查，判断是否接收到完整的数据帧，然后清除 IDLE 标志位，停止 UART 数据的 DMA 传输。接着，它计算接收到的数据的长度，并验证数据是否符合特定条件。

```

img = sensor.snapshot()
if flag == 0:
    sensor.skip_frames(time = 200)
    img_gray.draw_image(img,0,0)
    img_gray.erode(2, threshold = 4)
    rois = (80,40,500,400)
    blobs = img_gray.find_blobs([(0, 64)],roi = rois , pixels_threshold=100, area_threshold=100,merge=True)
    if blobs:
        img.draw_edges(blobs[0].min_corners(), thickness=2)
        img.draw_cross ( blobs[0].min_corners()[2][0] , blobs[0].min_corners()[2][1] )
        img.draw_cross ( blobs[0].min_corners()[3][0] , blobs[0].min_corners()[3][1] )
        img.draw_cross ( blobs[0].min_corners()[0][0] , blobs[0].min_corners()[0][1] )
        img.draw_cross ( blobs[0].min_corners()[1][0] , blobs[0].min_corners()[1][1] )
        bottom_left1 = ( blobs[0].min_corners()[2][0] , blobs[0].min_corners()[2][1] )
        bottom_right1 = ( blobs[0].min_corners()[3][0] , blobs[0].min_corners()[3][1] )
        top_right1 = ( blobs[0].min_corners()[0][0] , blobs[0].min_corners()[0][1] )
        top_left1 = ( blobs[0].min_corners()[1][0] , blobs[0].min_corners()[1][1] )
        print(top_left1,top_right1,bottom_left1,bottom_right1)
  
```

图9 运动控制模块图像处理部分代码

```

while(True):
    clock.tick()
    img = sensor.snapshot()
    if flag == 0:
        blobs = img.find_blobs(red_threshold,x_stride=1, y_stride=1,area_threshold=0, pixels_threshold=0,merge=False,margin=1)
        red_point = color_blob(red_threshold,blobs)
        flag = 1
    elif flag ==1:
        blobss= img.find_blobs(green_threshold,x_stride=1, y_stride=1,area_threshold=0, pixels_threshold=0,merge=False,margin=1)
        green_point = color_blob(green_threshold,blobss)
        flag = 0
    if flag ==0:
        sending_data(red_point[0],red_point[1],green_point[0],green_point[1])
        print(red_point[0],red_point[1],green_point[0],green_point[1])
    
```

图 10 自动追踪模块图像处理部分代码

```

if (_HAL_UART_GET_FLAG(&huart3,UART_FLAG_IDLE) != RESET)// 通过IDLE标志位判断接收是否结束
{
    __HAL_UART_CLEAR_IDLEFLAG(&huart3);//清除标志位
    HAL_UART_DMAStop(&huart3);
    rx_len3 = dma_size - HAL_DMA_GET_COUNTER(&hdma_usart3_rx); //计算出数据长度
    if(rx_len3==13&&rx_buffer3[0]==0xEE&&rx_buffer3[1]==0xDD &&rx_buffer3[12]==0x5b)
    {
        black_rect[0][0]=rx_buffer3[2]*3;
        black_rect[0][1]=rx_buffer3[3]*3;
        black_rect[1][0]=rx_buffer3[4]*3;
        black_rect[1][1]=rx_buffer3[5]*3;
        black_rect[2][0]=rx_buffer3[6]*3;
        black_rect[2][1]=rx_buffer3[7]*3;
        black_rect[3][0]=rx_buffer3[8]*3;
        black_rect[3][1]=rx_buffer3[9]*3;
        red_point[0]=rx_buffer3[10]*3;
        red_point[1]=rx_buffer3[11]*3;
        for(int i=0;i<4;i++){
            for(int j=0;j<4-i-1;j++){
                if(black_rect[j][1]>black_rect[j+1][1]){
                    int temp1=temp2;
                    temp1=black_rect[j][1];
                    black_rect[j][1]=black_rect[j+1][1];
                    black_rect[j+1][1]=temp1;
                    temp2=black_rect[j][0];
                    black_rect[j][0]=black_rect[j+1][0];
                    black_rect[j+1][0]=temp2;
                }
            }
        }
        if(base_3_flag==1){
            x_pid.err =set_x_red_point[0]; // 计算当前速度误差
            x_pid.err_sum+=x_pid.err; //误差累加
            x_pid.out+=
                x_pid.kp * (x_pid.err) //比例P
                + x_pid.ki * x_pid.err_sum //积分I
                + x_pid.kd * (x_pid.err - x_pid.err_pre); //微分D
            x_pid.err_pre = x_pid.err; // 更新上次误差

            if(x_pid.out>300)
                x_pid.out=300;
            if(x_pid.out<-300)
                x_pid.out=-300;
            y_pid.err =set_y_red_point[1]; // 计算当前速度误差
            y_pid.err_sum+=y_pid.err; //误差累加
            y_pid.out+=
                y_pid.kp * (y_pid.err) //比例P
                + y_pid.ki * y_pid.err_sum //积分I
                + y_pid.kd * (y_pid.err - y_pid.err_pre); //微分D
            y_pid.err_pre = y_pid.err; // 更新上次误差

            if(y_pid.out>300)
                y_pid.out=300;
            if(y_pid.out<-300)
                y_pid.out=-300;
            count_x=initial_x-x_pid.out;
            count_y=initial_y+y_pid.out;
            __HAL_TIM_SetCompare(&htim1,TIM_CHANNEL_1,count_x);
            __HAL_TIM_SetCompare(&htim1,TIM_CHANNEL_2,count_y);
        }
    }
}
    
```

图 11 目标控制模块部分代码

如果数据验证通过，就从接收缓冲区中提取数据并进行一些排序和处理。接下来，代码计算 PID 控制器的输出，这些控制器用于某种电机控制，根据误差值来更新其输出。最后，它限制 PID 控制器的输出范围，并根据计算的输出值来控制电机或其他设备。最后，代码重新启动 UART 的 DMA 接收以准备接收更多数据。另外，还有一个名为 Order 的函数，负责对某些与 black_rect 相关的数据进行排序和处理，以及根据特定条

```

x_pid.err =rx_buffer[2]-rx_buffer[4]; // 计算当前误差
x_pid.err_sum+=x_pid.err; //误差累加
x_pid.out+=
    x_pid.kp * (x_pid.err) //比例P
    + x_pid.ki * x_pid.err_sum //积分I
    + x_pid.kd * (x_pid.err - x_pid.err_pre); //微分D
x_pid.err_pre = x_pid.err; // 更新上次误差
if(x_pid.out>300)
    x_pid.out=300;
if(x_pid.out<-300)
    x_pid.out=-300;
    
```

图 12 自动追踪模块 PID 实现代码

件调整 PID 增益和修改 black_rect_divide 数组^[5,6]。

4.2.2 自动追踪算法

控制舵机在平面扫描左右激光点，在图像中识别到目标物体之后，比较目标物体和追踪激光点的坐标差距，利用 PID 算法，对舵机的运动进行控制，从而达到追踪的效果。

5 测试方案与测试结果

测试仪器：卷尺、刻度尺、游标卡尺、秒表。

■ 5.1 测试方案

- (1) 首先启动系统，利用屏幕交互移动红色激光点，测试其是否能移动至指定位置。
- (2) 标注正方形框的原点，在任意位置启动复位功能，多次观察能否回到原点，记录偏差。
- (3) 启动基础要求 2，多次测试观察红色激光点绕正方形边框线轨迹，记录绕圈时间 t，在过程中启动暂停功能，并再次启动，检验暂停功能是否完善，同时在暂停时测量与框线偏差。
- (4) 启动基础要求 3，多次测试观察红色激光点绕黑色边框轨迹，记录绕圈时间 t，在过程中启动暂停功能，测量与框线偏差。
- (5) 启动基础要求 4，将黑色边框 A4 纸摆放不同角度，多次测试观察红色激光点绕黑色边框轨迹，记录绕圈时间 t，

表1 复位测试结果表

序号	误差/cm
1	0.36
2	0.54
3	0.21
4	0.33
5	0.64

表2 绕正方形边框线测试结果表

序号	时间/s	最大偏差/cm
1	15.2	0.63
2	15.5	0.81
3	15.2	0.94
4	15.6	0.84
5	15.4	1.13

表3 自定黑色边框A4纸位置巡线测试结果表(采取横放)

序号	时间/s	最大误差/cm	完全脱离黑色框线次数	是否脱离框线移动5cm以上
1	22.61	0	0	否
2	23.32	0	0	否
3	22.55	0.56	2	否
4	22.47	0.23	1	否
5	23.74	0	0	否

表4 任意角度黑色边框A4纸位置巡线测试结果表

序号	时间/s	最大误差/cm	完全脱离黑色框线次数	是否脱离框线移动5cm以上
1	23.81	1.21	2	否
2	23.13	1.53	3	否
3	23.75	1.37	3	否
4	24.17	1.62	2	否
5	24.25	1.29	1	否

表5 完成追踪测试结果表

序号	误差/cm	时间/s	是否有声光提示
1	0	1.21	是
2	0.12	1.23	是
3	0	1.35	是
4	0.20	0.96	是
5	0.13	1.08	是

表6 追踪测试结果表

序号	最大误差/cm	时间/s	是否有声光提示	同时暂停时两点距离/cm
1	0	1.21	是	1.14
2	0.12	1.23	是	1.36
3	0	1.35	是	1.58
4	0.20	0.96	是	2.04
5	0.13	1.08	是	0.76

在过程中启动暂停功能,测量与框线偏差。

(6) 将红色激光复位,启动追踪系统,观察绿色激光在要求位置追踪红色激光点效果,记录追踪成功时间 t ,测量两点之间偏差。

(7) 红色激光重复上述(4)(5)过程,启动绿色激光追

踪功能,观察运动过程中追踪效果以及声光提示,同时启动两系统暂停功能,测量两点之间偏差。

5.2 测试结果与分析

基础要求如表1~表4所示,发挥部分如表5~表6所示。

该系统基本完成题目所需内容,可以实现指定任意点、复位、巡线、暂停并恢复运动、追踪等功能。而由于硬件设施有一定限制,有些功能有一定误差,其中任意角度摆放黑色框线A4纸误差较大,在算法以及硬件搭建上仍需改进。

6 总结

本系统完成了一个,可以根据设定的交互功能设置坐标参数,精确自动控制的运动目标控制系统和自动追踪系统。作品使用常见的STM32微处理器作为主控芯片,并且用OpenMV作为视觉识别,辅助STM32进行控制二维云台。图像部分主要使用霍夫变换、边缘检测和色块检测算法,检测黑色边框或者激光点,同时与STM32拟定通信协议,将必要的坐标信息传输。STM32则使用广用的PID算法对数据进行处理,转换为不同PWM波的值对二维云台进行控制。针对结果,基础部分2误差值不断加大,根据分析,是由于开环造成,因此可以优化算法,现场对正方形框线的四个顶点进行定位,记录四个坐标,与基础部分3一样用PID算法以及插值法形成闭环,提高精确度。若需要实现更高精度的运动与追踪系统,需要采用更高精度的舵机,使用拥有更高图像处理速率的摄像头或识别算法以提高系统相应速度与精确度。

参考文献

- * [1] 赵思雨.基于HOG特征的跨座式单轨关键部件缺陷识别算法的设计与应用[D].西南交通大学,2023-08-05.
- * [2] 李亚红,贾海龙.基于混合智能算法的肇事车辆追踪系统设计[J].制造业自动化,2013,35(13):3.
- * [3] 王汝心,马维华.结合HOG特征的车牌识别方法[J].计算机时代,2021(07):1-5.
- * [4] 柴思博,刘季秋.基于OpenMV的运动目标预测跟踪云台[J].中国科技信息,2021(01):41-42.
- * [5] 李伟博,李珈毅,张志明等.基于无剑SoC开源平台的二自由度云台控制系统[J].仪表技术与传感器,2022(02):47-51.
- * [6] 王宁,韩院彬.低光照强噪声背景下图像多阈值分割方法研究[J].计算机仿真,2022,39(03):170-173+178.

一种便携式三端口交流稳压器的研发

梁菁夏, 慕光睿, 邱杰晋, 陈振文, 洪伟声, 罗有焕

(玉林师范学院, 广西玉林, 537000)

摘要: 本报告旨在探讨三端口交流稳压器方案在国内市场的应用及发展前景。三端口交流稳压器是一种用于稳定交流电压的电子设备。它通常由输入端口、输出端口和控制端口组成。输入端口接收来自电源的交流电压, 输出端口提供稳定的输出直流电压。控制端口则用于监测和调节输出电压, 以保持其稳定性。该设备在许多领域都有广泛的应用, 特别是对于对电压稳定性要求较高的设备和系统。例如, 它可以用于电子设备、通信设备、医疗设备以及工业自动化系统等。通过使用三端口交流稳压器, 可以有效地保护设备免受电压波动和突变的影响, 提高设备的可靠性和稳定性。

关键词: 便携式; 稳压器; 三端口; 智能化

0 引言

近年来, 随着电力需求的增长和电网负载的变化, 对电力稳定性的要求越来越高。为了应对这些需求, 传统的稳压器已经无法满足现代化的电力调节要求。因此, 本文提出了一种新型交流稳压器的电路设计, 旨在提高稳压器的效率、响应速度和稳定性。

新型交流稳压器的电路设计基于大数据分析和人工智能技术。通过对电网数据进行实时监测和分析, 可以获取电力需求的变化趋势和电网负载的特征。借助人工智能算法, 可以对这些数据进行预测和优化, 以准确调节稳压器的输出。这种基于大数据分析和人工智能的设计方法, 能够更好地适应电力需求的变化, 并提供更精确的稳压控制。

新型交流稳压器的电路设计具有许多优势, 通过大数据分析和人工智能技术的应用, 可以实现精确的电力调节, 提高稳压器的稳定性和可靠性。采用现代集成电路设计和功率电子技术, 可以降低功耗和体积, 提高稳压器的效率和响应速度。新型交流稳压器还具有灵活性和可扩展性, 可以应对不同的电力需求和电网负载变化。

1 系统设计

本系统采用创新型的无桥 PFC (功率因数校正) 整流电路对单相交流电进行 AC-DC (交流到直流) 变换, 作为提供给整个装置直流电能的能源供给装置。该无桥 PFC 整流电路具有高效、稳定和低谐波污染等特点。

整个系统以 DSP28335 单片机为主控模块, 外加继电器断电保护模块、液晶显示模块、同步 DC-DC 变换模块和电压电流采集模块等组成。DSP28335 单片机作为主控模块, 负责整个系统的控制和协调工作。继电器断电保护模块用于监测输出电流是否超过额定负载或输出端是否短路, 一旦发生异常情况, 自动切断电源, 以保护设备和电路免受损坏。

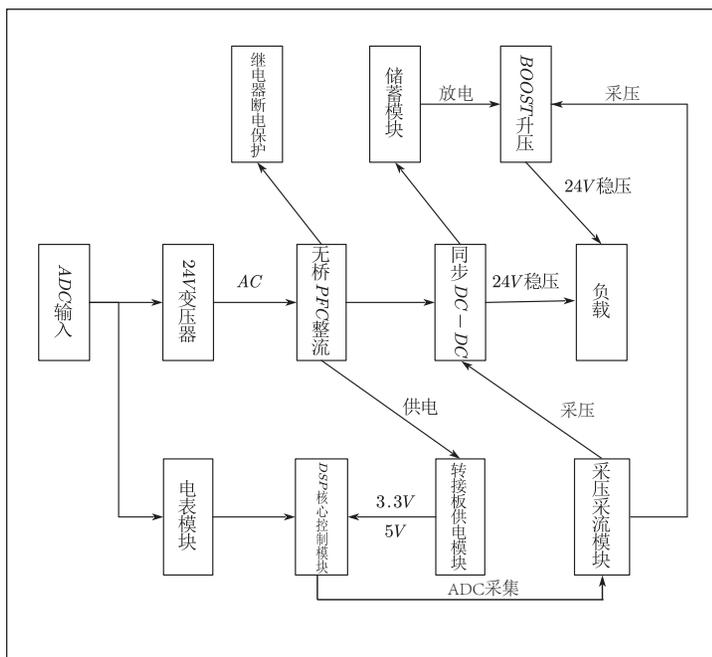


图1 硬件系统框图

液晶显示模块提供人机交互界面, 显示系统的运行状态和参数。同步 DC-DC 变换模块用于将输入的直流电压转换为所需的输出电压, 实现直流电能的稳定供应。电压电流采集模块负责实时采集和监测系统的输入输出电压和电流信息, 为系统控制和保护提供数据支持。

本系统具有过载保护和短路保护功能。当输出电流超过额定负载或输出端短路时, 继电器断电保护模块会自动切断电源, 以避免设备和电路的损坏。这种保护机制能够确保系统的安全运行。

此外, 本系统还采用了 SPWM 控制技术对无桥 PFC 整流进行控制。SPWM (正弦脉宽调制) 技术可以根据输入信号的幅值和频率, 通过控制开关元件的导通和断开, 实现对输出电压的精确控制。通过锁相技术调整整流电压, 可以保证整流电路的稳定性和效率。

本系统还应用了 MPPT (最大功率点跟踪) 技术, 实现对输入交流电的自动调节功能。MPPT 技术可以根据太阳能

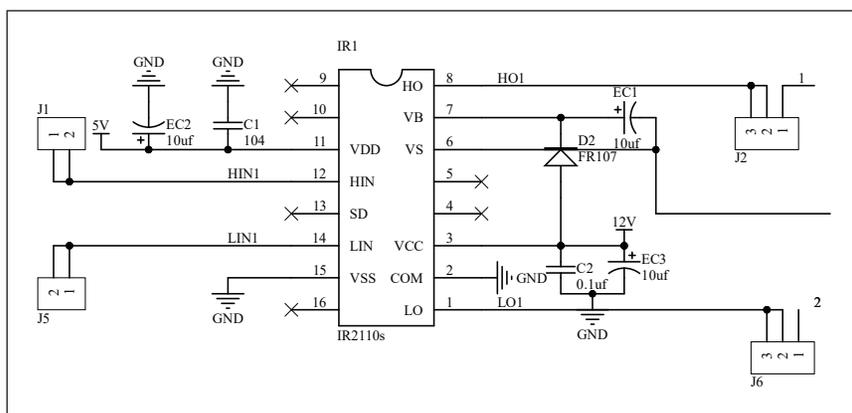


图2 IR2110 驱动电路

电池板的工作状态和环境条件，确定最大功率点，并通过 SPWM 交流整流和 PWM 直流变换，实现对单相交流的可控稳压功能。这种自动调节功能可以提高能源利用效率和系统的稳定性。

本系统采用创新型的无桥 PFC 整流电路进行 AC-DC 变换，以 DSP28335 单片机为主控模块，辅以其他功能模块，实现了对单相交流电能的稳定供应和控制。具备过载保护和短路保护功能，采用 SPWM 控制和 MPPT 技术，实现了高效、可控和稳定的电能转换和供应。这种系统设计在能源领域具有重要的应用价值和潜力。

2 硬件系统

2.1 信号驱动电路

智能三端口充电宝的 MCU DSP28335 采用了 32 位固定点架构，支持高达 150 MIPS (百万指令每秒) 的运算速度。它配备了 16 位乘法累加器 (MAC) 和硬件浮点单元 (FPU)，能够高效地执行复杂的数学运算和信号处理算法。由于直接输出的 PWM 波驱动带载能力不足，无法驱动主电路的 N-MOS 管，故对主电路 N-MOS 的操控需要增加独立的外部驱动电路。而我们选用的 IR2110 驱动电路的基本原理是通过输入信号控制高低侧的开关管，使其在不同的时刻打开或关闭，从而控制输出电压或电流。对于不同设计环境的参数选择不同的 N-MOS 开关管可以根据具体需求进行选择。

我们选择 N 沟道 MOS 管 IRFB1405 作为开关管，该管 Q_g 典型值为 170nC， R_{ds} 典型值为 4.6mΩ， $V_{gs} = \pm 20V$ 。

一个 MOSFET 管完全导通时的功耗 (传导损耗) P_{on} 可

近似为：

$$P_{on} = \frac{I_d^2 \times R_{DS} \times t_{on}}{(t_{on} + t_{off})}$$

其中 I_d 为漏极电流 3A， $R_{DS} = 4.6m\Omega$ ， t_{on} 为 MOSFET 完全导通时间，可按开关周期占空比为 50% 计算。则可计算出 $P_{on} = 16.82$ mW。

2.2 无桥 PFC 整流电路

主电路模块是以通态电阻极低的专用功率 MOSFET，来取代了传统的四根整流二极管整流，使用 MOS 管的优点是损耗功率更小，方便 DSP28335 控制两路 SPWM 波进行 PWM 整流自动调节输出电压。本系统采用无桥 PFC 进行整流后直接接入 IR2110 同步升降压可以提高整个系统的工作效率。单相交流全桥拓扑如图 3 所示。

2.3 DC-DC 直流变换电路

DC-DC 直流升降压双端口拓扑电路是一种具有升压和降压功能的电路，常用于需要同时提供两个不同电压级别的应用场景。

在该拓扑电路中，输入电压 V_{in} 经过开关元件 Q1 和电感器 L1 的控制，进入电感器 L2。当开关元件 Q1 导通时，电感器 L1 储存能量，并将能量传递到电感器 L2。此时，输出滤波电容器 C1 负责给负载提供电流，以保持输出电压 V_{out} 的稳定。

当需要升压时，通过控制开关元件 Q1 和 Q2 的导通状态和工作频率，将输入电压 V_{in} 升压为所需的输出电压 V_{out} 。具体而言，当开关元件 Q1 导通时，能量从输入电源传递到电感器 L2，而开关元件 Q2 断开。当开关元件 Q1 断开，开关元件 Q2 导通时，能量从电感器 L2 传递到输出滤波电容器 C2，从而提供所需的升压输出。

2.4 外环电路模块

2.4.1 电压电流采集模块

采压电路采用 MCP6022 芯片，输入电压通过简单的电

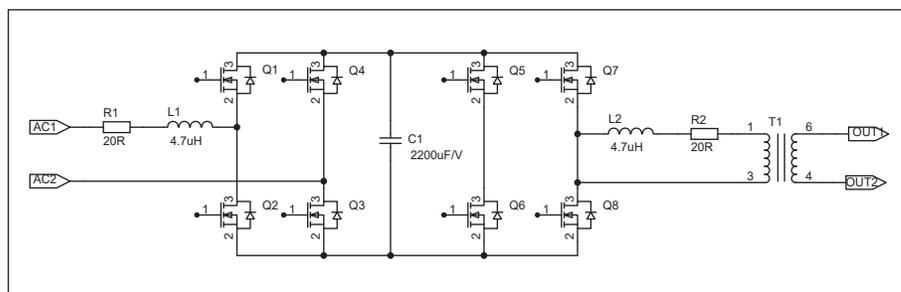


图3 单相交流无桥 PFC 电路

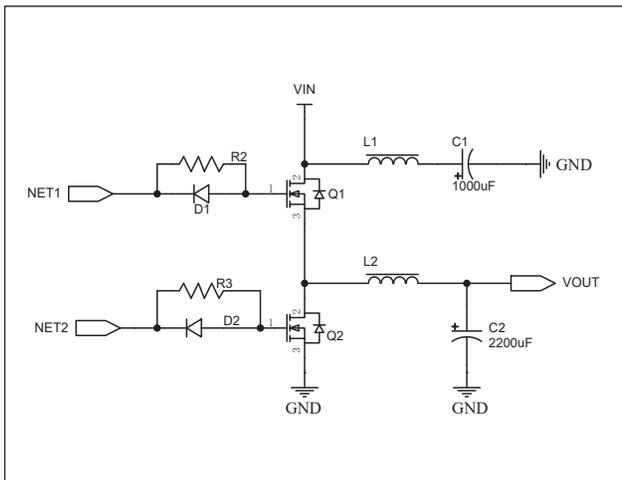


图4 DC-DC 同步升降压电路

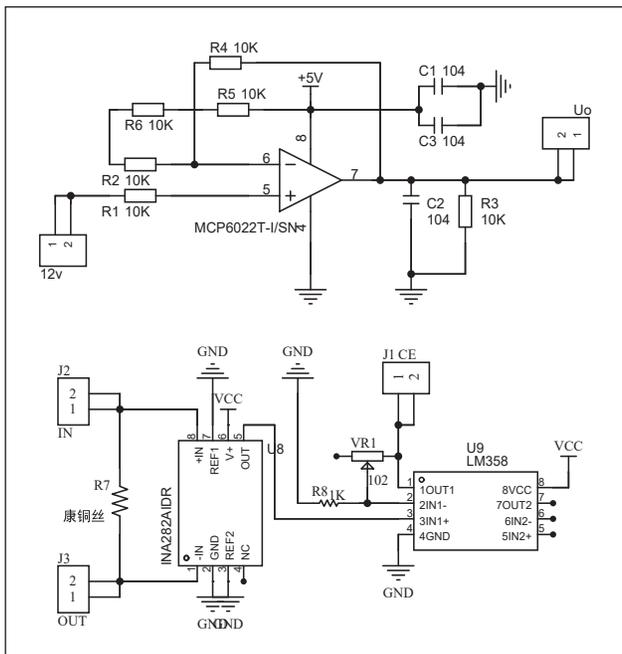


图5 电压电流采集电路

阻分压和调试电位器后，可以将电压输出给 MCP6022 芯片的同相端，然后 MCP6022 芯片输出端和反向端连接在一起，起到反馈作用，方便采集电压和输入电压达成一个可以被单片机接受的比值。采流电路采用 INA282 和 LM358 芯片，采用低端采流接法，输入电压通过采样电阻进入 INA282 的 8 脚，INA282 的 6 脚是芯片 VCC 工作端，5 脚电压接入 LM358 芯片的同相端，进行电压的放大，反相端和输出端连接在一起做反馈电路，可以很好的将输出电流与采集电压达成比值，方便 32F407ZET6 单片机通过采

压来确定采流。

2.4.2 辅助电源模块

通过使用 LM2596 和 TPS5430 辅助电源芯片，该电路能够将输入的电压转换为输出的 +5V、+12V 电源以供驱动芯片使用，并同时提供模拟的 +5V 和 -5V 电源给运放和偏置使用。TPS5430 是一款 3A 降压转换器，其输入电压范围为 5.5V~36V，调节 RP1 就可以控制输出电压 1.23V~31V 范围变换，具有高达 95% 的优秀效率。

3 软件系统

控制系统以 DSP28335 为核心，外接辅源电路、交流信号采集电路、LCD 液晶和键盘等模块，旨在提供完整的功能和人机交互界面。辅源电路确保系统中的所有电路都能获得可靠的电源供应。这样可以避免电压波动对系统性能的影响，提高系统的可靠性和稳定性。

交流信号采集电路会对输入的信号进行放大、偏置抬升等处理，以适应 DSP 的输入范围。通过准确采集和处理电网信号，系统可以实时获取电网状态，并进行相应的控制和调节。通过对电压电流的实时监测，系统可以更好地了解电力转换的情况，并进行相关的控制和保护。

LCD 液晶和键盘模块用于搭建人机交互界面。LCD 液晶屏可以显示系统的运行状态、参数设置等信息，提供直观的图形界面，方便用户了解和操作系统。而键盘模块则提供了人机交互的手段，用户可以通过按键操作对系统进行设定、控制和监测等操作。系统的功率部分由 PWM 整流主电路和同步升降压电路组成。PWM 整流主电路通过对输入电力的调制，实现对输出电力的精确控制。而同步升降压电路则通过高效的变换和调节，实现电力的升压或降压，以满足不同要求下的电能转换和传输。

3.1 PID 算法

PID (Proportional-Integral-Derivative) 控制算法是一种常用的控制算法，被广泛应用于各种控制系统中，用于实现自动调节。该算法基于比例、积分和微分三个参数，即 P、I 和 D 参数，通过对这三个参数的调整来实现对系统的控制。

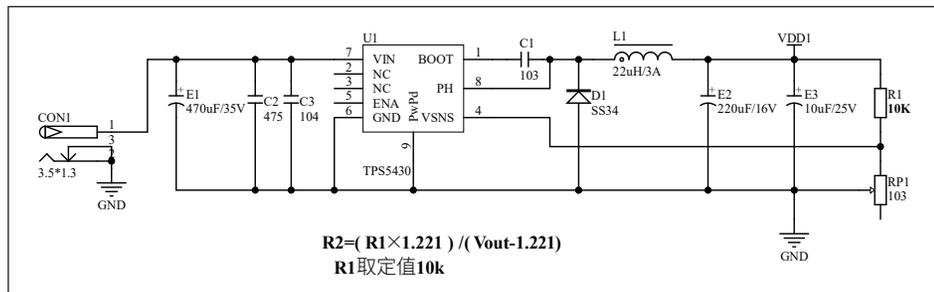


图6 TPS5430 辅助电源电路

$$R2 = \frac{(R1 \times 1.221)}{(Vout - 1.221)}$$

R1 取定值 10k

PID 控制算法的原理相对简单，并且易于实施。它适用范围广泛，可以用于控制温度、速度、位置等各种物理量。PID 控制算法的核心思想是根据输出值与设定值之间的差异进行反馈控制。具体而言，PID 控制算法将比例控制、积分控制和微分控制三种控制方式结合起来，以实现快速响应、减小稳态误差并提高系统的稳定性。

在 PID 控制算法中，比例控制（P 控制）根据输出与设定值之间的差异，以及比例参数的调节系数，产生一个与差异成正比的控制信号。比例控制的作用是根据当前偏差大小来调整控制量，提供快速响应能力。

积分控制（I 控制）根据过去偏差的累积量和积分参数的调节系数，产生一个与偏差累积量成正比的控制信号。积分控制的作用是根据过去偏差来调整控制量，消除稳态误差，使系统更加稳定。

微分控制（D 控制）根据偏差的变化率和微分参数的调节系数，产生一个与偏差变化率成正比的控制信号。微分控制的作用是根据偏差变化率来调整控制量，预测未来的变化趋势，避免过冲或震荡现象。

PID 控制算法在实际应用中，通常需要通过试错法或自动调节方法来进行参数调整。根据不同的系统特性和需求，适当调整 P、I 和 D 参数的大小，可以获得良好的控制效果。

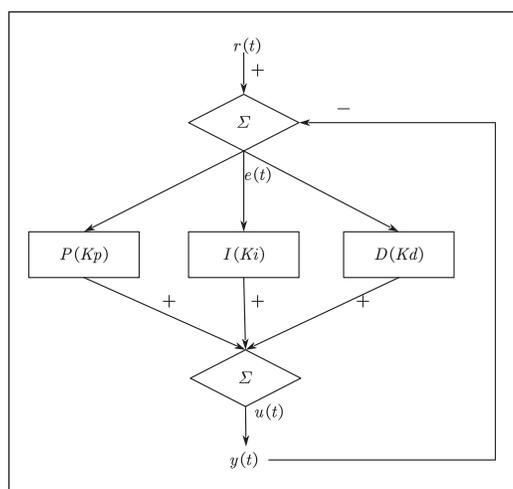


图7 PID 控制原理框图

3.2 MPPT 算法

最大功率点跟踪（Maximum Power Point Tracking，简称 MPPT）是一种用于太阳能电池板和其他光伏系统的控制算法，其目的是使系统运行于最大功率点以提高能量转换效率。其中，恒压跟踪法是一种常见的 MPPT 算法之一。为了减少使用模拟器件实现 MPPT 可能产生的偏差，并提高系统控制的可靠性和灵活性，我们采用 DSP28335 进行快速运算，实现 MPPT 的数字化控制。通过使用 DSP28335

进行运算，可以简化系统结构，并方便调节系统控制参数，从而使系统更加可靠和灵活。

SPWM 是“Sine Pulse Width Modulation”的缩写，也被称为正弦脉宽调制。它是一种常用的调制技术，用于控制交流电压或电流的形状和幅值。在 SPWM 中，输入信号通过与正弦波进行比较，产生一系列短脉冲，其脉冲宽度根据输入信号的幅值和频率进行调整。

MPPT 控制原理如图 8 所示。

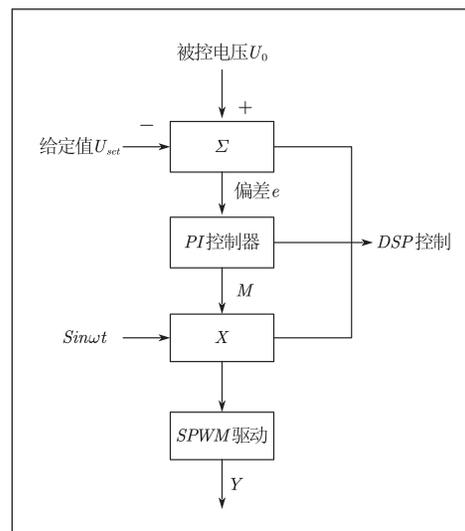


图8 MPPT 控制原理框图

在 MPPT 系统中，偏差值 e 是通过将实际值 U_d 与给定值 U_{set} 进行比较得到的。通过 PID（比例、积分、导数）算法，根据偏差值 e 和一组设定的参数，计算出控制信号来调节 SPWM 的调制比 M 。调制比 M 决定了输出信号的占空比，从而控制驱动电路的输出。

使用软件 PID 算法进行控制，相对于硬件实现，具有更高的灵活性和可调节性。可以根据实际需求和工件条件，通过调整 PID 参数，使系统更加稳定和可靠的运行。此外，软件 PID 算法还可以方便地进行调试和优化，以达到更好的控制效果。

4 结语

三端口交流稳压器是一种电子设备，用于将输入电压稳定地输出。它通过采用先进的控制算法和反馈机制，确保在不同负载和输入电压波动的情况下，输出电压始终保持稳定。这种稳压器具有高效、可靠和精确控制的特点，被广泛应用于工业、家庭和商业领域。

三端口交流稳压器通常具有输入端口、输出端口和控制端口。输入端口接收来自电网的交流电压，并进行相应的变换和调节。输出端口连接到电子设备或负载，提供稳定的输

（下转第 31 页）

一种时差法超声流量计的设计

曾彬洋

(中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川成都, 610000)

摘要: 研究使用超声波技术实现流量的测量, 该技术具有非侵入性、精度高的优点。设计中采用了AT89系列单片机作为控制核心, 利用其定时器和IO口的特点实现了时间测量和信号处理。通过接收超声波传感器发送的脉冲信号, 并利用计数器功能计算流过物体的时间和距离, 从而得到流量值。选择了高灵敏度的超声波传感器, 并设计了放大电路和滤波电路, 以确保接收到的信号稳定和准确。通过单片机的计算, 对传感器接收到的信号进行实时处理, 并输出流量计算结果。通过测量验证, 该设计具有较高的测量精度和稳定性。

关键词: 时差法; 超声波; 气体流量计; 多声道

流量测量在工业生产过程中具有重要的作用, 它是实现过程控制、能源管理和资源优化的基础。超声流量计作为一种非侵入式、高精度的流量测量技术, 在工业应用中得到了广泛的应用和研究。其中, 时差法超声流量计具有准确性高、稳定性好以及适用于各种流体介质和工况等。

传统的超声流量计主要基于多普勒效应原理或传输时间法原理进行测量。然而, 多普勒效应受到液体颗粒浓度、气泡存在以及流体中颗粒速度的影响, 导致测量结果不够准确^[1]。而传输时间法则需要知道波速和管道直径这些参数, 而这些参数可能会随着时间和环境的变化而产生偏差。时差法超声流量计适用于广泛的流量范围, 能够适应不同应用场景下的流量要求。时差法超声流量计可以实现较高的测量精度。

1 时差法超声流量计基本原理

超声波传感器被安装在被测管道两侧 (见图 1), 超声波传感器发射并接收超声波信号。

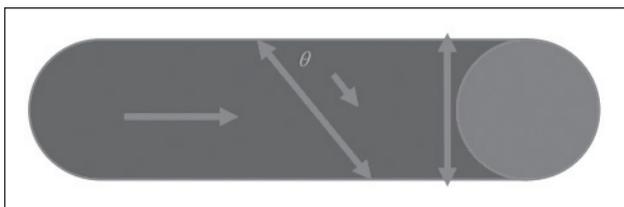


图1 时差法超声波流量计的测量原理图

由于超声换能器 a, b 交替发射超声波, 得到逆顺流时间差为:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{D/\sin\theta}{c - v\cos\theta} - \frac{D/\sin\theta}{c + v\cos\theta} = \frac{2Dv\cos\theta}{c^2 - \cos^2\theta}$$

由于 $\cos\theta \leq 1$, 且 $v \ll c$, 所以 $\Delta t = 2Dv\cos\theta/c^2$, 由于 c^2 与被测介质的工艺参数有关, 为了消除影响, 引入变量代换 c^2 , 取 $t_0 = \frac{t_1 + t_2}{2} \approx \frac{D}{c\sin\theta}$ 。

则气体流速为: $v = D\Delta t / t^2 \sin 2\theta$ 。

由上式得到该声道上的气体的线平均速度。

单声道通过时差法测得的线平均流速 v_i , 然后利用加权

积分公式 $\bar{v} = \sum_{i=1}^n k_i v_i$ 计算出面平均流速, 其中 k_i 表示第 i 个声道的加权积分系数, 利用加权积分将这些线平均流速计算出面平均流速 \bar{v} 。最终, 通过将面平均流速乘以断面的面积 s , 可以计算出通过该断面的流量 $Q = s\bar{v}$ 。

2 系统方案设计与电路实现

本系统的硬件电路部分包含数字电路和模拟电路两部分:

数字逻辑电路部分主要负责时序控制、超声波信号传播时间计时、读数显示和测量结果实时计算等功能。该部分由定时和控制电路、计数电路、读数显示电路等组成^[2]。定时和控制电路用于生成所需的时钟信号和控制信号, 确保系统各个模块按照预定的时间序列运行。计数电路作用是取得流速, 通过测量在流体中传播的超声波信号收发的时间差。读数显示电路将测量结果转化为可视化的数字或图形显示, 方便用户观察和记录。

模拟电路部分主要包括超声波发射电路、超声波接收电路和模拟数字转换电路等^[3]。超声波传感器负责发射和接收超声波信号, 它能够产生高频率的超声波并将返回的信号转换为电信号。超声波发射接收电路用于驱动超声波传感器并接收其返回的信号。多级放大电路则用于增强信号的幅度, 提高信号的稳定性和准确性。系统总体设计框如图 2 所示。

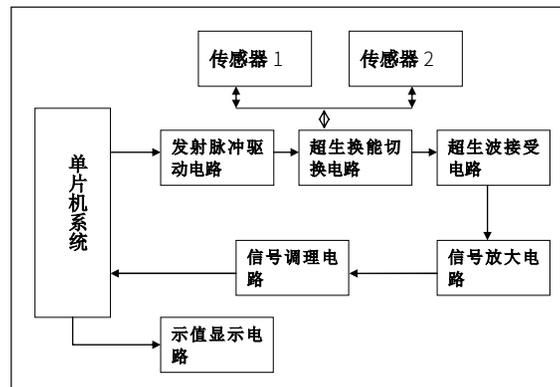


图2 系统的总体设计框图

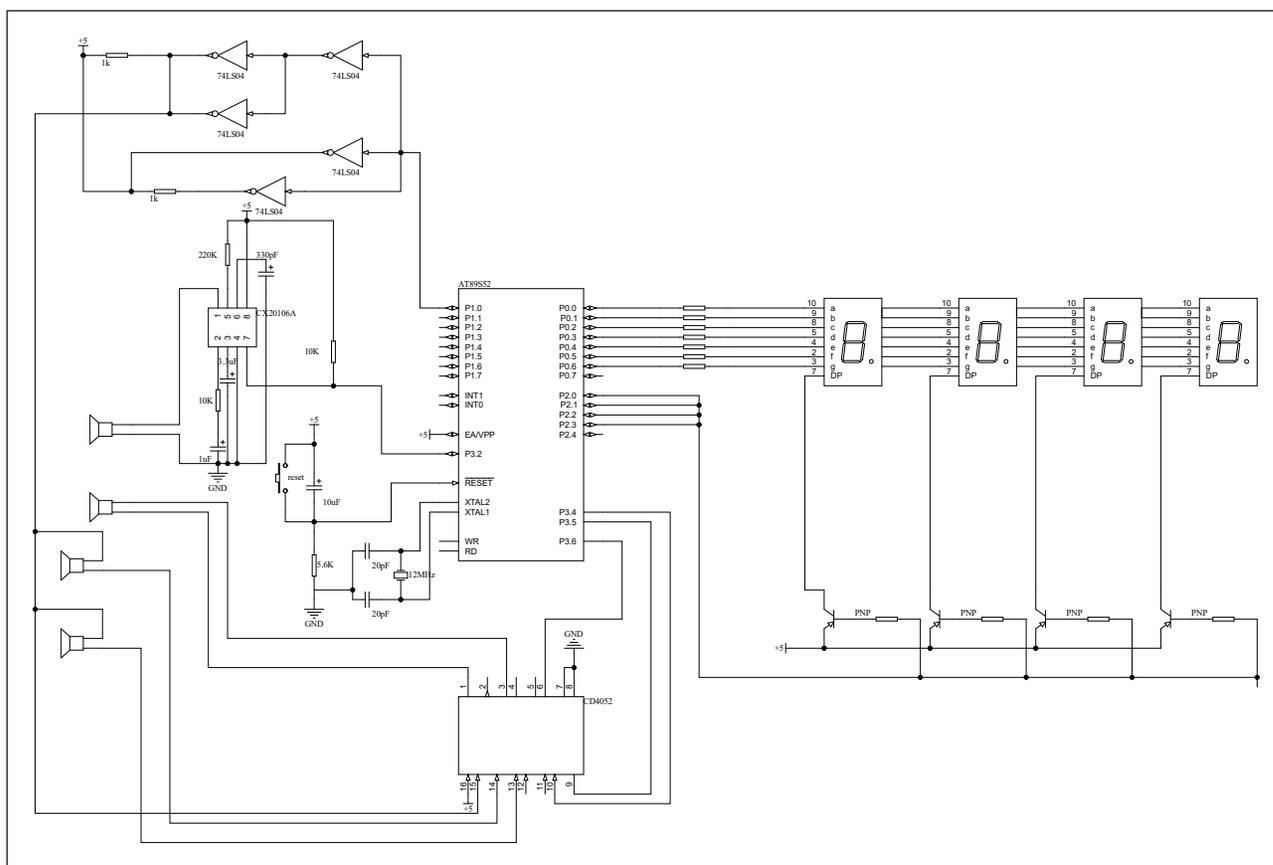


图3 总体设计电路

系统的工作流程如下：

(1) 初始化启动系统，初始化单片机和相关外设。设置计数器、定时器等必要的参数。

(2) 发射超声波信号通过单片机控制超声波发射器，发送超声波信号到待测流体中。超声波经过流体后会被接收器接收。

(3) 通过单片机控制超声波发射器，发送超声波信号到待测流体中。超声波经过流体后会被接收器接收。

(4) 通过时差法计算出线平均流速 v_i 。单片机利用定时器来测量超声波信号从发射到接收的时间差。这个时间差与超声波在流体中传播的距离成正比，可以根据已知的声速和声程关系计算出线平均流速 v_i 。

(5) 加权积分计算面平均流速，通过面平均流速和断面的面积，计算出通过该断面的流量。

(6) 单片机对测得的流速和流量数据进行处理，并将结果通过显示屏、串口等方式输出给用户或其他设备。可以设置报警或记录功能以满足不同应用需求。

通过以上步骤，系统能够实现超声流量计的测量功能。单片机负责控制信号的生成和处理，超声换能器和传感器负责超声波的发射和接收，各个电路模块的协同工作使得流量

测量过程准确、稳定。

■ 2.1 单片机系统设计

本系统采用 AT89S52 单片机作为控制核心^[4-6]。可输出 40kHz 方波信号，满足超声波换能器的工作需求。利用外部中断口监测超声波接收电路输出的返回信号。通过 AT89S52 单片机的 GPIO 口和适当的驱动电路，使用 4 位一体共阳极 LED 数码管，可以控制数码管的亮灭和显示内容。

AT89S52 单片机作为系统的控制核心的电路见图 3，具备强大的计算和控制能力，能够准确地生成超声波信号和处理返回信号。通过与其他硬件电路模块的配合，实现流量测量的准确性和稳定性，提高系统的整体性能。

■ 2.2 串口通信

AT89 系列单片机提供了串口通信功能，可以通过串口与其他设备或计算机进行数据交互。串口通信常用于数据传输、远程控制和与外部设备的通信等应用。通过编程设置相关的寄存器和定时器，可以将串口工作在所需的参数配置。

在发送数据时，单片机将待发送的数据放入发送缓冲区，并通过串口将数据一位一位地发送出去。发送数据可以通过直接操作相应的寄存器来完成，或者使用专门的发送函数。在接收数据时，单片机从接收缓冲区中读取接收到的数

据。可以通过查询方式或中断方式来判断是否有新的数据到达，并及时处理接收到的数据。

通过串口通信，单片机可以与其他设备进行双向的数据交互。例如，可以从计算机上发送命令或数据给单片机，单片机接收后根据命令执行相应的操作，并将结果返回给计算机。串口结构示意图如图 4 所示。

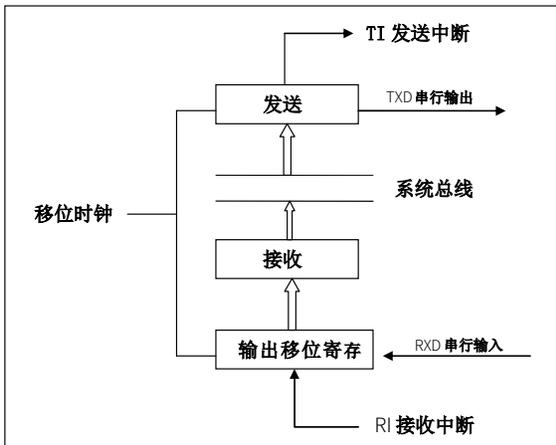


图 4 串口结构图

2.3 单片机最小系统电路设计

AT89S52 单片机的最小电路设计使得单片机能够提供计算和控制功能，并与其他外部设备进行通信。AT89S52 单片机作为控制核心，执行程序并完成各种计算和控制任务。晶体振荡器用于提供单片机的时钟信号。在最小系统中，一般选择一个 12MHz 的晶体振荡器，通过 XTAL1 和 XTAL2 引脚连接到单片机。时钟信号是单片机正常工作的基础。一般包括一个复位按钮或电路，并将其连接到单片机的 RST 引脚上。复位电路可用来启动或重新启动单片机，并确保其处于正确的工作状态。在最小系统中，通常需要一个稳压模块或适当的电源设计来为单片机提供 5V 的工作电压。电源

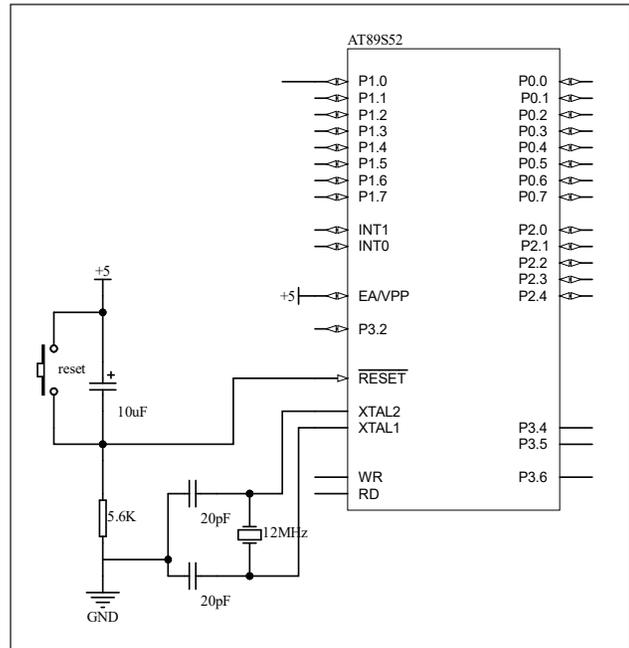


图 5 单片机最小系统电路图

电路应符合单片机的电源要求，确保其稳定可靠。

单片机最小系统电路如图 5 所示。

2.4 LED 显示输出接口

本设计采用共阳极 LED。可以显示 0 到 9 的数字和一些特殊字符。其中，每段对应一个引脚，通过适当的驱动方式，可以选择性地点亮对应的段来显示所需的数字或字符。用于连接单片机的 GPIO 口和 LED 数码管的各个段。通常采用 PNP 三极管，如 9012 作为驱动器，根据需要选择性地将对应的段接通，以实现数码管的显示功能。电路图如图 6 所示。

2.5 超声波发生电路

选择一个 GPIO 引脚作为超声波发射器的控制引脚，并将其配置为输出模式。连接该控制引脚到 74LS04 的输入引

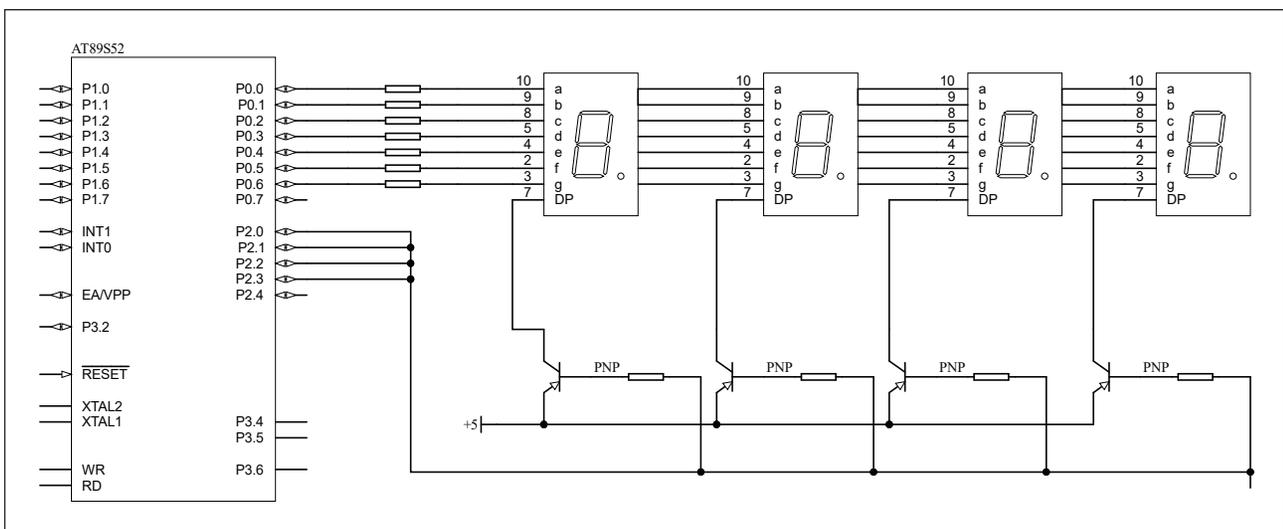


图 6 所示 LED 显示电路图

脚。在 74LS04 中，当输入引脚接收到高电平时，输出引脚会被驱动为低电平；而当输入引脚接收到低电平时，输出引脚则会被驱动为高电平。这是因为 74LS04 是一个非门（反向器），输入和输出之间存在着反相关系。将 74LS04 的输出引脚连接到超声波换能器的一个电极。另一个超声波换能器的电极通过一个适当的电阻与 GND 连接。

通过程序设置单片机 GPIO 引脚的状态来控制 74LS04 的输入引脚。如果希望发射超声波，将 GPIO 引脚设置为高电平，以驱动 74LS04 的输入引脚为低电平。这将使得 74LS04 的输出引脚为高电平，导致超声波换能器的一个电极处于低电平状态。超声波发射电路如图 7 所示。

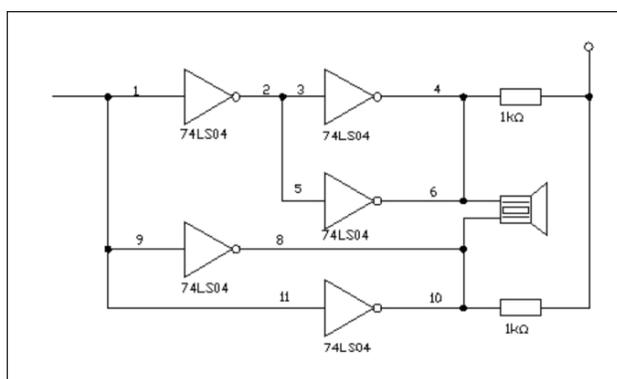


图 7 超声波发射电路

■ 2.6 超声波接收电路

当超声波传感器接收到超声回波后，压电晶片会因为谐振而逐步加强地机械振动。在压电晶片的两面会出现交替的等量异号电荷。然而，由于电荷量很小，所以只能产生微小的交替电压信号，无法提供电流信号。为了充分放大这个微小的交替电压信号，并且滤除直流成分和各种噪声干扰，我们需要使用接收放大电路。

在本设计中，我们采用了集成电路 CX20106A 来构建接收电路。该集成电路具有放大器功能，可以有效地放大微小的交替电压信号。同时，接收电路还会进行直流滤波，通过去除直流成分来确保输出信号是交替电压信号。此外，它还会进行噪声滤除，以消除各种可能存在的干扰信号。

通过使用 CX20106A 集成电路构成的接收电路，我们可以获得高增益的放大效果，同时有效地降低直流偏移和噪声干扰。这样可以保证从超声波传感器接收到的微小交替电压信号能够被准确地放大，并且得到清晰的输出信号。

在超声波信号被接收后，经过 CX20106A 集成电路的放大、限幅、滤波和积分整形处理，最终可以将信号直接送到单片机 P3.2 口进行后续处理。集成电路 CX20106A 的使用极大地简化了放大、滤波和整形电路的设计，同时也展现了其在接收超声波信号方面的优势。

通过 CX20106A 的放大功能，超声波信号能够得到有效的放大，使得微弱的信号变得更加明确和可靠。同时，CX20106A 还具备限幅功能，能够削弱或排除干扰信号，从而提高系统的抗干扰能力。此外，在接收电路中引入 CX20106A 的滤波功能，如图 8 所示，可以有效滤除非期望的频率成分，减少噪声和干扰对信号的影响。

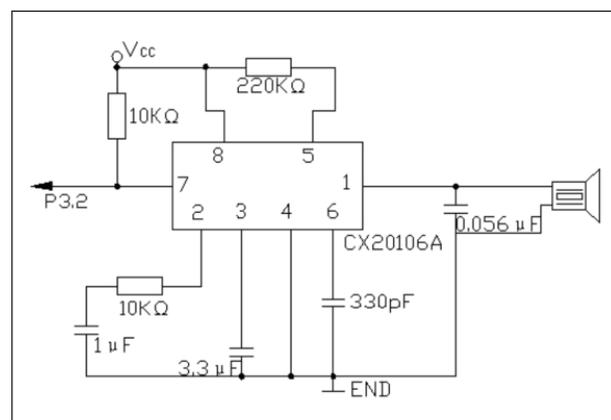


图 8 超声波检测接收电路设计图

■ 2.7 超声波切换电路设计

使用 CD4052 多路模拟开关用于控制超声波传感器的切换，用于控制超声波传感器的切换。将 CD4052 与超声波传感器连接。将传感器的发送引脚（TX）连接到 CD4052 的控制端 A，并连接中心引脚（COM）。使用控制器的数字引脚将需要使用的 CD4052 输入连接到 CD4052 的使能引脚（EN）。程序中将使能引脚设置为高电平以启用 CD4052。

当需要切换到另一个超声波传感器时，将使能引脚设置为低电平以禁用 CD4052。这将使 CD4052 断开与传感器的连接。通过使用 CD4052 多路开关，可以方便地切换超声波传感器。

■ 2.8 系统程序设计

超声波流量计的软件设计由主程序、硬件初始化、超声波传感器控制、流量计算算法和数据处理与显示组成^[10-11]。

系统程序流程图如图 9 所示。

在设计中，假设声速为 344m/s 时取 20，则公式如下

$$\text{所示: } (D / \sin \theta) = vt = \frac{172T0}{10000}$$

首先定义超声波传感器的触发引脚 TRIG 和接收引脚 ECHO，并声明一个变量来存储超声波传感器之间的距离。在初始化函数中，设置了定时器 0 为 16 位定时 / 计数模式，并开启了总中断和定时器 0 中断。同时，清零了显示端口 P0 和 P2。设一个函数用于发送超声波脉冲。在该函数中，我们将 TRIG 引脚设置为高电平以发射超声波脉冲，并通过

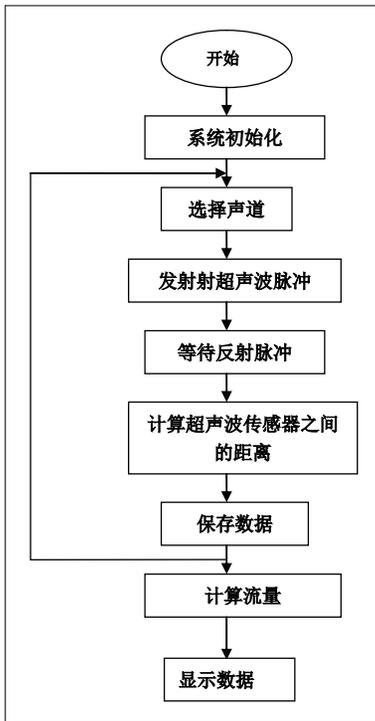


图9 系统程序流程图

定时器 0 进行延时。然后，我们将 TRIG 引脚设置为低电平以停止发射超声波脉冲。一旦接收成功，我们使用定时器 0 的值计算超声波传播时间，并将其转换为距离。接下来，可以进行流量计算和显示等操作。

测量得到距离后，将时间和距离保存，并通过单片机控制多路开关切换流量通道。然后测量逆流时间，并利用流量计算公式得到流量值。使用单片机的 P1.0 端口发送两个超声波脉冲信号，每个脉冲信号的频率为 40kHz，并且每个脉冲信号的宽度约为 12 微秒。同时，打开计数器 T0 进行计时，以便测量超声波脉冲信号的传输时间。

在主程序中，首先需要配置外部中断 0 相关的寄存器，使其能够检测到 INT0 引脚的状态变化。可以通过设置相应的寄存器位来选择引脚的触发方式。当外部中断 0 引脚检测到信号变化时，会触发中断。此时，主程序会暂停执行，转而执行中断服务程序。在中断服务程序中，首先需要关闭计数器 T0，以停止计时。可以通过设置相应的寄存器位来禁用计数器 T0。接下来，将测距成功的标志位置 1。可以通过设置一个特定的变量或寄存器位来表示测距成功。中断服务程序执行完毕后，主程序会继续执行。

3 测试

根据设计电路通过信号处理电路，发射时间和超声波回波信号的接收时间。将来自通道超声传感器的数据与测量的

距离进行比较。表格显示了超声传感器模块获得的数据和误差。显示了设计的传感器电路相对误差控制在 4% 以内，满足预期要求。如表 1 所示。

表1 距离测量数据

实际距离(m)	测量距离(m)	相对误差(%)
3	3.05	1.7
2.5	2.4	4
2	1.97	1.6
1.5	1.55	3.3
1	1.04	4
0.8	0.81	1.25
0.5	0.52	4

4 结语

根据实际应用情况和具体测量条件，时差法超声流量计可以准确测量流体的实时流速，并能够提供稳定和可靠的结果。根据测得的流速和管道截面积，可以使用时差法超声流量计计算出准确的流量值。非侵入式测量：时差法超声流量计无需直接接触流体，因此不会对流体产生额外影响，并且适用于各种液体和气体的测量。高精度测量：时差法超声流量计具有较高的精度，可以满足不同精度要求的流量测量。时差法超声流量计适用于不同尺寸的管道和各种流速范围内的流量测量，可以满足不同工艺和应用需求。

参考文献

- * [1] 苏文. 浅谈流量计的发展及现状 [J]. 中国仪器仪表, 2002(6): 1-4.
- * [2] 马明健. 数据采集与处理技术 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2005.37-41.
- * [3] 陈洁, 余诗诗, 李斌, 等. 基于双阈值比较法超声波流量计信号处理 [J]. 电子测量与仪器学, 2013,27(11):1024-1033.
- * [4] 王飞, 官龙腾, 张福春, 等. 数字式时差法超声流量计的设计与实现 [J]. 自动化仪表, 2014,35(9): 80-83.
- * [5] 蔡忠兴, 赵辉, 徐南. 四声道超声波流量计收发电路设计 [J]. 工业控制计算机, 2006.19 (12) 1-2.
- * [6] 夏金东, 黄海宁, 张春华. 超声波流量计换能器系统理论分析及应用 [J]. 声学技术 2018,27(2):129-135.
- * [7] 张涛, 蒲诚, 赵宇洋. 传播时间法超声流量计信号处理技术进展述评 [J]. 化工自动化及仪表, 2009,36(4):2-5.
- * [8] 王晓俊, 徐凯, 周杏鹏. 超低功耗无线超声波热能表设计 [J]. 自动化仪表, 2012, 33(3):76-79.
- * [9] 沈美华, 石斌. 高温超声波流量计测量可靠性研究 [J]. 化学工程与装备, 2011, 5:160-164.
- * [10] 吴迅、郭惠编着, 单片机 C 语言程序设计完全自学手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.54-65.
- * [11] 陈丽芳. 单片机原理与控制技术 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2003.88-101.

基于单片机的无线点餐系统设计

李康

(西安思源学院 电子信息工程学院, 陕西西安, 710038)

摘要: 将单片机技术运用于餐饮行业, 解决过去人工点餐形式带来的低效繁杂的弊端, 研究并设计了一种基于STM32的无线点餐系统, 实现了顾客就餐全过程的自动化管理, 提高餐馆的运营效率并提升用户体验, 同时阐述了无线点餐系统的关键技术和关键模块的实现, 为无线点餐系统提供了一种通用的模式。

关键词: 无线点餐系统; STM32; 自动化

0 引言

计算机的发明带领人们走入了信息化的社会, 它不断地改变着人们的生活和生产方式。有了计算机的帮助, 现在只需要几台机器和一个管理人员就能轻松完成繁琐的工作。计算机在安全、准确、速度、效率方面也优于人工。因为计算机在处理工作的时候有着很多优点, 所以人们也越来越重视对其的应用。近年来, 由于我国的经济持续增长不断完善以及各个行业的竞争越来越大, 怎么改进经营方式、提升员工效率和服务能力, 是一个重要的问题。要解决这个问题最关键的一点就是必须建立先进有效的创新管理机制, 以适应新时代下的发展需要。

我国传统餐饮公司的食品原材料购买和接收客人订单、补货和库存、客户的订单要求和点单记录, 都是由人工进行处理的, 客人需要长时间等待, 而且管理效率比较低。所以需要更有效率的计算机管理来帮助其发展。通过计算机来帮助企业的日常运作, 用以提高管理水平和员工的效率。在此背景之下, 本次设计主要针对目前某些餐饮行业的点餐慢、结账慢、易出错、效率低等问题进行了研究, 希望通过相关技术来帮助相关的餐饮公司设计出一种以单片机为核心的无线点餐管理系统, 从而帮助他们解决日常营业遇到的相关难题, 可以促进餐饮管理模式的发展。

1 设计背景

近年来, 随着我国经济和社会发展水平的不断提高, 餐饮行业的市场消费规模得以持续。但是, 传统的餐饮公司从食品原材料购买到接收客人订单, 基本上都是手动完成记录的。这不仅消耗人力资源, 也很容易造成遗漏或是重复记录, 导致管理层次较低。传统的餐饮公司补货和库存都是人工管理, 客户的订单需要由服务员记录送到厨房。采用人工记录结账, 客人需要长时间等待, 管理效率比较低。所以需要更有效率的计算机管理来帮助其发展。通过计算机来帮助企业的日常运作, 用以提高管理水平和员工的效率。管理信息系统是近些年出现的新兴学科, 其中包括了系统科学和我们熟知的计算机科学、管理科学信息科学。研究方向就是信息管

理开展的过程, 从而有效地利用收集的信息, 提供大量决策资料, 帮助企业实行现代高效管理。对管理系统进行分析和相关设计, 必须理论结合实践, 实用且有效, 才可以满足社会需要。

在此背景之下, 本次设计主要对目前某些餐饮行业的点餐慢、结账慢、易出错等问题进行了研究, 设计出一种以单片机为核心的无线点餐管理系统, 从而帮助他们解决日常营业遇到的相关难题, 也为餐饮管理模式带来一定发展, 无线点餐系统可以使餐饮行业朝着便捷、高效、信息化的方向发展, 有需求的餐厅可以用这套系统达到节省人工, 提高员工工作效率和出餐效率的目的, 从长远来看, 无线点餐系统有着很广阔的开发前景。

2 系统设计原理

2.1 控制核心

本次智能无线点餐设计的控制核心采用STM32F103C8T6, 该单片机内部采用PLL技术。有丰富的内部资源, 内置128K闪存, 可以用串行单线调试, 支持睡眠、关机、待机这三种模式, 并使用ECOPACK封装包, 在便携设备中经常使用。

在STM32F103C8T6的最小系统里, 单片机所有内部引脚都通过外部引脚引出, 同时预留四个接口方便接入显示屏等设备, 预留了SWD调试接口, 可以使用ST-LINK下载程序与仿真。与STC89C52RC单片机不一样的是, STM32F103C8T6的GPIO有8种模式, 其中包含上拉、下拉输入模式, 所以外接按钮时可不设计上下拉电阻。根据它的原理图可知: 按键KEY0一端接到3.3V的VCC, 一端接到PA0引脚。发光二极管LED0一端也同样经1kΩ电阻接到3.3V的VCC, 另一端则接到PC13上。因此, 想要让二极管发光的话需要让PC13输出低电平。STM32最大工作电压3.6V, 使用了LDO(低压差线性稳压器)将输入电压VIN降到3.3V给微控制器供电。3.3V和GND之间的4个0.1μF的旁路电容(去除高频交流信号)接到了芯片的4个VDD和4个VSS上增强供电能力, 保证供电的可靠性。

该系统主要由无线发射控制系统和无线接收显示语音

提示系统两部分组成。各部分硬件电路主要由以下五部分组成，分别是 STM32 单片机核心控制器以及进行功能选择的按键电路、OLED 显示屏、NRF2401 无线通信模块和语音播报模块。其中人机交互模块选用 0.96OLED 显示屏显示菜品和桌号等信息数据，独立按键作为输入设备。

2.2 无线发射系统

无线发射系统主要由 STM32 单片机最小系统、按键控制电路、NRF2401 的发射电路及电源组成。发射端的原理具体为通过扫描法获取键值，然后根据键值来获得菜品信息，单片机再控制 NRF2401 将顾客所选的菜品信息传输给接收系统，无线发射系统结构框图如图 1 所示。

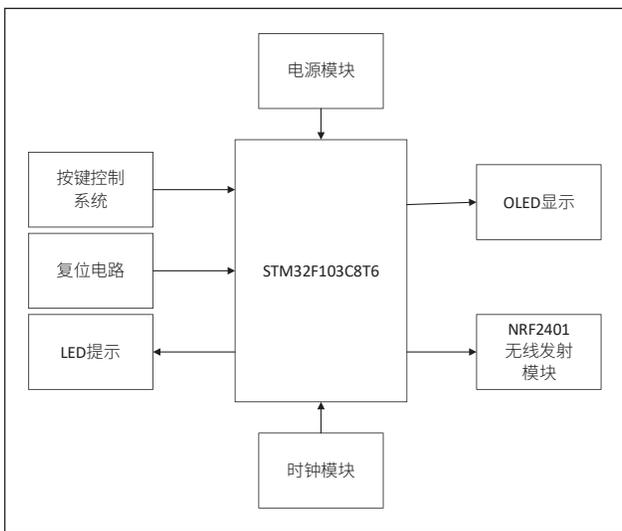


图 1 无线发射控制系统结构框图

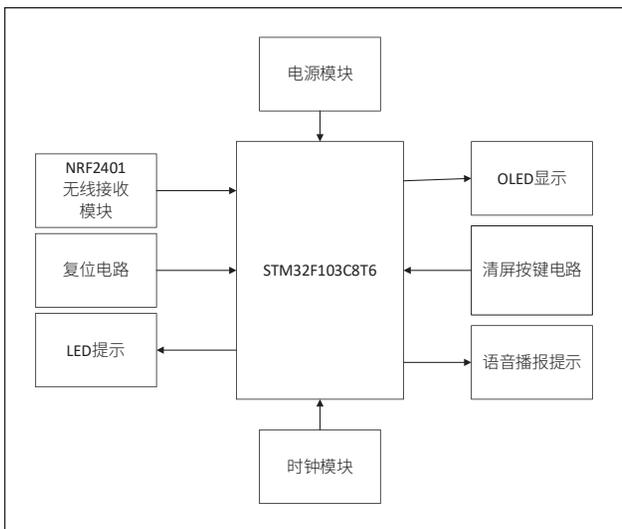


图 2 无线接收控制系统结构框图

2.3 无线接收系统

系统核心控制器仍然选择 STM32 单片机，该类芯片内部资源丰富，片内集成的两路 10 位 A/D 转换器可连接光敏检测信号和红外检测信号。片内可编程计数器模块可用来产

生并输出占空比可调的 PWM 波，以控制驱动 LED 灯的亮度。无线接收系统结构框图如图 2 所示。

2.4 无线通信电路

NRF2401 模块主要用 SPI 协议进行数据传输，为了方便设计，电路接口包括 MOSI 和 MISO 在内一共引出 8 个引脚接口，核心芯片一共有 20 个引脚，但是一些接口引出来通过接地外加电容起到滤波的作用，在最右端 RF 输入接口，外接了一个桥式 LC 震荡的电路，对于输入的数据信号起到了滤波的作用。为了给内部时钟起振，在这个模块上还加入 16M 的晶振，同样产生一定的脉冲信号给单片机时钟，然后驱动芯片 P19 引脚的电流作为输出。

VCC 脚接电源范围为 1.9V~3.6V 之间，不能在这个区间之外，超过 3.6V 将会烧毁模块，所以电压最好 3.3V 左右，NRF2401 模块原理图如图 3 所示。模块与 MCU 连接见表 1。

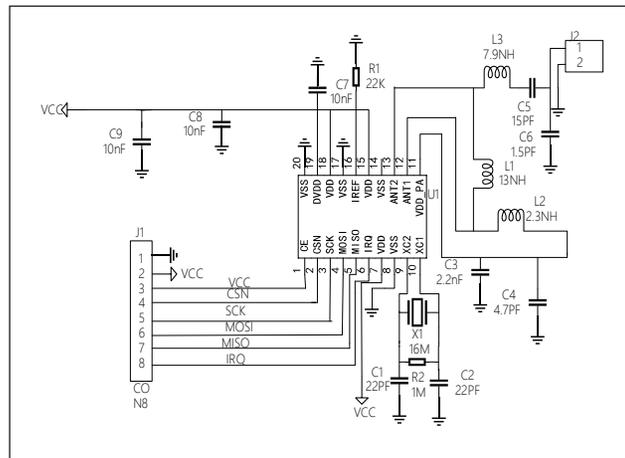


图 3 NRF2401 模块原理图

表 1 NRF2401 与 MCU 连接表

发射模块		接收模块	
NRF2401	MCU	NRF2401	MCU
VCC	3.3V	VCC	3.3V
GND	GND	GND	GND
IRQ	PA1	IRQ	PA11
CE	PA2	CE	PA4
CSN	PA3	CSN	PA8
SCK	PA4	SCK	PA5
MOSI	PA5	MOSI	PA2
MISO	PA6	MISO	PA6

2.5 菜单显示模块

OLED 显示模块电路驱动协议采用的是 I²C 协议。VCC 接 +5V 电源，GND 连接电源负极，SCL 时钟信号线接 PB10，SDA 双向信号线接 PB11，I²C 通信接口是从地址 SA0 开始触发。I²C 总线由数据信号 SDA（用于输出的 SDAOUT/D2 和用于输入的 SDAIN/D1）和 I²C 总线时钟信号 SCL（D0）组成，数据和时钟信号都必须连接到上拉电阻，RES 可以用来控制显示器初始化，在 7 针的 SPI 协议驱动

电路中，该设计可以有效地应用。

OLED 原理图如图 4 所示，模块接口定义见表 2。

表2 模块接口定义

名称	用途	名称	用途
GND	电源地	CS	OLED的CS#脚,也就是片选管脚
VCC	电源正(3~5.5V)	DC	OLED的D/C#E脚,数据和命令控制管脚
D0	OLED的D0脚,在SPI和IIC通信中为时钟管脚	RES	OLED的RES#脚,用来复位(低电平复位)
D1	OLED的D1脚,在SPI和I ² C通信中为数据管脚		

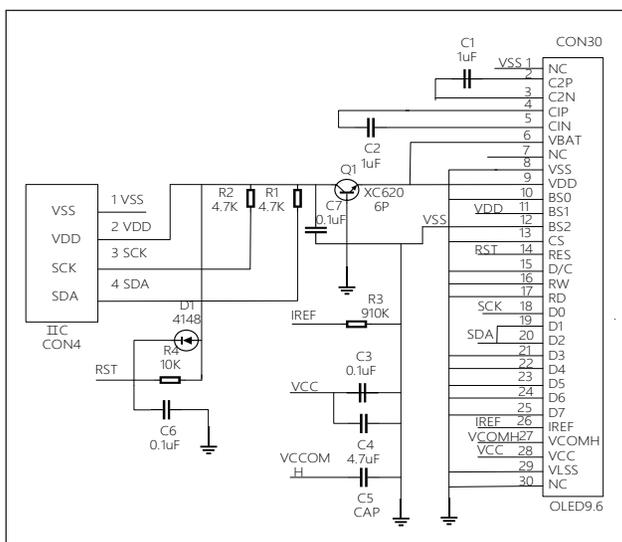


图 4 OLED 原理图

3 系统软件设计

3.1 程序结构分析

本设计的软件部分需要完成的任务分为：主程序设计，OLED 驱动程序，无线通信接收程序，按键控制的子程序。

3.2 主程序设计

为了满足设计需要，无线发射系统主要完成以下功能：系统上电后单片机扫描点菜按钮，识别点菜键值，根据键值编号选择菜品，完成转换后通过 NRF2401 无线发射模块发送数据信息，发送完成后复位系统。无线发射系统的程序流程图如图 5 所示。

接收显示系统主要的作用：接收从单片机发送的点餐数据并且数据转换后由 OLED 屏进行显示。无线接收系统程序流程图如图 6 所示。

3.3 无线发射通信程序设计

无线通信收发模式有三种，分别为 Enhanced ShockBurstTM 收发模式、ShockBurstTM 收发模式和直

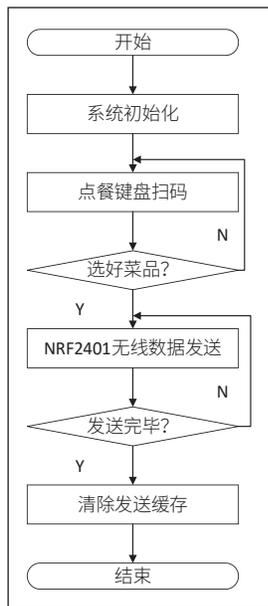


图 5 无线发射系统流程图

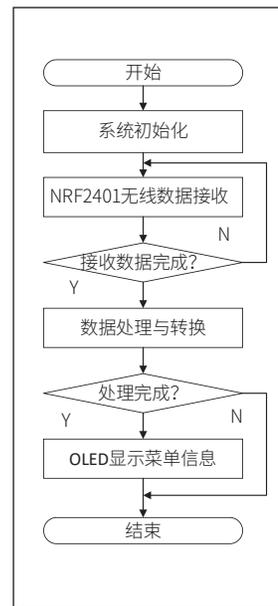


图 6 无线接收系统流程图

接收发模式，器件的配置决定使用何种模式。将发送的数据以及接收机的地址数据按照时序发送到 NRF2401，然后将 CONFIG 寄存器进行相关的配置，让它变为发送模式，高速发射数据包，发射完成，NRF2401 进入空闲状态，NRF2401 又会重新进入等待的状态，等待下一个数据包，NRF2401 发送程序框图如图 7 所示。

3.4 无线接收通信程序设计

如果接收到了无误的数据包(有地址码和始终校验码)，NRF2401 就会把地址码、字头以及时钟校验位自动移去，NRF2401 置位 STATUS 寄存器 RX_DR (STAU 会让控制器中断)来通知微控制器，微控制器在 NewMsg_RF2401 上读取数据。当读取完所有的数据之后就可以格式化 STATUS 寄存器里的数据，NRF2401 接收程序框图如图 8 所示。

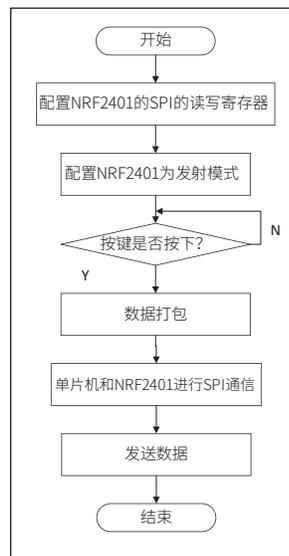


图 7 NRF2401 发送程序流程图

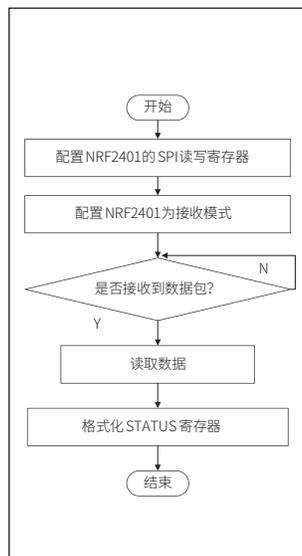


图 8 NRF2401 接收程序流程图

3.5 按键控制子程序

按键一共有四个，在定义好按键的接口后设置成上拉输入，程序通过不停扫描键盘从而获取键值保存，再运行按键处理函数，获取按键值之后使能，按键控制子程序流程图如图9所示。

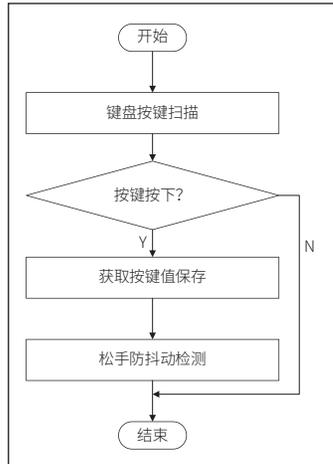


图9 按键控制子程序流程图

4 结束语

本文所设计系统应基于各类餐饮行业，重点凸显订餐，结账的功能，并且系统可以根据顾客的需求，在服务终端上显示各种菜品。每一个点餐服务终端设备上都具备语音播报功能。凭借这一特殊的功能，酒店可以给顾客介绍一些特别精彩的服务或者是美食。无线免提模块是指通过计算机服务终端和中央控制计算机之间通讯，使服务中心系统能够有效地对餐饮管理系统进行管理。在现实社会中，小型餐饮企业或者公司的经营管理仍然保持着人工化管理水平。这种落后的管理方法有很多的缺点，例如：员工的工作效率不高，易导致出错，持续时间较长，可能会使餐饮企业产生数量较多的文档资料，带来大量的数据要查找、更新和维护。该餐饮管理系统对可以为管理者提供信息平台同时也可以提升管理水平，还间接地提升了企业的竞争力。餐饮企业可以借助此系统实现订餐结账的信息化，这样从菜单显示、顾客点餐

到最后结账都可以依靠点餐系统进行管理记录。不仅降低了员工的工作强度，还提升了顾客用餐效率，以便在日益激烈的餐饮行业中更具竞争力。

参考文献

- * [1] 马和平, 王政. 基于 STM32 多无线通信结合的水源井遥控系统设计 [J]. 电子制作, 2023, 31(09): 47-50+79.
- * [2] 刘志辉. 计算机在供电自动化系统中的应用 [J]. 电子技术, 2023, 52(02): 386-387.
- * [3] 刘德凤. 酒店点餐系统的设计与实现 [J]. 电子技术与软件工程, 2022(22): 173-176.
- * [4] 匡政睿, 段国华, 余玟铮. 基于 STM32 的无线多源数据采集系统的设计 [J]. 电气自动化, 2022, 44(05): 81-83.
- * [5] 郭海丽. 基于单片机的无线温度控制系统设计 [J]. 海峡科技与产业, 2018(09): 19-20.
- * [6] 周雪凤, 赵玉荣. 基于 STM32 单片机的无线智能灯控制系统设计 [J]. 科技视界, 2018(07): 256-257.
- * [7] 刘傲. 基于单片机的无线遥控电动车控制系统设计 [J]. 电子设计工程, 2017, 25(23): 190-193.
- * [8] 张恩迪, 余萌. 基于 STM32 和 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{III}$ 的双触摸屏无线自助点餐系统设计 [J]. 微型机与应用, 2014, 33(12): 90-92+94.
- * [9] 蒋正金. 基于单片机的无线温 / 湿度采集与控制系统 [J]. 现代电子技术, 2012, 35(17): 126-129+132.
- * [10] 陈昌涛, 魏民, 李宏, 童建中. 基于无线传送的室内通信系统 [J]. 电子科技, 2009, 22(09): 31-33.
- * [11] 杜芳芳, 李佳. 基于单片机的无线远程开关控制系统设计 [J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(09): 2240-2241.

(上接第 68 页)

参考文献

- * [1] 田苗苗. 基于无线通信的水位检测系统的设计与实现 [D]. 浙江海洋大学, 2018(07).
- * [2] 卢建军, 孙佳. 基于单片机的液位测量监控系统 [J]. 电子质量, 2020(10).
- * [3] 朱昌富. 基于单片机的水位监控系统 [J]. 宁德师范学院学报 (自然科学版), 2012(02).
- * [4] 汪桂平, 李登峰. 新编单片机原理及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- * [5] 郭富恒. 基于超声波测距的嵌入式水位监控系统设计 [J]. 智能物联技术, 2022(03).

- * [6] 魏国, 忠侯飞, 张衡, 等. 高速公路勘测中车载激光点云高精度校正可行性分析 [J]. 测绘通报, 2016(8).
- * [7] 卫何. 蓝牙技术发展及其在物联网中的应用展望 [J]. 应用能源技术, 2016(04).
- * [8] 史静, 李煜. 一种基于单片机和 LCD1602 的多行文本显示方法 [J]. 科技视界, 2017(20).
- * [9] 刘帅, 郑鹏, 孟祥熙. 基于单片机的水塔水位监控系统设计 [J]. 化工管理, 2017(05).
- * [10] 伍薇, 苏文兴, 刘倩希. 基于温度补偿算法的超声波农田水位测量系统 [J]. 物联网技术, 2023(03).

通信作者: 梁珊珊。

基于 Arduino 的智能药箱设计

朱茵霓, 李敏纯, 蓝晓琪, 廖华林
(韩山师范学院 教育科学学院, 广东潮州, 521000)

摘要: 为了解决临床药品管理困难的问题, 利用Arduino开发板设计了一款智能药箱, 本文将详细介绍智能药箱的整体设计方案、硬件构成以及系统软件设计。智能药箱的设计思路为, 设置环境检测模块, 温湿度传感器将采集到的温湿度数据传输给主控板, 液晶显示模块进行串行通信后将数据显示, 同时采用 LED 模块模拟照明系统, 此外, 系统通过蓝牙模块与手机端的UART进行通信, 语音识别模块对语音信号进行处理, 判断并做出相应的反馈处理。经过测试, 设计的智能药箱能达到预期效果且运行稳定。该药箱通过对药品的智能化管理, 力图解决药品存放困难的问题, 可有效避免因药品储存不当而导致的药品失效等情况。

关键词: Arduino; 蓝牙控制; 语音识别; 传感器

0 前言

临床药品的管理与患者息息相关, 影响其治疗效果和生命安全, 因此对临床药品加强管理至关重要^[1]。《药品管理法》中规定: 医疗机构必须严格按照药品保管制度才能保证药品的质量^[2], 药品的存放应依据药物自身特性, 进行相应的存放管理, 同时, 外界环境条件将直接影响药品本身的质量, 而药品质量的好与坏又直接关系到药品的使用效果和人的身体健康^[3]。因此, 为了保障人民群众用药的安全, 基于 Arduino 设计了一款可以方便储藏药品的智能药箱。

1 整体方案

该药箱的功能实现分为药品识别, 环境智能监测和移动端控制。药物识别功能通过使用 Micro: bit 板和 KOI 模块编写程序, 当识别的药物符合该药箱的温湿度和光照强度等

条件时, 则药箱可以打开, 否则不能打开。环境智能监测功能则通过使用温湿度传感器来检测药箱内的温湿度, 并使 LCD 显示屏可实时显示药箱内的温湿度, 以确保所放药物适合存放于该温湿度, 当药箱里的温湿度发生变化时能够及时调整。由于药箱内的温湿度会受周围环境的影响而发生变化, 因此在药箱内安装风扇, 该风扇会根据温湿度的变化自

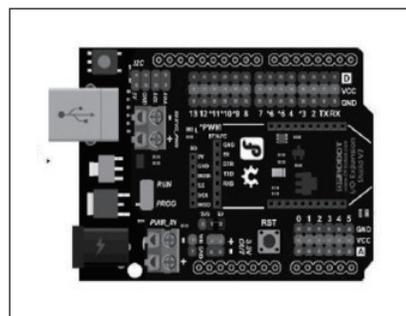


图1 Arduino—Uno 板

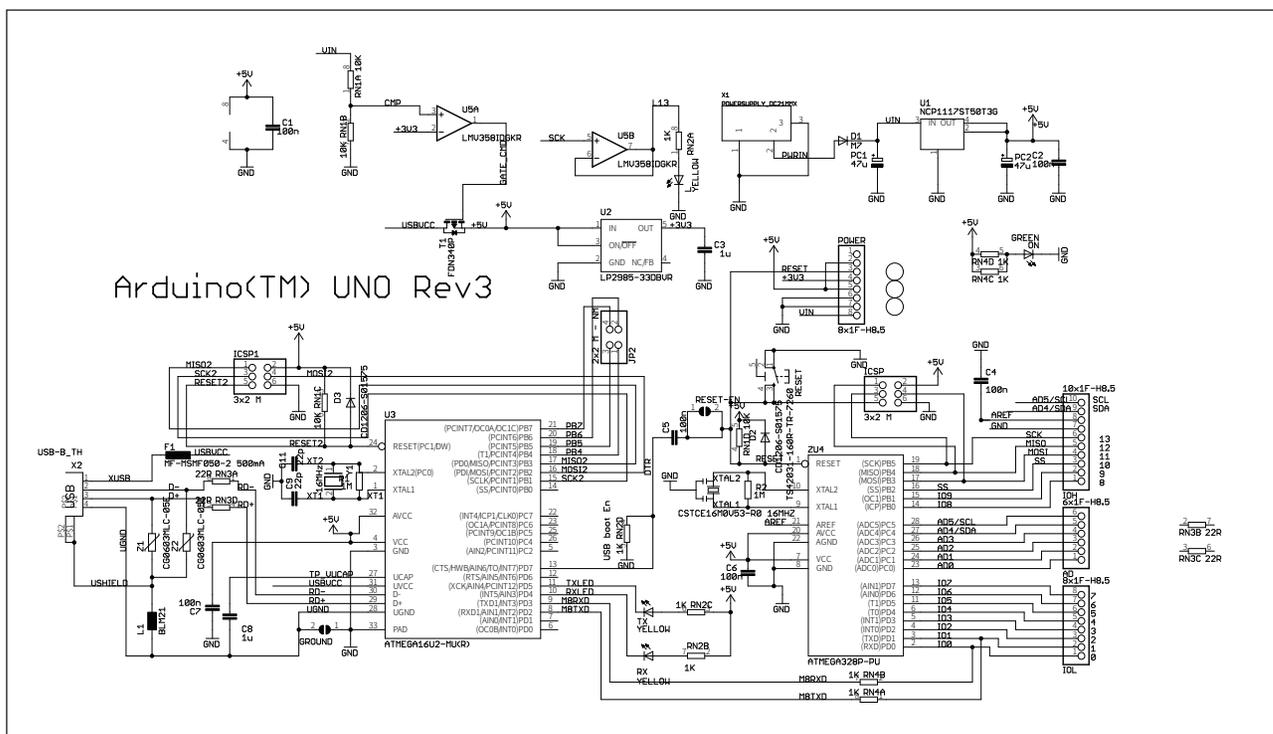


图2 Arduino—Uno 板电路原理图

动开启和关闭。为了防止传感器不稳定，该药箱还结合蓝牙通信技术和语音识别技术，当监测到药箱的温湿度、光照强度等超出对应药物的适应范围时，可使用手机端进行调整。

2 系统硬件

2.1 Arduino-Uno 板

Arduino-Uno 板是方便易用、灵活多样的开源电子原型开发的平台，可以快速实现创意的设计，如图 1 所示。该控制板有多个数字和模拟输入、输出 I/O 引脚和 PWM 输出，开发人员可以借助 Arduino 开发板直接驱动各类环境探测传感器、控制电机、LED 灯等模块，满足智能药箱的设计需求。

2.2 液晶显示屏 LCD1602

液晶显示模块通过点阵的方式显示 ASCII 码的英文字母、数字以及符号，具有体积小，方便安装的优点，LCD 显示屏的主要引脚说明如表 1 所示，在本设计中，液晶显示模块用于实时显示药箱内部所测量的环境温度和湿度情况。

表1 LCD显示屏的主要引脚说明

引脚名称	引脚功能
VCC	供电电源
GND	电源负极
SCL	串行时钟引脚
SDA	串行数据引脚



图 3 液晶显示屏 LCD1602

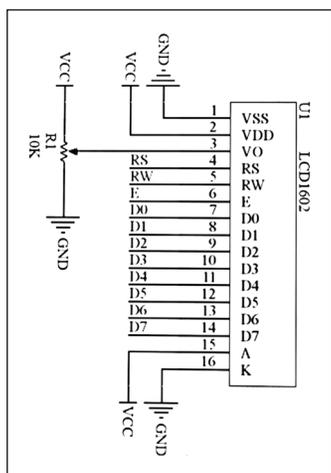


图 4 液晶显示屏 LCD1602 电路原理图

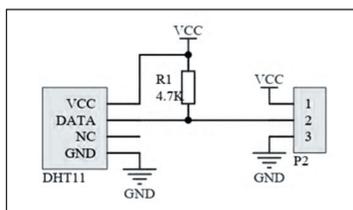


图 5 温湿度传感器 DHT11

2.3 温湿度传感器 DHT11

DHT11 是一种数字式温湿度传感器，可以测量周围环境的温度和相对湿度。它采用单线串行接口进行通信^[4]，具有快速响应时间、高精度、体积小等优点，非常适合用于各种温湿度测量应用中。

使用 DHT11 传感器可以方便地获得当前环境温湿度数据，并输出数字化信号供单片机或其他微控制器处理。该传感器可测量湿度范围在 5%~95% 之间，温度范围在 0°C ~50°C 之间，完全符合药品存放环境中的测量情况^[5]。

2.4 蜂鸣器模块

蜂鸣器模块是一种用来产生声音的电子模块，它由一个蜂鸣器和驱动电路组成。蜂鸣器是一种能够转换电信号为声音的装置，通常由一片压电陶瓷材料制成，当施加电压时会振动产生声音。

在本产品的设计结合 Arduino 控制板对蜂鸣器进行编程，当温湿度传感器监测到温湿度不在所设定的数值范围内，蜂鸣器会进行报警。

2.5 microbit 板

micro:bit 是一款微型电脑开发板，该设备包括了 I/O 扩展接口 - 含 SPI、UART、I²C、AD、PWM 等接口，可以满足智能药箱的药物识别设计。

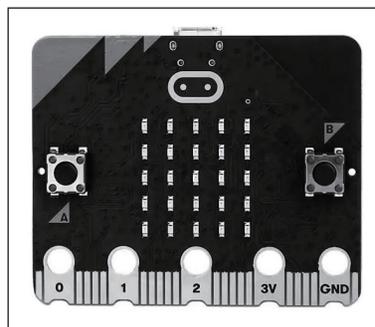


图 6 microbit 板

2.6 KOI 模块

KOI 是一款支持图形化编程的人工智能模块，内置了摄像头、IPS 屏和 WiFi 模块等组件，可实现视觉识别和物联网等功能。实现药品识别的操作需要编写相关代码，对该模块进行药品识别的图像训练操作，通过拍摄足够数量的图片以提取图像特征，并构建分类器以完成机器学习^[6]。结合编

程、图像训练、构建分类器等相关操作，摄像头就能对药品进行识别和判断。同时，IPS 显示屏将实时显示摄像头捕捉的图像，并提供交互性信息反馈，从而实现药物识别的功能。



图7 KOI 模块

2.7 舵机模块

舵机是通过控制输入信号来控制电机的角度位置。当输入一个控制信号时，舵机内部会将信号转换为电机的驱动电压。这个信号通常是以脉冲宽度调制（PWM）的形式进行表示，通过改变脉冲的宽度，可以控制舵机



图8 舵机模块

的位置。舵机内部的位置反馈装置（通常是一个电位器）会不断检测电机的当前位置，并将其与目标位置进行比较。然后，舵机根据位置差异来调整电机的转动，使得电机逐渐接近目标位置。当电位器检测到电机已经达到目标位置时，舵机停止旋转，并保持在该位置上，直到接收到新的控制信号。在该设计中，当识别到符合药箱的药品则打开药箱是利用了舵机的工作原理。

2.8 LED 灯模块

LED 灯模块被设计用于仿真智能药箱中的照明功能。在使用过程中，用户可以通过 APP 上的按钮或语音控制来打开或关闭灯光。LED 灯的工作电压通常很低，一般在 1.9~3.3V 之间，具有安全性高、光源可靠以及响应时间快等优点^[7]。

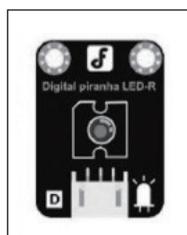


图9 LED 模块

2.9 HC-05 蓝牙模块

HC-05 是一款常用的蓝牙通信模块，常用于使设备具备蓝牙功能。它具有简单易用、成本低廉、性能稳定等特点。HC-05 蓝牙模块通常由主控芯片、蓝牙芯片、天线和相关外围电路组成。它通过串口通信与主控设备进行连接，主控设备可以通过发送 AT 指令来配置和控制 HC-05 模块的功能。

在该产品的设计中，将蓝牙 HC-05 模块与 Arduino 相

连，指定命令通过蓝牙传输。当需要进行通信时，用户可以在手机上查看附近可被查找到的蓝牙设备，并请求与对应的蓝牙模块进行配对，一旦配对完成，用户就能使用手机端发布指令。蓝牙模块接收指令并将信号传输至单片机，实现通信并连接到手机蓝牙，最后完成配对。

蓝牙模块主要引脚说明如表 2 所示。

表2 蓝牙模块主要引脚说明

引脚名称	引脚功能
RXD	模块串口接收脚，与单片机的TXD引脚连接
TXD	模块串口发送脚，与单片机的RXD引脚相连
VCC	工作电压为3.3~5V，为电源正极
GND	接地，为电源负极

2.10 ASR M08-B 语音识别模块

ASR M08-B 是一款语音识别模块，并且其识别范围可达 3 米，专门用于实现语音控制和语音识别功能。它具有高度集成、易于使用和可靠性高的特点。ASR M08-B 语音识别模块内部集成了麦克风、语音识别芯片、数字信号处理器等核心部件，通过对语音信号的采样、处理和分析，将语音转化为相应的文字或命令。

ASR M08-B 语音识别模块支持多种语音指令的识别，用户可以根据自己的需求进行定制和配置。它可以接收外部的语音输入，并在模块内部进行实时处理和分析，最终输出识别结果。用户可以通过串口或其他通信接口与模块进行连接，实现与其他设备的数据交互和控制。此外，ASR M08-B 语音识别模块还支持三种按钮检测模式，分别是循环检测模式、口令检测模式和按钮检测模式，用户可以根据需要选择相应的模式进行使用^[8]。

3 系统软件设计

3.1 系统软件总体流程

该系统软件设计主要包括环境检测模块，蓝牙模块控制

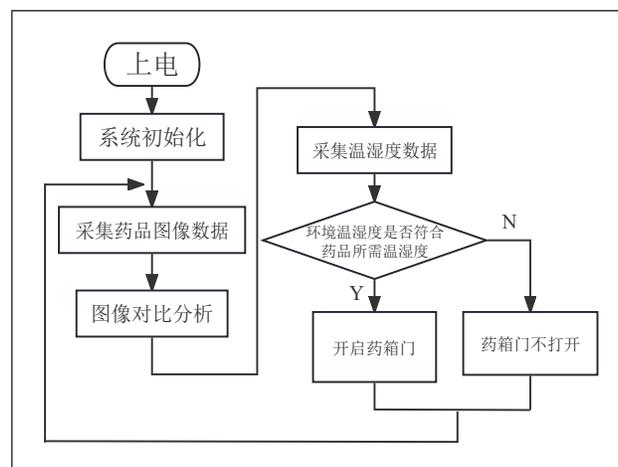


图10 系统的整体工作流程

程序以及语音模块控制程序，系统的工作流程如图 10 所示，系统通电后开启即初始化，单片机运行程序，将环境监测模块，



图 12 蓝牙模块工作流程

语音模块，LCD1602 显示屏初始化，随后摄像头采集药品图像数据，随后 KOI 模块进行图像比对分析，环境检测模块实时采集环境的温度和湿度数据，并在显示屏上显示采集数据。当采集的图像数据符合对应的环境温湿度时就打开药箱，不符合则不开启。当环境温湿度出现异常时，系统会自动打开排气扇并开启声光报警。同时，在手机 APP 与蓝牙模块成功连接后，用户可以通过 APP 按键和语音的方式来控制照明系统的亮和灭以及风扇的开和闭。

3.2 主要程序实现

3.2.1 温湿度检测与判断

环境检测模块中温湿度传感器工作流程如图 11 所示，首先进行初始化，DHT11 温湿度传感器使用第三方库“dht11”检测环境温湿度，利用其数据成员 humidity 和 temperature 分别存储湿度和温度数据，并将数据传送到单片机并显示在显示屏上，接着会判断环境温湿度是否处于适宜的温湿度的范围内，判断环境温度不适合时及时报警并采取相应的措施。

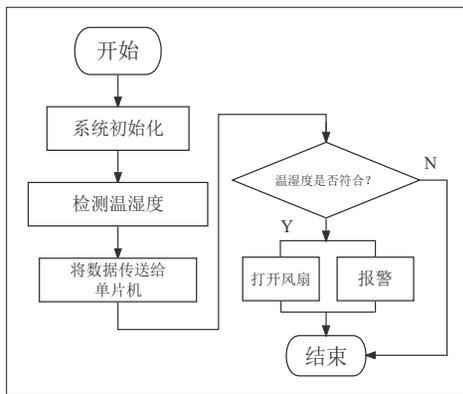


图 11 温湿度传感器工作流程

3.2.2 蓝牙模块控制程序

利用蓝牙模块传送数据的原理与平时使用两部手机互传数据一样，不同的是在该设计中，手机为主机，蓝牙模块为从机。蓝牙模块的工作流程如图 12 所示，首先，需要启动蓝牙调试器并搜索目标蓝牙设备进行连接，连接成功后，等待数据指令的发送完成。一旦连接成功，用户方可以通过控制界面向设备发送预设控制指令，从而使程序控制电机驱动排气扇并改变 LED 灯的状态。

控制界面如图 13 所示。

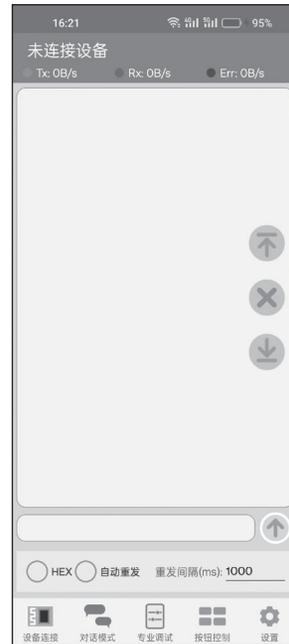


图 13 蓝牙调试器

5 智能药箱系统测试

系统可以直观显示当前密闭空间的舵机位置以及温湿度值，LCD 界面图如图 16 所示，并依据温湿度的数值实时控制电机的状态，使密闭空间的空气温湿度状态达到最佳。智能药箱系统的开关测试效果，如表 3 和表 4 所示。

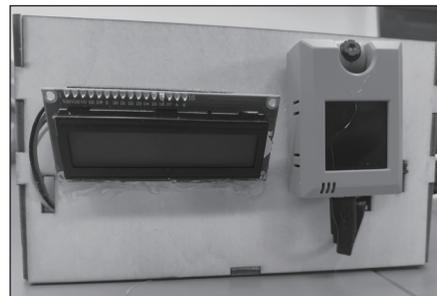


图 14 智能药箱外部

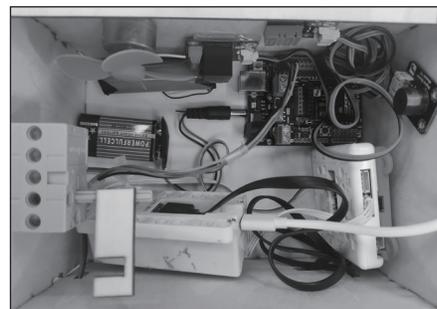


图 15 智能药箱内部

4 实物图

智能药箱外部和内部实物图如图 14 和 15 所示。

表3 智能药箱系统箱门开关的测试数据

模式	1
舵机位置	110度
药箱状态	打开
模式	0
舵机位置	0度
药箱状态	关闭

表4 智能药箱系统排气的测试数据

温度	29°C
湿度	96%
风扇状态	打开
警报系统	打开

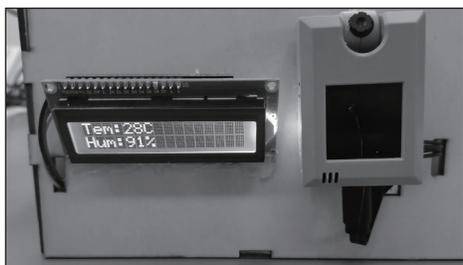


图 16 LCD 界面图

6 总结与反思

该智能药箱可以解决对温度、湿度和光度有严格要求的药物的存放问题,确保药品符合相关环境要求,保证药品质量,有效减少药物的浪费,为实现药品的智能化存放提供了参考,

(上接第 17 页)

出电压。控制端口用于接收控制信号,通过控制算法对稳压器进行调节和控制。

通过先进的控制算法和反馈机制,三端口交流稳压器可以实时监测输出电压并与设定值进行比较。根据比较结果,控制算法会相应地调整稳压器的工作状态,以使输出电压达到设定值。这种反馈机制能够对输入电压波动和负载变化做出快速响应,并保持输出电压的稳定性。

三端口交流稳压器具有许多优点。首先,它可以提供稳定可靠的电压供应,保护电子设备免受电压波动的损害。稳定地电压供应可以提高电力质量,并确保设备正常运行。其次,三端口交流稳压器具有高效能转换和能源利用的特点,可以减少能源浪费和成本。此外,它还具有精确控制能力,可以根据不同的需求进行电压调节,满足各种应用场景的要求。

随着科技的不断进步,三端口交流稳压器将继续发展。未来的稳压器可能会更小巧、更高效,同时提供更多的功能和保护机制。这将为我们的工作和生活带来更多的便利和效益,推动电力系统的进一步发展和升级。

三端口交流稳压器是一种能够稳定输出电压的电子设

适用于医院药房、家庭药物存放、校医室、化学实验室等场景。该文主要从系统硬件、系统软件和可实现的功能展开叙述,在推广运用中,可根据实际需要,合理调整与完善该药箱的体积容量、功能分区、外观设计等,进一步提升使用效果。

参考文献

- * [1] 胡,汪静,吴.临床药品质量管理体系中变更控制、偏差管理、质量风险管理的探讨 [J]. 中医药管理杂志, 2020,28(11):121-122.
- * [2] 国家药品监督管理局. 中华人民共和国药品管理法. 北京: 中国民主法制出版社, 2001.
- * [3] 林璐. 医院药品存放管理对药品质量的影响 [J]. 中国实用医药, 2014,9(17):272-273.
- * [4] 杜清运,刘涛. 户外增强现实地理信息系统原型设计与实现 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2007(11):1046-1049.
- * [5] 李博,杨俊,王中行等. 基于 Arduino 的机房温湿度监控系统设计与实现 [J]. 智能计算机与应用, 2022,12(01):99-103.
- * [6] 普丹. 初中人工智能课程教学初探——以《基于机器学习的图像识别》一课为例 [J]. 中国信息技术教育, 2022(9):50-51.
- * [7] 任书新,孙德刚. 基于 Arduino 和语音识别的家居系统设计 [J]. 信息技术与信息化, 2022(10):78-82.
- * [8] 房鑫坤. 基于 Arduino 的环境监测设备语音识别功能设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2021(22):99-101.

通信作者: 廖华林。

备。它通过先进的控制算法和反馈机制,确保在不同负载和输入电压波动的情况下,输出电压始终保持稳定。这种稳压器具有高效、可靠和精确控制的特点,为我们的电力系统提供了稳定可靠的电压供应,保护了电子设备免受电压波动的损害。随着科技的不断进步,三端口交流稳压器将继续发展,为我们的生活和工作带来更多的便利和效益。

参考文献

- * [1] 何立民, 单片机应用程序设计技术 [M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2003.
- * [2] 杨素行, 模拟电子技术基础简明教程 [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- * [3] 陈坚, 康勇. 电力电子学 - 电力电子变换和控制技术 (第三版) [D]. 高等教育出版社, 2011: 6-3.
- * [4] switching power supplies A-Z, 2E. 精通开关电源设计 (第二版) [M]. 北京: 人民邮电出版社 2023.
- * [5] 肖建国. 用于新能源混合发电的三端口 DC/DC 变换器的研究 [J]. 浙江: 工程科技 II 辑 2011.06.16.

基于 OpenCV 的水下管道自巡检机器人的设计

陈洵圻, 张远峰, 连一凡, 吴桢莹, 何建景, 杨喆

(西北民族大学 电气工程学院, 甘肃兰州, 730124)

摘要: 水下管道在水下石油运输等方面有广泛的应用。针对水下管道的自巡检工作开展困难, 本文提出了一种基于 OpenCV 的水下管道自巡检机器人的设计, 该设计以 STM32 单片机为核心, 控制水下机器人游动、转向完成巡迹工作, 同时, 利用 OpenMV 内置的库函数对管道情况进行识别, 并反馈至计算机终端。本设计具备较好的稳定性和可操作性, 结构完善, 功能完备。

关键词: 水下机器人; OpenCV; STM32; 管道巡检

0 引言

随着综合国力的提升, 中国作为世界海洋大国的地位逐渐稳固, 海洋权益越来越受到重视, 针对海洋资源的开发利用项目越来越广泛^[1]。其中石油和天然气是人类当前最重要的能源, 水下管道是实现油气运输的一种快捷、安全、经济的运输方式。水下管道长时间的使用, 在管道表面可能会产生粘附物, 从而造成管道损伤甚至管道泄漏等情况, 这需要维修人员定期对管道表面进行检查、清理甚至是水下维修^[2]。因此, 必须定期进行管道巡检, 以免发生管道损坏, 如漏油等, 对环境造成巨大影响。

本文设计了一款基于 OpenCV 的水中自巡检机器人, 实现了自主导航、避障、目标识别、漏油点检测等功能, 并且将检测识别情况实时地反馈给后台工作人员。水中智能机器人同时可应用于军事、海洋开发、水中工程监测、水中娱乐休闲等领域, 拥有非常广阔的前景^[3]。

1 系统设计

机器人通过内置 12V 电池模组供电, 启动总开关后 STM32、树莓派以及各个模块会自行启动但不会即刻开始运行功能, 而是会自动检测是否存在故障, 若自动检测没有发现问题则蜂鸣器会鸣笛三声, 以表明可以进行工作, 保证设备的稳定运行。而后利用摄像头模块和 OpenCV 算法进

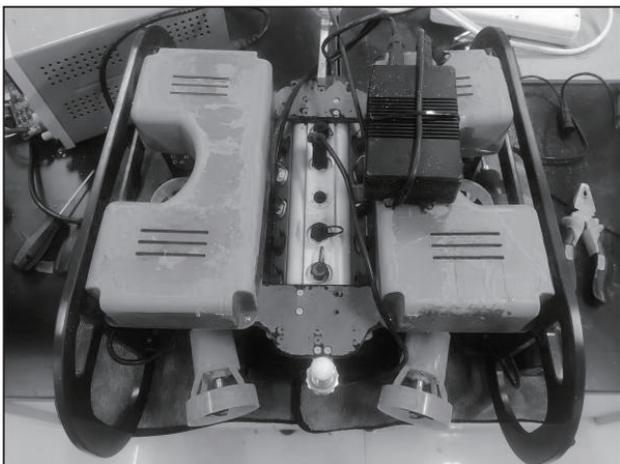


图 1 水下管道自巡检机器人

行循迹并检测管道周围环境, 将数据信息反馈至树莓派和计算机终端, 工作人员就能观测到是否存在问题, 若无问题再启动机器人。如图 1 所示。

而后利用摄像头模块和 OpenCV 算法进行循迹并检测管道周围环境, 将数据信息反馈至树莓派和计算机终端, 工作人员就能观测到是否存在问题, 若无问题再启动机器人。如图 2 所示。

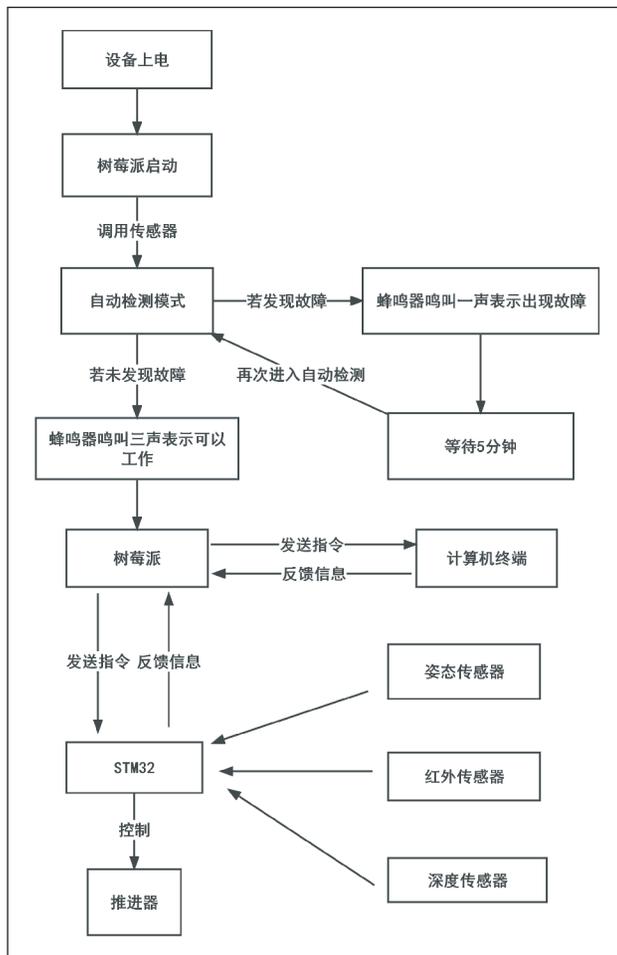


图 2 启动流程图

在运行过程中, 机器人若发现漏油情况会通过播报模块自动报警, 工作人员收到后就可对漏油点进行精准补修。以此完善的运行流程可保证机器人整体安全且稳定地实行功能, 大大提高了工作效率。如图 3 所示。

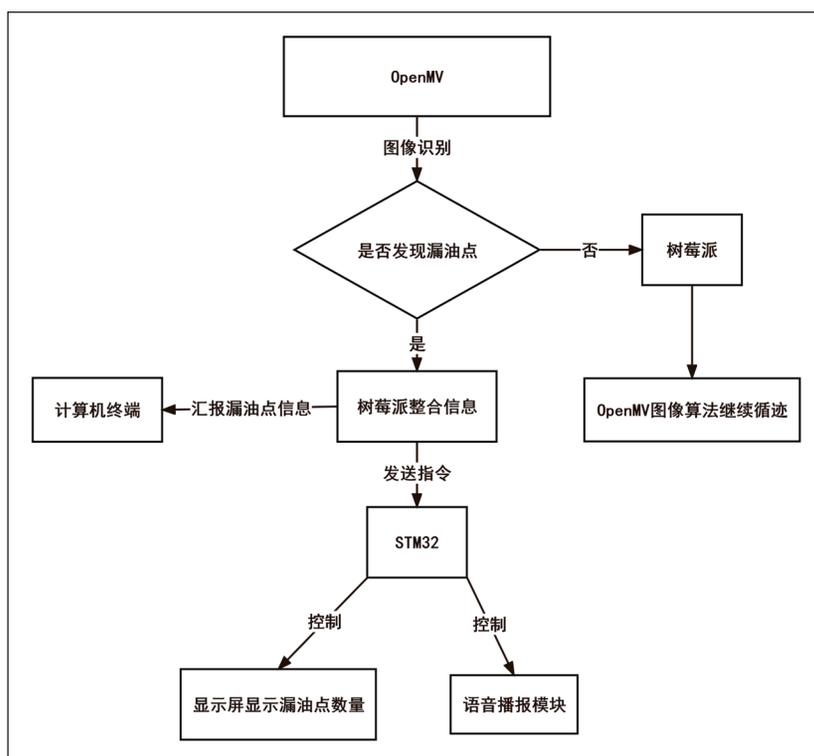


图3 检测漏油点流程图

2 硬件设计

2.1 整体架构

基于 OpenCV 的水下管道自巡检机器人由 STM32 单片机作为核心控制器，负责整个系统的控制和协调。使用稳定的电源供给对单个模块和组件进行电压供给，然后利用 OpenMV 模块和图像二值化处理等相关算法对图像进行捕捉和处理。接下来的步骤是根据处理后的图像数据，调整水下机器人的运动，使其沿水下管道的特定方向运动。

OpenMV 模块采集到的图像信号经过二值化处理后，可以传递给 STM32 微控制器进行进一步的图像处理。这种架构使得图像处理任务可以在不同的硬件设备上分担，实现更高效和灵活的系统设计。STM32 控制器利用接收到的图像信息控制运动组件，使机器人沿着水下管道游动、转弯等，实现航道的巡迹。在巡游过程中，利用 OpenMV 模块内置的库函数资源对管道上的黑色吸附物形状进行判断。STM32 单片机对数据进行整合处理，并将吸附物信息通过远程连接方式传输到计算机终端。该设备有实时监测功能，并可以通过播报模块来发出报警信息。这样的设计使得设备能够提供及时的警示和通知，以便人们对潜在的问题做出快速的反应和应对。

综上所述，该水下管道智能巡检机器人通过图像处理和算法实现对管道的巡检，在巡检过程中检测并显示吸附物信息，为水下管道巡检提供了自动化的解决方案。

2.2 OpenMV4 模块

OpenMV4 摄像机可以完成机械视觉算法中庞大输出的处置。通过与漏油点模型的比对，进行对管道漏点的识别与警报。同时可以对 Oled 屏幕和语音模块的对外输出进行控制。OpenMV 上搭载了 Micro Python 解释器，用户可以通过 Python 语言编写程序实现一系列的功能^[4]。

2.3 OpenCV 模块

OpenCV 具有完备的开发库以及开源算法，我们可以通过对开发库的调用以及对开源算法的改进，实现视觉识别在管道巡检方面的不断发展与突破。降低图像中介质的过程称为图像处理，图像处理方法是基于对图像进行清晰化的操作而进行的^[5]。

2.4 Raspberry 模块

Raspberry Pi 4B 是一款基于 ARM 架构的微型电脑，具备小巧的尺寸、较高的处理性能和丰富的接口。作为开源平台，它还具有强大的扩展性和开发者社区支持，可以满足不同用户的需求。智能管道巡检机器人仅占用了较少的空间资源，但依旧拥有强大的处理能力。同时为机器人内部预留了大量的电池能源存放空间，保证了机器人的续航能力。

RaspberryPi 4B 在各大领域应用广泛，具有完备的资源库。可以保证设备通过无线网络进行连接时高效且不易出错。

2.5 STM32F407 模块

STM32F407 具备高性能、丰富的外设和低功耗设计等特点，适用于各种需要高速处理和低功耗的应用场景。STM32F407 作为智能管道巡检机器人推力器的主控芯片，控制推力器、深度传感器、姿态传感器。保证机器人的稳定运行，以及数据的汇总处理，该单片机拥有实时功能强、功耗低、信号处理能力强、体积小等优点，具有 USART、I²C、定时器等丰富的外设，便于开发和应用^[6]。

2.6 串口 WiFi 模块

串行 WiFi 模块可以实现无线数据传输、采集和控制，为用户提供了更多的无线连接选项和灵活性。这种模块简化了数据传输过程，提供了更便捷和灵活的数据连接方式，适用于各种应用场景。

2.7 树莓派板载 WiFi 芯片

树莓派由于其使用开源易扩展的 Linux 操作系统，性能较强，接口丰富，因此常用于物联网等自动控制设备方面，

BCM4398 是一款低功耗、高度集成的 Wi-Fi 和蓝牙组合芯片^[7]。由于我们需要连接电脑进行图像和数据的高速传输，对 WiFi 芯片的性能提出了要求，将舵机的实时操控数据与树莓派进行同步。

■ 2.8 电源

整个水中自巡检机器人所需要的所有能量都由电源来提供。该水下机器人采用 12V 航模电池作为能源，并可以通过充电器对其进行充电。

因为 STM32 单片机的全部 I/O 引脚输出为 3.3V，并能耐受 5V 电压，因此需要将 12V 航模电池的电压降到适合的电平。使用 LM2596S 稳压电源模块，将 12V 航模电池的电压降到 5V，以满足 STM32 单片机和其他模块的电源需求。经过稳压处理后的 5V 电源被供给该水下机器人中的各个模块。

■ 2.9 运动组件

该设备具备 4 个垂直方向螺旋桨推进器和 2 个水平方向螺旋桨推进器，这种配置使得设备能够实现在垂直和水平方向上的运动和操控，从而适应不同的应用场景和任务需求。垂直推进器的主要作用是实现机器人在水中的上浮和下沉运动。借助垂直推进器，机器人能够控制自身的浮力，使其能够在水中自由地上升和下沉。水平螺旋桨的主要功能是实现机器人在水中和偏航方向上的前后运动。利用水平推进器，机器人能够在水中实现平稳的前进和后退，并且能够进行准确的偏航导正操作。另外，金属配重块用于帮助机器人控制浮力和保持平衡，以确保垂直推进器能够准确地控制机器人的上浮和下沉动作。

3 远程连接方式

■ 3.1 远程连接方式之 SSH

SSH 是当下较流行的一种开源框架，JSP 页面发送请求给 Struts 控制器，Struts 控制跳转，Service 层负责逻辑的处理，Hibernate 实现对数据库进行操作，Spring 负责管理 Struts 和 Hibernate，采用这样的框架模型进行开发，能够很好地实现各层之间的分离，减小各层之间的耦合度，提升开发效率的同时降低维护难度，ssh 进程在后台运行，响应连接请求，它包括公钥认证、密钥交换、对称密钥加密和安全连接，其工作原理是本地客户端向远程服务器发送连接请求，服务器检查请求的报文和 IP 地址，然后将密钥发送给 SSH 客户端^[8]。

■ 3.2 远程连接方式之 VNC

VNC 基本组成为两部分：一部分是客户端的应用程序 (vncviewer)，另一部分是服务器端应用程序 (vncserver)，VNC 协议 Protocol (RFB)，传送服务端的原始图像到客

户端（一个 X,Y 位置上的正方形的点阵数据），客户端传送事件消息到服务端，服务器发送小方块的帧缓存给客户端^[9]。在我们智能深海管道巡检机器人运行时，我们仅使用 VNC 进行图像数据的传输，其他涉及安全性的操作（比如停下，强制前进等）则仍然使用 SSH 协议进行操作。

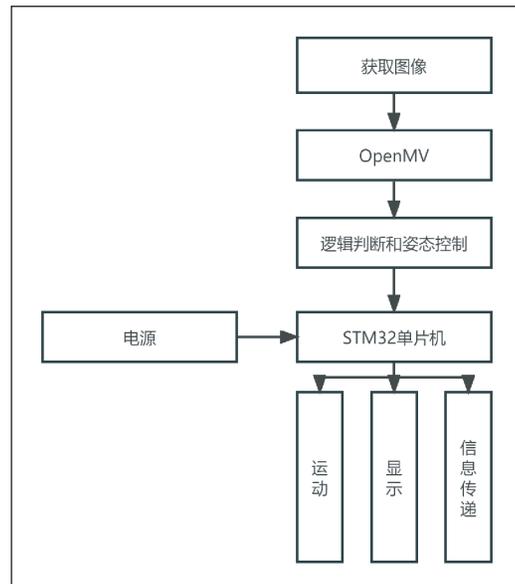


图 4 总体框架图

4 软件设计

该程序首要利用 Python 语言实现，程序的流程按照图 4 所示进行。程序的具体流程如下：首先进行系统初始化，OpenMV 模块的初始化过程涉及检查模块连接和电源供给，引入相关库，建立通信，配置参数，以及最终启动模块，使其进入可用状态。初始化 STM32 单片机，确保它能够响应和处理各种中断事件。初始化树莓派，确保它与其他设备的连接正常，并准备接收和处理来自其他组件的信号。启动程序后，水下机器人被释放，并沿着白色管道进行运动，包括直行、直行左转、直行右转以及检测到异物等操作。

摄像头实时将数据传输到主控板，主控板通过算法对可能出现的情况进行判断和调整。根据不同情况，程序采取相应的措施：如果发现直行偏移，通过左右微调使机器人保持在管道上方，并通过串口回传信息；如果发现需要左转，单片机控制机器人左转，并通过串口将其发送回来；如果发现需要右转，单片机控制机器人右转，并通过串口将其发送回来；如果检测到异物，单片机进行图片处理和数据整合，将信息传送到计算机终端，并通过语音传感器进行示警。

整个程序循环运行，完成水下管道自巡检的工作。程序通过串口回传和相应的控制算法，使机器人在管道上方保持稳定，并能够检测到并报告管道的异常情况，如直行偏移和

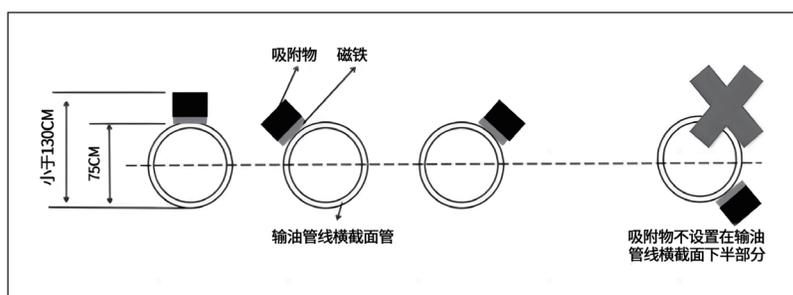


图5 管道截面图

异物的存在。

5 功能运作概述

对于水下管道自巡检机器人，我们采用密封舱形式的水下机器人形状，将系统硬件放入密封舱里，而其他部分一一做好防水处理。

在实验室实验中，我们以吸附物代替管道破裂进行模拟检测与识别。如图5所示。

吸附物为实心黑色物体，其截面为正方形、圆形两种，边长或直径尺寸限制在30~50mm范围，厚度不大于30mm。如图6所示。

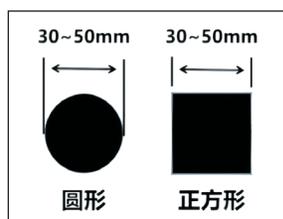


图6 吸附物截面图

OpenMV 首先进行管道和吸附物的图像识别，得到图像的灰度值，识别坐标信息。此外，我们将使用 OpenCV 将输入的 RGB 图像进行二值化处理，首先使该图像分割成背景部分和目标部分，其次为了避免对比度和光照不均匀对二值化的影响，要先对图像进行顶帽处理，再把整幅图像进行高斯滤波处理并进行腐蚀操作和膨胀操作，最后经过逻辑判断进行输出^[10]。

完成图像处理之后，图像处理结果被传递到树莓派，它

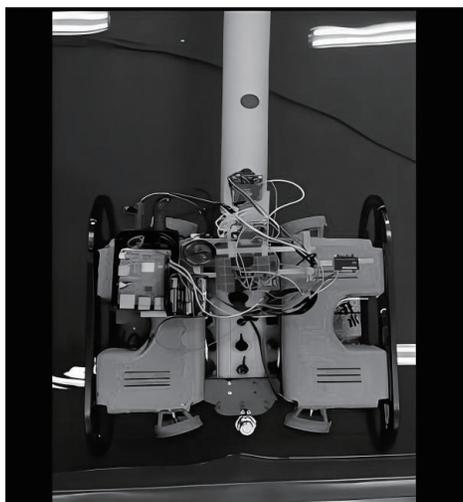


图7 机器人巡检

负责进一步处理和整合信息，并将相应指令发送到 STM32 以实现相关控制动作。这种架构可以实现远程控制和数据处理的分

离，并提供了一种灵活的方式来处理和不同设备之间的交互整合。当设计完成后，指令可以被发送至 STM32 微控制器，以实现

6 结语

该设计利用图像处理实现了基于 OpenCV 的水中自

参考文献

- * [1] 王乐, 纪竟, 邓彦松. 基于图像分割的水下管道检测机器人设计 [J]. 机器人技术与应用, 2017 (04).
- * [2] 钟思, 付书媛, 李玉寒, 等. 水下管道智能巡检清理机器人的设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2021 (13): 99-100.
- * [3] 徐玉如, 庞永杰, 甘永, 等. 智能水下机器人 技术展望 [J]. 智能系统学报, 2006 (1): 9-16.
- * [4] 施敏虎, 栗云鹏, 庄曙东, 等. 基于 OpenMV 的智能搬运车型机器人的设计 [J]. 机械工程师, 2020 (2): 20-22, 25.
- * [5] 钱平, 顾才东, 马建圆, 等. 基于 OpenMV 的水下机器人管道巡检比赛策略研究 [J]. 无线互联科技, 2021, 18 (1): 100-101, 120.
- * [6] 姚守峰, 陈修贤, 郝前勇, 等. 基于 OpenCV 的管道巡检水下机器人的设计与实现 [J]. 计算技术和自动化, 2023,42(01): 58-61.
- * [7] 郝林炜, 梁颖. 基于树莓派 + 云服务器的网络监控及家居控制系统的研究与实际应用 [J]. 物联网技术, 2016,6(09).
- * [8] 马睿, 王振, 梁栋茂, 等. 基于 SSH 框架的小说网站管理系统设计与实现 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2020(07).
- * [9] 吴浪武, 吴静进, 吴馨, 等. 基于 VNC 工业控制监控系统的设计研究 [J]. 内燃机与配件, 2022(19).
- * [10] 张文超. 基于 OpenCV 的仪表图像识别技术的研究与应用 [J]. 中国设备工程, 2023,(03): 97-100.

基于 STM32 单片机的智能小车设计

唐志军^{1,2}, 何欣荣²

(1. 长沙轨道交通职业学院, 湖南长沙, 410323; 2. 湖南科技大学, 湖南湘潭, 411201)

摘要: 随着信息技术的不断发展, 设备智能化逐渐成为智能制造领域关注的重点。在对智能化设备的研制中, 智能小车的设计已成为热点。基于STM32单片机, 本文设计一款低成本智能小车, 其硬件部分主要由STM32F103C8T6系统板、电机驱动模块、红外循迹模块、超声波测距模块、蓝牙模块以及相关电路组成。在硬件设计的基础上, 给出电机控制、小车循迹、超声测距跟随和蓝牙控制等软件设计方案, 并在Keil μVision5集成开发环境下编写智能小车系统的控制程序。此外, 制作小车实物, 并进行测试分析。结果表明, 所设计的小车具备循迹、蓝牙控制、超声定距、跟随等功能, 可以应用于中小型工业制造等应用领域。

关键词: 智能小车; STM32单片机; 蓝牙; 循迹; 跟随

0 引言

近几年, 国家先后发布了《“十四五”智能制造发展规划》《新一代人工智能产业发展三年行动计划(2021—2023年)》等一系列政策, 为智能车的发展提供了更为有利的条件, 同时也极大地推动了制造业数字化、网络化、智能化发展。国外关于移动机器人的技术研究已经达到了较高水平, 主要聚焦于人工智能、智能导航、机器视觉等相关技术的研究^[1-2]。与国外发达国家相比, 我国虽然在移动机器人的研究上起步较晚, 但在移动机器人领域的研究中也积累了大量先进技术, 在世界上的机器人研究领域占据了一定的优势。据相关部门统计, 连续八年我国一直是机器人需求量最大的国家, 从汽车领域到教育领域、从轨道交通到飞行器领域, 这些领域均有智能机器人的应用^[3-5]。智能小车系统集中运用了信息处理、通信、传感器、电子、人工智能和自动控制等技术, 它具备自主规划、自主决策、自主行驶等功能^[6-7]。为此, 基于红外传感、超声波和蓝牙等技术, 本文设计了一款低成本智能小车。所设计的智能小车具备循迹、蓝牙控制、超声定距跟随等功能, 可以应用于救援机器人、危险环境探测机器人、玩具制造行业等领域, 对机器人的设计具有一定的参考价值。

1 总体设计方案

在智能小车的设计过程中, 要使小车达到设计要求, 以下几个核心的问题必须得到解决: 给系统所用到的各模块合理分配IO口; 各模块的初始化; 蓝牙串口通信的实现; 如何按键控制小车工作模式; 小车循迹功能的实现; 小车测距跟随功能的实现; OLED屏幕显示; 电机驱动方案的设计等。

在对系统的设计要求、成本及系统后续的可开发性进行全面地考虑后, 确定智能小车可以提供的基本功能主要包括自主循迹、超声波定距跟随和蓝牙控制, 并确定智能小车由主控制芯片模块、超声波模块、电机驱动模块、蓝牙模块、循迹模块等基本模块组成^[8]。若后续还需要为小车添加其他功能, 可以在原来预留的单片机输入输出接口上添加相应的模

块, 并对整个代码进行修改, 这样就可以提高系统的可开发性^[9]。本设计采用了模块化方法, 因此在后期可以单独对某个模块调试, 也可以单独对某个故障模块进行更换。

在给出小车相应功能所需要的模块后, 则需要将各模块之间相互联系起来, 其基本原理可描述如下:

(1) 小车的循迹功能实现: 红外传感器接收信号并将信号转发给单片机, 单片机接收到信号后对所接收到的信号进行处理判断小车是否偏离行驶路线, 若小车行驶路径产生偏移则向电机驱动芯片发送纠正的信号使得小车回到所规定好的路线之上, 以此循环往复, 最终达到所要求的小车循迹功能。

(2) 小车的自动跟随功能实现: 超声波传感器接收信号将其发送给单片机, 单片机接收到信号后对超声波模块的信号进行处理, 测量小车前进轨迹上跟随目标距离的距离, 并向电机驱动芯片发送信号控制小车的速度使小车与跟随目标保持所设定的距离, 实现跟随功能。

(3) 小车的蓝牙遥控功能实现: 在上位机通过蓝牙模块与单片机建立联系的前提下, 蓝牙模块接收来自上位机发送的控制信号并将所接收到的信号以无线传输的方式转发给单片机, 单片机接收蓝牙模块转发的信号后, 对该信号进行处理, 向电机驱动芯片发送信号控制智能车的转向、加速、减速、刹车^[10]。同时上位机也可接收来自小车所返回的信息, 显示小车当前的速度、工作模式等一系列状态信息。

总之, 所设计的智能小车由单片机接收来自各传感器的信号并处理, 最终将所需要小车实现的动作信号送给电机驱动芯片控制电机作出相应的动作以达到小车的正常工作^[11]。

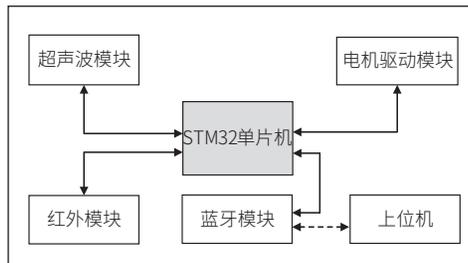


图1 智能小车系统原理框图

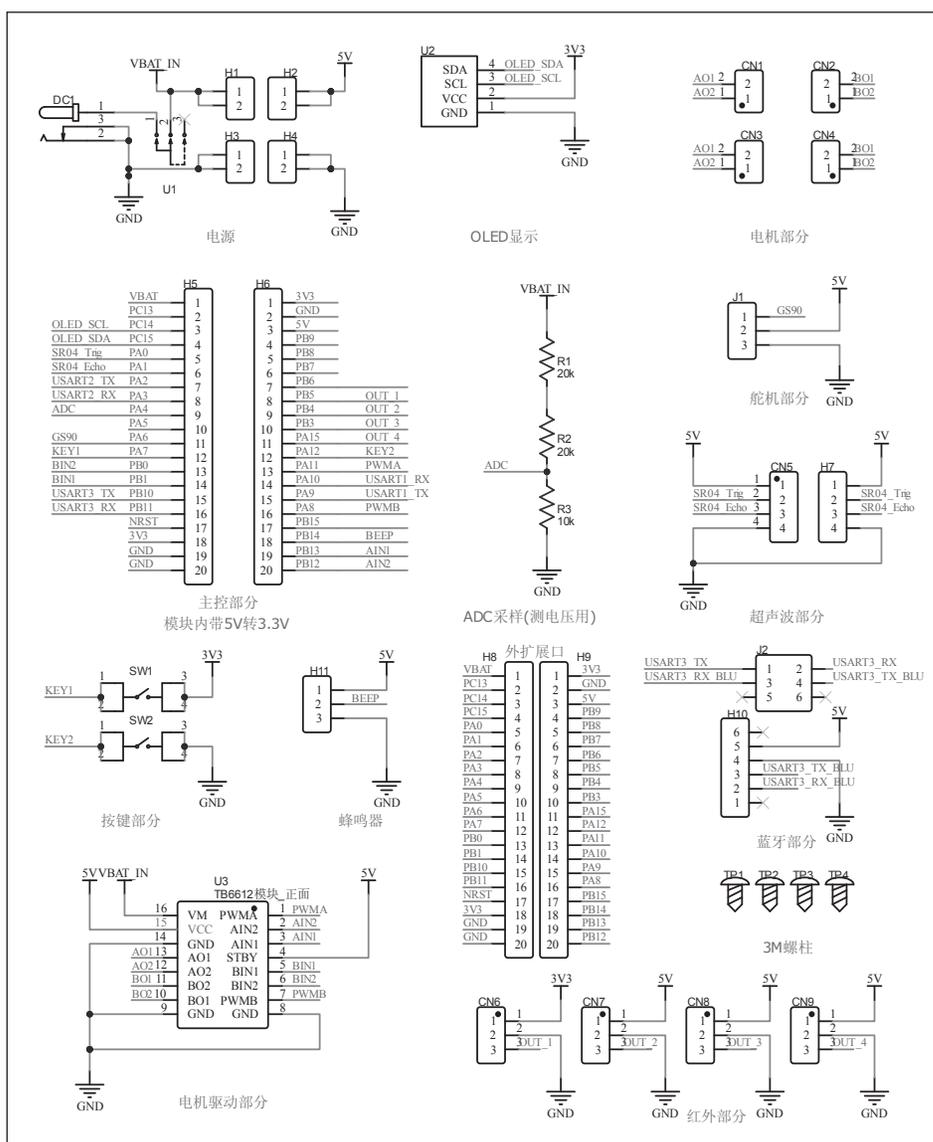


图2 总体硬件电路

智能小车系统工作的原理如图1所示。

2 硬件设计

本设计采用模块化的方式实现,为了保证电路的整体稳定性,将各模块焊接到电路板上,采用该设计方法有利于对损坏部分的更换以及后续功能的增加,可以降低整套系统的成本,并为其进一步开发提供了前提条件。基于模块化的设计方式,智能小车系统主要实现四个功能,分别为模式0(待机模式)、模式1(跟随模式)、模式2(蓝牙控制模式)、模式3(循迹模式),上电后小车处于待机模式,小车停止不动,通过按键控制可对小车的模式进行更改^[12]。智能小车各功能模式的具体描述如下:

(1) 模式0(待机模式)。在此模式下小车停止不动,等待按键或者上位机传达模式更改信息。

(2) 模式1(跟随模式)。

在此模式下,小车启动超声波测距模块,测量小车与前方跟随物体之间的距离,当距离小于所设置的阈值时小车后退,当距离大于所设置的阈值时小车前进,当距离等于所设阈值时小车停止不动,在这一模式中小车还会接收来自按键或者上位机模式转换指令。

(3) 模式2(蓝牙控制模式)。在此模式下小车与上位机通过蓝牙模块建立连接,上位机可以通过蓝牙给小车发送前进、后退、左转、右转、模式更改指令,同时上位机也可接收来自小车发送的信息。

(4) 模式3(循迹模式)。

在此模式下,小车接收红外对管模块的四路信号,对其进行判断,使小车按照预先设定好的路径行驶,在这一模式中小车还会接收来自按键或者上位机模式转换指令。

智能小车系统的硬件模块

主要包括:STM32F103C8T6

最小系统、红外循迹模块、超声波模块、蓝牙通信模块、电机驱动模块、电源模块、按键电路模块、OLED显示模块等^[13]。其总体硬件电路如图2所示,各主要模块选择及主要功能简要描述如下:

(1) STM32F103C8T6最小系统。STM32单片机与传统的51单片机相比,具有片上资源丰富、输入输出接口资源丰富、开发周期短等优点。此外,32单片机具有64KB闪存存储容量、20KB静态存储容量,相较于其他单片机而言,32系列单片机所能够存储的程序更长,能够应用到数据量大的运算环境中。

(2) 红外循迹模块。目前,市场上应用比较广泛的是图像传感器和红外反射传感器以及电磁传感器,这三类传感器各有优点。考虑到成本问题,本设计采用TCRT5000红外反射传感器来实现小车的循迹功能。为确保小车循迹的精

确度，在可以接受的成本范围内增加传感器的数量，采用四个红外反射传感器提高检测精度。

(3) 超声波模块。采用 HC-SR04 测距模块，该模块主要由发射器、接收器、主控芯片和相关外围电路构成。该模块能够利用超声波实现测距，可实现 0.02m~4m 范围内的测距。在测距过程中，超声波发射器受到单片机控制，发射超声波，超声波遇到障碍物时信号被反射，超声模块的接收器接收到被反射回来的超声波后，返回给单片机一个持续时间与距离有关的高电平信号，单片机根据这些信息计算出障碍物与小车之间的距离^[14]。

(4) 蓝牙通信模块。无线通信方式种类繁多，WiFi、卫星、光、蓝牙等通信方式都是目前在物联网领域中应用比较广泛的无线通信手段^[15]。在本设计中，所需要传递的信息较简单，考虑到系统的成本和实用性，采用高集成度的 HC-05 蓝牙模块来实现单片机与上位机之间的通信^[16]。

(5) 电机驱动模块。智能小车要能够做出复杂的动作，离不开小车上搭载的四路直流电机。但对于单片机而言，直接使用单片机驱动直流电机难以现实，如果直接使用单片机的 GPIO 口驱动直流电机可能会造成单片机的烧毁，而且单片机的 GPIO 口也不能提供直流电机工作所需要的电流。因此，在使用单片机控制直流电机的场景中通常会使用到电机驱动芯片来控制直流电机，使直流电机既可受到单片机控制又能满足电机的工作条件。现在市场上使用较为广泛的电机控制芯片有：L9110 电机控制芯片、L298N 电机控制芯片、TB6612 电机控制芯片等，它们各有各的优势。在本设计中使用到的电机较多、电机功耗较大，所以本设计中选择 TB6612 电机驱动模块作为四路直流电机的电机驱动，与 L9110 芯片和 L298N 芯片相比，它所占体积小、能够驱动两路直流电机、芯片整体的发热量少、支持 PWM 调速、性能更好。

(6) 电源模块。本设计中需要为小车的四路直流电机进行供电，故需要一个功率较大的电池以保证四路直流电机能够正常工作且能够达到所需要的速度要求。为了达到这一设计要求，采用 12V 锂电池作为整个系统的电源部分，12V 电压直接输入电机驱动电路模块，由驱动电路从 12V 电源中取电压供电机工作。但是，由于 STM32F103C8T6 系统板的正常工作电压最大选择为 5V（内部含 5V 转 3.3V 降压模块的系统板），考虑到电机所需功率以及整个电路的安全，所以小车系统的电源不能够直

接为单片机供电，需要增加一个降压电路（MP1584EN 降压模块）将 12V 电压降为 5V，从而为整个系统板供电。

3 智能小车软件设计

本设计综合运用模块化和自上而下的方法来设计智能小车系统的程序，将小车使用到的各个模块的软件部分分开设计，封装后在主程序中调用。以这种方式来实现对硬件设备的驱动，可以显著降低主函数的长度。本设计采用 Keil μ Vision5 对 STM32 单片机进行软件开发。

■ 3.1 子模块软件设计

各个主要功能模块的软件设计描述如下：

(1) 红外循迹软件设计

小车系统的四路红外对射传感器在进入循迹模式后自动采集数据，通过四根数据线传递给单片机需要，由单片机的四个 GPIO 口（PB5、PB4、PB3、PA15）接收数据，在相应的循迹程序中对这些数据进行逻辑判断，完成后再控制小车的运动方向。整个过程可以抽象为单片机读取数据并处理、单片机发送控制指令控制小车实现某一动作，不断循环这一过程，最终实现小车循迹的设计要求。红外循迹程序流程图如图 3 所示。

(2) 超声波跟随软件设计

小车的跟随功能通过超声波测距来实现，要求小车与前方被测物体之间的距离保持在预先设定值，这一过程可以抽象为：小车上的单片机控制超声波测量前方被跟随物体的距离，判断这一距离是否符合所设的距离阈值，如果大于该阈值则由单片机控制小车前进，如果小于该阈值则由单片机控制小车后退，不断重复这一过程以实现小车的测距跟随功

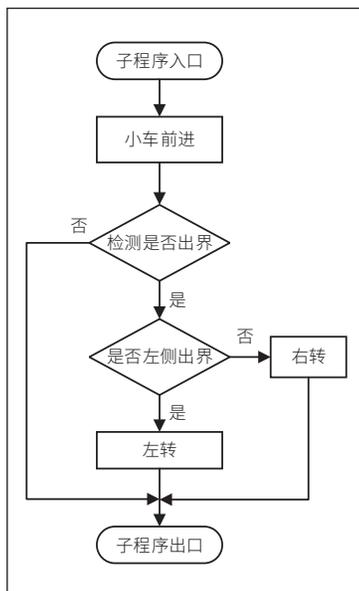


图3 红外循迹程序流程

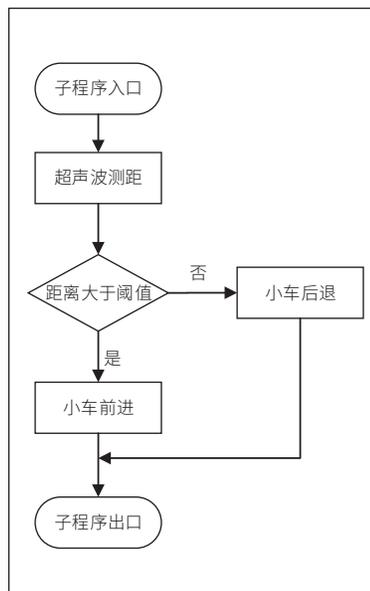


图4 超声定距跟随流程

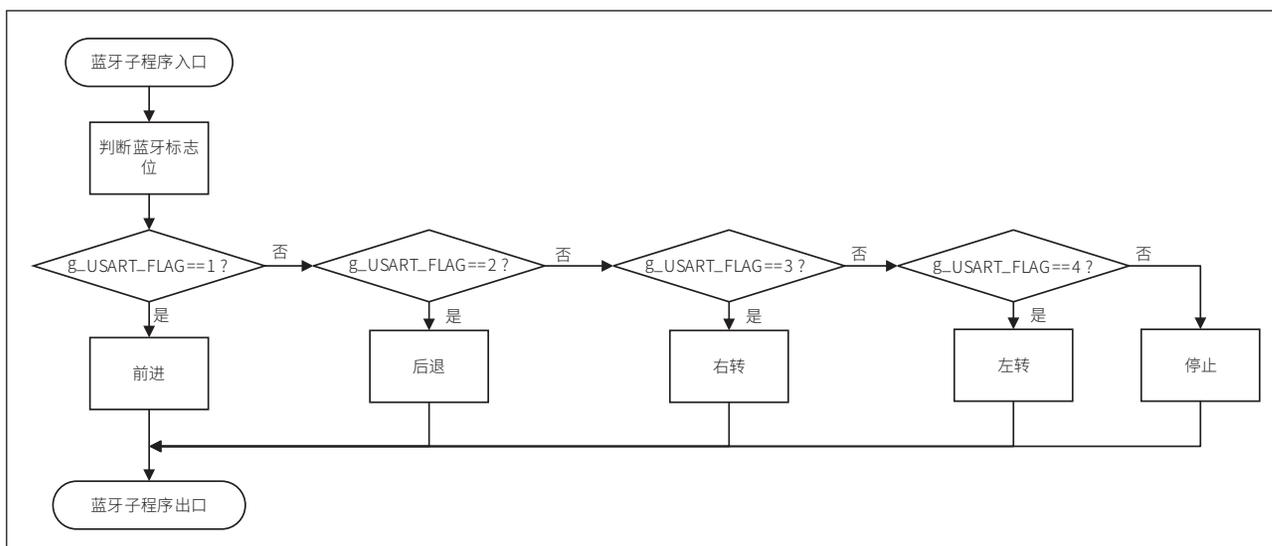


图5 蓝牙控制流程

能。超声定距跟随流程如图4所示。

(3) 蓝牙控制软件设计

小车与上位机之间通过蓝牙模块进行通信，为了便于调试采用串口通信的方式，所用到 STM32 单片机上的 GPIO 口为 PB11（复用为 USART3_RX，作为单片机接收蓝牙数据的端口）、PB10（复用为 USART3_TX，作为单片机发送数据给蓝牙模块的端口），由软件设计的过程可知，该模块同样要对 GPIO 口进行初始化。需要注意的是，在初始化过程中，单片机发送数据 IO 的模式应改为复用输出，具体模式的设置可以查看手册上的 GPIO 口模式设置推荐。在使用单片机 GPIO 口的同时还使用到了单片机的片上外设 USART3，所以该模块的软件设计还需要对 STM32 单片机的串口 3 进行初始化，主要包括串口通信的波特率、发送的数据长度、有无校验位、停止位长度、有无硬件流控制等参数的设置。蓝牙控制流程如图5所示。

(4) 电机驱动软件设计

小车的动作主要可以分为五种，分别为前进、后退、左转、右转、刹车，在实现这五种动作的基础上更改每个动作的持续时间可以让小车实现更加复杂的动作^[17]。小车前进与后退、左转与右转的实现逻辑刚好相反。方便起见，在此只对小车的前进、左转进行分析。根据直流电机的工作特点，小车做出前进动作，即给电机一个正的电压差使其正转，只需给相应管脚置高电平或低电平就可以让电机正转，使小车前进。由于只使用了一个电机驱动模块来驱动四路电机，流过芯片上的电流较大，所以使用 PWM 波对电机的速度进行控制，以此保护直流电机驱动芯片。小车左转的原理是驱动小车左侧车轮反转，而右侧车轮正转，利用两侧车轮的差速来实现小车左转的动作。

(5) OLED 显示软件设计

由于 OLED 显示模块需要用到 I²C 通信，其实现方法可以通过硬件或软件。为便于 I²C 通信模块程序的移植，在本设计中采用软件模拟的方法来实现 I²C 通信。软件模拟 I²C 通信的过程中，首先需要对使用到的 GPIO 口初始化，以及相应时钟输出频率的调节；然后单片机发送从机（OLED 模块）地址，等待从机返回确认数据，接收到确认信息后，主机以每次 1 比特的速率发送数据直至数据发送完成后，再发送停止命令完成一次 I²C 通信。OLED 显示流程如图6所示。

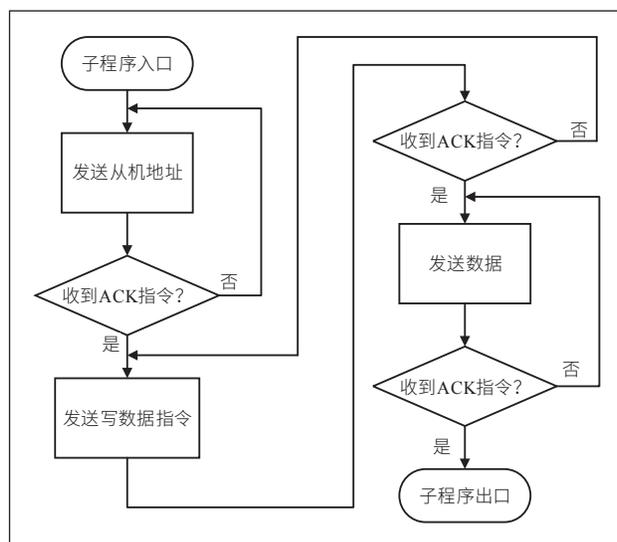


图6 OLED显示流程

3.2 主程序设计

如上所述，使用模块化编程的方法，完成了智能小车系统的各模块的软件设计，主要包括红外循迹、超声波定距跟随、蓝牙通信控制、电机驱动、按键检测、OLED显示等软件。因此，还需要一个主函数来实现这些子模块之间相互协调。

主程序主要完成的工作包括：

(1) 初始化。在主程序中，最重要的为初始化部分，若初始化过程中出现了错误，将导致某一模块无法正常工作甚至是整个系统都无法工作。因此，在编写主程序时需要格外注意初始化过程。本设计中使用了单片机的诸多资源，如定时器、串口 USART、中断等，同时还通过单片机上的 GPIO 口为 STM32 系统板添加了 OLED 模块、超声波模块、电机驱动模块、蓝牙模块，在主程序开始时对这些使用到的资源初始化，便于后续对这些资源的使用。

(2) 模式控制。实现对小车工作模式的选择可以在主函数的 while 循环中一直判断模式选择状态值 Mode，相应的 Mode 值对应不同的工作模式，当 Mode 改变时系统便会进入另一个工作模式。

单片机上电后，主函数调用一系列初始化函数，将所有外部模块、GPIO 口等资源初始化，同时小车被设置为待机模式（模式 0），在此状态下小车停止不动，待机模式更改指令的发出。当按键（Key1 或者 Key2）按下，程序产生中断，进入到相应的中断函数中，并在中断程序中完成对 Mode 值的变更，根据所需要的模式选择按键按下的次数，并参考 OLED 显示屏上所显示的当前模式信息来选择小车当前模式。

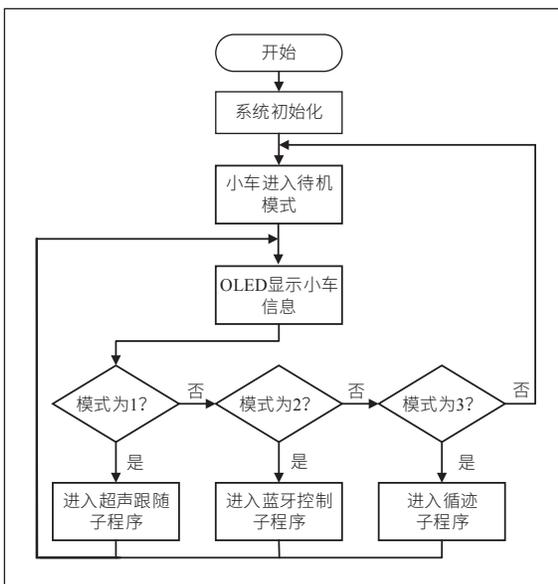


图7 主流程图

3.3 结果分析

单片机上电后，小车默认为待机模式，此时模式值 Mode 为 0，小车停止不动。从 OLED 显示屏上可以看出小车的状态（“Mode”表示模式、“D”表示距离、“U”表示电池电压），如图 8 所示。小车处于待机模式时，模式更改按键（Key1）按下一次，小车进入模式 1（超声跟随

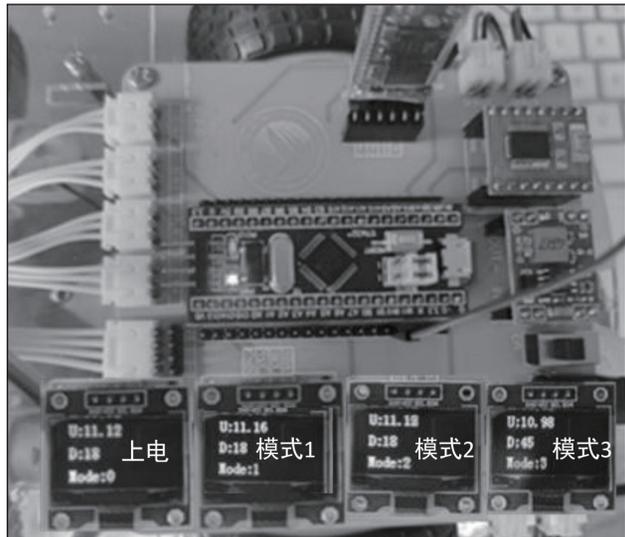


图8 小车上电及不同模式下的调试结果

模式），小车跟随前方目标并与其距离保持在一定的范围内，此时 OLED 显示信息如图 8 所示。小车处于超声跟随模式时，再次按下模式更改按键（Key1），小车进入模式 2（蓝牙控制模式），进入此模式后在手机上通过蓝牙调试器 APP 建立手机与单片机蓝牙的连接，通过调试器发送控制命令控制小车，此模式下小车上 OLED 显示信息如图 8 所示。小车处于蓝牙控制模式时，再次按下模式更改按键（Key1），小车进入模式 3（红外循迹模式），进入此模式后将小车放置在事先设定好的路线上，小车会沿着这条路线进行循迹。处在蓝牙控制模式下如果再按一次模式更改按键，小车工作模式会回到第一个模式（超声跟随模式）。小车处于模式 1、模式 2、模式 3 这三种模式中的任何一种时，若模式重置按键（Key2）被按下，小车工作模式转换为模式 0，小车进入待机状态，停止在原地不动。

4 结语

本文所设计的智能小车以 STM32F103C8T6 单片机为核心，采用 PWM 技术实现电机转速控制、红外对射传感器实现循迹、超声波模块实现测距功能，小车与上位机之间的通信通过蓝牙模块实现。当小车在循迹模式下移动的时候，使用红外线探测电路来实现小车循迹的功能，小车会按照预定的路线向前移动。小车在超声跟随模式下，利用超声波传感器检测小车与被跟随对象之间的距离，再由单片机控制小车直流电机驱动小车跟随该被跟随对象，使其始终与该被跟随对象保持在预定的距离之内；当智能小车工作在蓝牙遥控模式下时，STM32F103C8T6 单片机与上位机（手机）通信，并传递控制指令；单片机在接收指令后，对电机控制，实现转向、加速、减速一系列动作，或改变小车运行模式。此外，

本设计在蓝牙控制距离、跟随和其他功能等方面还有待进一步改进与完善。

参考文献

- * [1] C. Tiriolo, W. Lucia. A Set-Theoretic Control Approach to the Trajectory Tracking Problem for Input-Output Linearized Wheeled Mobile Robots[J]. IEEE Control Systems Letters, 2023, 7: 2347-2352.
- * [2] H. S. Hewawasam, M. Y. Ibrahim, G. K. Appuhamillage. Past, Present and Future of Path-Planning Algorithms for Mobile Robot Navigation in Dynamic Environments[J]. IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 2022, 3: 353-365.
- * [3] 黄强, 孟非, 余张国, 等. 陆空协同多模态智能机器人系统发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(5): 120-125.
- * [4] 王天一. 超声波测距技术在室内机器人定位系统中的应用[J]. 物联网技术, 2023, 13(04): 31-33+36.
- * [5] 武泐光, 黄宇新, 张俊辉, 等. 全向自主跟随智能车设计[J]. 物理通报, 2023(04): 155-156+161.
- * [6] 高婉婷, 曳永芳. 基于 STM32 智能小车避障系统的设计[J]. 物联网技术, 2023, 13(02): 131-135.
- * [7] 杨阳, 刘庆华. 基于 STM32 的智能小车设计[J]. 无线互联科

技, 2022, 19(21): 20-24.

- * [8] 胡海. 基于单片机的自适应避障小车的设计[J]. 微型电脑应用, 2017, 33(04): 45-47.
- * [9] 张微, 杨博云, 王韵琪. 基于 STM32 的车辆智能避障控制系统设计[J]. 科技视界, 2019, (32): 24-25.
- * [10] 王钰, 朱琳, 苏世雄, 等. 基于 STM32 的双模式智能避障小车系统设计与实现[J]. 自动化与仪表, 2021, 36(03): 33-36+54.
- * [11] 蒋金桥, 黄海波. 智能车轨迹预测及动态避障[J]. 中国科技论文在线精品论文, 2023, 16(01): 1-7.
- * [12] 仇越. 基于 STM32 的智能小车设计[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(04): 158-159.
- * [13] 刘晨, 崔斌. 基于单片机的智能循迹小车设计[J]. 时代农机, 2019, 46(03): 99-103+108.
- * [14] 程望斌, 刘源, 陈茉莉, 等. 智能超声波测距系统设计[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2023, 36(01): 44-48.
- * [15] 姚丽娜. 基于 STM32 的 WIFI 智能小车[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(24): 106-108+123.
- * [16] 刘旻. 基于 STM32 单片机的手机蓝牙无源锁设计[J]. 电子世界, 2021(15): 194-195.
- * [17] 徐寅, 赵东阳, 周厚奎. 基于 STM32 的农业智能小车设计[J]. 电子制作, 2019(15): 24-25+40.

(上接第 71 页)

运行平稳调整时间短。

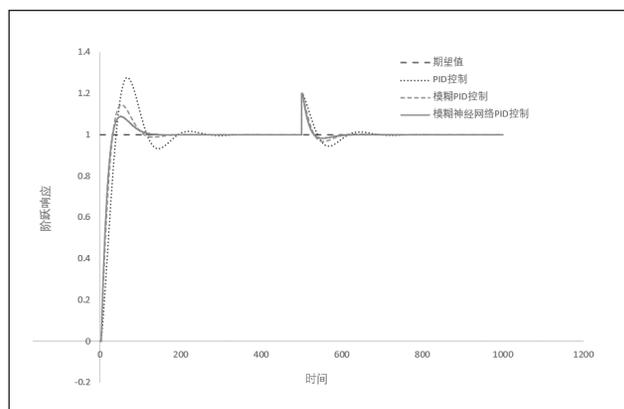


图 6 加入扰动的三种控制器仿真结果

4 结论

变压器油色谱恒温箱控制系统是一种时滞性的非线性系统。本文分析变压器油色谱恒温箱控制系统对温度要求响应快, 控制精准的需求, 设计出了将 BP 神经网络加模糊控制加传统 PID 控制的组合控制模式, 实现了对系统温度稳定控制的目的。这种控制模式通过模糊化输入变量, 依据隶属函数和模糊规则推理得到 PID 调控因子, 再利用 BP 神经

网络以梯度下降法对隶属中心值和基宽和权值进行学习训练。通过使用 Matlab 软件对传统 PID、模糊 PID 和模糊神经网络 PID 进行仿真, 通过实验数据分析得出模糊神经网络 PID 控制模式具有响应速度快、控制精准高、抗干扰性好、收敛速度和系统的鲁棒性优秀等优势。该控制模式可以满足变压器油色谱恒温箱控制系统中对温度高要求的需求。

参考文献

- * [1] 刘文君, 贺馨仪, 王彬, 等. 基于异常检测集成算法的油色谱在线监测数据质量评价体系[J]. 电网与清洁能源, 2022, 38(08): 16-23.
- * [2] 陈星. 基于模糊神经网络 PID 控制的花茶烘焙温控系统设计[J]. 食品与机械, 2020, 36(09): 131-137.
- * [3] 陈飞, 丁曙光, 董玉革. 基于 BP 神经网络优化模糊 PID 控制的防爆门控制策略研究[J]. 现代制造工程, 2022(12): 111-116.
- * [4] 刘瑞涛. 基于 PLC 的煤矿风门模糊 PID 控制系统设计[J]. 煤炭技术, 2023, 42(03): 289-291.
- * [5] 唐雅楠, 景会成, 赵欣. 基于模糊神经网络 PID 算法的稀土冶炼炉温控制[J]. 电子设计工程, 2019, 27(08): 19-23.
- * [6] 刘豫飞, 刘德军. 基于模糊 PID 技术的复合结构温室系统设计[J]. 农机化研究, 2023, 45(12): 45-49.

通信作者: 傅中君。

基于 STM32 的模块化智能消毒门锁设计

陈伟杰, 彭佳辉, 张江龙, 李兢
(湖北工业大学, 湖北武汉, 430068)

摘要: 一些人员密集场所的门把手容易成为卫生死角, 且市面上的智能门锁普遍为一体化设计, 检修麻烦。故该文通过比较常用表面消毒方法的优缺点, 选择紫外线消毒法对门把手进行消毒并设计了一种具有消毒门把手模块的智能门锁, 可在用户开门后通过内部的人体存在模块检测用户离开情况, 并在用户离开后智能高效地对门把手进行消毒。同时, 该门锁采用模块化设计, 将各功能模块安置在外壳表面, 通过接口与内部电路连接, 降低了检修成本。

关键词: 模块化; 智能消毒门锁; STM32单片机; UVC-LED

0 引言

据相关研究显示, 如医院, 学校等人员流动密集的场所的门把手容易成为细菌, 病毒藏身的卫生死角, 对门把手的卫生消毒不容忽视^[1,2]。而目前的方案, 如一次性使用撕拉型门把手保护套^[3]和新型卫生防护门锁^[4]等研究, 普遍存在消毒不及时, 消毒效率不高, 管理不方便等问题。

另一方面, 市场上的智能门锁一旦出现故障, 一般需要专业人员上门维修或送厂返修, 检修流程繁琐, 所需周期长。

因此本文针对门把手的卫生需求和门锁的维修问题, 设计一款模块化智能消毒门锁, 可以在满足门锁需求的基础上, 解决门把手消毒问题, 同时便于检修。

1 总体设计

1.1 消毒技术分析

对于物体表面的消毒杀菌, 研究表明常用的方法有紫外线消毒法、臭氧消毒净化法、化学消毒法^[5]等。

化学消毒法是一种利用化学药剂破坏微生物的细胞壁、细胞膜和核酸等结构以杀灭细菌、病毒的技术。其经济简单, 杀菌效果好, 适用范围广, 但一些化学试剂长期使用也会对人体造成伤害, 且容易产生二次污染。另外, 该种消毒方法需要不断添加消毒剂以补充消毒剂损耗, 难以进行便捷高效的管理。

紫外线消毒法是一种利用紫外线的辐射能量打破细胞核酸链, 杀死生物体内部细胞以消毒的技术。相较于其他的常用消毒方法, 紫外线消毒法可以减少消毒剂对环境的污染和破坏, 消毒效率高, 管理方便。但紫外线对如塑料, 钢铁和木材等多种材料的穿透性不强, 需要考虑紫外线灯灯罩、空气中的灰尘、消毒目标、消毒时长、紫外线灯功率和紫外线灯的距离等因素对消毒效果的影响。另外, 紫外线辐射可对人体造成较大伤害, 使用过程中需要采取保护措施以保障用户的身体健康。

臭氧净化消毒法是一种通过产生臭氧, 将有机物质和微生物等污染物中的双键、三键等易氧化结构进行断裂, 从而

达到消毒目标的技术。该消毒方法具有除菌高效、无二次污染、可同时除去异味的优点, 但需要使用专门的设备产出臭氧, 设备成本大, 操作难度高。

结合门把手区域要求消毒高效、快速、安全、对消毒区域无影响的特点, 本文所设计的消毒门锁采用紫外线消毒的方式消毒, 并针对用户是否已离开的不同工况决定是否驱动紫外线灯进行消毒, 以避免紫外线对人体的伤害。

1.2 功能分析

模块化智能消毒门锁主要包含开锁和消毒两种功能, 其中开锁共有指纹解锁, 射频感应解锁, 密码解锁, 机械解锁四种方式, 足以满足生活中多种情境下的开锁需求。

指纹解锁功能需要用户预先录入指纹, 支持删除指纹操作, 在开锁时门锁通过相关传感器读取指纹信息并配对, 若信息一致则开锁。采用该种解锁方式摆脱了传统机械锁钥匙易遗失, 钥匙忘带等问题的困扰, 同时安全性高, 抗外界干扰性强, 开锁便捷高效; 射频感应开锁功能要求使用对应的非接触式 IC 卡开锁, 开锁速度快, 无需直接接触门锁, 可满足如工人装修等情境下的临时开锁需求; 密码解锁功能支持修改密码操作, 可满足在必要情况下, 未经指纹录入授权或未持有非接触式 IC 卡的人士的开锁需求; 机械解锁方式则可在智能门锁故障或电量耗尽, 上述三种解锁方式失效时, 满足用户和维修人员的开锁需求或检修需求。

该门锁的消毒功能通过特别设计的消毒门把手模块实现, 解锁操作执行后, 当模块内传感器在一定时间内没有监测到附近区域存在人体时, 该模块会驱动安置在消毒门把手模块内部的 UVC-LED 智能地对门把手进行消毒, 满足疫情背景下的卫生需求。

1.3 模块化分析

日常生活中的智能门锁一般采用一体化设计, 各模块固定在门锁内部的电路板上, 一旦门锁的某个部件出现损坏, 需要拆开门锁整体进行维修, 一定程度上提高了检修工作的复杂度和难度。而本设计的门锁采用模块化设计^[6], 通过引

出各功能模块的接口并安置于门锁外壳表面,可简化门锁检修工作,降低人力成本和时间成本。当门锁出现故障时,仅凭用户自己便可在不整体拆卸门锁的情况下针对出现的问题选择相应的模块进行更换维修,解决大部分门锁故障问题。

2 硬件设计

模块化智能消毒门锁硬件部分主要包括主控芯片,指纹识别模块,射频感应模块,由数字键盘和 LCD1202 组成的密码锁模块,由人体存在模块和 UVC-LED 组成的消毒门把手模块,蜂鸣器和电磁锁芯^[7,8]。用户可使用指纹识别模块,射频感应模块和数字键盘向主控芯片发

送信号,主控芯片对接收到的信息进行分析,驱动电磁锁芯和消毒门把手模块完成相应操作,实现开锁或消毒的功能。若消毒门把手模块内部的传感器监测到用户已离开附近区域时,主控芯片可根据相关程序驱动消毒门把手模块内的紫外线灯进行消毒。下面主要针对主控芯片,指纹识别模块,射频感应模块和消毒门把手模块进行介绍。

本设计的硬件结构框图如图 1 所示。

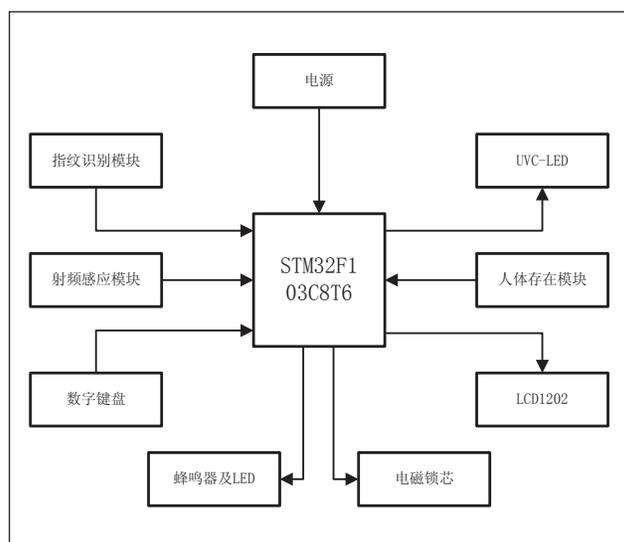


图 1 硬件结构框图

2.1 主控芯片

模块化智能消毒门锁采用 STM32F103 作为门锁的主控芯片。该芯片作为目前市场上主流的微控制芯片,价格实惠,性能卓越,主频最高可达 72MHz,同时具备 128KB 闪存和 20KB SRAM,符合设计要求。此外,单片机采用 3.3V 供电,

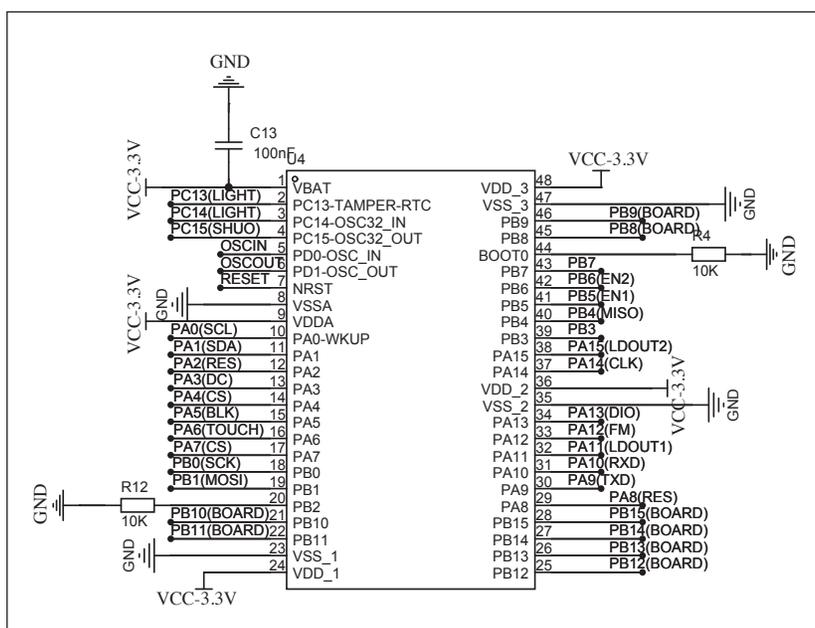


图 2 STM32 及外围电路图

集成度高,封装体积小,有利于设计精巧的智能消毒门锁结构与外观。

STM32 及外围电路图如图 2 所示。

2.2 指纹识别模块

基于 AS608 指纹识别芯片^[9]的指纹识别模块通过采集人体指纹表面的图像信息,利用图像处理算法进行特征提取和匹配比对,从而对指纹进行准确快速地识别验证。^[10]该模块支持串口通信和 USB 通信,可由 3.3V 供电,ADC 测量速率为 8Bps~860Bps,适用多种场合需求,常用于各种指纹门禁系统,保险箱,签到系统等。

其具体工作原理为通过光学传感器对指纹进行采集,再将指纹图像转换为数字信号,经过放大、滤波、去噪等处理后,提取出指纹图像中的特征点信息,包括细节、纹型、间隔等,生成指纹模板,并将其存储于模块内部的存储器中。在验证阶段,该模块将用户输入的指纹图像与模板进行比对,通过匹配算法计算相似度,判断是否为同一指纹。其中,匹配算法主要包括特征点匹配和模板匹配两种方法,前者通过比对指纹图像中的特征点位置信息,确定匹配度;后者则是将输入的指纹图像与存储的指纹模板进行比对,计算相似度。最终,根据匹配结果,该模块输出验证成功或失败的信号,实现对指纹的准确识别。

该模块在通讯协议上表现为三类控制指令,即指令包,控制包,结束包,控制指令拥有与之相对应的包标识。指令包格式包括包头、地址、包标识、包长度、控制参数和检验和;数据包和结束包包括包头、地址、包标识、包长度、数据和检验和。当进行某项操作时,单片机需先通过串口发送指令

包到指纹识别模块，该模块接收该指令包并根据控制参数进行相关操作，并向单片机返回数据包并标识操作情况，完成操作。

■ 2.3 射频感应模块

基于 MFRC522 芯片的射频感应模块是利用电磁感应原理，通过发送高频信号激励射频标签，然后读取射频标签返回的响应信号并从中提取出唯一标识符和存储的数据^[11]，从而实现射频标签的识别和数据交互。

该模块性能强大，广泛应用在公共交通，水电气充值，非接触式门禁等领域，具有很强的拓展性。采用该模块具有以下明显优势：

(1) 集成了多种非接触通讯方式，支持 I2C 通信，UART 通信，SPI 通信，自带 64 字节 FIFO 缓冲器，具有灵活的中断模式，通信方式多样且稳定；

(2) 工作环境温度为 $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ ，有利于增强门锁对环境的适应性；

(3) 该芯片最高操作距离达 70mm，性能强大，有利于增强智能门锁灵敏度。

■ 2.4 消毒门把手模块

2.4.1 感应模块

系统采用 HLK-LD2410C 人体存在感应模块，其采用 FMCW 技术，利用调制连续波对空间内人体目标检测，结合算法并进行数据处理后，可对人体存在与否，目标距离等信息进行反馈，可灵活应用于不同 AIoT 场景的人体运动检测，人体存在检测^[12]。

采用该模块的优势主要有以下几点：

(1) 探测角度大，覆盖范围可达 ± 60 度，保证智能门锁检测外界环境信息的准确性，有利于门锁消毒的稳定性；

(2) 最远感应距离为可达 5 米，可最大限度对常规空间内人体进行检测，保证消毒安全性；

(3) 小巧简化，最小尺寸仅为 $16\text{mm} \times 22\text{mm}$ ，有利于减小智能门锁消毒门把手模块控制板的体积。

2.4.2 紫外线灯

日常生活中主流的紫外线灯主要包括紫外线汞灯和 UVC-LED。

紫外线汞灯采用玻璃直接封装，抗击打能力较弱，一旦受到打击或碰撞，容易破裂并导致其内部的汞蒸气泄漏，对环境和人体健康造成不良影响。

UVC-LED 是新兴的紫外线灯，其可以发射一种波长为 $200 \sim 280$ 纳米的紫外线，这种紫外线可以杀死细菌、病毒和真菌等微生物，从而达到消毒杀菌的目的。据研究显示，UVC-

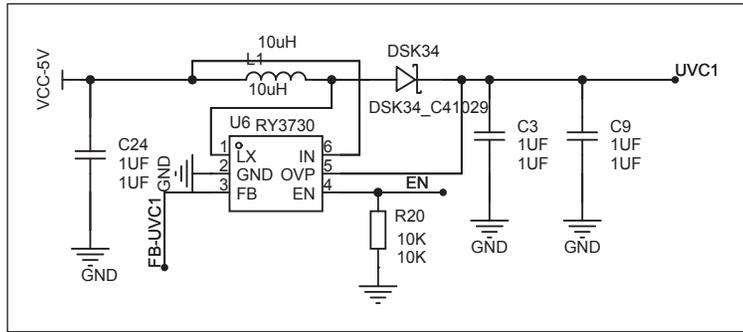


图3 UVC-LED 驱动电路

LED 对多种细菌、真菌和病毒都有较为不错的灭活效果^[13,14]。

与传统的紫外线汞灯相比，UVC-LED 使用的是固态发光体，没有汞等有害物质，更加环保和安全。而且，UVC-LED 不需要提前预热和冷却，使用过程中不会产生大量热量，能量转化率高。其次，UVC-LED 集成度高，体积小，易于对其进行二次产品开发。故 UVC-LED 在医疗、食品加工、水处理、空气净化等领域都有广泛的应用。

综合上述两种紫外线灯的特点，消毒门把手模块由于本质上仍为门把手，需要承受用户开关门时施加的力，且门把手本身容易受到磕碰，如果采用紫外线汞灯作为消毒门把手，可能会导致门把手本身强度不够，从而影响门锁的稳定性和安全性。另一方面，消毒门把手模块需要满足使用时间长、能耗低、随用随停的要求。故本设计的消毒门把手模块采用 UVC-LED 作为消毒源。同时为保证消毒有效性，灯罩采用石英玻璃管，UVC-LED 功率需要保证在 1.5W 以上，消毒时间需要保证在 10s 以上^[15]。

UVC-LED 驱动电路如图 3 所示。

3 软件设计

程序运行逻辑为：当模块化智能消毒门锁上电后，首先进行各模块初始化，然后不断等待中断事件的到来。所述中断事件可分为解锁中断事件和管理员验证中断事件，其中管理员验证中断事件可通过管理员验证操作，即使用数字键盘连续输入特定的字符触发。进入中断后系统自动更改对应事件的标志位，在退出中断后可根据标志位执行指纹解锁，射频感应解锁，密码解锁，密码修改，删除指纹和录入指纹操作，并在该操作完成后翻转标志位。当执行解锁操作后，如果开锁用户已离开附近区域，消毒门把手模块中的人体存在模块向单片机发送信号，单片机接收该信号后驱动消毒门把手模块中的紫外线灯进行消毒。

本设计的总体程序逻辑框图如图 4 所示。

■ 3.1 指纹锁模块程序设计

指纹锁可实现指纹录入，指纹删除，指纹解锁三种功能。

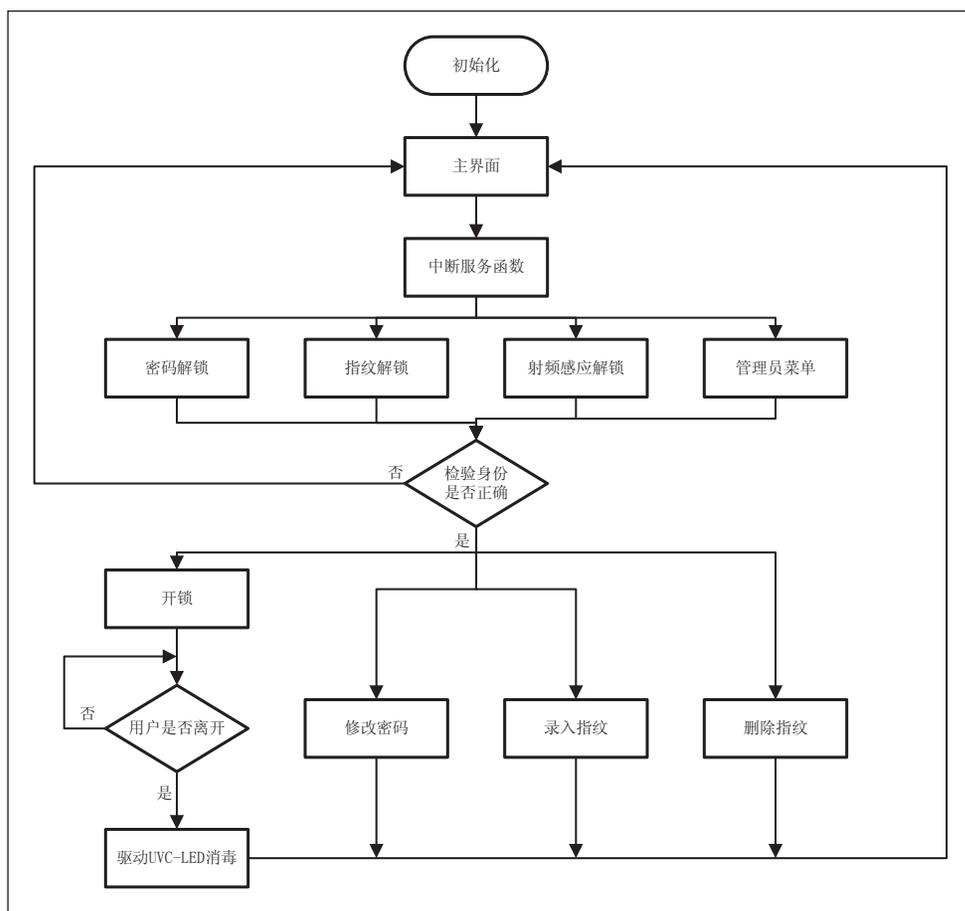


图4 总体程序逻辑框图

执行解锁操作时，用户使用指纹识别模块输入指纹进行验证，单片机将输入的指纹信息与已存储到内存中的指纹信息进行配对，配对一致则向电磁锁芯发送触发电平，驱动其开锁并根据具体情况进入消毒环节。否则配对不一致，单片机向LCD1202发送“指纹错误”字样，同时蜂鸣器发出提示音。当连续10次输入错误的指纹时，单片机会在5分钟内禁止进行解锁操作和管理员操作。

本设计的指纹解锁程序框图如图5所示。

■ 3.2 密码锁模块程序设计

密码锁模块^[16]由LCD1202和数字键盘组成，可实现管理员验证操作和密码解锁两个功能。进行密码解锁操作时，用户可使用数字键盘输入信息，单片机会不断扫描数字键盘并与设置的密码配对。当密码一致时，单片机向电磁锁芯发送触发电平，驱动其开锁并根据具体情况进入消毒环节。否则配对不一致，单片机向LCD1202发送“指纹错误”字样，同时蜂鸣器发出提示音。当连续10次输入错误的指纹时，单片机会在5分钟内禁止进行解锁和管理员操作。

进行管理员验证操作并验证管理员身份成功是进行录入指纹，删除指纹和修改密码三种管理员操作的前提，只有

当使用数字键盘连续输入预定的字符，管理员身份验证成功时，用户才可进入管理员菜单对智能消毒门锁进行录入指纹操作，删除指纹操作和修改密码操作等管理员操作。

本设计的密码锁模块程序框图如图6所示。

■ 3.3 射频感应锁模块程序设计

执行解锁操作时，用户使用配套的射频感应IC卡与射频模块配对。当IC卡在射频模块一定距离内，射频模块可通过天线以电磁感应的方式给IC卡线圈供电，IC卡电路随后向射频模块发送特定的标签^[17,18]。单片机读取标签后将其中的身份信息与内存中预设的数据配对，一致则向电磁锁芯发送触发电平，驱动其开锁并根据具体情况进入消毒环节。否则配

对不一致，单片机向LCD1202发送“指纹错误”字样，同

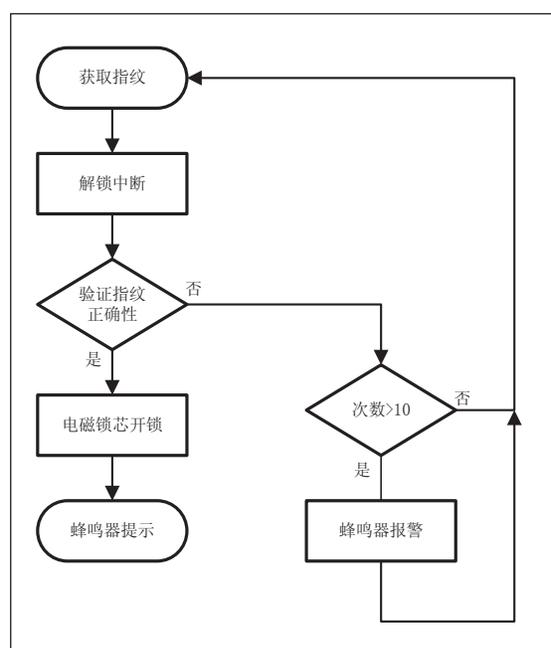


图5 指纹解锁程序框图

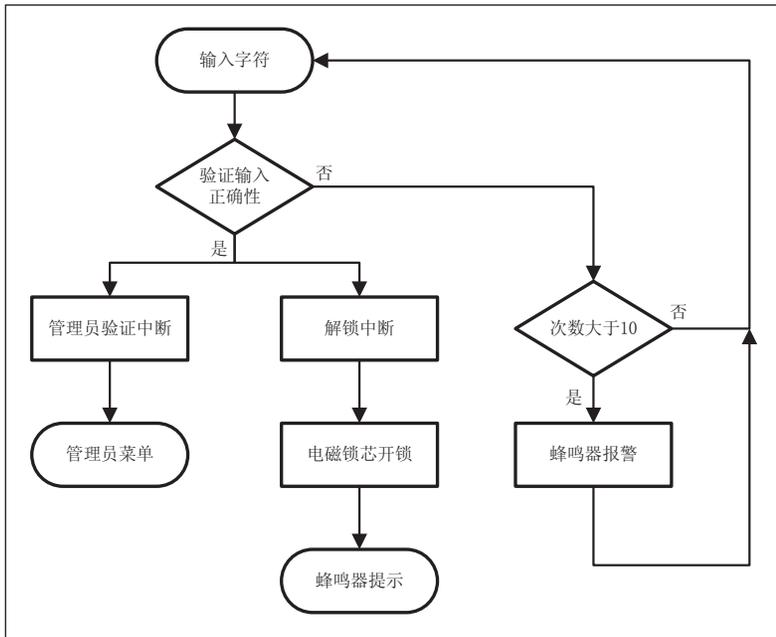


图6 密码锁模块程序框图

时蜂鸣器发出提示音。当连续 10 次输入错误的指纹时，单片机会在 5 分钟内禁止进行解锁和修改操作。

本设计的射频感应模块程序框图如图 7 所示。

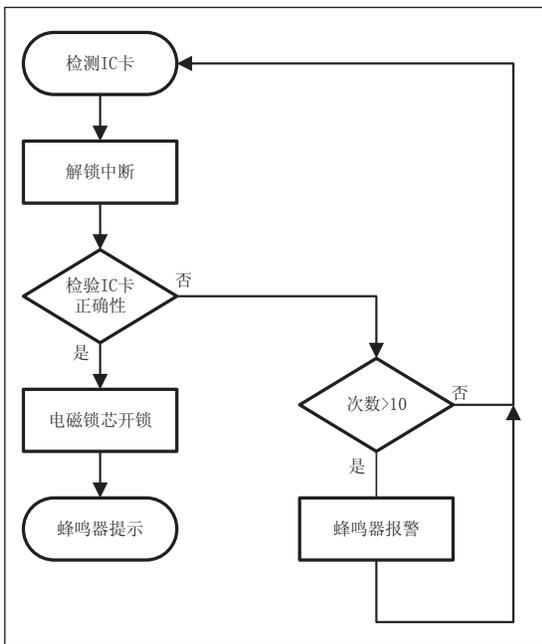


图7 射频感应模块程序框图

3.4 消毒门把手模块程序设计

当执行解锁操作后，单片机会不断读取消毒门把手模块内人体存在模块的信息，检测开锁用户是否已离开附近区域。若用户尚未离开附近区域，人体存在模块向单片机发送高电平，智能消毒门锁会保持在此环节，等待用户离开附近区域再进行后续操作；当用户离开附近区域后，人体存在模

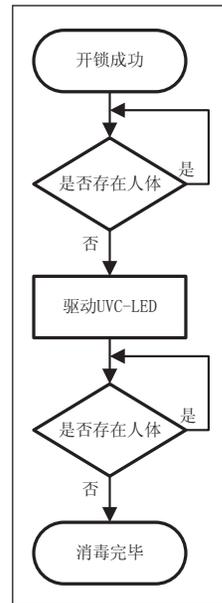


图8 消毒门把手模块程序框图

块向单片机发送低电平，单片机开始驱动消毒门把手模块内紫外线灯进行 1 分钟的消毒。消毒过程中，人体存在模块仍会不断扫描附近区域，若此时有人体出现在探测区域，单片机停止驱动 UVC-LED，消毒操作被暂时停止，直到探测区域不存在人体，消毒操作恢复。

本设计的消毒

门把手模块程序框图如图 8 所示。

4 系统测试与分析

为验证系统可行性与稳定性，开发者分别对本设计的指纹解锁功能，射频感应解锁功能，密码解锁功能，机械解锁功能及消毒功能进行 5000 次测试，如图 9 和图 10 所示。测试过程中先将模块化智能消毒门锁上电，再分别用非接触式 IC 卡、数字键盘、指纹进行身份验证，观察开锁情况和消毒门把手模块工作状态，记录各功能响应情况及响应时间。重复上述操作 5000 次，统计各功能在测试中的正常响应次数、平均响应时间并对结果进行分析。

测试结果如表 1 所列。

表 1 正常响应次数及平均响应时间测试表

功能	正常响应次数	平均响应时间
指纹解锁	4999次	1.2s
射频感应解锁	4997次	1.2s
密码解锁	5000次	0.8s
消毒	4999次	1.0s

经测试，门锁的各项功能均可以正常实现，且稳定性强，在 5000 次测试中各项功能都正常响应的概率达 99.94%；系统响应速度较快，平均响应时间不超过 1.2 秒。

5 结论

本设计的模块化智能消毒门锁具备指纹解锁，射频感应解锁，密码解锁，机械解锁四种常规门锁解锁方式，满足用户对门锁的基本需求。同时特别设计的消毒门把手模块的设计搭配 STM32 单片机的处理，可以对门把手及周边区域进



图9 等待解锁界面图



图10 开锁情况提示图

行实时智能消毒,相比当前可能的方案,具备消毒智能高效,便于管理,消毒效果稳定等特点。另一方面,模块化设计理念的融入使用户可针对问题部件购买对应模块自行更换,与市面上的智能门锁相比,减少了检修成本和维修周期。该智能消毒门锁可以广泛应用在医院、办公楼、学校等人员流动密集的场所,发展和应用前景广阔。

参考文献

- * [1] 甘建玲. 医院门把手细菌学监测结果分析 [J]. 检验医学与临床, 2007, 4(9):2.
- * [2] 白婧. 济南市某高校公共设施和公共用品微生物污染状况调查 [J]. 科技视界, 2017(34):2.
- * [3] 徐璟, 潘文彦, 甄擘, 等. 一种一次性使用撕拉式消毒门把手保护套; CN213063219U[P]. 2021.
- * [4] 赵世英, 刘泓杰, 左博飞, 等. 新型卫生防护门锁的创意思路与原理设计 [J]. 天津科技, 2022, 49(12):3.
- * [5] 邵宜波, 顾有为, 张勃, 等. 空气消毒技术研究进展 [J]. 中国医药科学, 2021, 11(19):4.

* [6] 曹丹领, 鲁辉, 王哲. 汽车模块化开发策略及应用 [J]. 重型汽车, 2023(02):30-31.

* [7] 徐富强, 卢闻州, 熊化亮, 等. 基于物联网技术的新型智能门锁设计与实现 [J]. 物联网技术, 2017, 7(8):5.

* [8] 金荣华, 黄益曼, 余富荣. 物联网条件下办公智能门锁的设计与实现 [J]. 中国新技术新产品, 2021(19):3.

* [9] 孙嘉鸿, 刘西林, 李林茂. 基于 STM32 的智能门锁设计 [J]. 现代信息科技, 2021(005-021).

* [10] 吕瑞妮, 程雨鑫, 富晓乾等. 基于 AS608 光学指纹识别模块研制防逃课识别装置 [J]. 电子测试, 2020(16):60-61+115.

* [11] 张明乾. RFID 技术在宁夏公共图书馆的应用研究 [J]. 现代信息科技, 2023, 7(09):146-148+153.

* [12] 刘永军, 廖桂生, 唐皓等. FSK-FMCW 雷达通信一体化信号设计与处理方法研究 [J]. 信号处理, 2022, 38(11):2265-2275.

* [13] 文尚胜, 左文财, 周悦, 等. 紫外线消毒技术的研究现状及发展趋势 [J]. 光学技术, 2020(006):046.

* [14] 黄飞, 张梦迪, 么鸿雁等. 222 nm 紫外线消毒有效性和安全性研究进展 [J]. 中国消毒学杂志, 2023, 40(05):379-383.

* [15] 李小玲. UVC-LED 封装模组应用产品的初步开发设计与灭菌效能研究 [D]. 桂林电子科技大学, 2019.

* [16] 孙鹏宇, 魏立明. 基于 MCU 的智能密码锁控制系统 [J]. 北方建筑, 2021, 6(02):53-56.

* [17] 陈金萌, 张佰顺, 彭方成. 基于 RFID 和单片机的考勤系统的设计 [J]. 电子测试, 2020(19):14-17.

* [18] 赵永涛. 基于 51 单片机的 RFID 门禁密码锁设计 [J]. 自动化应用, 2022(12):185-187+191.

罗德与施瓦茨率先推出获得 CTIA 认证的 5G FR1 A-GNSS OTA 测试解决方案

罗德与施瓦茨 (以下简称 R&S) 的 over-the-air (OTA) 测试系统 R&S TS8991 是首个获得 CTIA 认证的 5G A-GNSS 天线性能测试系统。该解决方案可测量无线设备中全球导航卫星系统 (GNSS) 接收器的性能,这是项关键技术,因为 A-GNSS 已经用于 5G E911 紧急呼叫。

CTIA 认证的最新无线设备 Over-the-Air (OTA) 性能测试计划版本 4.0.x 在现有 A-GPS L1 OTA 规范中添加了 5G FR1 EN-DC。之前发布的 6.0.x 版本添加了 5G FR1 SA、A-GPS L5 和 A-Galileo E1, 这些测试方案即将进入 CTIA 认证验证流程。

R&S TS8991 测试系统是一款交钥匙解决方案,可满足 2G/3G A-GPS、4G LTE A-GNSS 以及现在的 5G A-GNSS 的

CTIA 认证 OTA 测试要求。该系统由 R&S CMX500 5G 一体化信令测试仪、R&S SMBV100B 卫星模拟器和消音无线性能测试暗室 (WPTC) 组成。其特点是系统集成度高,升级方便。每个组件均使用 R&S CONTEST 软件进行控制,从而能够根据 CTIA 认证测试计划进行全自动 OTA 测量。

R&S CMX500 是一款适用于所有移动设备测试应用的一体化解决方案。它支持发射器和接收器射频参数测量以及数据吞吐量、音频质量和电池寿命测试。该解决方案集成到 R&S TS8991 天线性能测试系统中,为被测设备 (DUT) 提供信令功能,并测量接收灵敏度和发射功率。R&S CMX500 满足无线通信测试的最严苛要求,并支持最新的 3GPP 和 IEEE 技术。

基于 STM32 的智能头盔系统设计

于帅武, 丁浩, 韦袁华, 黄同欣
(宿迁学院, 江苏宿迁, 223800)

基金项目: 2022年宿迁市科技计划指导性项目 (Z2022100) ; 2022年宿迁学院大学生创新创业训练项目。

摘要: 自2020年以来, 全国推行“一盔一带”安全守护行动, 督促非机动车驾驶人佩戴头盔。为进一步巩固安全守护行动成效, 保护人身安全, 本项目设计了智能多功能头盔, 主要用于保护非机动车驾驶人骑行安全, 降低交通事故的伤亡率。其主要功能包括“车盔”一体智能解锁、疫情防控体温监测、定位防盗统一管理等功能。通过短距离无线通信技术将头盔与车辆绑定、体温监测等创新设计, 能为安全守护和疫情防控提供保障。

关键词: 非机动车辆; 智能头盔; 定位防盗; 无线通信; STM32; 实时监测

0 引言

据起点研究院 (SPIR) 数据显示, 目前我国两轮电动车的保有量已超 3 亿辆, 市场复合年增长率达到 7%, 预计未来几年两轮电动车保有量将会突破 5 亿辆。国内电动自行车保有量远大于私家车, 每年产销量达到 3000 万辆。一方面, 电动两轮车是民众短距离出行的首选, 另一方面, 外卖、快递等城市商业派送急速扩张, 电动两轮车保有量快速增长。

在电动车快速增长背景下, 伴随着我国非机动车的交通事故数量逐年增加, 据统计, 2021 年非机动车发生的交通事故为 3 万起, 造成 4373 人死亡, 死亡率约 0.15。据公安部调查数据显示, 在这些非机动车交通事故的死亡事故中, 大约有 80% 是因为颅脑损伤致死的。佩戴安全头盔可以使交通事故的重伤风险和死亡风险率大幅降低。由此可见, 对非机动车驾驶人来说, 佩戴安全头盔, 绝不是可有可无的小事, 而是性命攸关的。所以, 我们对安全头盔进行了针对性的研究, 集合了无线通信技术、传感器技术和信息融合技术等, 实现了头盔的智能化和便捷化, 重点用于保护驾驶人的安全问题, 降低交通事故的重伤风险和死亡风险率。

但是目前仍存在部分人员对佩戴头盔存在抵触心理, 不佩戴头盔, 从而存在交通事故伤亡风险; 据调研市场上大部分都是普通头盔, 智能多功能头盔较少。本项目通过设计智能多功能头盔, 将佩戴头盔与车辆解锁绑定“强制”佩戴, 从而提升头盔佩戴率。在此基础上考虑疫情防控和车辆管理需求, 增加体温监测、车辆定位等功能。

1 系统总体设计

智能头盔系统具有车盔一体智能解锁、定位防盗统一管理、防控体温检测等功能。本设计通过通信将佩戴头盔与非机动车解锁及电源系统绑定, 从而完成佩戴头盔的自动检测和强制约束。

利用 GPS 技术对头盔进行定位, 用户可以手动在 APP

上定位寻找自己的车辆, 也为车辆防盗和市政车辆管理提供技术保障。结合当前疫情防控需求, 本项目定时采集人员体温信息, 特别针对外卖骑手等人员流动性大的特点, 若体温异常则进行自动为骑手降温并且禁止骑行, 为骑手的身体安全与疫情防控提供参考信息及保障, 总体结构如图 1 所示。

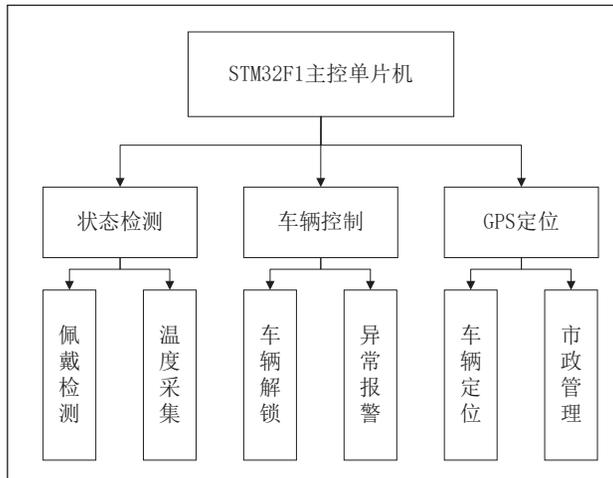


图 1 系统总体设计框架图

2 系统硬件电路设计

本系统主要包含系统主控模块、佩戴检测模块、GPS 定位模块、温度检测模块及无线通信模块。在硬件模块选型方面, 为了方便放置在头盔内部, 降低用户不适感, 使其不占太大空间, 需要考虑采用体型小、低功耗、精度适合的硬件模块。综合考虑, 主控模块采用 STM32F10VET6 单片机, 佩戴检测模块采用 BM01 压力传感器, GPS 定位模块采用 Core-Air820, 温度检测模块采用 MLXGY90614 温度传感器。

2.1 佩戴检测模块

佩戴检测模块采用的 BM01 压力传感器, 其优点是体积小、识别率高, 并且可以对任何接触面的压力进行静态和动态测量, 薄膜压力传感器将施加在传感器感应区域的压力转换成电阻信号, 然后根据力-电阻的标定关系曲线获得外界所施压力的变化信息, 压力越大, 传感器输出的电阻越小

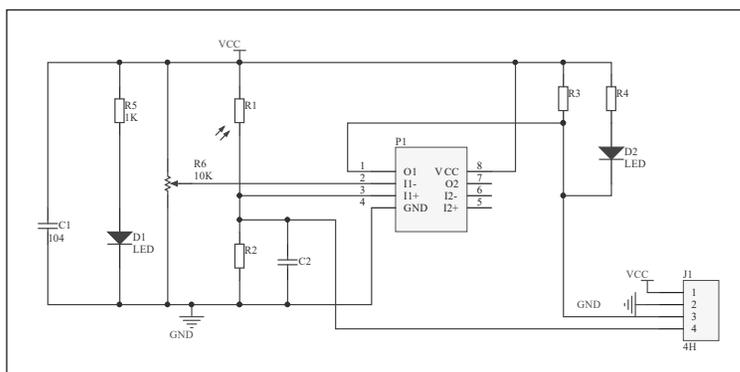


图2 压力传感器电路图

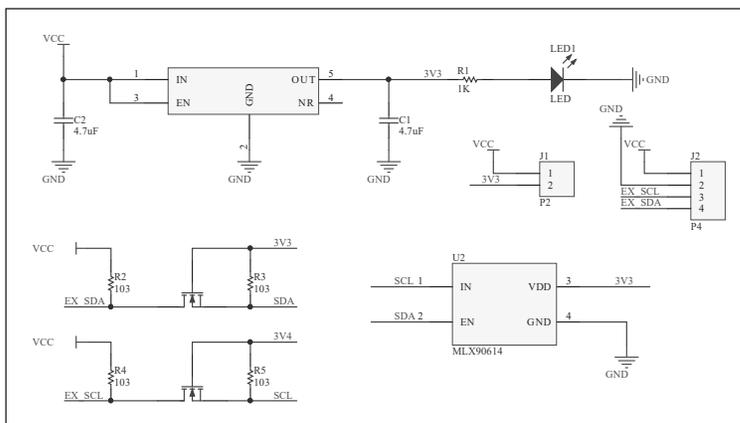


图3 红外测温传感器电路图

薄膜压力传感器在电路中等效为压敏电阻。当压力传感器无外界负载时，电路处于高阻状态。当外界压力施加到传感器上时，电路电阻随之下降。压力与电阻成反向比率，而压力与电导是呈现线性的关系，因此可根据电导变化反推出压力变化。压力传感器电路图如图2所示。

模块设计思路：在将头盔佩戴上的时候，安装在头盔内部的压力传感器受到压力达到一定程度时，将模拟信号转换为数字信号并显示在 OLED 屏上，再通过与非机动车的无线通信，将非机动车的开关打开，用户才可以进行骑行。

2.2 温度检测模块

温度检测模块使用 MLXGY90614 无线测温传感器，具有非接触、体积小、精度高、成本低等优点。物体红外辐射能量的大小和波长的分布与其表面温度关系密切。因此，通过对物体自身红外辐射的测量，能准确地确定其表面温度，红外测温就是利用这一原理测量温度的。红外测温器由光学系

统、光电探测器、信号放大器和信号处理及输出等部分组成。光学系统汇聚其视场内的目标红外辐射能量，视场的大小由测温仪的光学零件及其位置确定。红外能量聚焦在光电探测器上并转变为相应的电信号。该信号经过放大器和信号处理电路，并按照仪器内的算法和目标发射率校正后转变为被测目标的温度值。温度检测模块电路图如图3所示。

该模块以 81101 热电元件作为红外感应部分。输出是被测物体温度 (T_o) 与传感器自身温度 (T_a) 共同作用的结果，理想情况下热电元件的输出电压为：

$$V_{ir} = A(T_o^4 - T_a^4)$$

模块设计思路：在用户戴上头盔的同时，红外温度传感器开始工作，实时检测用户的体温是否异常，并将用户的体温显示在 OLED 屏上，直到停止骑行，当检测到用户体温异常，安装在头盔旁的风扇开启进行为用户降温，并与非机动车进行通信，将非机动车停止骑行。

2.3 GPS 定位模块

GPS 定位模块采用 Core-Air820，其优点有定位精度高，性能佳，定位速度快。支持 5 ~ 36V 供电，带防接反；北斗定位 +GPS 定位；支持 TCP、UDP、MQTT、阿里云 IOT、HTTP 透传。得到的经纬度信息，将自身采集到的经纬度信息存放到内部 FLASH，再通过串口将信息发送给单片机，从而将经纬度整数数据 displayed 在阿里云平台上，Core-Air820 电路图如图4所示。

3 系统软件程序设计

系统的软件主要包括系统主程序、佩戴检测子程序和温

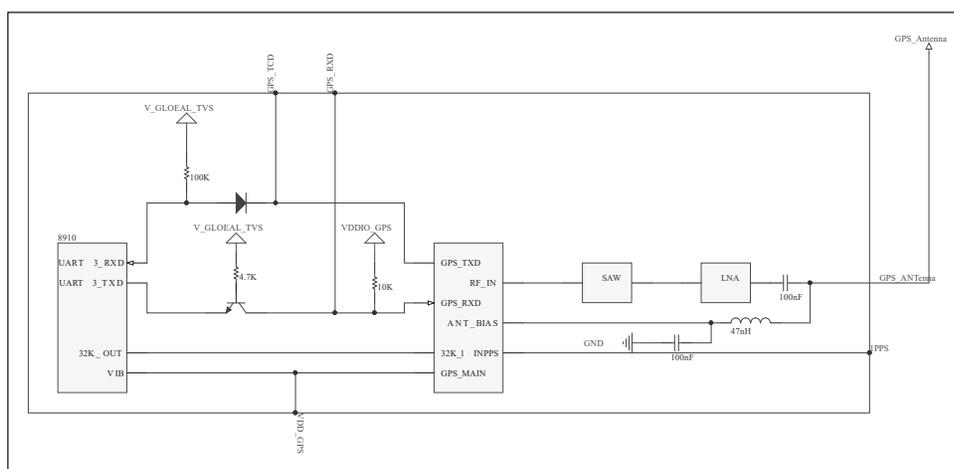


图4 Core-Air820 电路图

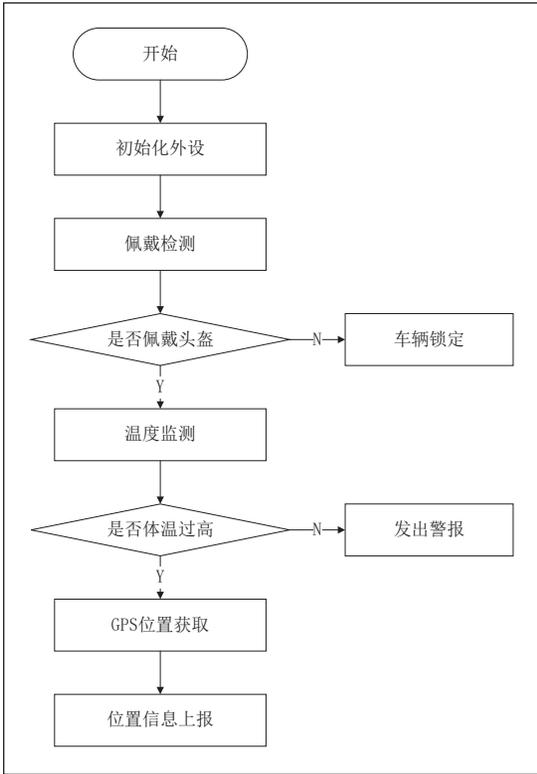


图5 主程序流程图

度检测子程序。

3.1 系统主程序设计

分析整个系统工作流程，完成系统的主程序设计，具体程序设计流程图如图5所示。首先完成系统外设初始化，包括压力传感器、GPS定位传感器、温度检测传感器和无线通信模块。然后分别进入佩戴检测子程序和温度检测子程序，完成佩戴检测和温度检测工作，根据程序设计的阈值进行判断是否合规，进一步采集GPS信息并上传信息数据。

3.2 佩戴检测子程序

佩戴检测子程序设计主要包括压力传感器检测数据的处理。结合BM01压力传感器电路特点，压力传感器采集到

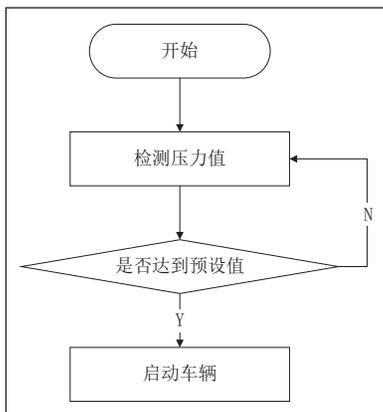


图6 佩戴检测子程序流程图

电压模拟信号，将模拟信号转化为数字信号发送至STM32主控制器。根据实际测试情况设定阈值，当大于阈值时，启动车辆，否则认为头盔未佩戴继续检测压力值。具体程序设计流程图如图6所示。

3.3 温度检测子程序

温度检测子程序设计主要包括温度传感器检测数据的处理。结合MLXGY90614无线测温传感器电路特点，测温传感器将采集到的光学信号经过放大、转换和输出处理，得到热元件的电压模拟信号，将模拟信号转化为数字信号发送至STM32主控制器。温度检测子程序将数字信号转换为温度值，并与阈值进行比较，当温度在正常温度范围内，启动车辆，否则认为温度异常并持续检测。具体程序设计流程图如图7所示。

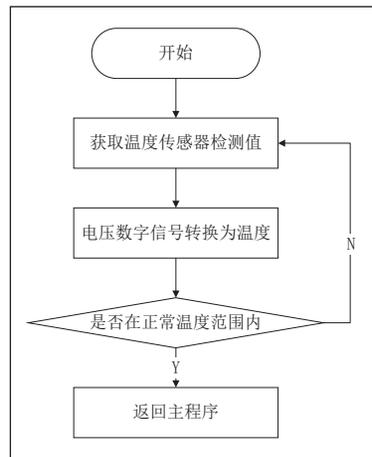


图7 温度检测子程序流程图

4 系统管理平台设计

本系统管理平台采用uni-app进行开发，使用阿里云uni-cloud进行云端数据存储，使用阿里云物联网平台与WiFi模块进行数据交互，将设备的相关信息存储在阿里云

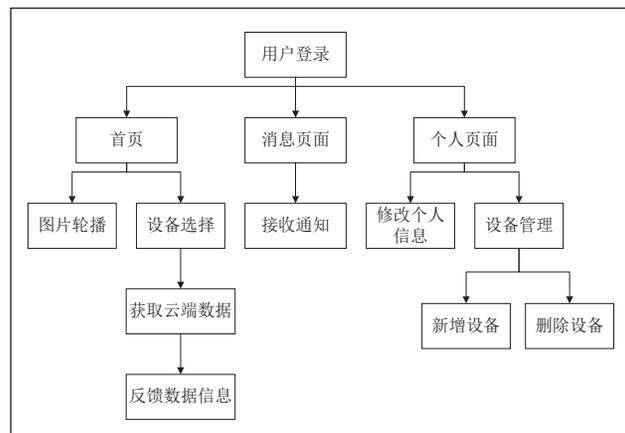


图8 管理平台框架图



图9 管理平台主界面



图10 设备详情页面

平台上的物理模型数据中,再借助其提供的 SDK 将数据转储到阿里云 uni-cloud 云端。

管理平台主要包括首页、消息和个人三个模块。首页模块主要完成宣传图片展示、设备状态信息展示;消息模块主要用于查看和处理系统消息;个人模块主要用于维护个人信息和设备信息,具体管理平台框架如图 8 所示。

■ 4.1 平台主界面

主页面主要分为 3 个区域:轮播图播报区,设备选择区,导航栏,如图 9 所示。

轮播图播报区用于进行公益宣传,行车知识普及等内容的播报。

设备选择区用于选择想要查看的设备。

导航栏用于切换其他页面,消息页面用于收取车辆相关通知。个人页面用于修改个人信息,新增或删除设备。

■ 4.2 设备详情页面

详情界面分 2 个区域:位置定位地图显示区域和设备状态反馈区域,如图 10 所示。

地图定位显示区域用于根据 GPS 定位模块反馈的位置信息将当前位置实时反馈在地图上。

状态反馈区域分为多个属性栏。

设备状态栏用于显示设备在线状态。

当前温度栏用于显示的温度数据。

佩戴状态栏用于反馈头盔是否被佩戴。

降温风扇来用于显示降温风扇的工作状态。

车辆锁定栏用于显示车辆是否被锁定。

工作时长栏用于显示设备连续工作的时长。

5 结语

项目开展市场调研,针对家庭用户对智能头盔的功能需求及存在问题,为项目功能需求提供基础保障。结合“一盔一带”安全守护行动,在市场调研后,确定当下非机动车的驾驶人具体需求。在用户使用需求基础上,还要充分考虑市政车辆管理工作。开展整个项目的系统设计,结合功能需求确定系统主控单元,包括主控单元接口资源、存储单元、功耗、体积及处理速度等。对功能需求进行详细分析和设计,包括系统控制及数据处理电路、头盔智能检测电路、温度采集电路、GPS 定位电路及摔倒检测电路等。在传感器模块选择、无线通信协议设计、电源管理、能耗管理等方面进行综合分析。提升无感化和舒适度是重点设计目标之一,参照当前市场上的头盔外观设计,将智能头盔控制模块与现有头盔外观设计进行有效融合。整合系统各个模块完成样品设计,并模拟真实的应用场景,对各项应用指标进行评价,开展多轮系统测试和调试工作,不断优化调整,使其更加无感化和舒适化。

参考文献

- * [1] 马振寰,孙嘉泽.物联网与通信技术的展望[J].电子技术,2023,52(01):186-187.
- * [2] 马和平,王政.基于 STM32 多点无线通信的水源井遥控系统设计[J].辽宁科技学院学报,2022,24(06):30-33.
- * [3] 卢佳佳,张亚芳.基于 STM32 单片机的温度智能测量系统设计与实现[J].景德镇学院学报,2022,37(06):53-57.
- * [4] 焦凤敏,景苏梁,王春柳,葛子轩,陈智勇.基于 STM32 的防丢及摔倒报警系统设计与实现[J].信息与电脑(理论版),2022,34(19):195-199.
- * [5] 赵永红,黄颂,柳佳,桂邦豪.基于 STM32 单片机的非接触式体温测量与身份识别系统[J].桂林航天工业学院学报,2022,27(03):322-327.
- * [6] 薛义鹏,陈鑫,孙馨瑶,李松军.基于 STM32 和阿里云的棉纺车间环境温湿度监测系统[J].自动化与仪表,2022,37(08):67-70+86.
- * [7] 刘泽宇,吕宗旺,魏子栋,白雪杰,薛雯耀,黄莹莹.基于 STM32 的体温检测系统设计与应用[J].电子质量,2022(08):121-124.
- * [8] 史磊.基于 STM32 嵌入式的无线通信远程数据传输控制系统设计[J].计算机测量与控制,2022,30(11):111-115+146.
- * [9] 李向军,王阳,任建波,张展鹏.基于 STM32 的智能盲人头盔[J].西安文理学院学报(自然科学版),2022,25(03):59-63.
- * [10] 齐晓松,赵铭,宋志硕,等.基于物联网技术的农场环境检测与控制系统[J].河南科技学院学报(自然科学版),2019,47(4):53-61.

基于 ROS 的双臂机器人的协同控制路径规划研究

李博^{1,2}, 孔令云¹, 毛东宸^{1,2}, 李明科²

(1. 西京学院 电子信息学院, 陕西西安, 710123; 2. 河南省睿卡机器人制造有限公司, 河南郑州, 450000)

摘要: 随着现代机器人技术的不断发展, 服务类机器人成为早期机器人的代表, 并逐渐走进了大众视野。本研究以六自由度柔性机器人为对象, 采用D-H法对其进行数学建模。在考虑双臂机器人实际需求的基础上, 本研究通过ROS对机械臂进行控制测试, 发现运动路径混乱, 无法满足实际需求。所以本研究改进了AABB包围碰撞监测算法, 通过对空间六面体投影的重叠映射, 检测机器人的运动路径是否存在碰撞。实验结果表明, 该双臂按摩机器人在改进AABB算法防碰撞协调控制算法的保证下, 实现了双臂主从协调的路径规划研究。

关键词: 六自由度机械臂; 双臂; 协调控制; ROS; 防碰撞; AABB; 路径规划

0 引言

随着科技的迅速发展, 利用智能化按摩机器人模拟高级按摩师的技术已经成为可能。随着中医在世界的风行和推广, 科研工作者已经把中医按摩理论作为机器人设计的理论基础, 在此基础上提出双臂协同按摩的设想及运动路径规划的方法, 其中, 顾丹宁基于贝塞尔曲线进行平滑处理, 改进RRT方法使机械臂运动更加平稳^[1]; 赵子仪基于目标检测网络的识别定位功能, 实现了双臂无碰、平稳、同步的协调运动^[2]; 林志峰改进的RRT-Connect和RRT*算法, 更好地约束了双臂机器人的运动路径^[3]; 李洋等使用自适应步长RRT方法减少迭代次数, 可以有效降低运动时间缩短路径长度^[4]; 沈旭明提出的时序A*算法可以快速有效地实现双臂机器人的避障路径规划任务。本文在此基础上, 以柔性六轴机械臂为研究对象, 建立双机械臂系统协同模型, 基于双机械臂间动态碰撞阈值角度, 以机械臂运动学分析与双机械臂安装定位关系为基础, 采用主从控制的方法, 最后使用ROS完成对两个机械臂的位姿关系控制建模, 实现双臂机器人按摩的运动规划。

1 机械臂运动学原理分析

1.1 机械臂正向运动学模型

本文实验使用了JAKA机器人公司开发的Minicobo六关节自由度机械臂作为被控对象。Minicobo是高性能桌面级多轴机器人, 其六个关节全部采用QDD(Proprioceptive Actuator)半直驱驱动器柔性执行器构成。根据由杆件坐标系建立得到的Minicobo连杆系数参数表如表1所示。

表1 Minicobo机械臂D-H参数表

关节	关节角 θ_i /度	关节偏置 d_i /m	关节扭转角 α_{i-1} /度	连杆长度 a_{i-1} /m	关节范围/度
1	θ_1	0	-90	0.792	$\pm 140^\circ$
2	θ_2	0	0	0.173	$\pm 90^\circ$
3	θ_3	0.792	180	0.173	$\pm 140^\circ$
4	θ_4	0.792	90	0.792	$\pm 140^\circ$
5	θ_5	0	90	0.792	$\pm 140^\circ$
6	θ_6	0	0	0	$\pm 180^\circ$

计算机臂正运动学模型, 最常用的方法就是D-H法。

D-H法求机械臂关节坐标转换原理为: 在机器人的每个连杆上固定一个坐标系, 使用4*4的齐次变换矩阵来协调相邻两连杆之间的空间关系, 通过依次变换最终推导出末端执行器相对于base坐标系的位姿, 以此来完成机器人运动学方程的建立。依照以上结论本文最终结果便是转换矩阵, 也就是Minicobo机械臂的底座坐标系到机械臂末端坐标系之间的变换关系。

首先根据表1标定后的D-H参数, 带入坐标系在下一个关节坐标系中描述的公式:

$$T_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \delta_{i-1} & \cos \theta_i \cos \delta_{i-1} & -\sin \delta_{i-1} & -\sin \delta_{i-1} d_i \\ \sin \theta_i \sin \delta_{i-1} & \cos \theta_i \sin \delta_{i-1} & \cos \delta_{i-1} & \cos \delta_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(1)}$$

由此可得到下一个坐标系在上一个中描述, 也就是6组关节坐标的转换矩阵:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 & 0.792 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_1 & -\cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(2)}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0.173 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(3)}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0.173 \\ -\sin \theta_3 & -\cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0.792 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(4)}$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & 0.792 \\ 0 & 0 & -1 & -0.792 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(5)}$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} \cos \theta_5 & -\sin \theta_5 & 0 & 0.792 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin \theta_5 & \cos \theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式(6)}$$

$$T_6^5 = \begin{bmatrix} \cos \theta_6 & -\sin \theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \theta_6 & \cos \theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式 (7)}$$

于是, Minicobo 机械臂的正运动学转换矩阵即为求第六个关节坐标系在基坐标系下的坐标的转换矩阵。计算上等于六个转换矩阵依次进行乘法计算。

$$T_6^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 T_6^5 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{式 (8)}$$

1.2 机械臂逆向运动学模型

机械臂逆运动学是机械臂运动规划中的重要环节,它是正运动学的逆运算。机械臂逆运动学的目的是通过已知的机械臂末端位姿,反过来求解出机械臂各关节角、关节速度。机械臂逆运动学的求解过程是一个复杂的数学问题,需要运用高等数学、线性代数、微积分等知识。机械臂逆运动学的求解过程可以分为两个步骤:首先,通过正运动学求解出机械臂各关节的位置和末端位姿;其次,通过逆运动学求解出机械臂各关节的角度和速度。在这个过程中,需要考虑到机械臂的结构、运动学参数、关节限制等因素。

对于六轴机械臂,建立理想运动学非线性方程组:

$$F(\theta) = (f_1, f_2, \dots, f_{12})^T \quad \text{式 (9)}$$

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{12}) \quad \text{式 (10)}$$

由上式得到迭代方程:

$$\theta^{i+1} = \theta^i - J_i^{-1} F(\theta^i) \quad \text{式 (11)}$$

由此构建机械臂逆向运动学解析,从而得到各关键角度信息。

2 双臂协调系统设计

2.1 系统任务描述与策略分析

双机械臂协调作业的任务是通过一些约束前提,建立两个机械臂之间的相对轨迹关系,从而实现双机械臂之间的协调。由于双机械臂协调作业对象为人体,其轮廓特征为变形度小且容易定位,因此可将人体视为位姿已知的柔体对象。在实施策略方面,本研究采用主从机协同控制算法,也就是把系统中的两个机械臂分为主机器人 (Master Robot) 和从机器人 (Slave Robot)。在该算法中,首先根据目标

点的轨迹确定主机器人的运动轨迹,然后根据两机器人的安装位置关系,对从机械臂进行 RRT (Rapidly-exploring Random Trees) 运动规划,从而避免碰撞到由主机机械臂构成的包围盒碰撞物。RRT 是一种高效的路径规划算法,能够在高维空间中快速地搜索可行路径,从而实现机械臂的协调作业。其次,基于改进 AABB 包围盒碰撞检测算法通过对空间六面体投影的重叠映射,检测机器人的运动路径是否存在碰撞,进一步保证了双臂下主从协调的路径规划。本研究采用主从机协同控制算法、改进 AABB 包围盒碰撞检测算法等多种技术手段,最优实现机械臂的高效、精准、稳定和可靠的协调作业。

2.2 双机械臂系统实验平台描述

在按摩机器人的研究中,为了便于研究不同按摩姿态下的操作,且为了便于计算运动角度,所以主机机械臂与从机械臂的安装方式为左右异侧位置关系。其安装位置和关系如图 1 所示。

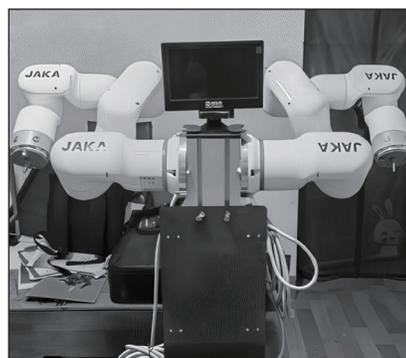


图 1 Minicobo 双臂按摩机器人安装示意图

在完成整体模型安装搭建后,需要对整个系统进行连接。其连接方式如图 2 所示。该系统设计采用 TCP/IP 通讯协议,使计算机可以通过以太网对机械臂上六个驱动器电机进行控制操作;电源部分,该系统使用 DC30-60V 电源。

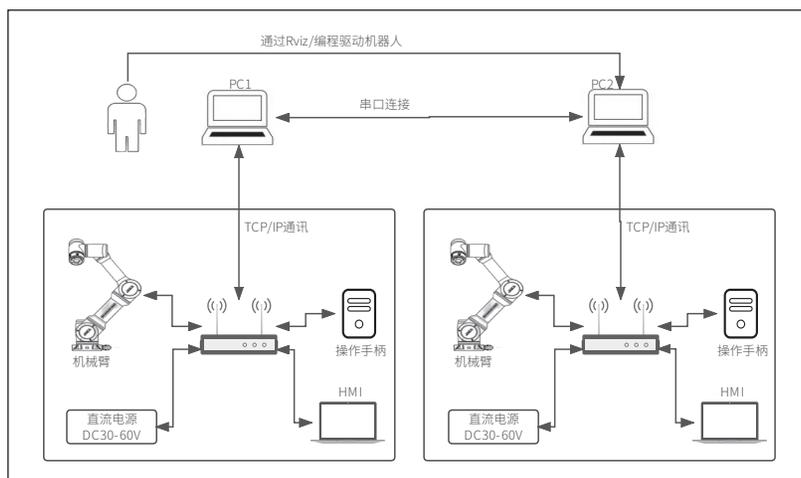


图 2 双机械臂协同系统硬件结构体

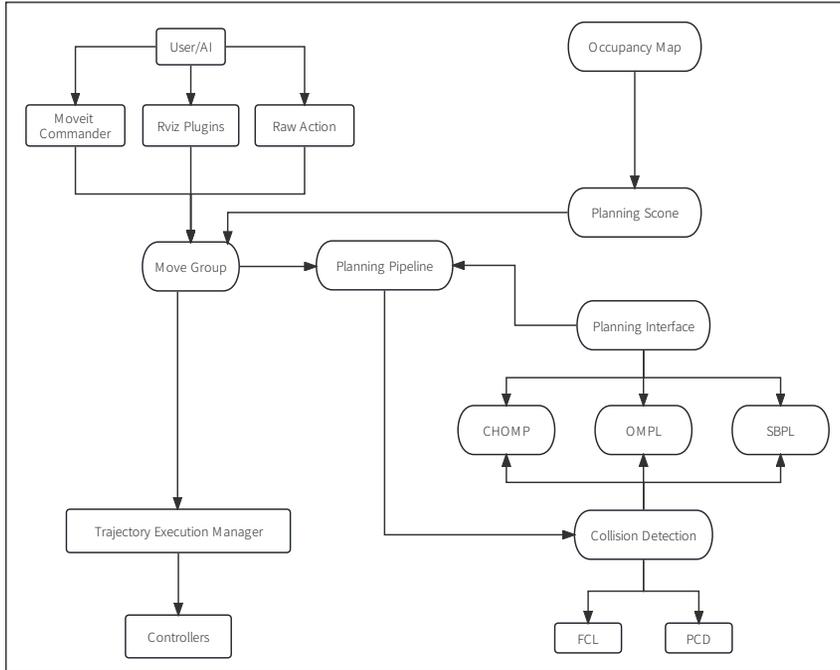


图3 MoveIt 系统架构

这是一款 60W 多组输出封闭型电源，包含急停、启动、暂停、连接通讯、通讯检测等。由此，完成了 Minicobo 双机械臂系统的安装。

本研究采用了 Ubuntu 18.04 系统下 ROS (Robot Operating System) 的 Melodic 版本作为机械臂控制系统平台的软件部分。在 ROS 框架下，针对移动机械臂操作的 MoveIt 功能包来控制机械臂。MoveIt 结合了运动规划、碰撞检测、3D 感知、运动学、控制和导航等功能，通过设置 MoveIt Commander、Rviz Plugins、Raw Action 建立 Move Group 总控移动组，按照路径规划描述分为 TEM (Trajectory Execution Manager)、Planning Pipeline 路径规划、Planning Scene 演示场景规划三方面，对 TEM 设置机械臂 Controller 单元；对 Planning Scene 设置应用场景工作地图；对 Planning Pipeline 设置 Planning Interface 并使用 CHOMP (Covariant Hamiltonian Optimization)、OMPL (Open Motion Planning Library)、SBPL

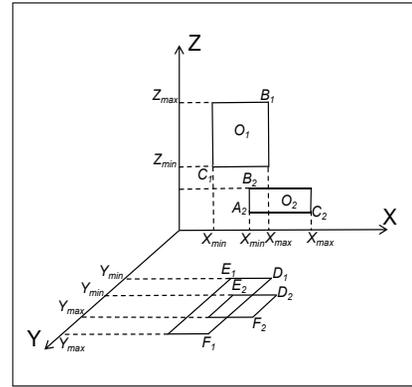


图4 AABB 示意图

(Search-Based Planning Library) 建立 Collision Detection 碰撞检测单元从而实现 FCL (Flexible Collision Library) 和 PCD (Proximity Collision Detection) 的路径碰撞测试，MoveIt 系统架构如图 3 所示。

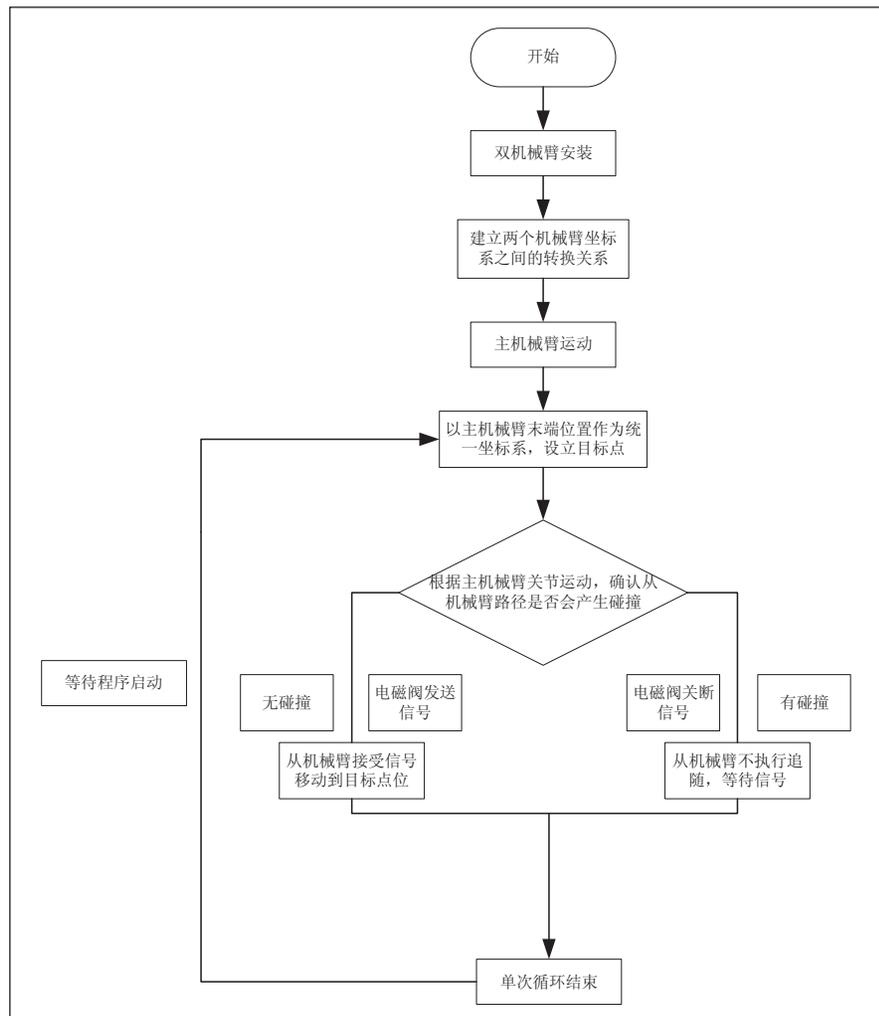


图5 双机械臂协同作业流程图

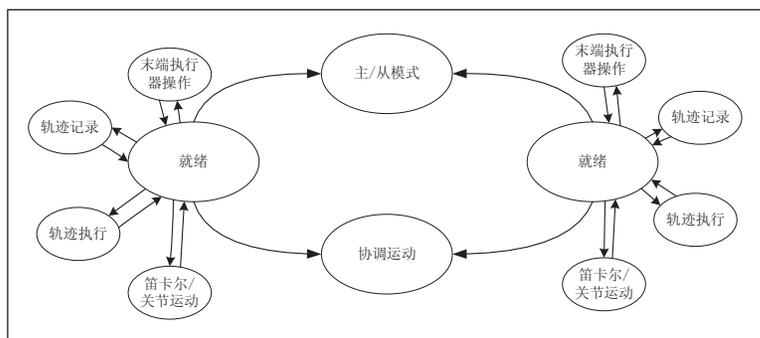


图6 基于双臂协同的体系结构图

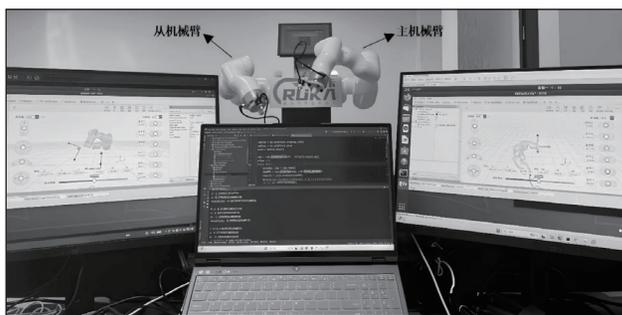


图7 双臂机器人主从协调任务路径规划

3 双臂协同控制策略

■ 3.1 双机械臂碰撞检测

本文针对双机械臂在运动规划过程中可能出现的碰撞检测，在 AABB 包围盒的碰撞检测方法的基础上进行改进，该算法使运算模型更加简单、算法计算量小、具有跟随物体旋转的特点。改进 AABB (Axis-Aligned Bounding Box) 算法，通过对标准的六面体包围障碍物，求出两个 AABB 包围盒在三个坐标轴的投影，测算出两个 AABB 包围盒在三维空间坐标中投影的重叠映射，判定两个 AABB 是否出现碰撞。如图 4 所示，可以观测到包围盒在 XOY 形成的投影中出现了重叠，在 XOZ 投影面内没有发生重叠，因此可以认为两个包围盒没有碰撞。

改进 AABB 包围盒检测取值满足数学约束条件：

$$R = \{(x, y, z) | x_{min} \leq x \leq x_{max}, y_{min} \leq y \leq y_{max}, z_{min} \leq z \leq z_{max}\} \quad \text{式 (12)}$$

其中 $(X_{m,n}, Y_{m,n}, Z_{m,n})$ 表示包围盒在 X, Y, Z 轴上投影的最小坐标值； $(X_{max}, Y_{max}, Z_{max})$ 表示包围盒在 X, Y, Z 轴上投影的最大坐标值。

图 4 所示为两个包围盒在三个投影平面的投影，分别取各个投影在坐标轴上的最大、最小坐标值。比较两个包围盒顶点坐标值，从而判断两个包围盒是否发生碰撞。本文选择圆柱形包络机械臂连杆的方法，区分主从机械臂不同控制时，各关节轴实时的旋转角度状态，比对在空间坐标系中是否存在重叠部分，判断双机械臂在运动规划中是否存在碰

撞，从而实现双机械臂主从协调的碰撞检测。该方法既可以判断主从机械臂之间是否发生碰撞，也可以用于单机械臂的自碰撞检测。

■ 3.2 双机械臂协同任务

如图 5 通过获取主机械臂末端实时位置，将其设为目标点，并实时判断是否会发生碰撞以及该点是否在机械臂的工作空间内。如果不会与主机械臂碰撞并且在从机械臂的工作空间内，则电磁阀发送信号，程序正常运行，从机

械臂开始移动；否则暂停本次路径规划，等待电磁阀信号，从机器人停留在原地等待主机械臂下一次位置传送。

双臂协同的体系结构如图 6 所示，由两个末端控制器组成，每个臂一个，具有一些公共状态。当按摩程序启动时，系统从就绪状态启动，并不断更改为可以被视为机器人的可用能力的不同运行状态。通过运行按摩程序执行设定轨迹，将关节运动的坐标系实时传输到末端执行器中，以主从模式下构建协调运动机理，完成轨迹的实现与点位坐标记录的功能。

■ 3.3 实验结果

图 7 为实验室下的双臂机器人系统追随任务的实现，采用不同屏幕检测协调控制运动。其中左侧界面作为主机械臂，右侧界面作为从机械臂。操作主机械臂运动到某种位姿，从机械臂位姿也会追随变化。

4 结论

本研究完成了双臂机器人协调控制下的路径规划任务，复现了类人臂功能运行机理，为该系统在后续的人体轮廓视觉识别坐标转换生成与人机互动语音交互打下了基础。从实际应用角度出发，改进 AABB 包围盒算法搭建双机械臂之间的动态碰撞角度的检测，以 ROS 系统实际测试完成了主从协调控制的路径规划控制的实现。

参考文献

- * [1] 顾丹宁, 方灶军, 张延军. 采用改进 RRT 方法进行双臂机器人路径规划 [J]. 机械设计与研究, 2022, 38(04): 49-55+60.
- * [2] 赵子仪. 基于视觉定位的双臂机器人无碰撞运动规划与协调控制研究 [D]. 合肥工业大学, 2022.
- * [3] 林志峰. 双臂机器人协调运动规划方法研究 [D]. 哈尔滨工业大学, 2021.
- * [4] 李洋, 徐达. 基于引力自适应步长 RRT 的双臂机器人协同路径规划 [J]. 机器人, 2020, 42(05): 606-616.
- * [5] 沈旭明. 基于时序 A-* 算法的双臂机器人避障路径规划研究 [D]. 浙江工业大学, 2020.

基于 IIR 的智能传感器实时监测系统设计

陈苑冰¹, 叶青¹, 吕佩洁², 范珠燕², 陈幸儿², 陈智浩², 唐立文¹

(1. 广州商学院 现代信息产业学院, 广东广州, 510000; 2. 广州商学院 信息技术与工程学院, 广东广州, 510000)

基金项目: (1) 2022年度广州商学院校级大学生创新创业训练计划项目——基于IIR的智能传感器实时监测系统; (2) 2022年度广州商学院校级质量工程高等教育教学改革项目——传感器原理及应用课程线上线下混合式教学研究(2022JXGG79); (3) 供给侧改革视角下民办高校智能科学与技术专业创新创业人才培养模式研究(2021XJYB09); (4) 基于计算机视觉的多视点视频行为识别关键技术研究(2022KTSCX164)。

摘要: 本文详细探讨了基于无限脉冲响应(IIR)的智能传感器实时监测系统。文中介绍了IIR滤波器的国内外发展概况、设计与实现过程及系统硬件的设计。该系统主要由Arduino单片机控制, 配合光敏传感器和液位传感器进行外部环境信息的实时采集。为了优化采集信号质量, 采用了特定的滤波电路和IIR信号处理技术, 显著地降低了信号噪声。经对比分析滤波前后的信号振幅图和频谱图, 信号质量得到了明显改善。此监测系统不仅成功实现了智能传感器的实时功能, 且在该领域中展现出重要的应用价值。

关键词: 无限脉冲响应(IIR); 智能传感器; Arduino

0 引言

随着传感器技术的不断发展, 智能传感器在各个领域中得到了广泛应用。本文提出了一种基于 IIR 的智能传感器实时监测系统, 旨在通过采集光敏传感器和液位传感器的数据, 实现智能传感器实时监测系统。使用 Arduino 开发板作为主控, 加强硬件设计和编程的过程, 通过合适的信号放大和滤波电路设计, 有效减小信号噪声的影响。

1 国内外发展现状

IIR 滤波作为信号处理领域中基本的处理方法之一, 在许多研究领域得到了广泛应用。在国内, 水声信号处理领域, 由于水声信号在信道传输过程中面临着严重的传播损失和多径效应, 运用混沌滤波器处理后可提高信号的非线性复杂特性^[1]。在航天领域, 通过设计 IIR 低通滤波器, 根据设置通带和阻带衰减等滤波参数, 在航空重力数据的低通滤波处理中获得了接近于 GT-1A 系统的滤波效果^[2]。在心电图的滤波处理中, 运用 IIR 滤波器技术开发运动员的心跳信号检测系统, 为教练员提供运动员的心率信息, 提高训练效果^[3]。

在国外, 研究者提出了各种设计方法和算法, 以实现基于脉冲响应不变法的滤波器设计。Bidegaray-Fesquet 等人使用 IIR 滤波器, 研究了加性噪声和电平的不确定性对电平交叉采样数据对滤波的影响, 将扰动信号和非扰动信号联系起来^[4]。Okoniewski 等人为了抑制 IIR 滤波器的瞬态响应, 提出了降低瞬态响应的二阶数字无限脉冲响应窄带抑制滤波器, 并通过齿轮直流电机进行测量, 滤波后减少了过冲^[5]。综上所述, IIR 滤波技术是数字信号处理中的一项重要技术, 并在多个领域有应用。随着数字信号处理技术的不断发展, IIR 滤波器将会有更广阔的应用前景和更多的创新。

2 IIR 滤波器设计实现过程

2.1 IIR 滤波器设计内容

本文使用的传感器主要为光敏传感器与液位传感器, 使用双通道获取数据, 再用快速傅里叶变换将时域转换为频域。根据其频率响应特性与给定技术指标设计归一化样本的模拟低通滤波器, 选择使用巴特沃斯滤波器设计方法转换成滤波器。在已知滤波器技术指标的条件下, 根据巴特沃斯设计公式确定所需阶数。通过利用脉冲响应不变法设计函数, 选择直接 II 型的滤波器结构, 设计了一种 IIR 滤波器。最终展示了该滤波器对噪声的过滤效果。

2.2 IIR 滤波器设计实现过程

本设计采用间接法设计 IIR 滤波器, 利用模拟滤波器设计滤波器。通过将设计好的归一化样本模拟低通滤波器转换为各种通带的滤波器, 并将频带交换与数字化结合在一起, 完成相应的滤波器变换。本设计运用巴特沃斯滤波器进行信号处理从传感器获取的信号。巴特沃斯滤波器在通频带内的频率响应曲线较为平坦, 并且在阻频带内缓慢下降至零位置^[6]。

在模拟滤波器技术指标下, 根据巴特沃斯设计公式

$$N \geq \frac{\lg\left(\frac{10^{0.1A_s} - 1}{10^{0.1A_p} - 1}\right)}{2\lg(\omega_s / \omega_p)}$$
 确定所需阶数和根据

$$\frac{\omega_p}{(10^{0.1A_p} - 1)^{\frac{1}{2N}}} \leq \omega_c \leq \frac{\omega_s}{(10^{0.1A_s} - 1)^{\frac{1}{2N}}}$$
 获得 3dB 截频 ω_c 。根

据不同传感器设定对应的采样频率 W_n , 确定滤波器归一化

截止频率, 根据公式 $S_k = \omega_c e^{j\pi\left(\frac{1}{2} + \frac{2k-1}{2N}\right)}$ 计算巴特沃斯滤波器极点分布, 得到巴特沃斯滤波器的传输函数

$$H(s) = \prod_{k=1}^N \frac{-S_k}{s - S_k}$$

同时, 本设计采用脉冲响应不变法将模拟滤波器的系统函数 $H(s)$ 转换为滤波器的系统函数 $H(z)$, 即将 s 平面映射到 z 平面上。脉冲响应不变法是一种常用的数字化方法, 有阶跃响应不变法和双线性变换法等。在这个映射过程中, 需要满足保持因果稳定性和模拟滤波器的左半平面映射到 z 平面的单位圆上这两个基本要求^[7]。脉冲响应不变法以模拟滤波器的冲击响应理想采样信号 $h(t)$ 为基础, 通过映射关系 $z = e^{sT}$ 来实现, 这样可以在满足了基本要求的基础上, 保持理想采样信号的拉氏变换采样序列的 z 变换对应。

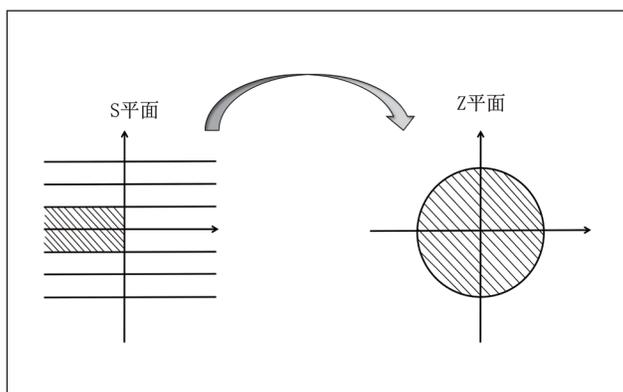


图1 S 平面到 Z 平面的映射关系

以采样信号 $h(t)$ 作为枢纽, 诠释其映射关系。由于 $h(t) = a \sum_{n=0}^{\infty} e^{-bnT} \delta(t - nT)$, 带入模拟滤波器传统函数 $H(s)$ 可得 $H(s) = \int_0^{\infty} h(t)e^{st} dt$, 即:

$$H(s) = a \sum_{n=0}^{\infty} e^{-bnT} e^{-snT} \quad \text{式 (1)}$$

对 $H(s)$ 进行拉氏变换, 得到:

$$H(z) = a \sum_{n=0}^{\infty} e^{-bnT} (z^{-1})^n \quad \text{式 (2)}$$

对上式进行 Z 变换, 得到滤波器的系统函数:

$$H(z) = a \frac{1}{1 - e^{-bT} z^{-1}} \quad \text{式 (3)}$$

IIR 数字滤波网络的基本结构可以分为直接型、级联型和并联型。通过解析 IIR 数字滤波网络的线性常系数差分方程, 即公式 (4), 我们可以得到 IIR 数字滤波网络的直接型结构^[8]。

根据差分方程经过 Z 变换后得出的系统函数 $H(z)$, 在通过因式变换后, 可实现级联型和并联型两者转换。直接型结构通过线性差分方程得出, 减少变换复杂度。

$$y(n) = \sum_{i=0}^M a_i x(n-i) + \sum_{i=1}^N b_i y(n-i) \quad \text{式 (4)}$$

直接型结构可以分为直接 I 型和直接 II 型。直接 I 型系统函数为:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k \cdot z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k \cdot z^{-k}} = H_1(z) \cdot H_2(z) \quad \text{式 (5)}$$

直接 I 型是先实现 $H_1(z)$, 再实现 $H_2(z)$, 即先实现系统函数的零点, 再实现极点, 需要 $2N$ 个延迟器和 $2N$ 个乘法器。而直接 II 型是在直接 I 型的结构变换而来, 将直接 I 型零点和极极点级联顺序变换, 合并延时单元, 即将右边的 $H_2(z)$, 移到 $H_1(z)$ 前面位置。这种结构先实现系统函数的极点, 再实现零点, 需要 N 个延迟器和 $2N$ 个乘法器, 其系统函数为:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k \cdot z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^N a_k \cdot z^{-k}} = H_2(z) \cdot H_1(z) \quad \text{式 (6)}$$

通过直接 II 型结构图, 可以写出输入序列 $x(n)$ 、中间节点 $w(n)$ 和输出序列 $y(n)$ 的关系, 如公式 (7) 和公式 (8) 所示。

$$w(n) = x(n) + \sum_{k=1}^N a_k w(n-k) \quad \text{式 (7)}$$

$$y(n) = \sum_{k=0}^M b_k w(n-k) \quad \text{式 (8)}$$

对比两种结构的系统函数可知, 直接 I 型的网络结构需要更多的延迟器, 所以在更多的研究应用中, 使用直接型结构就是采用直接 II 型结构, 更加高效便捷。因此直接 II 型结构适用于低阶数滤波器的使用, 但是无法保证系统的稳定性。本设计以 3 阶滤波器为主, IIR 滤波器不涉及过于复杂系统, 采取直接 II 型结构进行设计。

2.3 核心代码实现过程

本设计采用 Python 实现 IIR 滤波器的仿真和实现, 使用双通道获取信号数据后, 主要使用了 Numpy 函数中的傅里叶变换方法 FFT 变换进行信号转换, 以及 Scipy 工具包中的 signal 库函数, 来实现巴特沃斯滤波器的构造, 同时使用算法实现脉冲响应不变法的直接 II 型结构表示方法, 获得滤波后的数据。

此次设计的信号来源于光敏传感器与液位传感器获取的数据信号, 为了将复杂的传感器信号转换为易于分析的频域信号, 使用傅里叶变换能够实现这一要。核心代码如下:

```
fdata=np.fft.fft(collectdata)
fmdata=np.sqrt((np.real(fdata))**2
+(np.imag(fdata))**2)
```

为了实现对处理后的频域信号进行特定频率的滤除, 可以通过设置采样频率、截止频率以及阶数来设计 IIR 滤波器, 再借助直接 II 型结构算法获得滤波数据。以设置 4 阶 IIR 巴特沃斯滤波器为例, 采样频率为 1000Hz, 滤除 50Hz 左右的频率。根据公式 $Wn=2 * \text{截止频率} * \text{采样频率}$ 可以计

算出该参数下的归一化截止频率。接着利用 Python 函数 `sos=scipy.signal.butter(N,Wn,btype='low',analog=False,output='sos')`，使用输出类型为 `sos`，获取 4 阶 IIR 巴特沃斯滤波器的二阶截面表示数据。之后使用直接 II 型滤波算法对函数 `butter` 的返回数据进行计算，最终得出滤波后数据，完成滤除 50Hz 信号的 4 阶 IIR 巴特沃斯滤波器的设计。

整个程序使用了多线程的方式，保证了数据的实时更新和图形界面的流畅显示。同时，通过滤波器应用，可以对原始数据进行去噪和平滑处理，提高数据的可靠性和准确性。

3 硬件设计过程

硬件设计过程可以概述为以下几个关键步骤：

(1) 确定检测内容与方法：在设计前，首先要明确要检测的内容以及对应的检测方法，以选择合适的传感器。本设计主要以检测环境光照及水杯水位情况为例。

(2) 选择传感器：系统中采用了光敏传感器和水位传感器，其数值通过模数转换 ADC 进行采集。

(3) 电路设计与传感器连接：选择基于 Arduino 的开发板作为系统核心。Arduino 开发板能够通过其模拟引脚与传感器连接。

(4) 代码实现：根据系统需求，编写 Arduino 代码，以实现传感器数据的采集、处理和上传功能。编码过程中运用 Arduino 的基本语法和其内置函数库，并利用模拟输入引脚完成 ADC 转换。数据采集完成后，可以通过 StandardFirmata 协议将数据上传至计算机。

以上各步骤为硬件设计流程，确保系统从选择传感器到数据处理和上传的全过程都得到充分考虑。以下是主要硬件内容的介绍。

■ 3.1 Arduino UNO R3 开发板

Arduino UNO 是一款基于 ATmega328P 微控制器的开放式电子原型平台，专为电子系统设计与构建而优化。该开发板拥有 14 个数字输入 / 输出引脚（其中 6 个支持 PWM 输出功能）和 6 个模拟输入端口。为支持稳定的时钟输出和设备编程，UNO 配备了一个 16MHz 的陶瓷谐振器、USB 接口、电源插座、ICSP 接头及复位按钮。由于其完备的集成设计，用户只需通过 USB 接口或外接电源为其供电，便可快速启动和操作。

在特定的应用场景中，Arduino UNO 作为主控单元，与光敏传感器和液位传感器相连。这些传感器的输出通过内置的模数转换器（ADC）转化为数字信号，进而对环境进行准确检测和监测。为了实现数据与计算机之间的交互，系统采用了 StandardFirmata 协议进行数据传输，为后续的数据

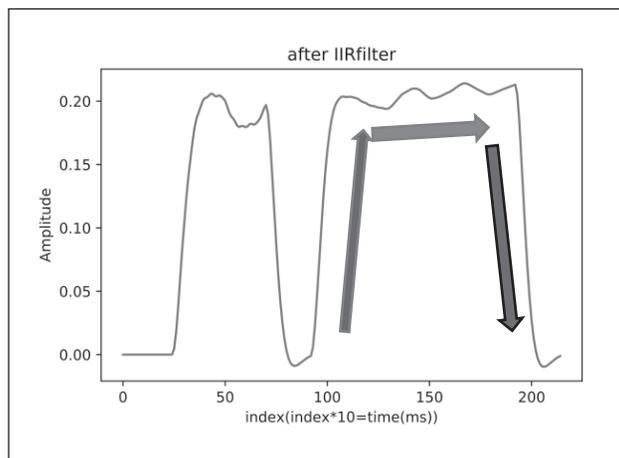


图 2 液位传感器信号过滤后图像

据处理与分析提供便利。Arduino UNO 作为核心控制单元，为电子系统设计带来了极大的便利性，有效地加速了开发过程，提高了开发效率。

■ 3.2 光敏传感器模块

光敏传感器是一种光信号和电信号转化的传感器，被广泛应用于太阳能电池、硅光电池、硅光电池、CMOS 图像传感器等新元件的制造中。当光照射到光敏电阻的电极时，光导材料上的电子会被激发，从而增加电子和价带的空穴数量。这会导致光敏电阻的阻值减小，进而提高光敏传感器的电导率。在施加足够的光辐射能量时，光敏传感器会产生内部光电效应。光敏传感器模块通常由光敏电阻、运放等元件组成。其中光敏电阻是核心的部件，它可以根据周围环境的光线强度发生电阻变化，而运放则用来放大和处理光敏电阻的信号，从而输出一个可供微控制器等其他设备读取的电信号。

同时，还需要设计适当的电路来进行信号放大和滤波，以便将光敏元件的输出信号转换成模拟电压信号，并通过模数转换 ADC 采集到 Arduino 开发板中，最终上传到计算机。

■ 3.3 液位传感器模块

液位传感器模块是一种用于检测液体表面高度的设备，通常由传感器、控制器和显示器等组成。传感器通过感应液体表面高度，将其转换为电信号，传输给控制器进行处理，最终显示液体的高度或水平状态。

目前液位传感器多种类型，其中主要有测量液体的压力传感器。该模型具有不同的水位高度，从而使传感器接收到的压力变化信号转化为标准电信号。其工作原理为：

$$P=\rho \cdot g \cdot H+P_0$$

其中， P 为液体前沿的压力， ρ 为测得的液体密度， g 为局部重力加速度， P_0 为液体表面的大气压， H 为发射器进入液体的深度。它利用水的浮力来提升传感器上收集到的信息。由于水深的变化，水面的高度也会有一些微小的变化。

如图 2 所示，左侧箭头表示目前水位很高。中间箭头表示水位稳定在高位。右侧箭头表示水位正在降低。表 1 显示了传感器输出电平在保持高位和保持低位的状态。

表1 液位传感器信号状态对应图

传感器信号状态	图像
保持高位	
保持低位	

4 系统运行情况

Arduino 开发板将采集到的液位传感器和光敏传感器的电信号上传到程序中，如图 3 所示，通过模数转换将从传感器采集到的数值传输至 Arduino 开发板中，最终上传到计算机。使用 matplotlib 库将得到的初始数据的振幅响应和频谱的图像，与经过 IIR 算法后的数据的振幅和频谱图像进行可视化进行分析。

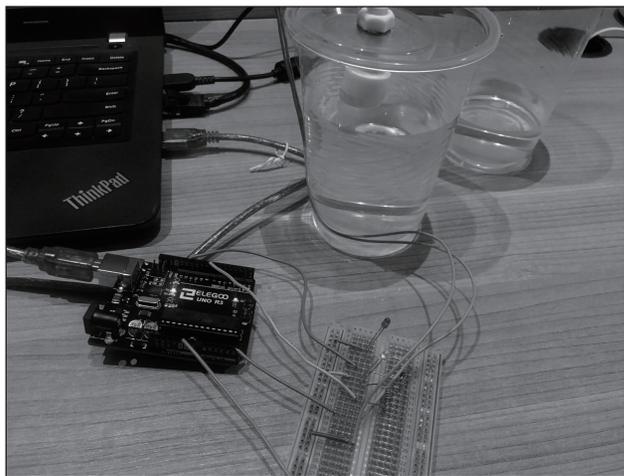


图 3 硬件连接图

通过获取数据并展示，得到的原始液位传感器电信号振幅图（见图 4）与滤波后液位传感器电信号振幅图（见图 5）和原始光敏传感器电信号振幅图（见图 6）与滤波后光敏传感器电信号振幅图（见图 7）。从图 4 和图 6 可知原始信号具有较多噪声，通过 IIR 滤波器后，改善了信号的质量，实时输出的数据，达到图 5 与图 7 的效果。IIR 滤波器可以保留信号中的重要信息，对输入信号进行平滑处理。

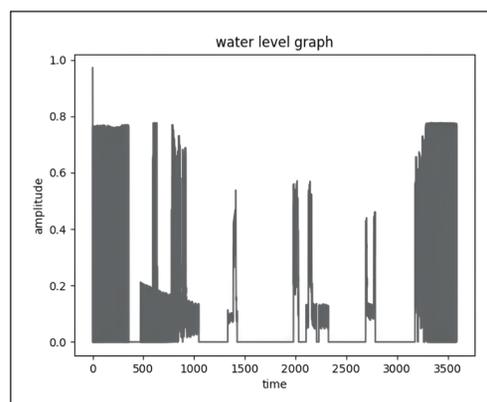


图 4 原始液位传感器电信号振幅图

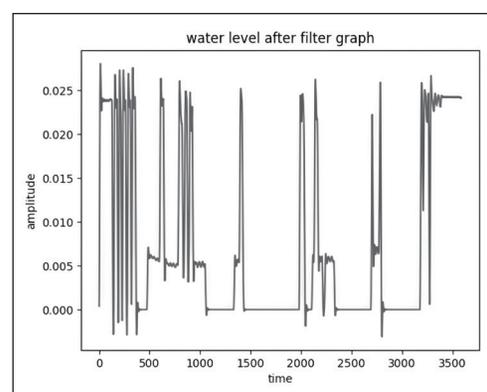


图 5 滤波后液位传感器电信号振幅图

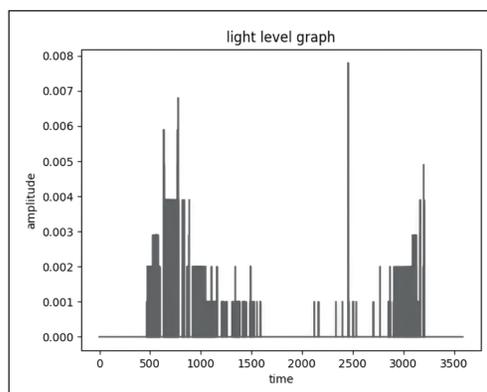


图 6 原始光敏传感器电信号振幅图

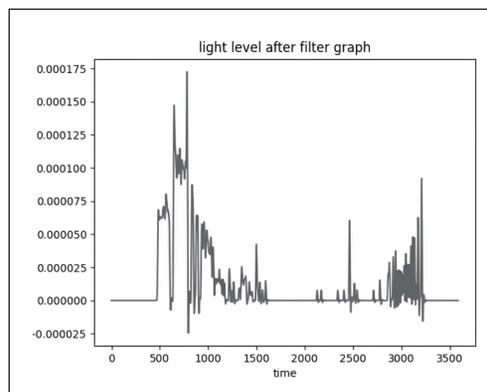


图 7 滤波后光敏传感器电信号振幅图

同时,通过获取到的原始液位传感器电信号频谱图(见图8)与滤波后液位传感器电信号频谱图(见图9),以及原始光敏传感器电信号频谱图(见图10)与滤波后光敏传感器电信号频谱图(见图11)。通过对比分析,该IIR滤波器成功地滤除了50Hz的噪声。该滤波器具备宽的频率过渡带,允许其在截止频率附近展现出平滑的频率响应。这不仅减少了对信号幅频响应的波动,而且使得信号的频谱更为平滑。这种平滑响应的特性对于维持信号在时域的原始特征以及降低滤波所导致的失真至关重要。

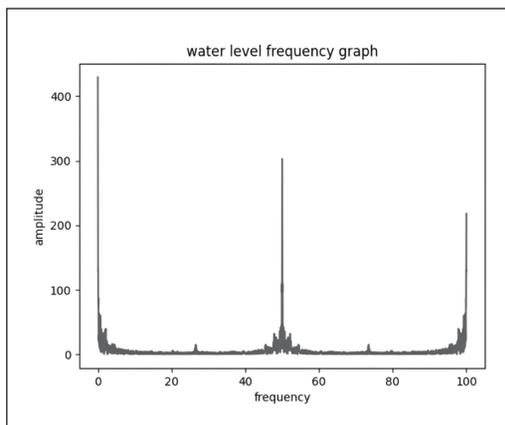


图8 原始液位传感器电信号频谱图

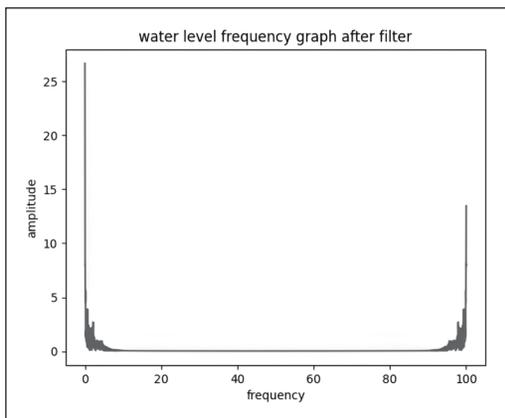


图9 滤波后液位传感器电信号频谱图

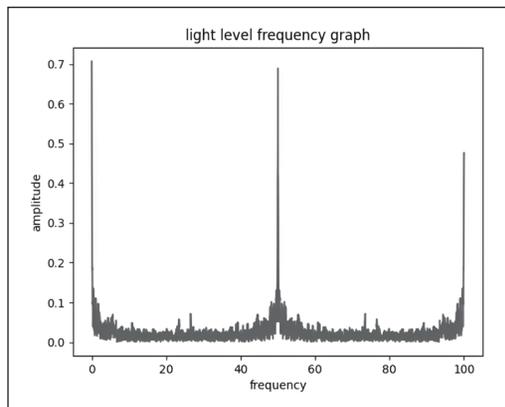


图10 原始光敏传感器电信号频谱图

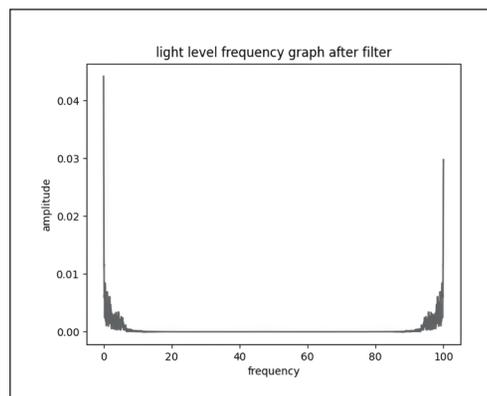


图11 滤波后光敏传感器电信号频谱图

5 结语

本文介绍的基于IIR的智能传感器实时监测系统。文中介绍了IIR滤波器的国内外发展概况、设计与实现过程及系统硬件的设计。并且利用Arduino开发板作为主要控制单元,通过光敏传感器和液位传感器实现了传感器数据的采集与监测。系统采用设计合适的滤波电路和IIR信号处理技术,成功降低了信号噪声的影响,从滤波前后的振幅图和频谱图对比可以明显看出信号质量的提升。这些措施共同实现了智能传感器的实时监测与检测功能。该系统的实用性、高效性和可靠性为智能传感器实时监测领域带来了重要的应用价值,并为未来相关研究和应用提供了有益的参考和基础。

参考文献

- * [1] 李作川,张宇,许芳,等.混沌滤波器对水声信号非线性动力学特性的影响[J].电子学报,2011,39(010):2378-2381.
- * [2] 郭志宏,罗锋,王明等.航空重力数据无限脉冲响应低通数字滤波器设计与试验研究[J].地球物理学报,2011,54(08):2148-2153.
- * [3] 彭泉.基于IIR滤波器的运动员心跳信号滤波处理[J].电子技术与软件工程,2014(21):2.
- * [4] Bidegaray-Fesquet, B. (2015). Noise and offset in the IIR filtering of event-based sampled data. 2015 International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP).
- * [5] Okoniewski, P., & Piskowski, J. (2019). Short Transient Parameter-Varying IIR Filter Based on Analog Oscillatory System. Applied Sciences, 9(10), 2013.
- * [6] 黄波.巴特沃斯数字滤波器的设计与仿真实现[J].河南科技,2021,40(36):10-12.
- * [7] 登奇,彭鑫.脉冲响应不变法在IIR滤波器设计中的应用[J].湖南理工学院学报(自然科学版),2015,28(04):23-26+68.
- * [8] 姜恩华,李素文,周建芳.基于Matlab软件的IIR数字滤波辅助教学研究[J].兰州文理学院学报:自然科学版,2022,36(4):112-116.

基于物联网的智慧路灯模拟控制系统设计与实现

张桂莲, 郑炎辉, 石宜金

(丽江文化旅游学院 信息学院, 云南丽江, 674199)

基金项目: 丽江市科技局科技计划项目 (2022LJSHFZ012); 云南省教育厅项目 (2023J1458)。

摘要: 针对传统路灯单一控制模式、管理不便、能源浪费大、灯光强度固定等问题, 本文提出了基于物联网的智慧路灯模拟控制系统的设计与实现方案。系统硬件选用Atmega328p作为主控芯片, 利用多种传感器获取数据并结合华为云物联网平台实现数据可视化。通过实验测试, 结果表明该控制系统运行稳定, 满足设计要求。

关键词: 物联网; 传感器; 智慧路灯; 云平台

0 引言

路灯是城市基础设施建设中必不可少的一部分, 其在城市中所承载的功能决定了其布局紧密、覆盖面广、规律性强的特点。路灯“网络”是智慧城市应用设备设施载体, 在路灯上可以承载智慧城市的多种创新, 以路灯作为智慧城市发展建设当中的基础设施能起到事半功倍的效果, 将路灯建设成一种节能、环保、智慧程度高的照明设备已是当务之急^[1]。

目前大多数的路灯主要使用高压钠灯, 存在耗能高, 效率低, 使用寿命短, 维护成本高等问题。除此之外, 传统路灯只有简单的照明功能, 缺乏整灯的自动监测, 既不能保证照明和安全, 也不利于后续为维护管理。

在很早之前人们都已经对智慧路灯控制系统做了深入研究来解决传统路灯功能单一、能源消耗大等问题。Shancheng J 等人^[2]提出出来基于 STM32 的智慧路灯的设计和实现, 利用 GPRS 连接服务器实现数据的传输。谭伟^[3]提出了基于 zigbee 无线网络技术以及 GPRS 技术的智慧路灯控制系统, 成本低廉, 稳定可靠。李璐等人^[4]提出用 Zigbee 无线通信技术、GPRS 技术、传感器技术实现智慧路灯控制系统设计。

在经过调查研究发现, 目前大部分的智慧路灯控制系统对太阳能利用率低。因此, 本文基于物联网技术, 设计并实现了一个智慧路灯模拟控制系统。本系统利用太阳能作为主要的供电能源, 可以大大减少传统能源能耗, 有效利用清洁能源; 利用 MCU 控制路灯, 应用调光算法实现按需调光, 减轻夜间环境光污染; 通过无线局域网接入云平台可实现便捷远程管理, 并在检测到路灯工作异常时可以及时对路灯进行远程操控。

1 智慧路灯系统概述

1.1 系统功能描述

要实现路灯的“智慧”, 首先设计路灯的“大脑”——MCU 最小系统; 其次是根据具体需要, 应用各种传感器实

现路灯的感官功能; 最后是编程实现环境数据采集和处理可视化、路灯自动调光。本文基于物联网的智慧路灯模拟控制系统设计与实现需具备以下几个基本功能。

(1) 环境感知与数据采集

根据智慧路灯对数据的需求, 智慧路灯控制系统需要通过传感器, 采集智慧路灯周围环境数据, 如环境温度、PM2.5、环境噪声、环境光照强度等信息。

(2) 数据传输与通信

智慧路灯控制系统采集到周围环境数据之后, 需要将数据传输至华为云平台。因此需要路灯的主控板与云平台通信, 利用 ESP8266-12E WiFi 模块。该模块将采集到的数据转换为 JSON 数据格式, 采用 MQTT 协议与华为云平台通信, 华为云平台也可以下发控制命令到智慧路灯控制系统。

(3) 数据显示

智慧路灯控制系统采集的数据, 实时显示于灯杆的 OLED 屏幕上。对于上报至华为云平台的数据, 以统计图形式显示在云平台的历史数据表中。

(4) 智慧按需调光

智慧路灯每个节点有单独的 MCU 实现独立控制, 根据行人及车流量进行自动调光以节省夜间耗电和减轻夜间光污染。

(5) 路灯状态监测

实时监测路灯工作状态。在夜间时, 当路灯出现灯泡不亮、亮度太低等故障时, 上报云平台并给出路灯位置, 以便于维修人员及时定点处理故障。

(6) 一键紧急求助

智慧路灯灯杆上设置紧急求助按钮, 行人遇到紧急情况时发出求助信号。

(7) 远程控制功能

管理人员可以在云平台上监测远程数据、远程控制智慧路灯开关灯。

1.2 智慧路灯系统组成

本设计是基于物联网的智慧路灯模拟控制系统, 以

Atmega328p 作为主控芯片。该系统主要由按钮、LED 灯、人体红外传感器、环境数据采集的各类传感器、OLED 屏幕、Arduino UNO 最小系统、ESP8266 WiFi 通信模块等构成。其系统框架如图 1 所示。

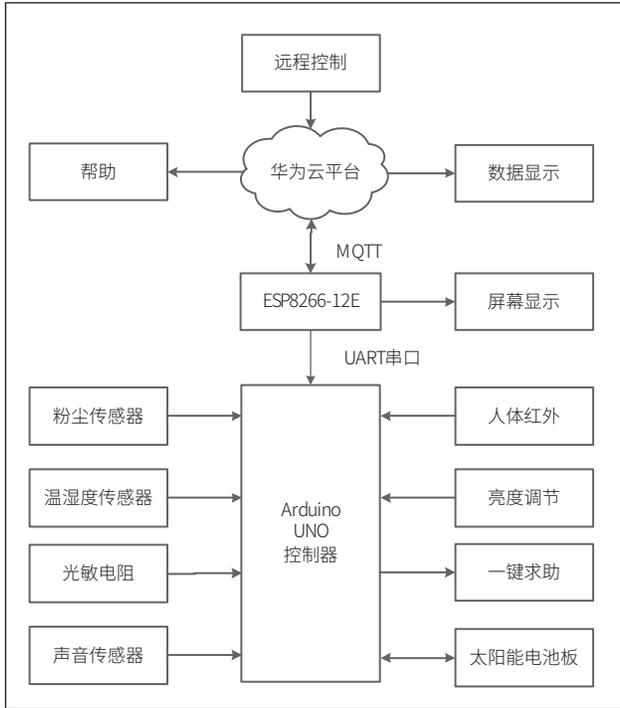


图 1 系统整体框架

2 智慧路灯系统设计方案

2.1 硬件设计

(1) Arduino UNO 最小系统设计

Arduino UNO 最小系统是由 ATmega328p 芯片、晶振电路、复位电路以及电源电路构成。通过嘉立创 EDA 设计绘制 Arduino UNO 最小系统电路图，如图 2 所示。

(2) 太阳能与锂电池电源供电

太阳能电池板是基于光生伏特效应的光电半导体薄片。它是将太阳能转化为电能的光电二极管，当太阳光照射到光电二极管上时，光电二极管就会把太阳的光能转化为电能，产生电流。本设计中使用的太阳能电池板外观如图 3 所示。实际应用中，在太阳光照强度良好的条件下，用万用表测得太阳能板电极两端电压有 12.2V；在光照强度较弱的环境下，太阳能板电极两端电压能有 10V；在没有阳光照射的条件下，用万用表测得太阳能电池板电阻有 378kΩ（含太阳能电池板引出来的一部分导线）。太阳能电池板通过降压模块接入电源供电切换模块主电源端，18650 锂电池接入电源供电切换模块备用电源端。在太阳能电池板为智慧路灯系统供电时还要为锂电池充电；当太阳能电池板不能供电时

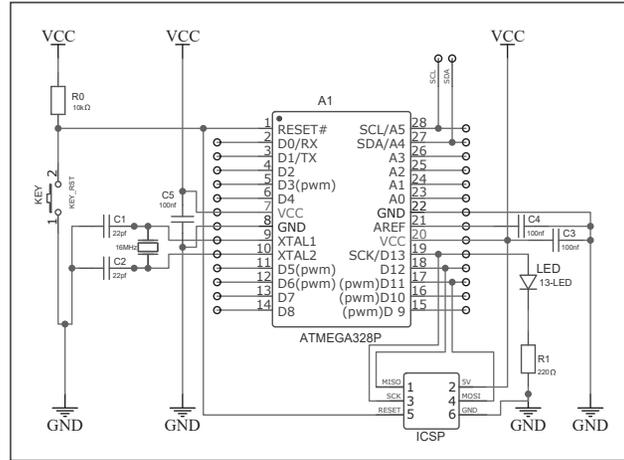


图 2 最小系统电路图

切换为锂电池为系统供电。

(3) 通信模块

ESP8266-12E 是基于乐鑫 ESP8266EX 的低功耗 UART-WiFi 芯片模组，可以方便地进行二次开发，接入云端服务，实现手机 4G 全球随时随地的控制，加速产品原型设计^[5]。ESP8266-12E 的外观如图 4 所示。



图 3 太阳能电池板

(4) 其它

为了实现智慧路灯控制系统的其余功能还需要其他部分硬件模块，如图 5 所示。

2.2 软件设计

(1) 灯光状态监测与调光

LED 调光通过编写程序实现 Arduino UNO 最小系统获取光敏电阻和人体红外传感器 HC-SR501 的数据，通过灯泡亮度和感应行人，应用 PWM 调光，流程如图 6 所示。在程序调试时，路灯处于低亮度且传感器感应不到人时，保持低亮度，感应到行人则调高亮度；路灯处于高亮度且传感器感应不到人时，调低亮度，感应到行人则保持；串口监视器数据显示如图 7 所示。

(2) 环境数据采集

环境监测由 Arduino UNO 最小系统获取温湿度传感器

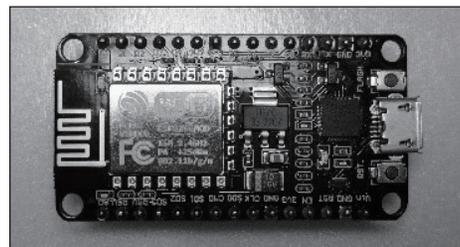


图 4 ESP8266-12E

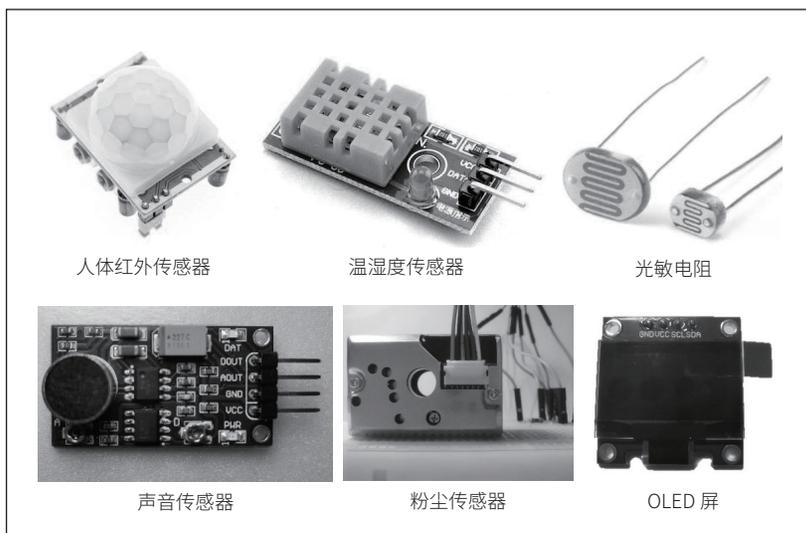


图5 其他模块

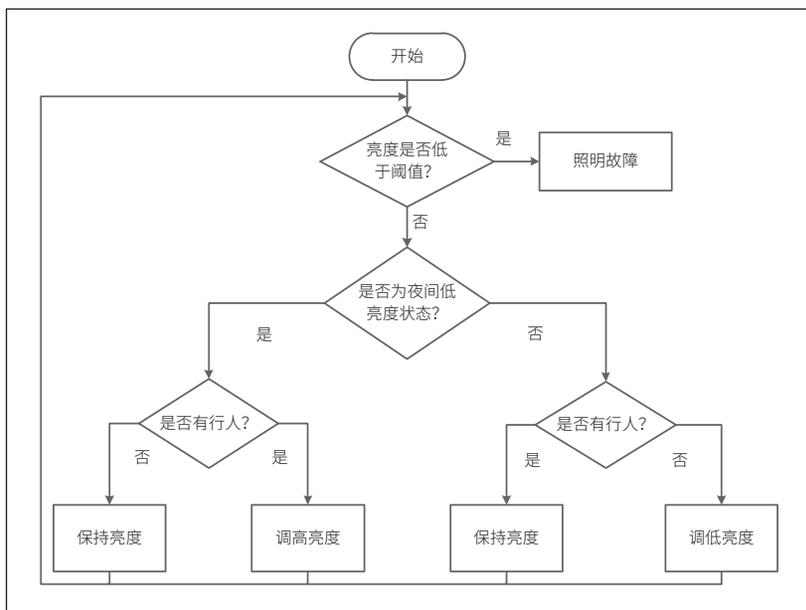


图6 调光流程图

DHT11、夏普粉尘传感器 GP2Y1014AU 以及声音传感器的输出数值，实现对环境温湿度、环境颗粒物和环境噪声检测。在调试程序时，观察数值变化如图 8 所示。

(3) 数据通信

数据的可视化主要经历以下三种形式：

第一：Arduino UNO 与 ESP8266-12E 通信

Arduino UNO 与 ESP8266-12E 之间数据传输采用 UART 通信。通用异步收发器 UART 是一种异步、串行、全双工的通信协议，将所需传输的数据一位接一位地传输，其特点是通信线路简单，大大降低了成本，但传送速度较慢。UART 通信结合 JSON 数据格式可以实现将 Arduino UNO 获取到的多个传感器数据封装传输到 ESP8266-12E，同理 ESP8266-12E 也可以向 Arduino UNO 传输数据。

第二：ESP8266-12E 与云平台通信

ESP8266-12E 与云平台通信是基于 MQTT 协议，采用 JSON 数据格式可以实现传感器数据发布至云平台，同理云平台也可以下发命令，由 ESP8266-12E 转发至 Arduino UNO，实现远程控制。

第三：屏幕显示——I²C 通信

物理 I²C 接口有两根双向线，串行时钟线 (SCL) 和串行数据线 (SDA) 组成，可用于发送和接收数据，但是通信都是由主设备发起，从设备被动响应，实现数据的传输。

(4) 数据处理

数据处理主要有两个方面：声音传感器的 ADC 输出值和分贝值；粉尘传感器的输出电压值和粉尘浓度值。

①声音传感器的作用相当于一个话筒（麦克风），它用来接收声波。传感器输出电压值是经过 AD 转换的数字量，一般情况下，电压值与分贝 (dB) 之间为非线性关系，为了降低后续数据的复杂度，需要对测出的 ADC 值和分贝值采用最小二

表1 ADC值与对应的分贝量

x:ADC输出值	y:dB
509	21
550	23
603	44
682	62
725	64
915	66

乘进行拟合，采集的电压值和分贝值如表 1 所示。

拟合直线：

$$f_n(x) = ax + b \quad \text{式 (1)}$$

$$M = \sum_{i=1}^m \Delta_i^2 = \sum_{i=1}^m [y_i - (ax_i + b)]^2 \quad \text{式 (2)}$$

其中， x_i 和 y_i 为采集的输入和输出值， a 、 b 为待定系数。使 M 最小来保证每个偏差的绝对值都很小，这种根据偏差的平方和为最小约束条件来计算常数 a 和 b 的方法叫做最小二乘法。

利用公式 (1) 对 a 和 b 求一阶偏导数等于 0：

$$\frac{\partial M}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^m [y_i - (ax_i + b)] x_i = 0 \quad \text{式 (3)}$$

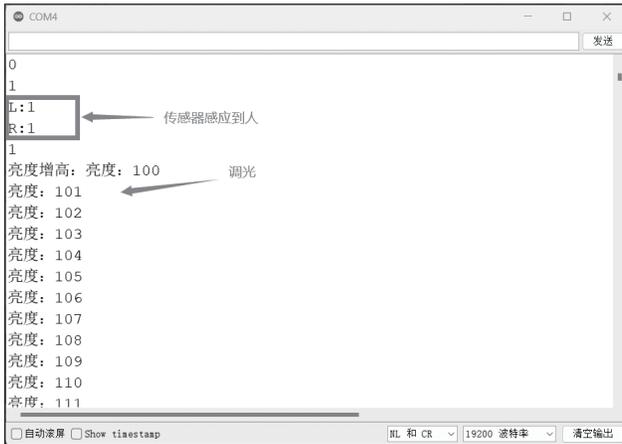


图7 串口监视器数据



图8 环境监测

$$\frac{\partial M}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^m [y_i - (ax_i + b)] = 0 \quad \text{式 (4)}$$

即:

$$a \sum_{i=1}^m x_i^2 + b \sum_{i=1}^m x_i = \sum_{i=1}^m x_i y_i \quad \text{式 (5)}$$

$$a \sum_{i=1}^m x_i + mb = \sum_{i=1}^m y_i \quad \text{式 (6)}$$

分离常数 a 和 b , 得:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{n \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} \quad \text{式 (7)}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^2 \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m x_i y_i}{n \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} \quad \text{式 (8)}$$

最终求得 $a \approx 0.12$, $b \approx -36.44$ 。

因此在可检测范围内, 声音传感器中输出的数值和分贝值之间的拟合直线为: $f_n(x) = 0.12x - 36.44$ 。

②根据粉尘传感器 GP2Y1014AU 采集的浓度和电压的对应关系如表 2 所示。同样可以用最小二乘法对传感器进行直线拟合。在可检测范围内最终得到的粉尘传感器输出电压和

粉尘浓度值之间的直线方程为: $f_d(x) = 0.176x - 0.152$ 。

表2 粉尘浓度特性数据

y:粉尘浓度(mg/m ³)	x:输出电压(V)
0.00	0.90
0.04	1.05
0.10	1.40
0.17	1.80
0.22	2.15
0.28	2.50
0.34	2.85
0.38	3.20
0.44	3.45
0.53	3.65

3 系统测试结果

3.1 云平台测试

云平台测试主要是测试真实设备接入云平台后, 路灯属性数据上报和云平台命令下发控制路灯的开关。路灯上报的属性数据包括环境信息、路灯状态和按键状态, 如图 9 所示。云平台命令远程控制路灯开关如图 10 所示。

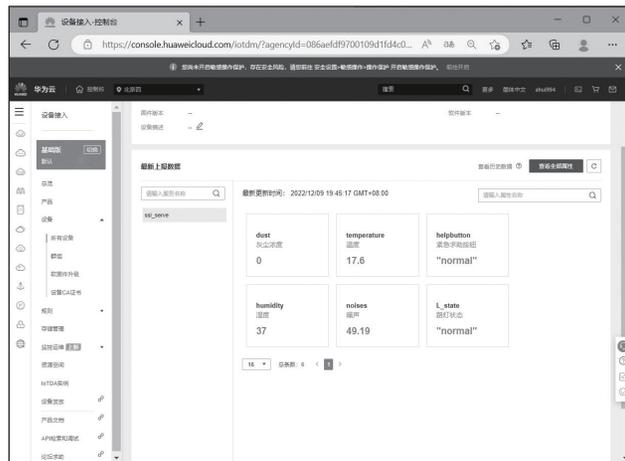


图9 云平台数据

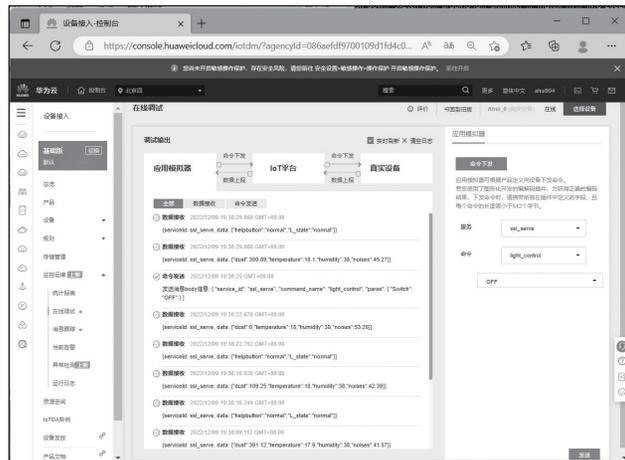


图10 数据下发命令

(下转第 7 页)

基于物联网的农村家用水池水位监测系统设计

粟文馨, 梁珊珊, 覃晓芸, 陈梅玲, 吴源颖, 李关泳
(玉林师范学院 计算机科学与工程学院, 广西玉林, 537000)

摘要: 为了给用户提简单、便捷的安装和操作, 设计了一种通过LCD1602液晶显示屏或手机FeasyBlue软件实时监测农村家用水池的水位值并报警的水池水位监测系统。该系统采用STC89C52单片机作为主控单元以及蓝牙模块作为无线通信设备, 利用KeilμVision5编程平台进行开发。最终实现FeasyBlue软件对农村家用水池水位监测系统的控制, 以及相关数据在FeasyBlue软件和LCD1602液晶显示屏的数据显示。经过一系列测试, 农村家用水池水位监测系统运行稳定, 能够满足用户的日常基本需求, 具有一定实用价值。

关键词: 物联网; 水池水位监测系统; STC89C52; 蓝牙; FeasyBlue

0 引言

目前, 我国农村大部分地区常使用蓄水池进行供水, 但是一般只具有简单的蓄水功能, 用户对水池中的蓄水量或者水位高度不了解, 对水池管理和使用停留在较原始的使用状态, 不能实时了解蓄水池的水量情况, 不便于管理。而且中国的水位测量技术还不够成熟, 过去的水位测量往往采用人工方式, 因此在测量费用、效率等方面需要更多的人力和物力。在日常生活中, 由于不能经常及时反馈水池水位的具体位置, 导致对水池水量的控制延迟。而这种长时间的监测方式, 会导致水池水量过多或不能及时补水, 造成水资源的浪费, 甚至会在生产上出现反常和变化^[1]。

目前市场上测量水位的仪器种类较多, 但仅靠测量水位并不能很大程度上满足人们的需求。因此, 为了更准确地测量水位, 我们需要采用自动化的监控系统, 并配备可视化或可听到的警报。通过这种方式, 用户可以更加安全地监控室内设备的水位变化, 从而提高工作效率^[2]。因此, 本文利用单片机技术设计了一种基于物联网的农村家用水池水位监测系统来实现对水位的实时监测, 通过现场的LCD1602液晶显示屏和手机FeasyBlue软件, 用户可以方便、快速地查看水池水位信息。本系统使用STC89C52^[3]单片机作为主控, 并通过蓝牙实现了无线通信以及信号的传输和显示, 整体设计灵活智能, 功能稳定, 具有实用价值。

1 系统总体设计

该水位测量系统以STC89C52^[4]为主控芯片, 外围电路主要包括温度传感器、超声波模块、蓝牙模块、LCD1602液晶显示屏、按键、蜂鸣器。通过温度传感器和超声波模块采集水池的水位, 通过按键开关可以控制启动水位测量系统并将测量结果显示在LCD1602液晶显示屏上, 也可以通过蓝牙通信模块连接手机上的FeasyBlue软件控制启动水位测量系统, 将测量结果的信息显示在手机FeasyBlue软件上,

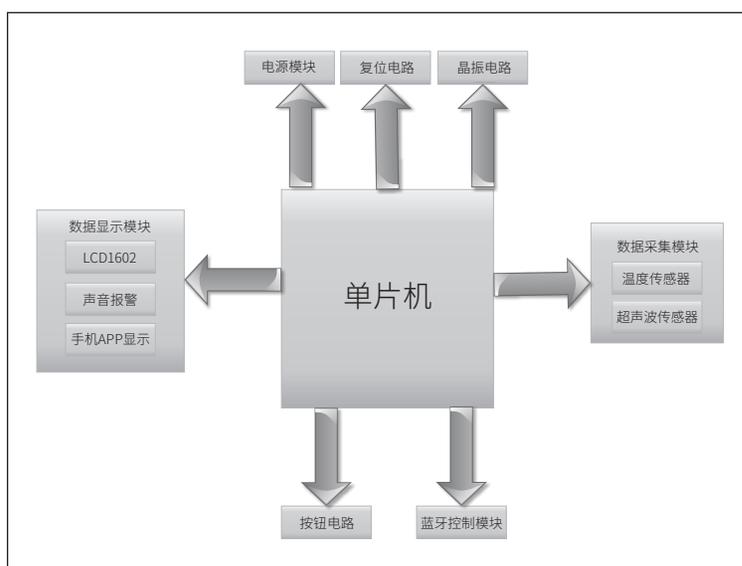


图1 系统框架图

使用蜂鸣器作为报警器, 当水位超过预设值, 蜂鸣器响起并发送报警信息至LCD1602液晶显示屏上和手机FeasyBlue软件上。

2 系统硬件

2.1 硬件设计

硬件设计分为超声波模块电路、温度检测电路、蓝牙控制电路、数据显示电路、按钮电路、报警电路六个功能模块, 并采用了STC89C52作为主控模块。农村家用水池水位监测系统的功能结构如图3所示。

2.2 各个模块电路的设计

2.2.1 超声波模块电路

初始化时, 由单片机控制的接口电路向模块的Trig接口电路发送至少 $10\mu\text{s}$ 高输入信号的TTL脉冲信号, 触发模块的操作。模块检测到触发信号之后, 会自动发送8个40kHz的方波, 然后自动切换至监测模式, 监测是否有信号返回(超声波信号遇障碍物会返回)。如果有信号返回, 通过模块的Echo引脚会输出一个高电平, 高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间^[5]。HC-SR04超声波模

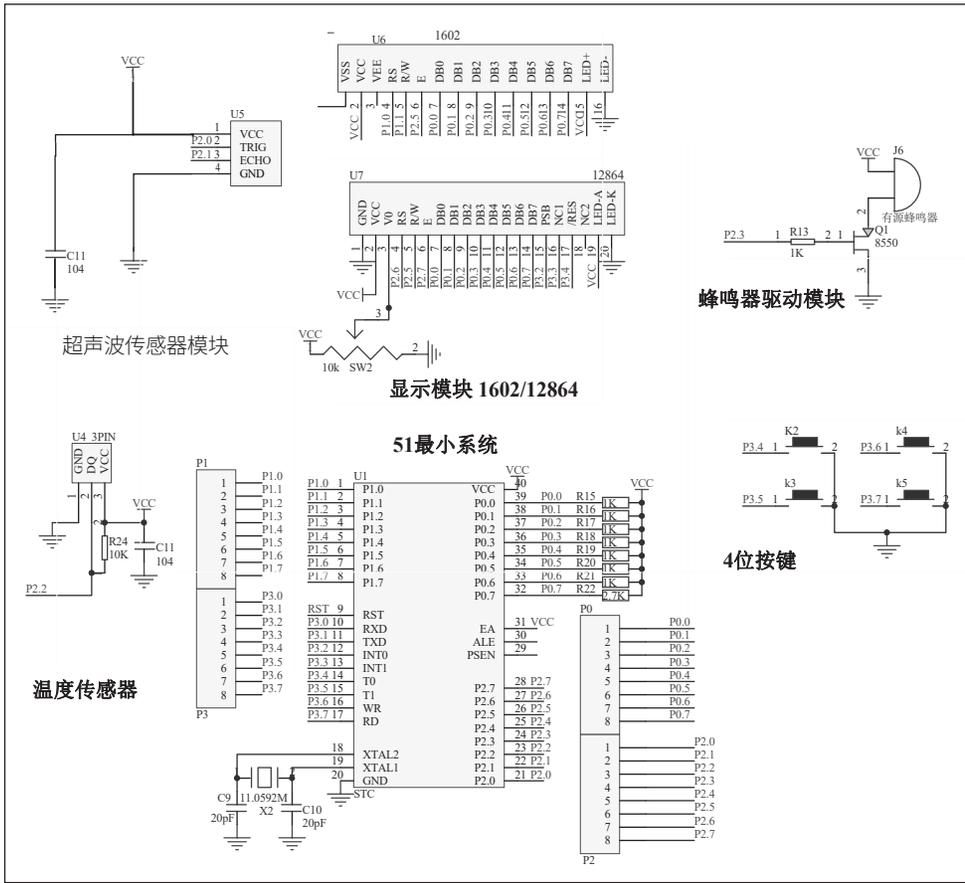


图2 硬件设计原理图

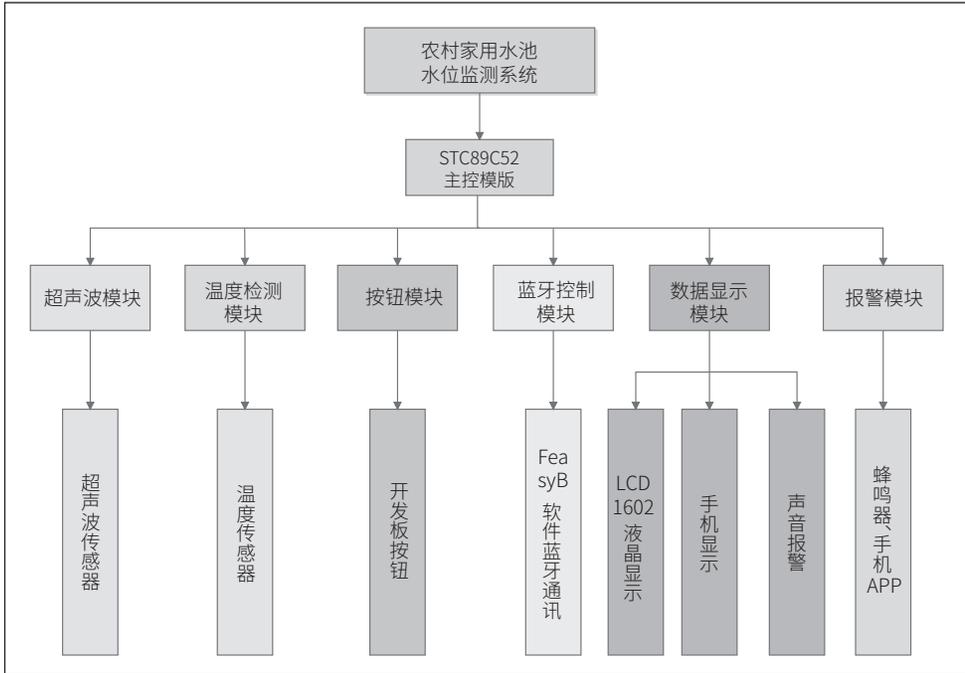


图3 水池水位监测系统的功能结构图

块的质量和性能都比较稳定。静态电流不超过 2mA，感应能力角度不超过 15°。另外，引脚 VCC 连接 5V 电源，TRIG 连接单片机控制的 P3.0 端口，ECHO 连接单片机控制的

P3.1 端口，GND 连地。

2.2.2 温度检测电路

本设计中通过使用 DS18B20 温度传感器^[6]，它是一个微处理器接口简单，体积小、适用于电压宽的温度传感器，其可以对水池水位监测系统温度补偿，且无需进行模数转换。此外，还可以增强对水池水位测量的实时性。并且为了增强测距的准确度和稳定性，本系统在硬件选择方面使用了 DS18B20 数字温度传感器，这种温度传感器添加了温度补偿算法，针对超声波模块使用 DS18B20 数字温度传感器的补偿算法进行温度补偿，单片机上电启动后可获得当前环境温度的数值即通过温度传感器实时读取，通过温度补偿算法使得测距数据的值更加精确。

公式 $v=331.4+0.61T$ ， T 是 DS18B20 测得的环境温度， v 是超声波传播速度，在测距过程中，STC89C52 单机会将测量到的温度值应用于超声波的波速补偿中，以校正实际现场的波速水平，从而减少温度对测距结果的影响，提高水池水位监测系统的测量精度。

2.2.3 按钮电路

本次设计采用 2 个独立式按键实现对水池的水

位值进行监测，两个按键分为开始测量水池高度键、测量水池水位键。按下 K2 键后，系统开始测量超声波发射器到水池底面的距离；按下 K3，表示已经测量好了超声波发射器

到水池底面之间的距离，通过数据及计算处理，开始实时监测水池水位。

2.2.4 蓝牙控制电路

本次设计采用外接 DX2002 蓝牙通讯模块^[7]来实现对水池水位值进行监测，使用 FeasyBlue 软件连接蓝牙模块，连接之后在手机上发送 Distance 就会开始测量超声波发射器到水池底面的距离，然后按下“shuiwei”就会开始实时测量水池水位，发送“tingzhi”就会退出。

2.2.5 数据显示电路设计

数据显示模块由 LCD1602^[8]液晶显示屏和手机显示以及声音报警三部分组成。LCD1602 液晶显示器一共有 16 管脚，其中 1 脚接地，2 脚连接单片机的 5V 电源，3 脚用来充当液晶显示器的色彩饱和度调节端口。引脚 4、5、6 分别连接单片机控制 P1.0、P1.1、P2.5 端口；7~14 脚分别与单片机 P0.0~P0.7 口进行连接；15 脚与液晶显示屏背光源的正极连接，而 16 脚则与其负极进行连接。LCD1602 其主要显示内容为水池水位值，声音报警部分由蜂鸣器组成，当测量水位不在设定值范围内时，会听到报警声并可以在 LCD1602 液晶显示屏上和手机 FeasyBlue 软件上显示 Alarm 以及当前水位值。

2.2.6 报警电路设计

蜂鸣器报警：当水池水位达到或者超过预先设定的报警值，由 STC89C52 单片机控制的蜂鸣器将同时发出刺耳蜂鸣声报警信号来警示用户。

手机 FeasyBlue 软件报警：当水池水位达到或者超过预先设定的报警值通过 STC89C52 单片机的 P3.0 和 P3.1 接口驱动蓝牙模块，发送报警信息和当前水位值到手机的 FeasyBlue 软件上。

3 系统软件

3.1 系统软件选择

水池水位监测系统需要相对应的软件 APP 作为通信系统的控制中心，本系统采用手机 FeasyBlue 软件进行通信，FeasyBlue 软件能运行在安卓系统和 IOS 系统上，接入简单且快速，通过蓝牙接入的方式即可与水池水位监测系统连接，连接成功后通过手机 FeasyBlue 软件发送指令来实现对水池水位监测系统的控制。

3.2 系统流程图

系统及软件^[9]设计涵盖初始化、按钮子软件程序、水位检测子软件程序、数据处理子软件程序、数据传输子软件程序、最新数据显示子软件程序、报警子软件程序等。首先进行程序的初始化，按下 K3 键或手机 FeasyBlue 软件

发送 shuiwei 后开始测量水位，通过水位检测 and 数据处理程序得到水位值，再通过数据传输和数据显示程序将水位信息传输到手机 FeasyBlue 软件和 LCD1602 液晶显示屏上显示，当水位值达到或超过预设值时，会启动报警程序进行蜂鸣器报警并将报警信息发送到手机 FeasyBlue 软件和 LCD1602 液晶显示屏上。主软件程序的工作流程如图 4 所示。

4 系统实现

首先需要确定超声波传感器与最低水位（水池底部）的高度 h ，然后系统对超声波传感器到水面的距离 s 进行测量，超声波传感器向水池水面发射超声波，入射波到达水池水面后立即被反射，反射波被超声波接收器接收，从超声波发射到接收，时间间隔为 Δt ，利用 $s = (v \times \Delta t) \div 2$ ^[10] 的公式就可以算出超声波传感器到水池水面的距离， v 为超声波传播速度。利用公式 $d = h - s$ 计算出水池的水位值，参数的关系如图 5 所示。最后通过 LCD1602 屏和手机 FeasyBlue 软件实时查看水池水位情况，如果水位达到或超过预设值，利用蜂鸣器、LCD1602 液晶显示屏和手机 FeasyBlue 软件进行报警提示，以确保水池水位保持在一个理想的位置。

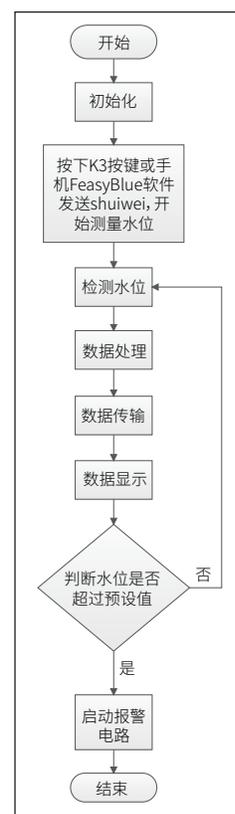


图 4 主程序流程图

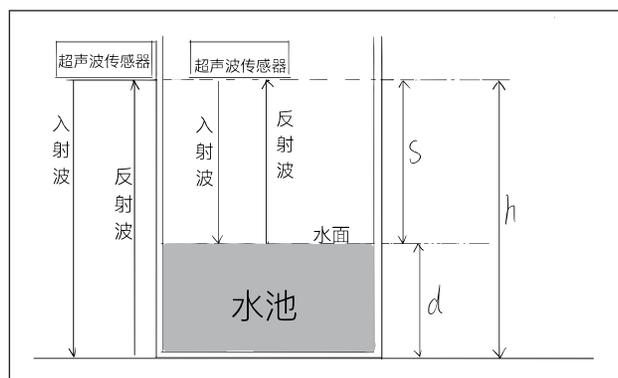


图 5 系统原理图

5 系统测试

首先连接好农村家用水池水位监测系统各个硬件模块（如图 6 所示），再将在 KeiluVision5 编程平台编写好的

代码通过 STC-ISP 烧录到 STC89C52 单片机中。然后通过蓝牙通信的方式来完成 FeasyBlue 软件和水池水位监测系统连接，待系统运行稳定后，对超声波模块、温度检测、按钮控制、蓝牙控制、数据显示与报警等功能进行测试。

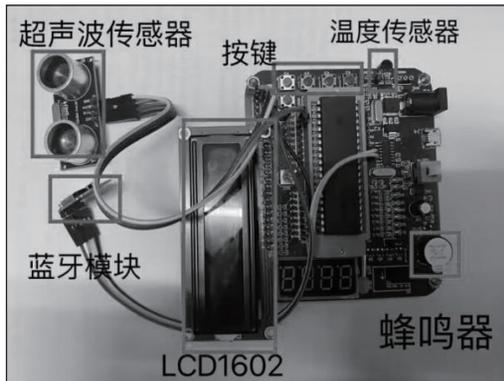


图 6 硬件系统连接图



图 7 LCD1602 水位值显示图



图 9 LCD1602 报警模块显示图

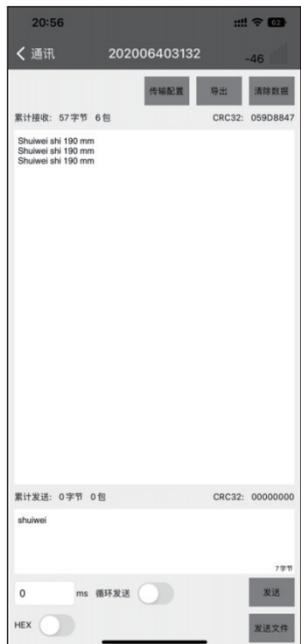


图 8 手机 FeasyBlue 软件显示图



图 10 手机 FeasyBlue 软件报警显示图

6 误差测试与分析

6.1 误差测试

选取一个高 60cm 的水池，并用高精度测量工具在水池内以 5cm 为单位进行标记，控制好环境温度，往水池加水使水位保持在 20cm，测试对象分别为市场上常见的液位测量仪和本系统测量仪器，进行测水位对比实验，并在同一水位不同温度的情况下进行 5 次测量取其平均值进行记录。将记录数据绘制成表格，如表 1 所示。

表中平均相对误差计算公式如下：绝对误差 = 测量值 - 实际水位，相对误差 = |测量值 - 实际水位| / 实际水位，平均相对误差 = 相对误差 / N，其中 N 为测量次数，如本实验的测量次数为 5 次。根据上表和平均相对误差的计算结果可以发现常见无温度补偿的液位测量仪的测量结果平均相对误差超过 5%，而本系统加入了温度补偿的测量仪器的测量结果平均相对误差在 5% 内，大大保证了数据的准确性。

表 1

测量序号	温度 (°C)	实际水位 (mm)	温度补偿		无温度补偿	
			测量值 (mm)	绝对误差 (mm)	测量值 (mm)	绝对误差 (mm)
1	16.5	200	198.40	-1.60	180.45	-19.55
2	20.3	200	195.00	-5.00	184.41	-15.59
3	22.1	200	191.60	-8.40	186.26	-13.74
4	25.2	200	188.20	-11.80	189.48	-10.52
5	28.6	200	181.40	-18.60	196.04	-3.96
平均相对误差			4.54%		6.34%	

6.2 误差分析

由于环境温度的实时变化妨碍超声波在流动空气中传播和移动的速度；超声波反射回来的雷达回波并不是那么容易很准确地捕捉到，从而致使超声波在流动空气中的传播时间，超声波反射的回波不容易被精确捕捉，导致超声波反射的回波不易被精确地捕捉到，会造成激光测距仪形成一定的测量误差。

7 结束语

本设计采用了 STC89C52 单片机作为主控芯片，并成功构建了一个农村家用水池水位监测系统的智能化水位监控系统。本装置在室外环境下进行模拟测试，测试结果表明，整个装置运行稳定，数据采集装置工作稳定，超声波传感器功耗小，报警功能达到预期效果，水池水位正常检测，报警信息及时发送，蜂鸣器进行报警，手机 FeasyBlue 软件的及时接收，装置贴近生活，可实时进行监测，符合人们的需求，具有良好的前景。

(下转第 26 页)

基于模糊神经网络 PID 变压器恒温箱控制系统研究

苏安杰, 傅中君, 朱金辉, 李可扬, 周磊, 王宇辉

(江苏理工学院, 江苏常州, 213001)

摘要: 针对变压器油色谱恒温箱对温度精细化的要求以及分析现有成熟的温度控制方法, 提出了模糊神经网络PID控制进行优化, 实现了对温度的可靠控制。系统将温度的误差e和误差率e(c)通过模糊化输入, 依据隶属函数和模糊规则推理得到PID调控因子, 再利用BP神经网络以梯度下降法对隶属中心值和基宽和权值进行学习训练。通过使用Matlab软件对传统PID、模糊PID和模糊神经网络PID三种模式进行仿真, 得到模糊神经网络PID控制模式具有响应速度快、控制精度高、抗干扰性好、收敛速度和系统的鲁棒性优秀等优势。能够有效地改善恒温箱系统温度控制的性能。

关键词: 变压器油色谱恒温箱系统; 模糊控制; 温度控制; PID; BP神经网络

0 引言

变压器是电力系统的核心设备之一, 变压器能否安全的运行对于电力系统起到至关重要的作用^[1]。油色谱在线监测装置可以通过油中溶解气体实时监测并且分析变压器的运行状态, 能够确保变压器能够安全地稳定地运行。油色谱在线监测设备在运行期间现场温度的不确定性会对油色谱的监测造成测量不准甚至无法工作使得人们不能及时发现变压器的一些潜在隐患从而造成较大的损失^[2]。

近年来关于变压器油色谱恒温箱温度的控制的研究, 传统的PID控制方法需要在温度控制系统上建立比较精准的数学模型, 并且无法实现精确的控制^[3]。模糊PID控制方法则是运用输入输出的模糊子集和隶属函数之间的关系, 根据模糊规则推理实现控制, 然而系统的模糊规则通常由专家经验整理得出, 有很多情况和领域知识难以描述且缺少自学习能力, 无法自动设计和调整^[4]。采用神经网络与PID结合的方法可以使控制系统具有自学习能力, 实时性自适应强, 可以能够实现控制的实时控制。但是该方法不能直观地去了解, 不能做到必要的修改^[5]。所以本文提出了变压器油色谱恒温箱模糊神经网络PID控制算法, 将神经网络、模糊控制、单一的PID结合起来使得三者相互补充, 发挥各自的优点达到最优的控制效果。

1 装置组成与工作原理

图1表示油色谱在线检测的基本原理图, 由油气分离单元、数据采集、气体检测、远程通信这些部分组成。其运转过程就是通过油样采集装置连接变压器油箱进行实时的采集油样, 再利用油气分离对采集的油样中的气体进行提取分离, 通过气体检验环节使得油中分离的气体进行气电的转换, 电信号的收集和处理工作在数据采集环节完成并进行数据分析并将数据传输到监测工作站便于查看。

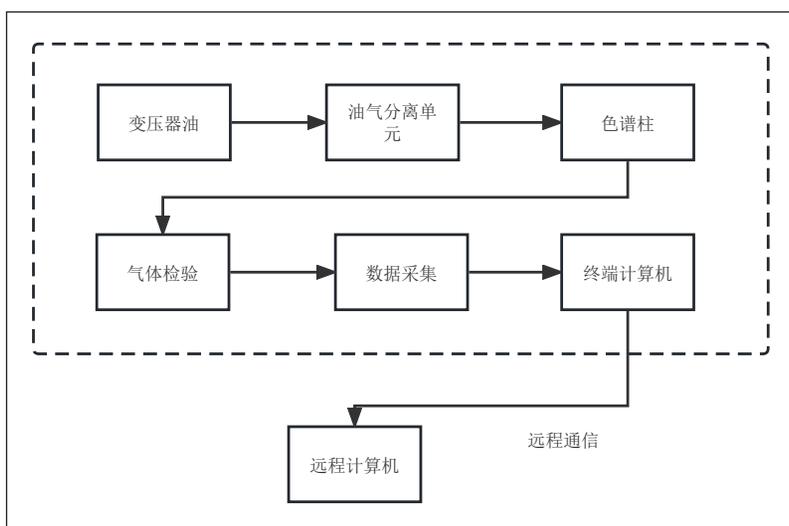


图1 油色谱在线监测装置原理图

2 模糊神经网络 PID 控制器设计

2.1 控制原理

模糊神经网络PID控制框图如图2所示。模糊神经网络是由传统PID+模糊控制+BP神经网络构成的控制结构, 控制器以温度实际测量与设置的量的偏差e和e(t)的变化率作为神经网络的输入值, 通过模糊神经网络调PID控制器的结构。选取温度偏差e(t)及e(t)的变化率作为模糊神经网络的输入通过模糊控制和神经网络的运算, 输出PID的参数 K_p 、 K_i 和 K_d 进入PID控制器中对执行的单元进行温度的控制, 实现实时地对温度系统的控制目的。

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + \int K_i e(t) dt \quad \text{式(1)}$$

2.2 模糊控制

恒温箱系统中安装有温度传感器用于检测温度, 采集到的温度通过和给定的温度进行比较得到误差e和误差变化率e(c), 通过模糊规则库对输入量进行模糊推理得出PID控制器的 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 三个修正值。根据工程经验和变压器油色谱恒温箱系统的特点, 求得输入变量e、e(c)和PID输出的变量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 模糊论域。定义e、e(c)两个

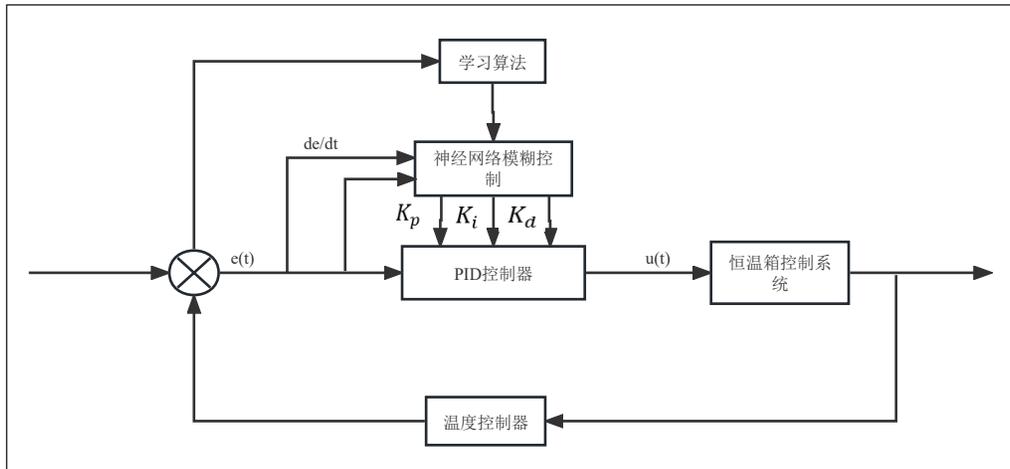


图2 模糊神经网络PID控制框图

输入变量的基本论域为 [-15,15]，模糊论域为 [-6,6]，其量化因子为 0.4。输入的模糊子集采用 7 个模糊子集进行每个变量模糊论域的计算，分别为 NB（负大）、NM（负中）、NS（负小）、ZO（零）、PS（正小）、PM（正中）、PB（正大）。

模糊控制 PID 输出量 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 模糊子集也记作 NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB, 分别把三个输出量量化至 [-6,6]、[-5,5]、[-3,3]。量化因子分别为 0.6, 0.5, 0.3。采用灵敏度强的三角函数作为隶属度函数。

模糊控制依靠模糊规则推理得出输出模糊矢量，模糊矢量不能直接进行输出，需要将得到的模糊子集进行解模糊处理将模糊量转成 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 精准值。

2.3 模糊神经网络 PID 控制

BP 神经网络是一种典型的反馈型神经网络，控制理论拥有较强的数据调节能力。系统以 BP 神经网络算法构成两输入三输出结构。该结构通过利用模糊神经网络的自学习和自适应能力来调节 PID 的三个参数使其在任何情况下都能保持一个良好的控制性能。

本文设计的系统结构如图 3 所示。由输入层、模糊层、模糊推理层、归一化层、输出层五层结构组成。通过采集输入信号 e 和 e(c)，经过五层结构得到 PID 控制器 3 个可调

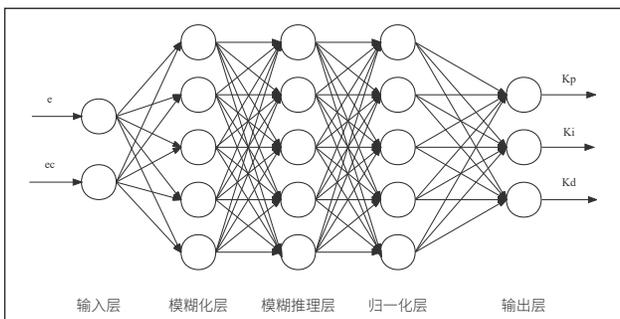


图3 网络结构图

节的参数 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 。

(1) 输入层：该层输入变量为 2 个变换后的输入量，该层的节点数为输入变量的个数为 2 个用于传到下一层。输入输出可表达为：

$$Out_{ij}^{(1)} = x_{ij} = x_i \quad \text{式 (2)}$$

式中 x_i 为第 i 个输入量。

(2) 模糊化层：该层将输入变量经过模糊化处理转变成模糊矢量，共有 2 个输入 14 个节点，节点代表的是语言变量，并确定语言变量的隶属度函数。输入输出可表达为：

$$Out_{ij}^2 = \exp \left\{ -\frac{(x_i - c_{ij})^2}{(b_{ij})^2} \right\} \quad \text{式 (3)}$$

其中 c_{ij} 为隶属度函数中间值， b_{ij} 为隶属度函数的基宽。

(3) 模糊推理层：此层共包含 49 个节点每一个节点对应着一个输入和输出变量的模糊规则，输入输出可表达为：

$$Out_y^{(3)} = \prod_{j=1}^N A(x) \quad \text{式 (4)}$$

其中 y 为规则节点， $y=1,2,3,\dots,49$ 。 $N=\{1,2,\dots,7\}$ 。

(4) 归一化层：这一层的点数和上一层一样都是 49，它所实现的是对上一层的输出进行归一化处理，输入输出可表达为：

$$Out_y^{(4)} = \frac{Out_y^{(3)}}{\sum_{i=1}^{49} Out_i^{(3)}} \quad \text{式 (5)}$$

其中 $y=1,2,3,\dots,49$ 。

(5) 输出层：该层进行清晰化计算，将模糊推理输出通过清晰化计算得到 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 三个参数，输入输出可表达为：

$$Out_k^{(5)} = \sum_{j=1}^m Out_y^{(4)} = y_k \quad \text{式 (6)}$$

其中 ω_j 为相当于 y_i 的第 j 个语言值的隶属函数中心值， $k=1, 2, 3$ 。

采用梯度下降法对神经网络权值训练调整优化，定义误差代价函数：

$$E = \frac{1}{2} [r(k) - y(k)]^2 \quad \text{式 (7)}$$

式中 $r(k)$ 为系统给定输出值, $y(k)$ 为系统实际输出值。

利用一节梯度算法调节 ω_{ij} , c_{ij} , b_{ij} 最后得出参数调整的学习算法可表达为:

$$\omega_{ij}(k+1) = \omega_{ij}(k) - \beta \frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} \quad \text{式 (8)}$$

模糊控制的模糊化和模糊推理都通过神经网络来实现, 这种结构使得神经网络每层都有了实际的物理意义, 在反复学习和处理传入的输入时候, 也拥有了模糊控制所拥有的对知识的表达能力。整个控制系统通过神经网络的自学习调整权重系数, 进而使得模糊控制隶属函数得到优化然后使控制达到最优。

3 仿真分析与对比

在变压器油色谱恒温控制系统中, 需要对该系统建立关于温度控制的数学模型。由于恒温箱控制系统动态特性复杂, 所以本文采用一个一阶函数表示, 可以更好地体现温度的控制特性。变压器油色谱恒温箱系统的传递函数为:

$$G(s) = \frac{7.64}{1338s + 1} \quad \text{式 (9)}$$

采用 Matlab 软件中自带的 Simulink 对变压器油色谱恒温控制系统控制器进行数据仿真, 建立了传统的 PID 控制模型, 模糊 PID 控制模型和模糊神经网络 PID 控制模型如图 4 所示, 分别进行仿真并进行仿真结果的对比, 分析各自控制能力不同和好坏^[6]。通过以往经验和不断地调试得出 K_p 、 K_i 、 K_d 分别为 7.4、0.5、230。仿真时学习算法中设置 $\beta = 0.2$, $\alpha = 0.02$ 仿真时间为 600s。

图 4 中三种控制器都是通过改变控制量进而对控制变量进行控制。PID 控制器通过比例 P、积分 I 和微分 D 三个控制量来达到预期效果, 模糊 PID 则在传统 PID 基础上加

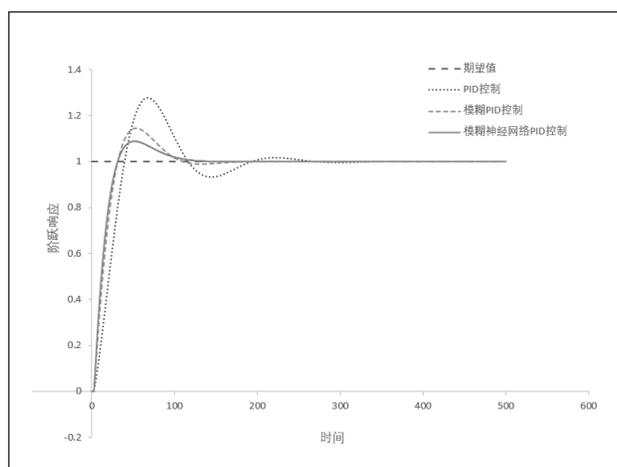


图 5 三种控制器仿真结果

入了模糊控制系统, 可以通过模糊推理和反模糊化使得控制器达到预期效果, 模糊神经网络 PID 则是通过神经网络进行迭代模糊规则进而得到更好的控制。

三种控制器的仿真结果如图 5 所示, 传统的 PID 控制上升时间为 35s, 到达最高峰值的时间为 67.5s, 传统 PID 控制器的超调量为 28%, 在 116~260s 时 PID 的调整量在 [2~10%] 之间震荡调节, 在 270~330s 时 PID 有小范围的震荡调整, 在 330s 后逐渐平稳。模糊控制 PID 控制器的上升时间为 26s, 到达最高峰值的时间为 55s, 模糊控制 PID 的超调量为 14%。模糊神经网络 PID 控制器的上升时间为 24.5s, 到达最高峰值的时间为 50s, 该控制器的超调量为 7%。

温度控制系统会受到来自外界的一些条件干扰和不明的干扰, 考虑到这种情况所以在仿真运行时间 500s 时加入了幅值为 0.3 的扰动, 仿真结果如图 6 所示。在加入扰动后传统的 PID 控制振荡明显收敛速度缓慢, 模糊 PID 控制器振荡明显减弱但是其振荡幅度还是较大收敛速度也较慢, 模糊神经网络 PID 控制器振荡和振荡幅度明显减少并且很

快的达到了稳定, 相对于传统 PID 和模糊 PID 来说鲁棒性有了很大的提升。

通过三个控制器的数据对比可以看出传统 PID 控制模式的调整时间节长波动大, 模糊 PID 控制器的调整时间波动小但是调整时间还是长, 模糊神经网络 PID 控制器

(下转第 41 页)

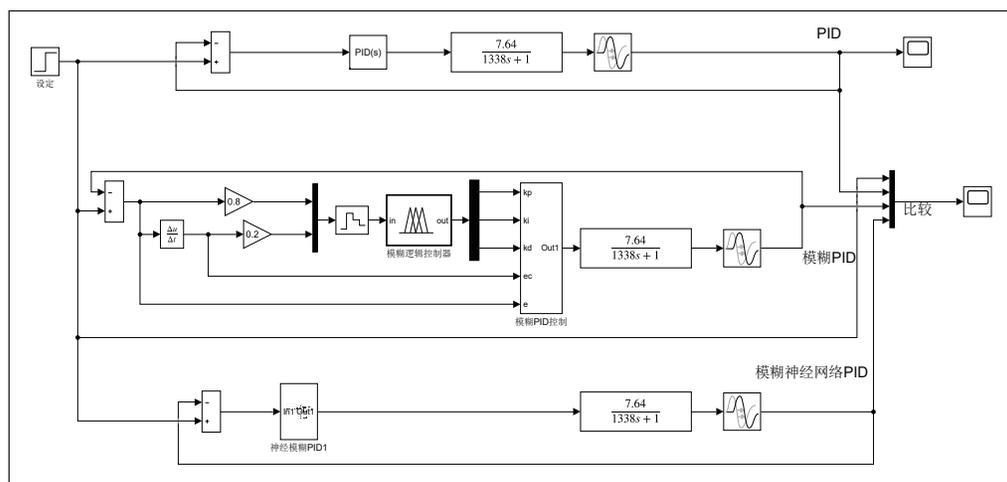


图 4 三种 PID 控制仿真模型

组串式 PCS 故障录波数据传输系统设计

张腾云, 隋伟哲, 姜一凡, 赵双双, 张德钊, 刘可述

(东方电子股份有限公司, 山东烟台, 264000)

摘要: 设计了一种组串式PCS故障录波数据传输系统, 功率模块能够对故障前后的模拟量数据进行记录, 传输并保存到控制模块。还提出了一种双缓冲传输机制, 能够有效缩短录波文件传输时间。研究人员可以将录波文件导出到电脑, 分析事故原因, 提高储能PCS的可靠性和安全性。

关键词: 组串式PCS; 故障录波; 数据传输

0 引言

在储能 PCS 发生故障时, 功率模块动作跳闸、切除故障, 并上报故障告警。但故障时可能多个状态同时超限, 如果仅依靠故障告警, 有时并不能正确分析 PCS 的动作行为, 无法查明事故原因^[1]。故障记录系统, 能记录故障发生前后 PCS 的所有模拟量波形, 便于进行故障性质分析、系统优化和事故防范^[2]。因此在实际应用中, 很多的保护误动或拒动可以通过故障录波进行分析^[3]。

1 组串式 PCS 结构

目前业内电池储能系统主要采取集中式 PCS, 多组电池并联将引起电池簇之间的不均衡; 组串式 PCS 将储能系统的能量管理精细化到电池模组, 最大化减少模组串联失配影响, 而且模块化精细设计, 能够提升整个储能系统的可用容量, 提升系统寿命, 提高全寿命周期放电容量。

组串式 PCS 主要由功率模块、控制模块、显示模块等构成。控制模块通过通讯接收后台控制指令, 根据功率指令控制功率模块对电池进行充电或放电, 实现对电网有功功率及无功功率的调节。同时 PCS 可通过 CAN 接口与 BMS 通讯、干接点传输等方式, 获取电池组状态信息, 可实现对电池的保护性充放电, 确保电池运行安全。

组串式 PCS 的结构通常如图 1 所示, 包含触摸屏、控制模块, 以及若干个功率模块^[4]。

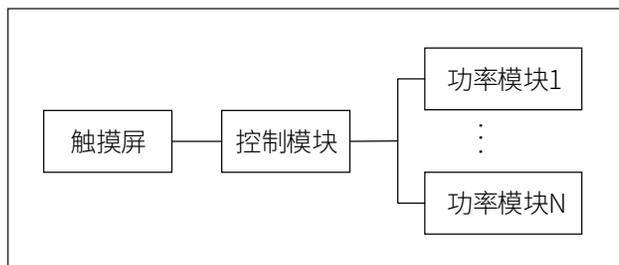


图 1 组串式 PCS 结构示意图

PCS 的核心是功率模块, 采样、模拟量处理、调制波计算、PWM 等都在功率模块进行。当 PCS 发生故障时, 功率模块最先感知到故障数据, 并完成保护动作。为了分析故

障原因, 需要记录故障前、后过程中的各状态的变化情况, 即故障录波。通过故障录波对故障前后电压、电流、温度等的分析, 判断系统参数、状态、保护动作等是否异常, 对于提升 PCS 系统安全运行有着重要作用^[5]。

由于功率模块没有外部通信, 故障录波无法直接查看, 因此本文设计了一种组串式 PCS 的故障录波数据传输系统, 将功率模块的录波数据, 通过传输系统导出到电脑, 方便分析人员查看。

2 故障记录系统

电力系统的调度自动化是电网安全稳定运行的重要保证, 随着其自动化水平的不断提高以及通信等技术的加盟, 促进了网络层的 EMS (能量管理系统)、SCADA 系统 (数据采集及监视控制), 厂站端的 SOE (事件顺序记录)、PDR (事故追忆记录) 等配套设施的不断出现和改进。多年来, 电力系统自动故障记录已成为分析系统事故, 特别是分析继电保护动作行为的重要依据。尤其是以微机为基础的故障录波装置, 能够记录电网故障发生后电气量和状态变化过程信息, 完整地反映故障后的瞬间变化及继电保护的动作为, 并有数据存档和数据再分析的能力。

故障录波是一种基于故障录波信息的电网故障诊断系统。常应用于电力系统, 可在系统发生故障时, 自动地、准确地记录故障前、后过程的各种电气量的变化情况, 通过对这些电气量的分析、比较、对分析处理事故、判断保护是否正确动作、提高电力系统安全运行水平有着重要作用。

2.1 故障录波

本系统的故障录波由功率模块产生, 当 PCS 的某个功率模块发生故障时, 该功率模块将故障前后的模拟量数据记录下来。如图 2 所示, 功率模块在系统开始运行时, 时刻监视系统的运行状况, 并将运行模拟量数据进行实时备份; 当发生故障时, 功率模块立即封存当前的运行模拟量数据, 并继续备份后续的运行模拟量, 与此同时, 执行保护跳闸, 封锁 IGBT, 并上报给控制模块。进入录波传输过程。以直流电流过流为例, 详细描述故障录波过程中功率

模块的处理过程。

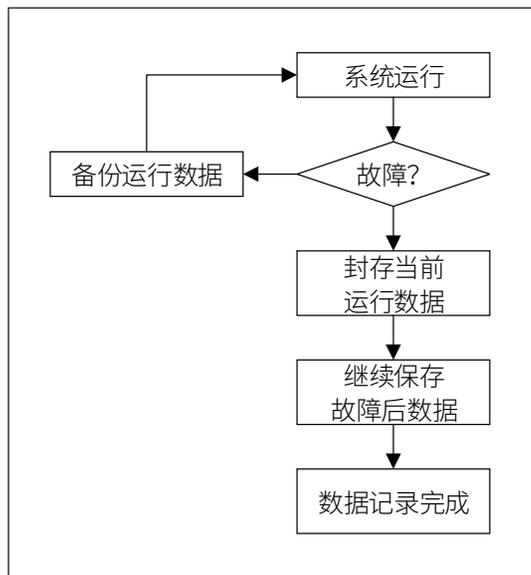


图2 故障录波过程

PCS 正常运行时，功率模块将采集到的电压、电流等保存到内存中，采集数据滑窗按照时间向前滑动，如图 3 所示，斜线阴影的部分是已经保存的数据。当功率模块检测到直流电流超过阈值时，即故障发生，数据滑窗停止滑动。此时功率模块继续保存故障后的电压、电流等保存到内存中，如图 3 中网状阴影的部分。两部分阴影组合作为本次故障的录波数据保存，即图 3 中虚线框中的部分。当录波传输开始后，功率模块将虚线框中所有的数据发送到控制模块。

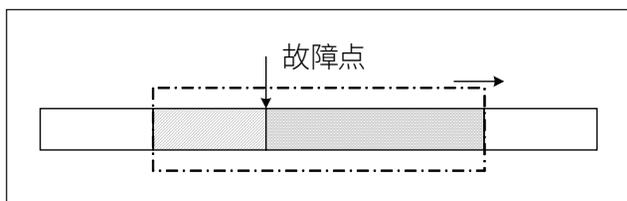


图3 故障录波数据滑窗

2.2 录波传输

控制模块接收到功率模块的故障信息后，开始准备接收故障模块的录波数据。功率模块将电流、电压等多组录波信息开始发送到控制模块，若录波数据太多，则分多次传输。为了保证录波传输的可靠性，还增加了校验机制。在一组录波报文最后增加校验字节，当录波报文传输到控制模块后，控制模块对该组报文进行校验，若校验不通过，通知功率模块重发该组报文。控制模块收到正确的录波报文后，增加时间、装置名称、保护定值等信息后，生成录波文件存储到 flash 中。控制模块生成的录波文件是依据电力系统

故障动态记录技术准则记录的 IEEE 标准 Comtrade 格式，可以用于对 PCS 进行自动分析、试验和系统仿真。每组 Comtrade 文件分别由数据文件、信息文件、配置文件和头标文件组成^[6]。

嵌入式环境下，内存、存储空间都受到很大的限制，因此功率模块无法一次性将所有功率模块的录波数据都接收到内存中再写文件。通常的做法是接收完一个功率模块的数据后，写入到 flash 中，然后再接收下一个功率模块的数据，再写入 flash。为提高传输效率，设计使用双缓冲传输机制，即把接收 RAM 分为 2 个缓冲区，1 个缓冲区用于接收数据，另一个缓冲区用于整理数据并写文件。具体操作如图 4 所示：控制模块接收功率模块的录波数据流首先存储到缓冲区 1 上，当缓冲区 1 的数据收完，控制模块开始整理数据，并补充时间等附加信息，然后执行写文件操作；同时，控制模块接收功率模块的录波数据流存储到缓冲区 2 上。当缓冲区 1 的数据全部写入 flash，且缓冲区 2 的数据收完时，控制模块整理缓冲区 2 的数据，并开始写文件；同时清空缓冲区 1，继续接收功率模块的录波数据量。如此循环，直到所有录波数据传输完成。

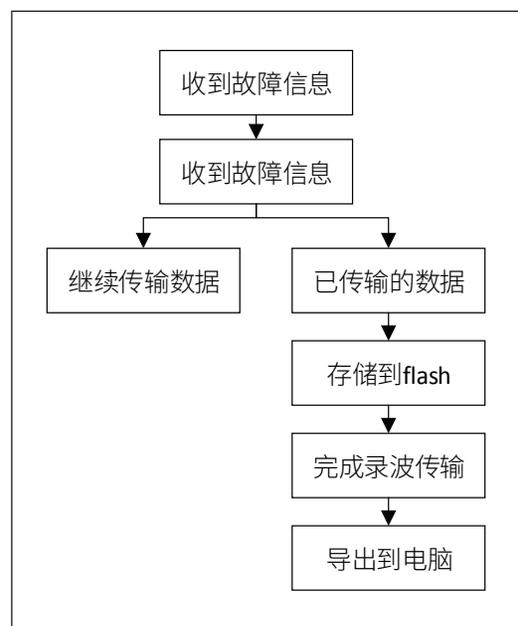


图4 故障传输保存过程

2.3 录波导出

录波数据存储和控制模块，可以通过 USB 或串口、网络等方式便捷的导出。将 U 盘插入控制模块，将所有录波文件导出到 U 盘中；或者串口、网络连接上位机，导出文件到电脑。控制模块存储的录波文件为 IEEE Comtrade 标准格式，导出后，可以利用分析软件分析录波数据，再现故

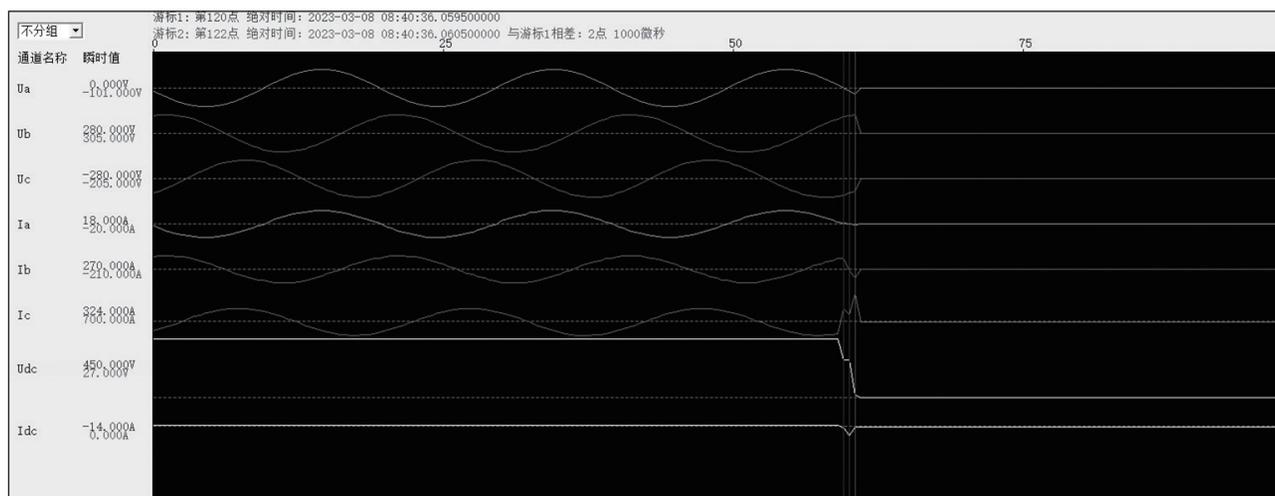


图5 录波文件分析

障前后的电气量波形。例如在某次测试中，模块3保护动作封锁IGBT，触摸屏显示模块3交流过流故障和直流欠压告警。导出录波文件后使用录波分析软件查看，如图5所示，实际上是由于直流电压从700V突降到了450V导致C相电流过流，从而触发保护动作。虽然触发保护是因为C相电流过流，而最开始的诱因却是直流电压突降。

3 验证与讨论

本传输系统中，录波传输采用时间片轮询的方式，每个功率模块传输固定时间的数据，切换到下一个模块。每个功率模块传输数据包括：逆变输出三相交流电的电压、电流，电池的电压、电流共8个波形，总录波文件大小约为8kByte。实测单个功率模块将所有录波数据传到控制模块的时间为5.6s，控制模块将数据从内存写入到flash的时间为0.5s。因此单个功率模块保存录波的总耗时为5.6+0.5=6.1s。

以常见的5个和7个功率模块为例，如图6所示，按照常规传输完成再写文件的做法，分别需要 $6.1 \times 5 = 30.5s$ 和 $6.1 \times 7 = 42.7s$ 。采用双缓冲传输机制，分别需要 $6.1 \times 3 = 18.3s$ 和 $6.1 \times 4 = 24.4s$ ，总传输时间分别缩短了40%和42.8%。

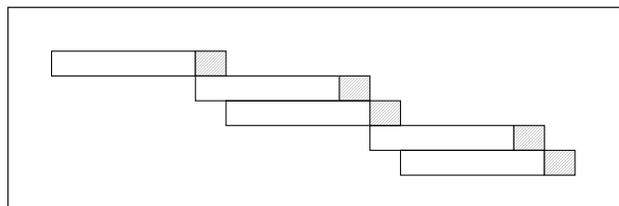


图6 双缓冲传输

4 结束语

本文设计了一种组串式PCS故障录波数据传输系统，功率模块记录故障前后的模拟量数据，传输并保存到控制模块。研究人员可以将录波文件导出到电脑，分析事故原因，提高储能PCS的可靠性和安全性。还提出了一种双缓冲传输机制，能够有效缩短录波文件传输时间，通过实际系统验证，能够缩短传输时间，提高效率。

参考文献

- * [1] 李中雷. 继电保护中的故障处理方法分析 [J]. 电子技术, 2022,51(09):310~311.
- * [2] 张攀, 王祖顺, 许言. 故障录波器在电力系统中的应用和典型故障分析 [A]. 见中国水力发电工程学会继电保护与励磁专业委员会. 中国水力发电工程学会继电保护与励磁专业委员会 2021年年会论文集 [C]. 2021:7.205~211.
- * [3] 王军克. 基于故障录波信息的输电线路继电保护内部故障在线检测方法 [J]. 电子制作, 2015(21):96.
- * [4] 蔡旭, 李睿. 大型电池储能PCS的现状与发展 [J]. 电器与能效管理技术, 2016, No.503(14):1~8+40.
- * [5] 郑发林, 蒙亮, 巫聪云, 韩冰, 唐丽, 董继民. 基于故障录波数据的变电站中压系统故障特征分析 [J]. 电工技术, 2015, No.418(10):77-79
- * [6] 李翰夫, 朱斌, 艾远高等. 基于Comtrade格式故障录波数据进行并行过程评价研究 [J]. 水电站机电技术, 2022, 45(01):112~115

通信作者：张腾云。

基于 5G 网络的地铁列车定位系统设计

邓建芳¹, 李志明¹, 张宏亮²

(1. 南京铁道职业技术学院, 江苏南京, 210031; 2. 南京地铁运营有限责任公司, 江苏南京, 210012)

摘要: 针对地铁联锁系统失效故障, 本文结合5G和GNSS定位技术, 设计一套地铁列车定位系统, 用作CBTC系统的冗余备份定位系统, 供降级模式下采用电话闭塞法进行行车组织的指挥人员实时观测列车位置。测试结果表明, 本定位系统显示信息同步于CBTC系统的列车线路运行图, 定位精度可达10m以内, 为地铁安全运营提供可靠的技术保障。

关键词: 5G; GNSS; 定位系统; 冗余备份

0 引言

基于通信的列车自动控制(简称CBTC)系统在地铁列车运行中应用广泛, 它采用实时汇报的列车位置和计算移动授权的移动闭塞实现列车运行控制。当CBTC系统相关设备或电源设备出现故障, 地铁信号联锁系统将失效, 目前地铁运营公司常见的应急处置方法是在故障区降级采用电话闭塞法进行行车组织, 由相邻两站值班员利用电话联系, 办理闭塞, 接发列车。由于行车指挥人员无法通过信号系统监控到列车的实时位置, 调度相关运营人员必须严格依照相应的管理规定作业, 稍有疏忽就容易引发重大事故。研究者们纷纷展开了对CBTC系统冗余备份定位系统的研究。

地铁列车轨道有地面高架和地下隧道两种形式, 列车行驶于地面时, 可利用定位技术成熟的全球导航卫星系统(简称GNSS)进行列车定位。当列车行驶于隧道时, 卫星信号受到遮挡衰减严重, 定位精度急剧降低。基于公共移动通信网络的定位方式, 不需要另行铺设网络, 可以很好地满足室内、室外环境的定位需求, 但受技术限制, 2G、3G、4G基站定位精度在100米以上。5G网络引入了大规模多输入多输出(MIMO)、波束赋形、自包含时隙等一系列关键技术, 可实现亚米级的定位精度和毫秒级的传输时延, 有望能够与GNSS定位相匹敌。

本文设计了一套独立于地铁CBTC系统的列车定位系统, 有效结合GNSS和5G基站定位技术, 可以满足高精度的定位指标, 为地铁行车组织提供设备层面的安全保障。CBTC系统正常运行时, 系统工作在热备份状态, 与CBTC系统同步为行车指挥人员提供列车定位信息。一旦出现联锁系统失效故障, 行车指挥人员可以通过本系统查看到列车的实时位置, 在此基础上按照电话闭塞法组织行车, 可以提高列车的行车组织效率, 确保行车安全有序进行, 极大减少因误操作或人员疏忽导致行车事故发生的概率。

1 系统总体设计

本设计提出的地铁列车定位系统由定位终端、5G传输网络、云平台、控制中心设备四部分组成, 系统框图如图1

所示。两台定位终端通过光纤连接, 分别安装于地铁列车的车头和车尾顶上, 利用5G通信模块采集提供服务的卫星和5G基站信息, 经过定位算法处理后形成初步的位置信息, 通过高速率、低时延的5G网络传输, 利用云平台上的服务器将信息转发给控制中心设备处理, 实现高效、快速的车地通信。控制中心设备放置于地铁控制中心, 对终端设备采集到的位置信息进行数据分析和处理后形成精确的列车定位信息, 并转换成行车调度作业的列车线路运行图, 实现列车位置的监视和显示, 以便行车调度员和地铁运营管理人员实时观测列车的位置, 为电话闭塞组织行车提供可靠的信息, 从而发出准确的行车调度指挥指令。

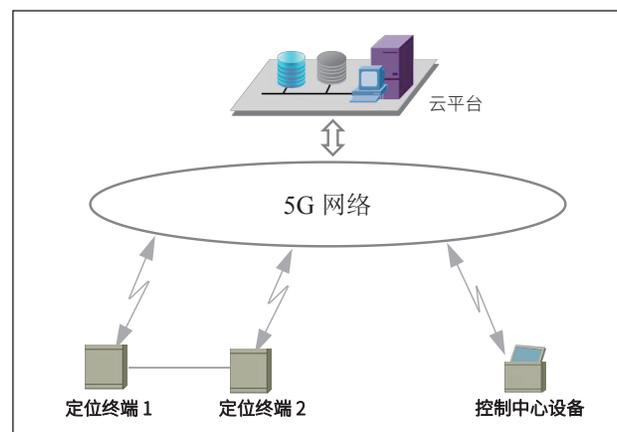


图1 列车定位系统框图

2 系统硬件设计

2.1 定位终端设备

两台定位终端设备分别安装于地铁列车的车头和车尾顶上, 随列车运行在地铁线路上内移动, 硬件设计均包括控制模块、5G通信模块、光纤模块、供电模块四部分, 如图2所示。双定位终端设计用以提高定位精度和数据的稳定性, 两台定位终端设备之间的直线距离根据列车编组长度设定。两台终端设备之间的通信可通过光纤和5G网络两种方式连接, 优先采用光纤连接实现相互同步和数据通信。当光纤连接出现故障时, 可自动切换使用5G网络实现连接。安装于列车车头的定位终端作为主设备, 安装于车尾的定位终端为

从设备, 从设备时钟上跟随车头主设备。

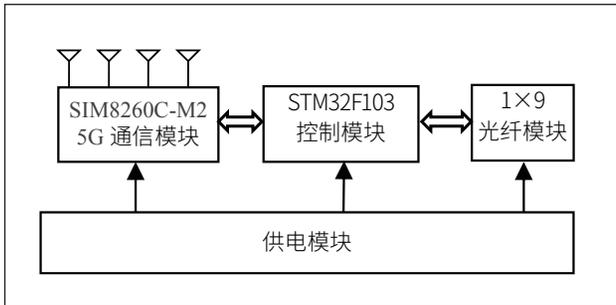


图2 定位终端设备硬件结构

(1) 控制模块

控制模块选用意法半导体集团 STM32F103 单片机实现。它使用高性能的 ARMCortex-M3 的 RISC 内核, 最高频率达 72 MHz, 内置 128KB 的 flash 和 20KB 的 SRAM 高速存储器, I/O 接口丰富, 具有低功耗、高效率的特点, 很好地满足本系统的控制和计算需求。

(2) 5G 通信模块

5G 通信模块选用芯讯通 SIM8260C-M2 模组实现列车位置采集和 5G 信号的收发通信。SIM8260C-M2 支持 R16 5G NSA 和 SA 组网, 数据传输速率可达 2.8Gbit/s, 射频和硬件设计经过多重优化, 能够在高架桥、隧道等不同环境中保持稳定的无线连接, 能在室外 -30°C ~ +70°C 宽温环境中工作, 让列车定位终端设备适应各种严酷的环境。此外, SIM8260C-M2 集成了 GNSS L1 和 L5 双频精准定位系统, 能让定位系统在卫星信号可获取的条件下实现智能定位。SIM8260C-M2 模块可装载 4 根天线, 用于分集接收, 极大提高了 5G 信号的接收灵敏度。在 SIM8260C-M2 通信模块的支持下, 定位终端可实现 24 小时不间断定位采集。

(3) 光纤通信模块

光纤通信模块选用 GT-WX532-F3 1x9 光模块实现, 工作波长采用 1310nm, 传输介质采用 G.652 单模光纤。该光模块为双波长复用收发一体模块, 发射、接收独立工作, 可配置 SC/FC/ST 光接口, 接口电平兼容标准 TTL 电平和 CMOS 电平, 传输速率最高可达 2Mbit/s, 具有极低功耗设计, 可满足特殊应用要求。

(4) 供电模块

供电模块采用 18650 锂电池组和 LM2596 开关电源调节器组成。LM2596 用于将锂电池组输出的直流 7.4V 调节为直流 5V 和 3.3V, 实现单片机以及各个模块的供电。供电模块独立于现有的列车信号系统, 灵活便捷, 可在列车上随处安放。

■ 2.2 控制中心设备

控制中心设备放置于地铁控制中心调度室, 包括控制模

块、5G 通信模块、显示模块、报警模块、按键模块、供电模块六部分, 如图 3 所示。

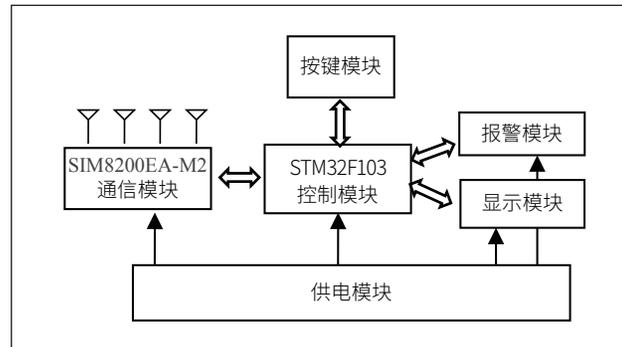


图3 控制中心设备硬件结构

(1) 控制模块

控制模块是整个定位系统的核心部分, 完成对两台定位终端进行远程控制, 核心的功能在于对定位终端提供的采集信息进行数据分析, 通过软件实现定位算法和优化等数据处理。控制模块与定位终端相同, 选用低功耗、高效率的 STM32F103 单片机实现, 其关键数据处理功能主要通过软件编程来实现, 以降低设备开发成本。

(2) 5G 通信模块

5G 通信模块用户接收来自 5G 网络转发的定位终端采集到的列车位置信息, 并向定位终端发出控制命令。与定位终端设备相比, 控制中心设备的 5G 通信模块不需要定位功能, 故采用 SIM8200EA-M2 模块实现 5G 信息的发送和接收。SIM8200EA-M2 模块支持 R15 5G NSA / SA 组网, 最高数据传输速率为 2.4Gbit/s, 能够提供毫秒级的传输时延, 使得定位系统能更快响应控制命令, 操控更精确。SIM8200EA-M2 的 AT 命令与 SIM8260C-M2 模块兼容, 开发过程可以实现无缝对接。

(3) 显示模块

显示模块采用 ATK-4.3" TFTLCD 电容触摸屏液晶屏实现, 以点阵图形形式显示列车进路图, 以文字形式显示列车在地铁线路上所处的经纬度信息和区间位置。该液晶屏自带 NT35510 驱动, 响应速度快, 分辨率为 800x480, 16 位真彩显示, 很好地满足了设计要求。

(4) 报警模块

报警模块采用 LTE-2071 声光警示灯实现, 系统监测到列车异常情况时, 进行声光报警。

(5) 按键模块

采用独立的机械按键, 控制中心的管理者或列车调度员可以根据列车运行的实际情况, 通过按键可以设置定位系统的工作状态, 也可以调节设置定位采集的时间间隔。

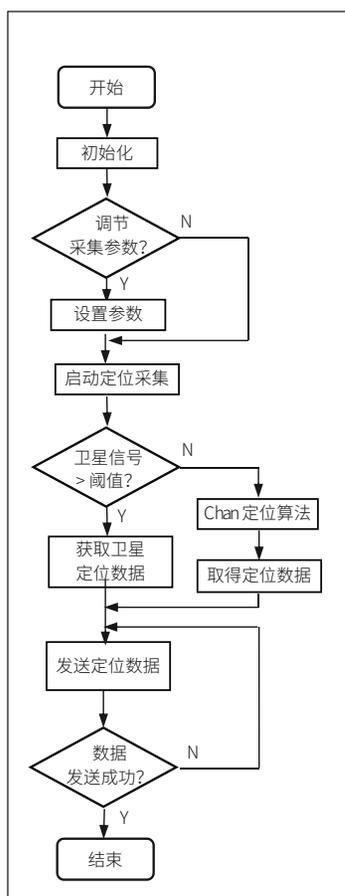


图 4

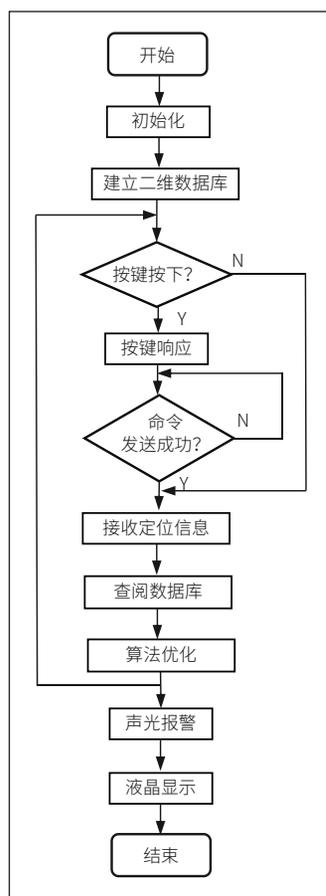


图 5

(6) 供电模块

控制中心设备的供电模块与定位终端完全相同，由锂电池组和 LM2596 组成，为其他模块提供直流 5V 或 3.3V 供电。

2.3 云平台

采用新大陆物联网云平台为定位终端和控制中心设备提供实时通信，可做到更稳定更快速的云存储、云分享、云管理，达到多机管理和多机协同，降低了对控制中心设备的处理速度和存储要求，降低了系统的开发平均成本。物联网云平台可采用网页方式进行访问，与互联网、无线通信、云计算大数据技术高度融合。用户及管理人员可以通过信息终端，实时掌握已添加的设备信息，及时获取报警、预警信息，在云端远程管理连入的设备。

3 系统软件设计

本系统设计的主要功能是对列车位置信息进行采集、提取、分析、存储、传输和显示。软件重点在于定位算法和数据优化。

(1) 定位终端软件

定位终端设置默认采集间隔为 0.1s，可根据控制中心的命令调整采集间隔，开启定位采集功能。由于地铁列车运行

的轨道线路主要分为地面高架桥和地下隧道两种情况。列车行驶到地面高架桥上时，终端设备获取到的卫星信号和 5G 基站信号均较强。列车行驶在隧道中时，卫星信号被遮挡，终端设备捕获到的卫星信号较弱或者无法捕获。控制模块通过串口发送 AT 指令控制 5G 通信模块比较两种无线信号，优先选取卫星信号，通过模块自带的算法获取卫星定位经纬度数据。若卫星信号强度低于设定阈值，卫星定位数据获取困难，控制 5G 通信模块提取来自周围 5G 基站的无线参数，基于 TDOA 定位技术，选取信号最优的 3 个基站产生的时延差和相位角，通过 Chan 算法计算得出定位终端所处的经度和纬度信息。采集完成后，由 5G 通信模块将经纬度信息、终端编号、主从设备代码等组合成的报文以无线的方式发送出去。

(2) 控制中心设备软件

定位系统通过动态学习，预先建立一个系统自动采集的经纬度与轨道线路公里标、区段编号有关的二维线路数据库，存储在控制设备的存储器中。二维线路数据库用于表示地铁线路的物理地图，唯一地定义了地铁线路上的所有位置，长度间隔控制在 10m 以内。实时定位采集时，通过按键设定终端号、采集参数、开启采集等控制信息，由通信模块将控制命令经由 5G 网络和云平台转发给指定的定位终端，指导定位终端执行相应操作。通信模块接收来自两个定位终端的位置采集数据，将定位终端采集的列车车头和车尾位置坐标映射在地铁轨道线路公里标上，与已有二维线路数据库进行比对。若完全匹配或偏差处于 10m 以内，则控制显示模块显示列车车头所处位置的经纬度，并描绘出简易的列车线路运行图，将列车所处的闭塞区段显示为红色带，表示列车已占用当前区段，不允许其他列车使用。若二维线路数据库中不存在系统计算出的车头和车尾对应的一组位置坐标或者偏差超过 10m，则立即丢弃该数据，调整采集参数后重新启动采集。若连续五次丢弃数据，则启动报警模块进行声光报警，显示模块闪动显示紧急告警，警示行车指挥人员人工确认列车运行是否异常，立即发出紧急制动命令。

4 系统调试

为检测本设计的列车定位系统有效性和稳定性，将两台定位终端加上防震设施后随列车运行在轨道线路上，行车指挥人员按下控制中心设备的增加或减少按键，调节采集参数后，启动系统运行。控制中心显示屏实时显示列车当前的

表1 定位系统测试数据

轨道线路类型	地面高架桥									
应答器编号	FB0111	FB0113	FB0115	FB0117	FB0119	FB0121	FB0123	FB0125	FB0127	FB0145
应答器公里标	K00+424.766	K00+491.282	K00+506.582	K00+556.998	K00+711.266	K00+889.671	K00+992.027	K01+247.185	K01+347.192	K01+555.082
测试公里表	K00+426.985	K00+495.538	K00+510.603	K00+555.836	K00+714.859	K00+888.032	K00+994.218	K01+245.824	K01+349.351	K01+559.185
测试误差 (m)	2.219	4.256	4.021	-1.162	3.593	-1.639	2.191	-1.361	2.159	4.103
轨道线路类型	地面高架桥					地下隧道				
应答器编号	FB0147	FB0149	FB0151	FB0153	FB0155	FB0157	FB0201	FB0203	FB0205	FB0207
应答器公里标	K01+826.382	K02+121.082	K02+271.084	K02+421.092	K02+575.082	K02+734.095	K02+896.508	K02+903.892	K02+916.392	K02+958.892
测试公里表	K01+825.496	K02+125.259	K02+275.163	K02+426.194	K02+579.901	K02+738.103	K02+893.968	K02+908.305	K02+920.082	K02+962.736
测试误差 (m)	-0.886	4.177	4.079	5.102	4.819	4.008	-2.54	4.413	3.69	3.844
轨道线路类型	地下隧道									
应答器编号	FB0209	FB0211	FB0213	FB0215	FB0217	FB0301	FB0303	FB0305	FB0307	FB0309
应答器公里标	K03+038.954	K03+057.426	K03+094.924	K03+249.080	K03+531.580	K03+893.732	K03+951.716	K03+963.918	K04+006.116	K04+087.418
测试公里表	K03+041.026	K03+060.281	K03+099.217	K03+251.931	K03+529.835	K03+899.219	K03+954.218	K03+968.214	K04+008.127	K04+091.792
测试误差 (m)	2.072	2.855	4.293	2.851	-1.745	5.487	2.502	4.296	2.011	4.374

经纬度、车站名称或区段号、列车线路运行图，显示信息与 CBTC 系统的 LOW 终端显示保持一致。

在地铁轨道沿线，每隔一定距离布设了一个固定应答器，存储着轨道线路的绝对位置数据信息，CBTC 系统通过读取这些应答器存储的数据来校正列车的位置。本系统利用 CBTC 系统的固定应答器公里标作为参考，测试本系统的定位误差，部分测试数据如表 1 所示。测试结果表明，列车处于地面高架桥环境时，定位最大误差小于 5m。列车处于地下隧道环境时，定位最大误差小于 5.5m，实现了 10m 以内的定位精度，充分满足地铁安全运营的技术要求。

5 结论

本文提出一套地铁列车定位系统设计方案，有效结合了 5G 和 GNSS 定位技术，实现地铁全程线路的无缝定位，可达到 10m 以内的定位精度，具有直观、高效、安全、稳定

.....
(上接第 112 页)

时分别观察巴法云端和手机 APP 中的体温心律数据随着墨水屏显示的体温心律数据发生变化，说出一级语音指令“你好小明”二级语音指令“播放歌曲”后，语音模块开始播放 MP3 歌曲，系统功能正常，语音识别效果比较精确。

5 结论

为了让手机壳更加智能化、网络化和模块化，满足当代人们的需求，本文构建了一个以 Mega2560 微处理器为核心，以体温心律测量、手机 APP 显示、语音识别控制 MP3 歌曲播放为主要功能的智能手机壳。小组成员为了验证本设计的稳定性，进行了系统测试。测试表明，本设计性能稳定，感知能力强，能够达到用户日常的要求。

参考文献

* [1] 苏晓青. 手机壳，年轻人的“第二面子”[J]. 现代青年,2022,

和灵活特性。该定位系统独立于列车信号系统，是一种简单有效的辅助手段，可辅助列车联锁失效运行模式下的运营指挥，可以为地铁行车组织提供设备层面的安全保障。

参考文献

- * [1] 李志明, 邓建芳. 基于 5G 基站地铁列车定位仿真研究. 电子测试. 2020(20): 47-48+16
- * [2] 邓建芳, 李志明. 基于 5G 网络的地铁列车定位技术研究. 电子测试, 2021(10):58-59
- * [3] 赵跟党. 西安地铁列车辅助定位系统研究. 铁道通信信号, 2022,58(01): 76-80
- * [4] 吴杰. 城市轨道交通信号系统次级列车定位技术发展研究. 城市轨道交通研究. 2021,24(11): 37-40
- * [5] 魏然之, 吴杰, 王森. 城市轨道交通地下段列车辅助定位方法研究. 城市轨道交通研究. 2022,25(11): 94-97+102
- No.475(05):41-43.
- * [2] 徐健勇. 小小手机壳能做大“文章”[N]. 金华日报, 2023-02-28(A08).
- * [3] 赵国东. 基于墨水屏的离线 AI 语音查单词系统的设计与实现[J]. 信息与电脑(理论版), 2021,33(10):143-146.
- * [4] 李梦婷, 曳永芳. 基于 STM32 的智能手环系统设计[J]. 电子质量, 2022, No.425(08):88-93.
- * [5] 苏春锦. 基于 Arduino 智能小车避障系统设计[J]. 福建农机, 2023, No.171(01):33-36.
- * [6] 徐建财, 蒋进杰, 郑炳凯等. 基于 Arduino 的智能晾晒装置[J]. 科学技术创新, 2023(11):224-228.
- * [7] 干正立, 贺笑, 展佳南, 杨海萍, 丑永新. 基于 Arduino 单片机的脉率实时监测系统[J]. 常熟理工学院学报, 2023, 37(02):33-36.

通信作者：郑誉煌。

基于 GD32F103 的无刷直流电机控制电路设计

杨通元

(贵州振华群英电器有限公司, 贵州贵阳, 550018)

摘要: 无刷直流电机的主流控制方法有矢量控制、方波控制和正弦波控制。无刷直流电机采用方波控制方法, 在简单控制算法和低硬件成本下, 实现精确的速度和电流双闭环控制。方波控制根据获得的电机转子位置, 在 360° 的电气周期内, 进行6次换向, 实现电机六步电子换向。设计以单片机为主控制单元, 通过上位机给定信号与控制电机反馈信号和电流采集信号比较, 实时调控PWM波, 结合三相桥式逆变电路, 实现对目标控制。该设计输出了实际产品, 验证了此方案的可行性。

关键词: 无刷直流电机; 霍尔位置传感器; 单片机; PWM波; 驱动电路

0 引言

无刷直流电机是在有刷直流电机的基础上发展来的, 通过半导体开关器件来实现电子换向, 具有可靠性高、机械噪声低、寿命长、体积小等特点, 广泛应用于工业设备、家用电器、电子仪器、医疗设备等各个领域^[1]。本设计的

无刷直流电机控制器采用 GD32F103RCT6 单片机作为微控单元, 自动采集上位机给定电压信号和反馈信号, 控制电机转动。通过霍尔位置传感器检测电机转动周期, 计算出电机的实际转速, 与上位机给定转速比较, 实时调控 PWM 波占空比, 精确控制电机转速; 通过电流传感器采集母线电流给控制器, 检测控制器输出电流, 使用 PID 控制算法, 稳定输出 5A 电流, 从而实现速度和电流双闭环控制^[2]。功率模块采用 N 沟道 MOSFET 输出, 在电流闭环控制下, 持续输出 5A 稳定电流。系统具有限流保护、软启动、故障监控、速度闭环和电流闭环等功能。

1 系统整体方案

本设计框图如图 1 所示, 主要由无刷直流电动机、霍尔位置传感器、控制电路、驱动电路和逆变器组成, 是一种机电一体化电机驱动控制系统。

电机控制器实时检测电机三相霍尔位置传感器输出的高低逻辑电平, 电机控制器根据电机的转向不同, 按照表 1 中三个霍尔信号的信息, 推算出电机的换相逻辑^[3], 与速度信号指令所产生的 PWM 信号进行综合, 经过驱动电路放大后, 送至三相桥式逆变器的各功率开关管, 从而控制电机本体的各相绕组按照一定的导通顺序工作, 在电机气隙中产生跳跃式旋转磁场, 驱动转子旋转。

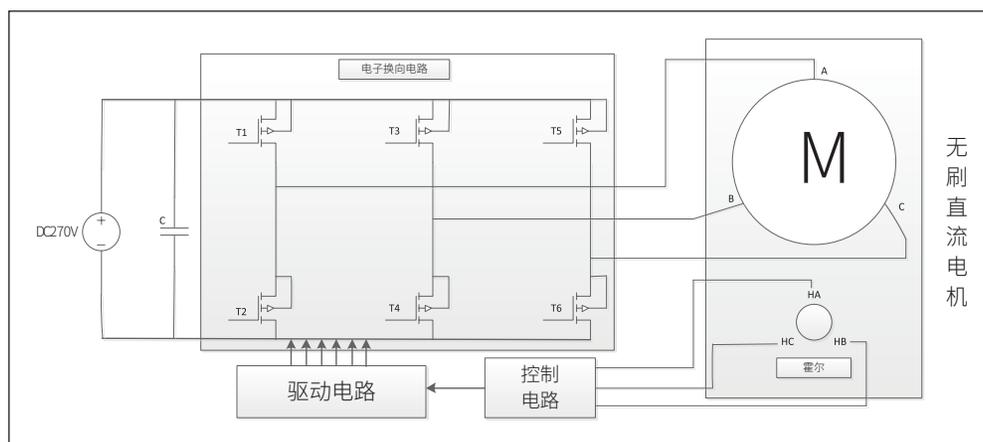


图1 无刷直流电机系统图

三相桥式逆变器的电子换相电路工作在 120° 导通模式^[4], 根据转子位置传感器实时信号, 通过改变三相桥式逆变器功率开关管的导通规律, 就可以使得电机合成转矩矢量按顺时针或逆时针方向旋转, 从而实现无刷直流电机的正/反转控制^[5]。

表1 无刷直流电机正/反转逻辑关系表

HA HB HC	转子所在区域	顺时针绕组 导通电流方向	导通 功率管	逆时针绕组 导通电流方向	导通 功率管
0 0 1	IV	A→B	T_3/T_6	B→A	T_3/T_4
1 0 1	V	A→C	T_1/T_2	C→A	T_3/T_4
1 0 0	VI	B→C	T_3/T_2	C→B	T_3/T_6
1 1 0	I	B→A	T_3/T_4	A→B	T_3/T_6
0 1 0	II	C→A	T_3/T_4	A→C	T_1/T_2
0 1 1	III	C→B	T_3/T_6	B→C	T_3/T_2

在一个通电周期内, 无刷直流电机按正转方向运行时, 转子转过 360° 电角度, 三个霍尔位置传感器 HA、HB、HC 信号与逆变器功率器件 (T1~T6) 之间的换相逻辑波形如图 2 所示, 电机反转情况可类似推理。

2 硬件电路组成

电机控制器硬件电路主要由电源转换模块、功率控制模块、输入/输出模块、逻辑控制模块及 AD 采集模块组成, 其原理框图如图 3 所示。电机控制器接收电机霍尔位置传感器 HA、HB、HC 信号, 通过单片机对霍尔位置信号处理

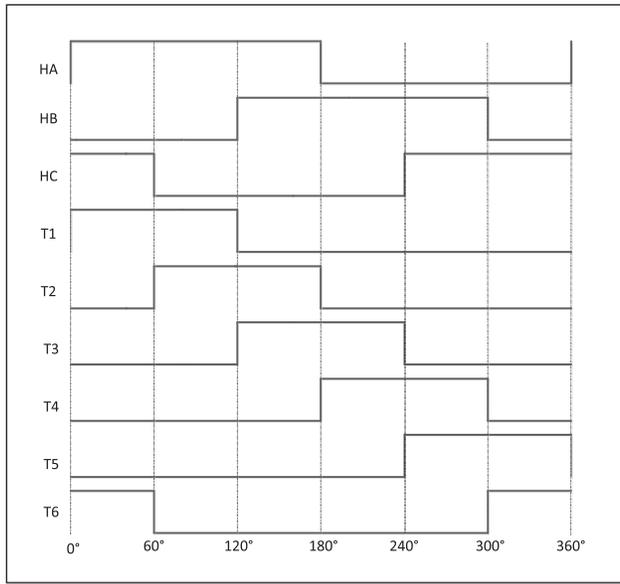


图 2 无刷直流电机换相逻辑波形

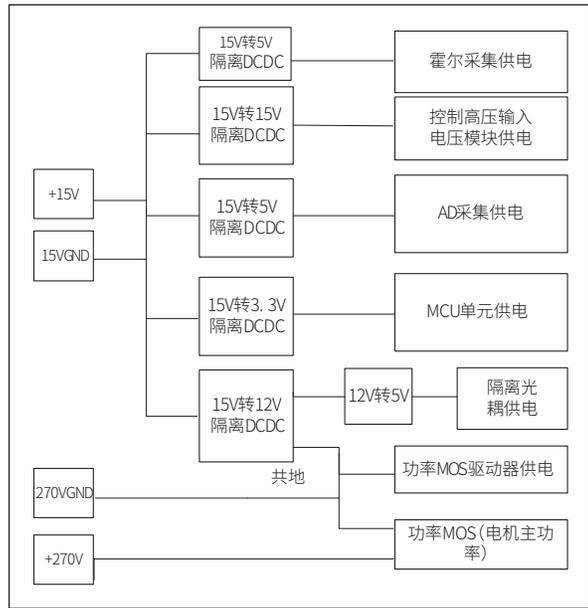


图 4 电源转换模块图

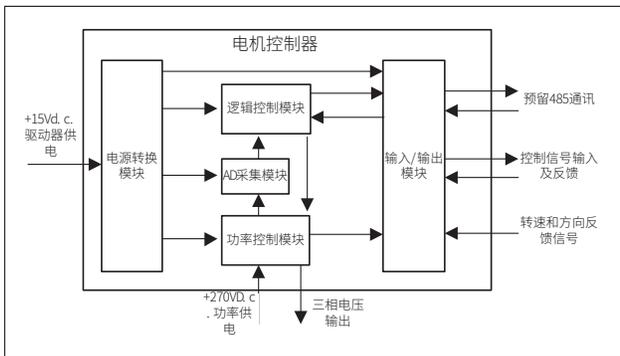


图 3 电机控制器原理框图

之后，输出三相 PWM 波，控制逆变器模块的 MOS 管通断，实现电机启动、停止和转动。

2.1 电源转换模块

电源转换模块的主要作用是系统中的控制电路提供工作电源，由于各模块的工作电压不同，并相互隔离，所以需要不同的 DC/DC 隔离模块。有 2 路输入电源，分别为直流 15V 和直流 270V 电源。直流 15V 供电信号，输入设计防反接功能，防止正、负电源反接。电路以 15V 为基准电压，分别转换为 15V、12V、5V、3.3V，其中 3.3V 给单片机供电，为减少电压纹波，采用 LDO 降压；直流 270V 电源给电机

供电，通过逆变器模块，转换为三相电压。产品电源转换模块框图如图 4 所示。

2.2 功率控制模块

功率控制模块是根据控制模块的驱动逻辑控制电机三相绕组的通断，实现电机的转动控制，该单元主要由 MOS 桥臂电路、MOS 驱动电路和数字隔离电路组成。根据电机额定参数，MOS 管需具备 270V 漏源耐压和 5A 工作电流，本次设计采用的 MOS 管额定电压为 1200V，连续工作电流达 72A，符合需求条件。MOS 驱动采用专用栅极驱动芯片，其通过自举的方式实现高压侧达 600V 的上下桥臂驱动，驱动电流 1A，在电机驱动中广泛运用。驱动信号由单片机产生，直接与高压信号连接，容易受干扰，所以采用数字隔离器将控制单元的信号隔离输出到驱动单元中，实现电气的隔离，功率控制模块的原理如图 5 所示。

2.3 输入 / 输出模块

输入 / 输出模块主要由控制信号、霍尔位置反馈信号和 RS485 通讯组成，实现控制信号输入和输出，为减少内部系统受到干扰，输入和输出信号都经过光耦隔离，RS485 通讯采用隔离通讯芯片，输入 / 输出模块电路原理如图 6、7 所示。

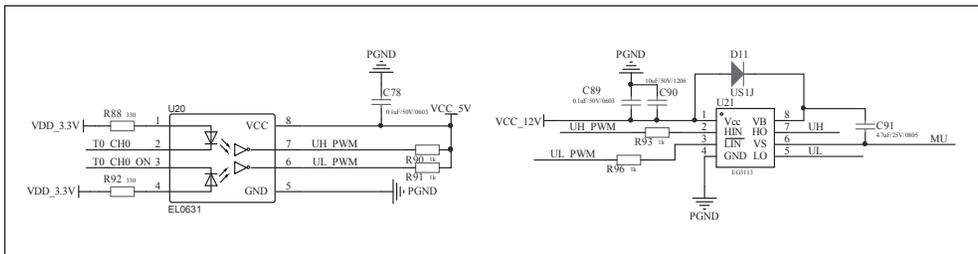


图 5 功率控制单元原理图

2.4 逻辑控制模块

逻辑控制模块采用单片机 GD32F103RCT6 作为系统的主控芯片，采用 ARM Cortex-R-M3 内核，是一款全新的通用型 32 位高性能、低功耗微控制

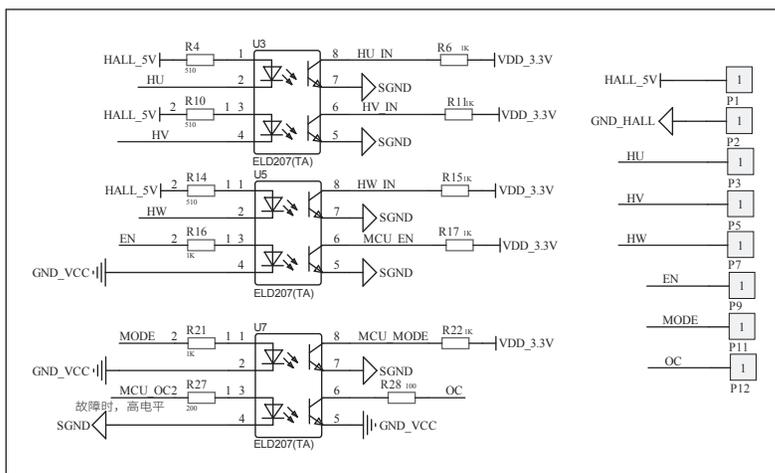


图6 通讯原理图

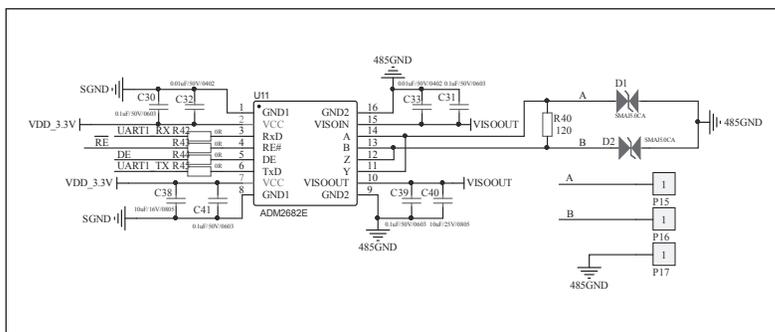


图7 控制信号输入输出原理图

器。该芯片主频可达 108MHz，供电电压范围 2.6V~3.6V，具有 48K SRAM、256K Flash、1 个 CAN、3 个 USART、2 个 UART、2 个 I²C、3 个 SPI、16 个 ADC 转换通道以及 51 个通用 I/O 口，该单片机具有丰富的外设资源，能为电机驱动控制提供了强大的支持^[6]。

结合单片机的主要参数，其自带的资源完全满足本设计要求的通讯、模拟量、开关量、电机驱动控制的功能，108MHz 的主频的 CUP 也能完成相关数据信息的处理传递，电路原理如图 8 所示。

2.5 AD 采集模块

AD 采集模块主要实现对系统控制电压、母线电压和母线电流的采集，经过信号调理电路，输入单片机的 AD 端口。采集电压为直流 15V 和直流 270V，而

单片机的 AD 端口只能输入 0~3.3V 电压，所以采集的电压都需经过精密电阻分压，输入合适的数值给单片机。AD 端口为模拟量端口，容易受到外界干扰，所以选用隔离放大器芯片，将信号隔离放大。母线电流采集采用电流互感器芯片^[7]，将电流转换成电压，经过调理电路，输入单片机的 AD 口。电路原理如图 9 所示。

3 软件设计

产品上电硬件复位完成后，系统首先进行各个模块的初始化设定，包括端口的初始化配置和寄存器的初始化配置。上电初始化阶段，软件配置系统主时钟为 72MHz、电机驱动端口为无效电平、开启电流 AD 采集功能。上电初始化之后，电机根据上位机给定信号，执行转速和方向。主程序流程图如图 10 所示。

4 结论

本设计基于 GD32F103RCT6 的三相无刷直流电机控制系统，通过方波控制方法，在简单的控制算法和低的硬件成本下，对设计的电路模块进行了综合联调，完整验证了无刷直流电机的控制过程，

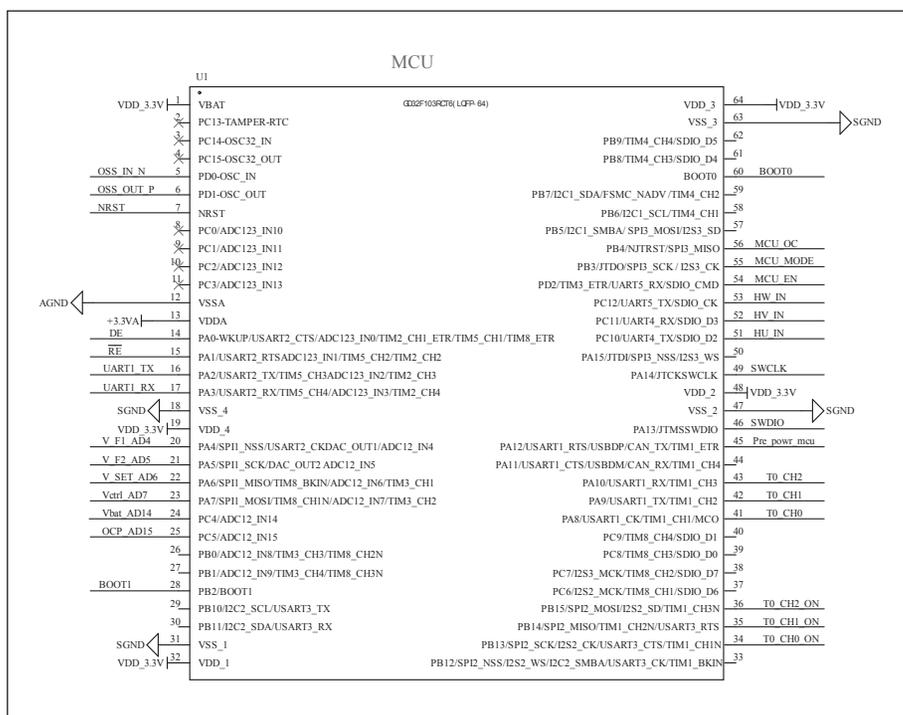


图8 逻辑控制模块原理图

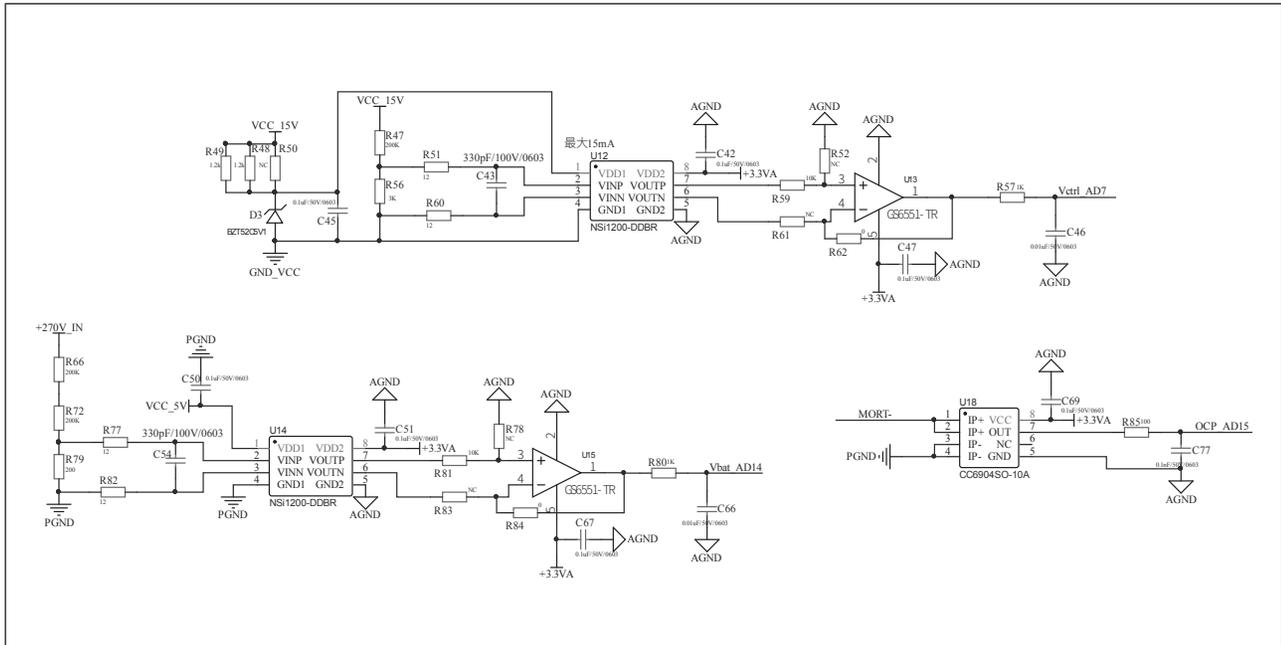


图9 AD采集模块原理图

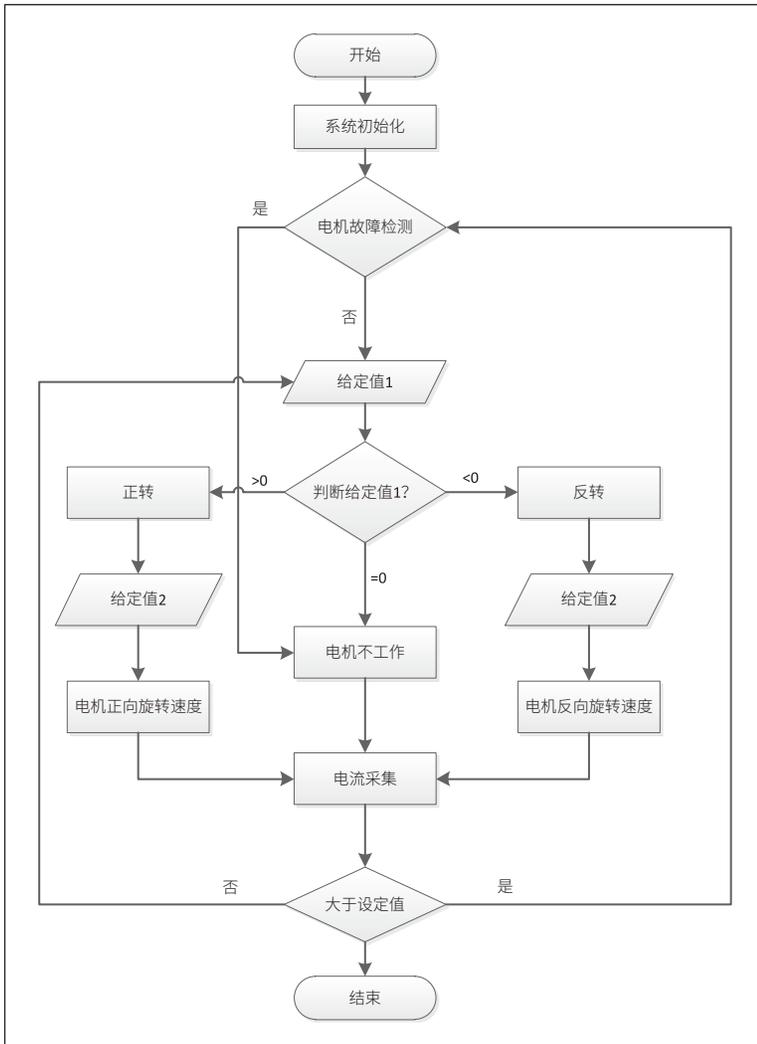


图10 主程序流程图

实现了电机的速度和电流双闭环控制。实际测试结果表明：该系统通过上位机给定信号与无刷直流电机反馈的霍尔信号和电流采集信号比较，实时调控目标电机，能够精确调控电机转速并稳定输出 5A 电流。此方案可以更好地满足低成本、高控制精度需求的无刷直流电机应用领域。

参考文献

- * [1] 王丁军, 赵涛, 朱爱华等. 无刷直流电机 SVPWM 控制器的设计 [J]. 微电机, 2019, 52(05): 77-81.
- * [2] 陈斌. 无刷直流电机双闭环控制的仿真研究 [J]. 电子制作, 2023, 31(06): 30-34.
- * [3] 班解进, 张稳桥, 石宏顺等. 无刷电机霍尔传感器位置及电机旋向确认方法研究 [J]. 机电信息, 2022, NO.681(09): 84-88.
- * [4] 王媛媛, 段宇鹏, 朱娜等. 一种基于 DSP 的高速无刷直流电机伺服系统设计 [J]. 航空精密制造技术, 2018, 54(02): 36-39.
- * [5] 邱琪深, 张志峰, 双三相永磁同步电机合成电压矢量直接转矩控制 [J]. 微电机, 2022, 55(05): 39-45.
- * [6] 栗克国, 李志飞, 倪文军等. 基于 GD32F103 的多参数码头安全监控终端设计 [J]. 自动化与仪表, 2018, 33(05): 61-64.
- * [7] 李雪洋, 李岩松, 刘君. 对称式闭环霍尔电流传感器研究与设计 [J]. 电子测试与仪器学报, 2022, 36(08): 69-76.

模糊 PID 控制在生物质锅炉燃烧控制系统的设计及仿真

刘宇菲¹, 孟亚男¹, 陈智晗¹, 祝克强²

(1. 吉林化工学院 信息与控制工程学院, 吉林吉林, 132022; 2. 莱阳市热电有限公司, 山东莱阳, 265200)

摘要: 生物质锅炉是一种能够充分、高效利用可再生资源的锅炉, 由于生物质锅炉的燃烧机理复杂, 构建模型和进行控制变得非常困难, 使用传统的PID算法并不理想。为了解决这个问题, 本文提出了一种模糊PID控制方案, 并选用MATLAB软件进行了仿真。通过仿真曲线结果, 验证模糊PID控制在生物质锅炉燃烧系统中具有良好的控制效果。

关键词: 生物质锅炉; 炉膛压力; 模糊PID控制; PID控制

生物质锅炉的燃烧过程涉及多个参数之间的复杂关联, 其中包括给料量、送风量和引风量。这些参数的调整对于确保炉膛压力的稳定性至关重要。此外, 送风量和引风量也对烟气含氧量产生影响, 而给料量、送风量等因素则直接关系到炉膛压力的稳定性^[1-2]。针对这种具有变参数、纯时滞和大惯性特性的复杂燃烧过程, 本研究选用了常规PID控制与模糊控制相结合的控制策略。这种控制方法综合考虑了多个输入变量和输出变量, 以使得系统能够更加精确地响应各种工况变化, 并实现最佳的运行状态。

1 生物质锅炉燃烧系统

1.1 生物质锅炉工艺流程

本文设计的生物质锅炉燃料将生物质燃料和煤燃料按照一定比例混合, 并通过给煤机和送料机输送到炉膛内。为了保持出水温度稳定, 需要根据需求调节炉排转速, 控制进煤量和生物质燃料的送料量。同时, 根据炉排转速来调节鼓风机

机的转速, 并利用空气预热器对空气进行预热, 提高燃料的燃烧效率。炉排调节和鼓风机调节相互配合, 确保水温的恒定, 并实现锅炉燃烧的最大效率。未燃烧完全的生物质燃料和煤颗粒会在旋风分离器的作用下与烟气分离^[3]。随后, 在二次风的带动下, 它们被重新送回炉膛再次燃烧, 从而提高燃烧效果并减少不完全燃烧产生的污染物。分离的烟气经过除尘器处理后, 排放到大气中。生物质锅炉工艺流程图如图1所示。

1.2 模糊 PID 控制

对生物质锅炉的运行过程进行分析可以发现, 调节炉膛负压是至关重要的。炉膛压力是一个复杂的受控对象, 受到多种扰动因素的影响, 并且存在强耦合性。传统的PID控制器在面对不确定的工况情况下, 其控制参数通常是固定的, 无法根据高炉膛压力随机出现的非线性扰动进行自动调节^[4-5]。因此, 本文将采用模糊PID控制方法: 通过应用模糊控制规则来整定PID的三个参数。模糊PID控制能够更好地适应复杂的控制环境, 提高锅炉的运行稳定性和热效率。模糊PID控制器原理

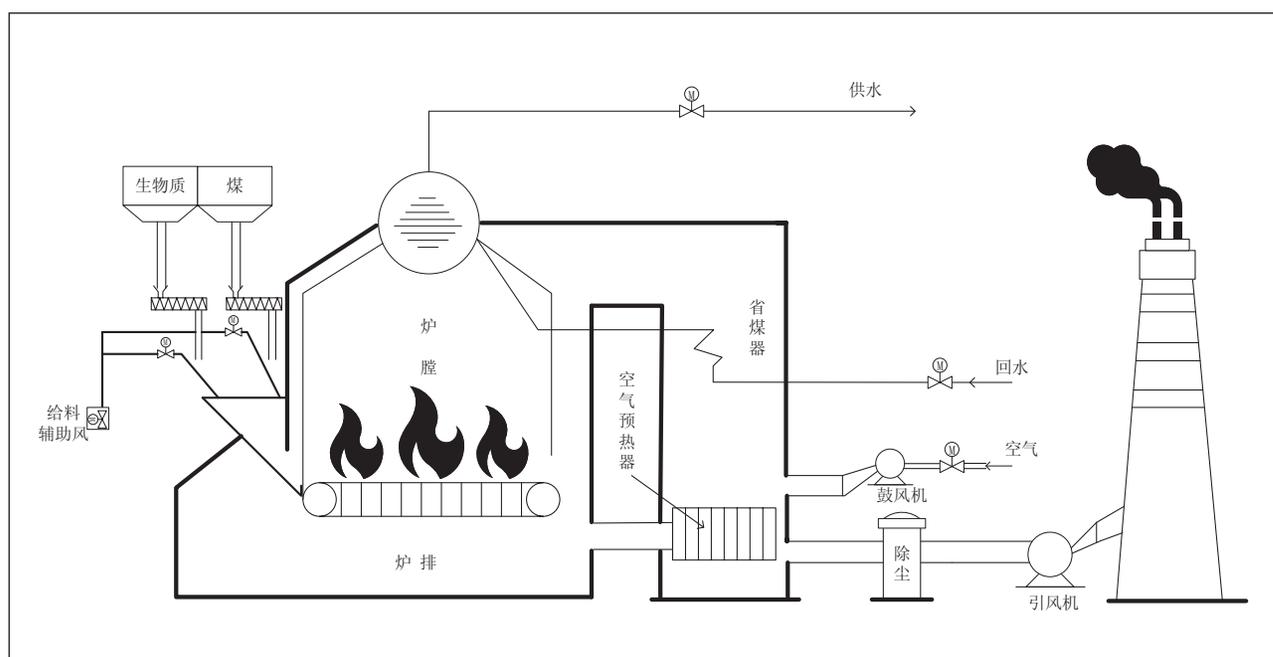


图1 生物质锅炉工艺流程图

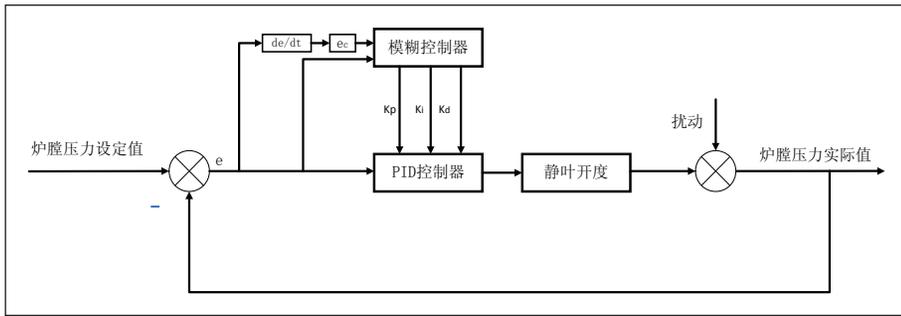


图2 模糊PID控制

如图2^[6]所示。

2 模糊PID控制系统的设计

2.1 模糊控制器参数选择

在该模糊控制器中,使用了“NB”、“NM”、“NS”、“ZO”、“PS”、“PM”、“PB”这几个量级来表示负大、负中、负小、零、正小、正中、正大。在模糊控制器中,输入变量 e 和 ec 被视为精确量,因此需要进行模糊化处理。为此,我们将偏差 e 和偏差变化率 ec 的模糊论域分别设置为 $(-6, 6)$ 和 $(-3, 3)$,基本论域均为 $(-100, 100)$ 。因此,偏差 e 和偏差变化率 ec 的衡量指标被设置为 0.06,输出变量 K_p 、 K_i 和 K_d 的模糊区域范围统一设定为 $(-3, 3)$,输出变量的衡量因子为 0.32,而偏差变化率的量化因子为 0.5^[7]。以上所述的三个输出变量中,一个是炉膛压力的差值 e ,另一个是差值的变化率 ec ,最后一个是模糊控制器的输出量。在该模糊控制器中隶属度函数采用常见的三角函数。模糊子集对应的三角形隶属度函数如图3所示。

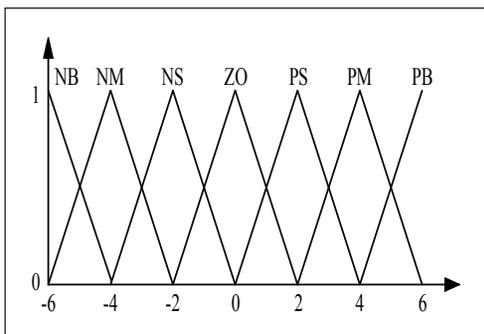


图3 三角隶属度函数

2.2 模糊控制规则

专家和学者针对模糊控制规则中输入和输出的对应关系进行了深入研究,并揭示了一些重要规律。基于生物质锅炉炉膛压力模糊控制的经验和规律,本文总结出了49条模糊控制规则,并编制成了反映 ΔK_p 、 ΔK_i 、 ΔK_d 三个参数的模糊控制规则表^[8]。具体规则可参考表1、表2和表3。这些规则提供了指导,帮助实现对系统的稳定控制和优化性能。

2.3 炉膛压力模糊PID控制系统的仿真

鼓风机给风的变化会产生炉膛负压的波动,为了防止因送风改变而产生炉膛出口负压的波动,控制系统将引入送风信号和前馈信息对引风机进行超前调整^[9]。设计模糊PID控制系统,根据经验法可以得出

PID的初始值分别为 $K_p=10$, $K_i=0.08$, $K_d=80$ 。系统仿真控制如图4所示,而系统的响应输出曲线如图5所示。

对比系统曲线图可分析出,采用模糊PID控制方法相对于传统的PID控制在实际生产中显示出了显著的改善效果。模糊PID控制能够明显减小炉膛压力的波动范围。在布料时,传统的PID控制往往会产生较大的膛压偏差^[10]。然而,采用模糊PID控制方法的系统,相对而言膛压偏差减小了很多,这表明模糊PID控制在抑制偏差方面取得了显著的改善。同时,模糊PID控制还具有更强的抗干扰能力,在面对外界干

表1 ΔK_p 模糊控制规则表

ΔK_p \ ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	ZO
NM	PB	PM	PM	PM	PS	ZO	NM
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	NM	NM	NM	NM	NB	NB

表2 ΔK_i 模糊控制规则表

ΔK_i \ ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PB	PB	PB

表3 ΔK_d 模糊控制规则表

ΔK_d \ ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PS	NS	NB	NB	NB	NM	PS
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	PS
NS	PS	NS	NM	NM	NS	NS	PS
ZO	PS	NS	NS	NS	NS	NS	PS
PS	ZO						
PM	PB	PS	PS	PS	PS	PS	PB
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB

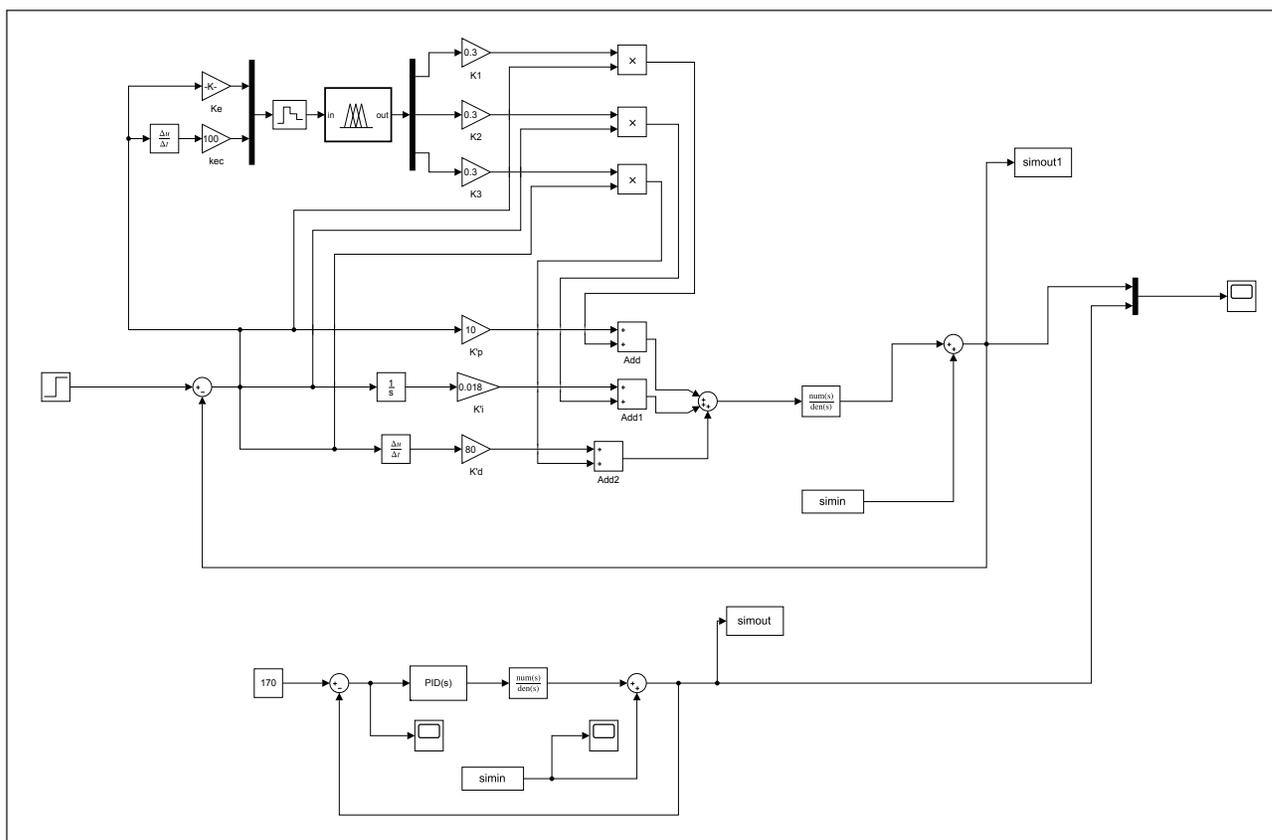


图4 系统仿真图

扰时能够更好地保持系统稳定。

3 生物质锅炉集散控制系统设计

3.1 浙江中控集散控制系统

生物质锅炉燃烧控制系统则选用了杭州中控科技公司的DCS控制系统,具体型号是JX-300XP。该控制系统在设计中,充分引进了最新的网络信息技术和微电子科学技术研究成果,以达到最有效地信号传输和数据处理。在网络安全领域,JX-300XP系列系统结合了全新的信息处理技术和高速通信技术,以保证了信息传送的稳定与安全性。同时,芯片处理领域,系统还使用了高性能微处理器,以提供更强劲的数据

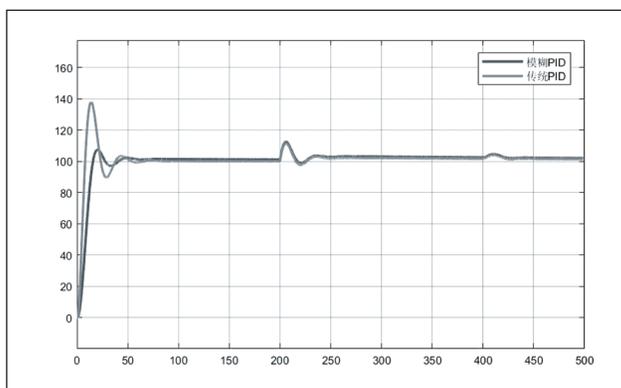


图5 系统输出曲线图

处理能力与计算能力,此外,JX-300XP系统还融入了先进的控制算法,以提高系统的控制精度和稳定性。这些先进的

表4 I/O点表

序号	位号	描述	信号类型
1	PT1201a	炉排后部压力1	AI
2	PT1201b	炉排后部压力2	AI
3	PT1202a	炉膛燃烧室压力1	AI
4	PT1202b	炉膛燃烧室压力2	AI
5	PT1203a	三级过热器下部压力1	AI
6	PT1203b	三级过热器下部压力2	AI
7	PT1204a	炉膛上部压力1	AI
8	AI0202001307	备用	AI
9	PT1204b	炉膛上部压力2	AI
10	PT1204c	炉膛上部压力3	AI
11	PT1204d	炉膛上部压力4	AI
12	FCV1201ZO	一次风管1电动挡板调节指令	AO
13	FCV1202ZO	一次风管2电动挡板调节指令	AO
14	FCV1203ZO	一次风管3电动挡板调节指令	AO
15	FCV1204ZO	一次风管4电动挡板调节指令	AO
16	FCV1205ZO	往复炉排一次风电动挡板调节指令	AO
17	FCV1206ZO	下部二次风电动调节挡板调节指令	AO
18	FCV1201YI	一次风管1电动调节挡板远控允许	DI
19	FCV1201GZ	一次风管1电动调节挡板故障	DI
20	FCV1202YI	一次风管2电动调节挡板远控允许	DI
21	FCV1202GZ	一次风管2电动调节挡板故障	DI
22	FCV1203YI	一次风管3电动调节挡板远控允许	DI
23	FCV1203GZ	一次风管3电动调节挡板故障	DI
24	LP1206	振动炉排振动电机启动指令	DO
25	LP1207	振动炉排振动电机停止指令	DO
26	LP1209	振动炉排振动时间设定	DO
27	MK1201_27	送风机变频故障	DO
28	MK1202_27	引风机变频故障	DO

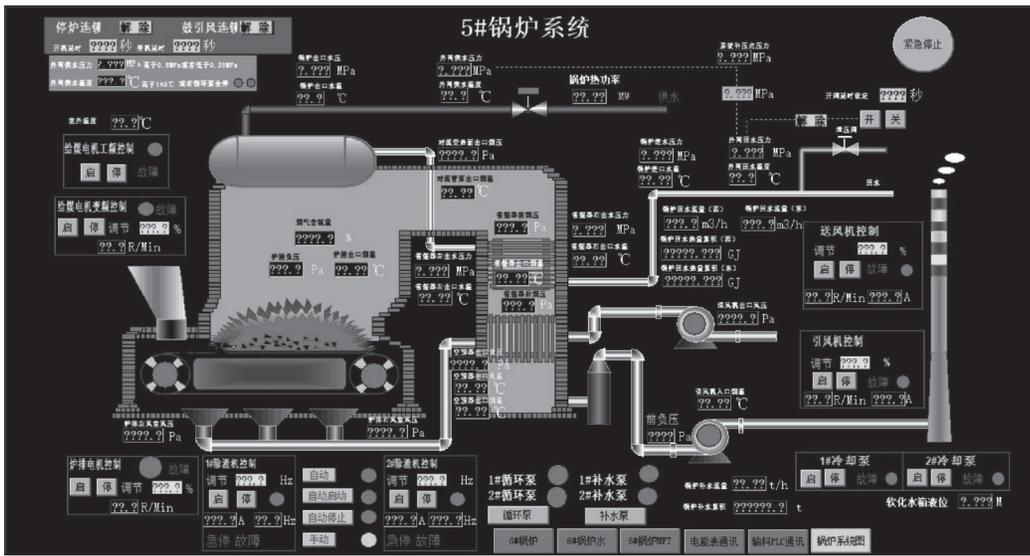


图6 生物质锅炉流程图

控制算法能够根据实时的反馈信息对系统进行智能调节，使得生物质锅炉燃烧系统的控制更加准确和稳定。

总的来说，JX-300XP 系统简化了工业自动化的整体结构，通过引入最新的网络技术、微电子工艺和先进的控制算法，提高了过程控制器的功能和工作效率，也增强了工程自动化的整体性和稳定性。

3.2 系统 I/O 点表

本项目基于青岛某热电有限公司 46MW 生物质锅炉项目中的 6# 锅炉，结合锅炉燃烧系统的工艺流程，确定部分 IO 点表如表 4 所示。

3.3 硬件配置

JX-300XP 系统中包括有主控卡、数据转发卡和 I/O 卡件，在系统设计中必须按照功能条件选用适当的卡件，并进行硬件选择和设计工作。对主控卡、数据转发卡和 I/O 卡件加以配置，并与系统其他的功能组件加以联系。保证了所有硬件装置间的联系正常，并与锅炉的所有部分联系正常。选择适用于生物质锅炉的硬件配置如表 5 所示。

表5 控制站硬件配置

序号	名称	规格	备注
1	主控卡	XP243X	
2	数据转发卡	XP233	
3	电源指示卡	XP221	
4	电压信号输入卡	XP314	6路输入
5	电流信号输入卡	XP313	6路输出
6	热电阻输入卡	XP316	4路输入
7	开关量输入卡	XP363	8路输入
8	开关量输出卡	XP362	8路输出
9	数字量信号输入卡	XP366	16路输入
10	数字量信号输出卡	XP367	16路输出

3.4 生物质锅炉流程图

根据硬件配置和功能需求，进行软件系统的配置和编程。

质锅炉流程图如图 6 所示。

4 结论

通过对比实际生产中的效果和使用模糊 PID 控制的方法，可以发现模糊 PID 控制方法能够有效地减小高炉膛压的波动范围，并且在高炉布料时显示出更少的偏差，以及更强的抗干扰能力。这些结果证明了模糊 PID 控制方法在高炉控制方面的重要性和优越性。

参考文献

- * [1] 刘丽,程楚,李育平等.合成炉炉膛负压实现动态稳定控制的实践[J].世界有色金属,2016(10):37-39.
- * [2] 杜宇,杨丛军.模糊控制在加热炉炉膛压力控制中的应用[J].包钢科技,2018,44(01):85-87.
- * [3] 朱延海,柯炎.引增合一改造后炉膛压力控制优化[J].神华科技,2018,16(04):52-56.
- * [4] 张立敏,高永翔.烟气再循环与炉膛压力自动控制应用研究[J].自动化技术与应用,2020,39(12):24-27.
- * [5] 莫布林.锅炉炉膛压力保护系统改造[J].华电技术,2018,40(07):29-31+78.
- * [6] 叶青.煤粉炉炉膛压力过程建模与控制方法设计[D].北京化工大学,2020.
- * [7] 张巍.基于 PLC 的液位控制系统设计与实现[D].电子科技大学,2018.
- * [8] 李玉亮,雷霞.工业燃烧过程控制系统设计[J].吉林工程技术师范学院学报,2020,36(10):94-97.
- * [9] 张向伟,万守军,程学珍.生物质振动炉排锅炉炉膛压力控制改进及试验[J].自动化应用,2021(05):78-81.
- * [10] 陈奇福,吴敏,安剑奇等.模糊 PID 控制在高炉炉顶压力控制系统中的应用[J].冶金自动化,2010,34(02):10-14+37.

通信作者：孟亚男。

本文应用浙江中控 DCS 对生物质炉排锅炉燃烧系统进行设计，采用 SCKey 软件进行控制回路的组态。对于模糊 PID 控制算法的部分，使用 ST 脚本进行开发和设计，以实现精确控制。最后，利用生物质锅炉流程图来组态，方便现场操作人员监控和修改。生物

基于 MSP430 的智慧导盲小车设计

张云, 陈尚, 屈克非

(南京交通职业技术学院, 江苏南京, 211100)

基金项目: 南京交通职业技术学院2021年大学生创新创业训练计划项目(项目编号: CX2123); 南京交通职业技术学院重大课题(JZ2103)。

摘要: 本设计提出了一种智慧导盲小车, 小车以MSP430G2553为控制核心, 包括电源、运动、循迹、防撞、通信等模块。小车采用直流电机为驱动, 配以万向轮实现小车运动功能。智慧导盲车上安装了一对反射型红外光电传感器进行轨迹感知, 将轨迹信息发送至单片机, 通过处理器及其控制电路调节电机的方向和转速, 实现导盲车的行进运动功能。跟随小车通过超声波传感器检测与障碍物之间的距离, 实现防撞。通过调试验证表明, 小车具有较好的运动稳定性, 调速范围满足要求, 能实现规定区域内的循迹, 声光提示、车能按照要求进行跟随行驶。

关键词: MSP430G2553; 循迹; 超声波避障; 蓝牙通信

0 引言

目前, 世界各国正在研发电子导盲系统, 主要包括超声波导盲仪、移动式导盲机器人、穿戴式导盲设备和导引式导盲杖四个方向。国内的研究重心基本在导盲手杖方面下功夫, 而国外则以导盲机器人为主。这也是我国导盲机器人市场的蓝海领域。

我国盲人数量约为 1730 万左右, 占据了世界盲人总数的 18%~20%。中国的盲人总数已经超过了一些国家的人口规模。目前, 我国的导盲辅具还是以导盲杖为主。盲人辅具市场需求庞大, 同时也存在着淘汰的导盲辅具与现代科技之间的矛盾。这将推动导盲辅具向智能化方向发展。

相对于移动式机器人体积大, 机械电路结构较于复杂, 且受限地形, 硬件成本较高; 穿戴式导盲仪舒适性差, 负重量大; 导引式手杖续航有限、不便于收纳。这几种导盲装置都有不实用的缺点, 而这时电子导盲车就可以以低成本解决大部分问题。

1 总体设计方案

智能导盲小车的总体设计如图 1 所示, 系统主要由主控制器、识别检测模块、红外循迹模块、超声波避障模块、GPS 定位模块、行进驱动模块、运动模块、蓝牙模块、交互模块等组成。此系统对性能要求较高, 因此采用 MSP430G2553 作为主控芯片处理数据。在室外情况下, 通过识别检测模块, 小车检测到路面信息, 传递给主控芯片, 从而控制运动模块进行相应操作。小车通过超声波传感器检测出前方障碍物和距离, 实现实时避障及语音警报。室内情况下, 通过红外循迹模块, 小车可以按照规划路径行驶, 实现室内环境下的引导。小车上采用了一种交互方式, 即通过语音模块与用户进行交互。这个语音模块是基于百度智能 AI 开放平台开发的, 它为用户提供了方便快捷的操作体验。

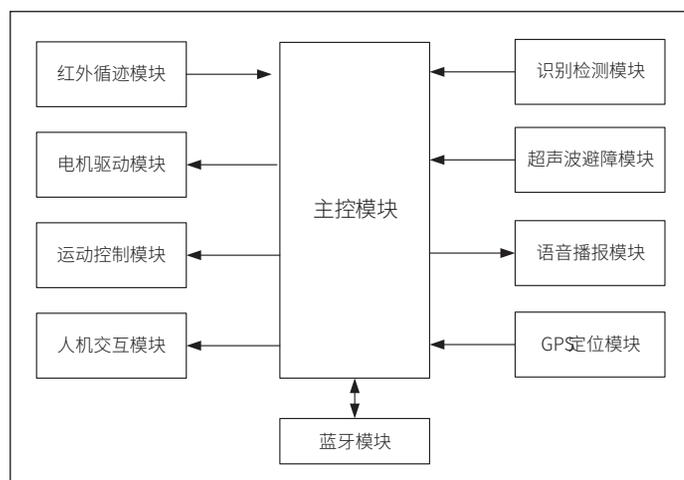


图 1 系统总体框图

用户只需要通过语音搜索目的地地址, 该系统具备唤醒手机 APP 的功能, 并且能够准确识别和播报用户输入的目的地地址。此外, 系统还配备了一个地图组件, 通过用户通过语音输入的目的地信息, 能够实现路径的最优规划。使用者只需按照语音提示进行操作, 就能轻松追踪小车行进, 并最终到达目的地。这种智能化交互方式为人们提供了更加便捷和高效的出行体验。

2 硬件设计

2.1 识别检测模块

识别检测模块由全志 V831 视频采集器、200W 摄像头、麦克风、TF 卡槽、天线、USB、三轴加速度传感器、按键等组成。全志 V831 模块带有一个 0.2T 的 NPU, cortex-A7 单核, 内置 64M DDR2。利用视频采集器可以获取实时图像或视频流, 传输到单片机进行识别和控制。

2.2 红外循迹模块

小车前端搭载四路红外循迹传感器, 在室内环境下, 通过感知地面标识, 将信息传送至单片机中进行处理。若检测到标识信号则直行, 如遇转角四路循迹传感器感知不到地面

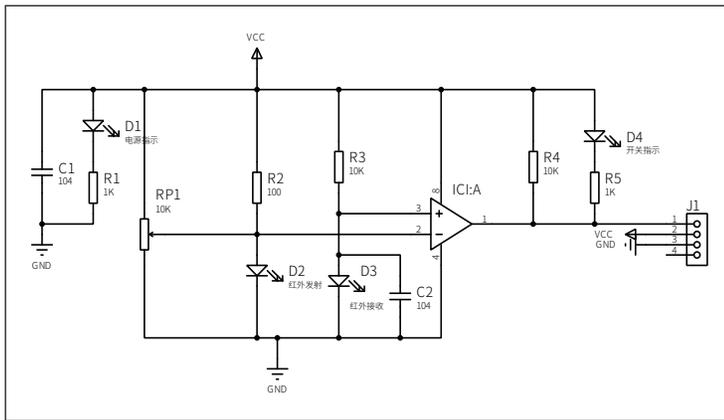


图2 红外循迹电路原理

标识，单片机会发出左转信号至直流电机进行左转操作。

■ 2.3 超声波避障模块

本系统利用 HCSR04 超声波模块进行避障。导盲车超声波传感器检测到障碍物，会将障碍物距离信息传输至单片机，处理器发出控制指令，控制电机，采取规避动作，实现避障功能，同时进行语音报警提示。

■ 2.4 供电模块

供电系统中，传输电源选取 12V 的锂离子聚合物电池，电源连接到降压处理模块将 12V 电压变压成 MSP430G2553 处理器使用的 5V 电压。MSP430G2553 主板有 5V 电压接口，可给其余设备供电，包括供给超声波传感器，红外传感器、蓝牙模块等。

■ 2.5 电机驱动模块

采用 MSP430G2553 作为电源接口，直接为电机提供动力是不够的。因此，本文采用了两块 L298N 作为驱动电源。

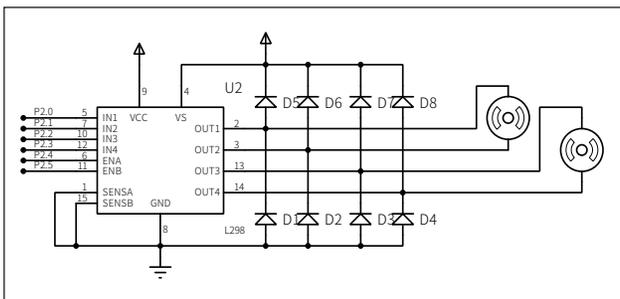


图3 L298N 控制直流电机

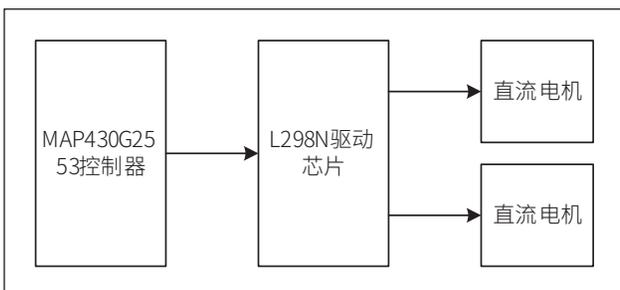


图4 MSP430G2553 控制驱动直流电机

L298N 具有驱动力强，损耗低，干扰能力强，采用大容量的滤波电容器，并配有续流保护二极管，从而提高了装置的工作稳定性。

■ 2.6 小车运动模块

为了使小车的运动更为顺畅，并且实现实时调速的目标。通过调节 PWM 信号来调节电动机的速度。直流电机 PWM 调速的过程是：通过调整电压脉冲宽度，结合电路中相关的硬件电路元件，使传输到电压的幅值发生变化，从而使直流电机转速发生变化。

PWM 技术的实质是一种脉冲宽度调制技术，

它利用脉冲宽度调制技术，将一个直流电压变换为一个具有不同电压值的数字信号。在电机的控制过程中，电压越大，电机的转速也就越高，而利用 PWM 输出不同的电压，就能让电机达到不同的输出转速，PWM 可以通过调节脉冲的宽度和频率，向电机提供具有可调脉冲宽度的脉冲电信号。当脉冲宽度（也称为占空比）增加时，平均电压提供给电机也会增加。马达旋转速度变得更高。相反，当脉宽较小时，占空系数也较小。电动机旋转速度随着施加到电动机的平均电压的降低而降低。

■ 2.7 无线通讯设计

小车无线通讯部分采用了蓝牙模块 HC-05，用于在上位机和下位机之间进行数据传输。在该设计中，用到了 HC-05 四个引脚，它们分别是电源正极引脚 VCC、电源线负极引脚 GND、信号发送引脚 TX，信号接收引脚 RX。由于 MSP430 的电源为 3.3V，因此可以通过 MSP430 芯片上的 VCC 与 GND 实现对 HC06 蓝牙模块的供电与共地。通过蓝牙通讯，更方便了小型车间的通讯，也方便了对小车的精确传送，以及对转向的命令。

3 软件设计

从底层和上层两个部分进行了软件设计。其中，下位机主要负责对无人车进行控制，而上位机则负责对无人车进行定位和定位。下位机实现了机器人的避障、跟踪标记、GPS 定位以及电动机的移动。在微机机上实现了对汽车的声音识别、行驶路线的自动规划、汽车的声音广播、汽车的位置显示等。

■ 3.1 下位机程序设计

下位机程序采用模块化程序设计方法，将大程序拆分为多个小程序模块。每个模块负责完成一个特定功能，并与其他模块建立必要的联系。通过模块间的协作，最终实现整个功能的程序设计。程序设计思路如图 5 所示。

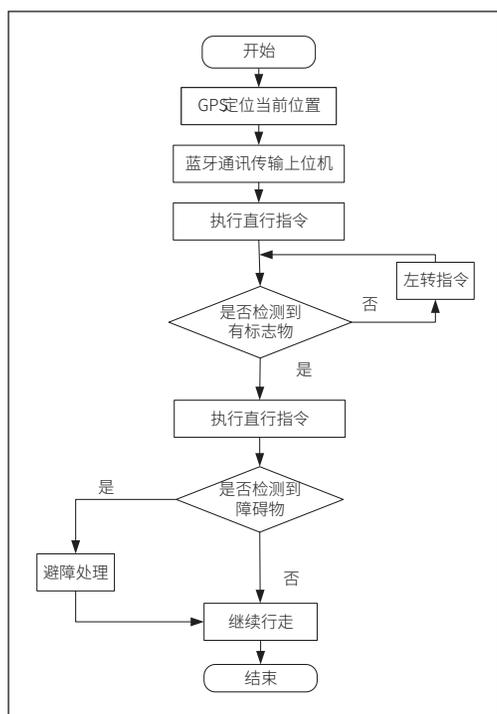


图5 下位机程序设计

3.2 上位机程序设计

上位机程序设计的目标是开发一款智能导盲 APP，其中包括蓝牙通讯、定位、坐标转换、路径规划、定位方向角和语音播报等功能。手机 APP 可以通过蓝牙技术获取车辆的坐标，并将这些信息显示在手机界面上。应用程序具有语音唤醒等功能，便于用户使用。同时，设定了对智能小车的手动控制，如起动，停车等指令。

4 测试方案与测试结果

4.1 测试方案

(1) 硬件测试

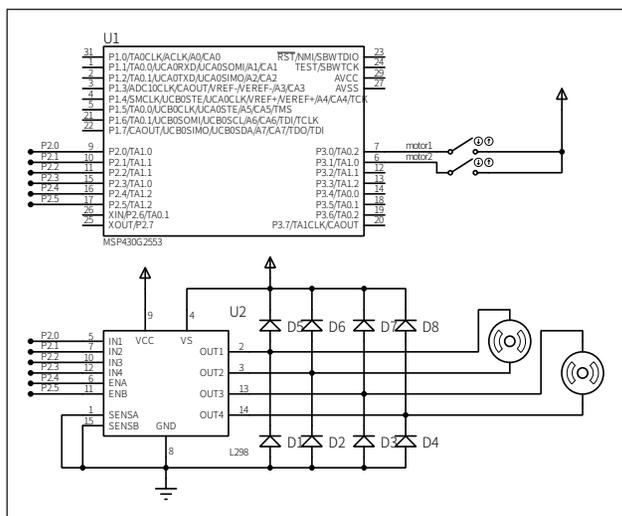


图6 仿真电路原理图

小车整体稳定性较好，硬件电路焊接完好。通过数字毫伏表，模拟示波器，数字示波器，万用表测试各个模块都可以正常工作，电压和电流状态正常。

(2) 软件仿真测试

通过 Proteus 仿真进行测试，测试结果符合要求。

(3) 硬件软件联调

实地测试导盲小车可以实现避障，循迹导盲功能，具有防撞能力。

4.2 测试条件与仪器

测试条件：在进行了多轮的检验之后，模拟电路和实际电路一定要与系统原理图相一致，而且检查正确，硬件电路要确保没有虚焊可以正常导通。

检测工具：高精密的数位毫伏计、类比示波器、数位示波器、数位万用表、数位千用表。

4.3 测试结果及分析

为了更好地减小小车的导盲误差，对小车不同速度下的轨迹偏差进行测量，实验表明，小车车速较快时小车的误差相应也增大。

表1

速度 (m/s)	0.32	0.35	0.38	0.4	0.42	0.44	0.46
轨迹偏差(偏差单位:cm)	2	2	2	5	5.5	5.6	5.6
是否碰撞	无	无	无	无	无	无	无

5 结论

本文设计了一套以 MSP430 为核心的智能导盲小车，并根据功能需求完成了小车的软硬件设计。该智能导盲小车能够实现定位、红外循迹、避障、语音播报等功能。通过软件仿真及实验验证了设计正确性。

参考文献

- * [1] 张世昂,付根平. 农业智能巡检小车的设计 [J]. 中国农机化学报,2018,39(04):82-89.
- * [2] 马士佳,翟佳琪,孔殿凯等. 一种智能巡航导盲车的设计及实现 [J]. 科技与创新,2020(20):123-124.
- * [3] 金星,熊中刚. 基于 GPS/GSM 的低能耗智能小车控制系统设计 [J]. 信息技术与信息化,2016(03):50-53.
- * [4] 陈露,郭恒蓉,朱敏. 基于多传感器检测的导盲避障小车设计 [J]. 信息技术与信息化,2022(07):195-198.
- * [5] 武翌晗,荣学文,范永. 导盲机器人研究现状综述 [J]. 计算机工程与应用,2020,56(14):1-13.
- * [6] 邓舒心,廖权权,黄威等. 智能导盲车系统设计 [J]. 电子测试,2021(20):20-21+25.

一种防止离散量输出电路误保护的方法

王鹏博, 徐栋, 康颖

(中航工业西安航空计算技术研究所, 陕西西安, 710068)

摘要: 随着飞机机电系统的快速发展, 对于机载计算机离散量输出电路的可靠性提出了更高的要求。而过流保护机制则是保护机载计算机内部安全的一种有效手段。但离散量输出电路出现误过流保护, 则会直接影响到与之交联设备的正常工作。因此本文提出了一种能够有效防止离散量输出电路误保护的方法, 即优化过流保护动作曲线, 增加当前输出接口状态的判断, 完善控制软件中的锁定策略。最后通过实验测试, 验证确认了该方法的有效性, 能够满足机载设备的实际使用要求。

关键词: 离散量输出; 过流保护; 可靠性; 机载计算机

0 引言

近年来, 新技术的不断发展, 推动了航空产业的快速进步。特别是飞机机电系统, 系统架构已由分立结构向综合化方面进行转变^[1], 对机载计算机的集成度和可靠性提出了更高的要求^[2,3]。而机载计算机在工作时, 需要输出许多的离散量信号来控制外部的交联设备, 执行飞行员的输出指令。而过流保护机制则是保护机载计算机内部安全的一种有效手段^[4]。但是若离散量输出电路出现误过流保护, 则会直接影响到与之交联设备的正常工作, 进而影响飞机安全。因此, 防止离散量输出接口误输出对于提升飞机机电系统的可靠性有重要意义。

1 离散量输出电路误保护分析

1.1 离散量输出电路工作原理

本文采用的 28V/ 开离散量输出电路由 MOS 管驱动电路、电流采样电路、输出状态回采电路、输出短路保护电路和接口防护电路组成, 系统框图如图 1 所示。该接口电路提供两种状态的离散量输出, 一种为高阻状态(开路), 另一种为 28V 状态, 通过接收应用软件命令控制开关在两种状态之间切换, 并在输出端口进行离散量采样, 实现电路的 BIT 功能。

1.1.1 驱动电路

28V/ 开离散量输出电路是通过输入地 / 开型离散量信号与功率电源构成分压网络, 从而在分压电阻上形成压差, 进而控制 P 沟道 MOS 管的导通, 如图 2 所示。

电阻 R1 与 R2 构成分压网络, R2 电阻上的电压值即为 MOS 管源级和栅极两端的电压差。当输入控制信号为地时, 分压电路导通, MOS 管源级和栅极两端压差大于开启阈值电压, MOS 管导通; 当输入信号为开路时, MOS 管源级和栅极两端无压差, MOS 管处于截止状态。电容 C1 与电阻 R2 可构成一阶 RC 滤波电路, 防止异常干扰导致 MOS 管误

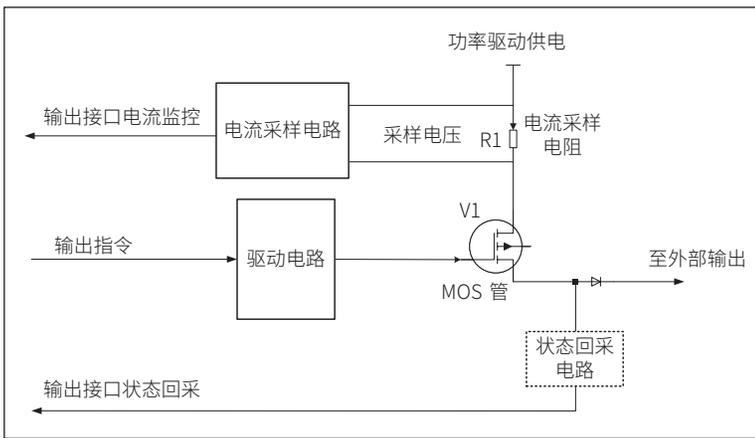


图 1 离散量输出电路整体框架设计

导通。输出端电容 C1 可起到稳定输出电压的作用, 避免瞬态电压长期对 MOS 管冲击造成器件损伤。

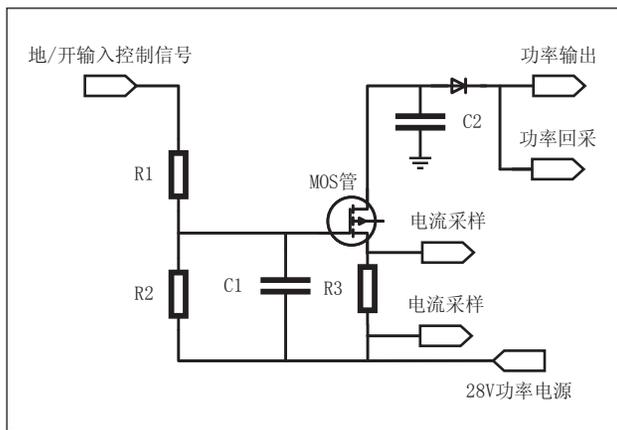


图 2 MOS 管驱动电路

1.1.2 输出回采电路

28V/ 开离散量输出接口的状态回采电路是采用电阻分压, 然后通过电平转换, 将状态位直接上数据总线进行采集, 从而由 FPGA 逻辑软件进行输出回采状态的判定, 状态回采电路原理示意如图 3 所示。本电路选用的单向总线驱动芯片具有三态输出功能, 可实现 16 位单项数据传输。该驱动芯片识别为高电平的最低阈值为 3V。

1.1.3 接口防护电路

28V/ 开离散量输出接口主要通过两种方式实现接口的

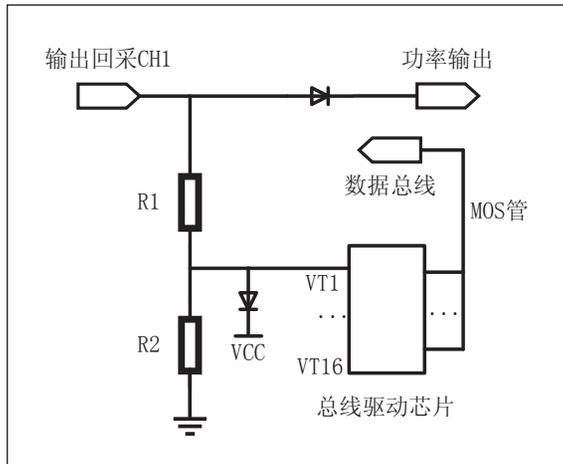


图3 输出回采电路

保护功能，一是在输出通路上串接整流二极管，选用的整流二极管整流平均输出电流为 1.5A，正向不重复浪涌电流为 30A。二是在地 / 开输入控制信号端增加 TVS 管。以上保护措施可起到以下作用，整流二极管可以隔离外部负载的反向电动势，防止对 MOS 管造成损害。TVS 管可将外部的反向电动势和通过连接器引脚引入的尖峰和浪涌电压的幅值进行钳位，TVS 管的最大钳位电压为 90V，低于整流二极管的反向耐压值，可以对 28V/ 开离散量输出电路进行保护。

1.1.4 电路 BIT 机制

本电路采用的 BIT 检测机制，即底层软件对 28V/ 开功率输出接口进行电压监控，通过监控电压状态，将当前指令和当前回采结果进行对比，从而对 28V/ 开离散量输出接口进行故障判定。

1.2 离散量输出接口过流保护工作原理

过流保护机制属于机载设备输出接口的正常保护性功能，当机载设备外部负载出现过流情况时，可通过该机制实现切断输出通路为“开路”安全状态，达到对设备自身保护的目的^[5]。

本文中 28V/ 开离散量输出电路的过流保护功能是通过 I2T 机制实现的。也就是通过串联在输出回路中的 0.01Ω 的电阻作为采样电阻，采样电阻两端的电压差并通过固定增益的放大器对电压信号进行放大，通过多路模拟开关依次对所有 28V/ 开输出接口单独进行电压采集，底层软件会实时计算并累计该路输出通路中的电流值，当输出回路中的电流功率 (I2T) 达到预设保护值时，通过控制 MOS 管切断对外的功率输出来实现过流保护功能。

1.3 离散量输出电路误保护原因分析

1.3.1 外部负载过流

在实际应用中，离散量输出电路互联的外部设备众多，有各类传感器及负载^[6]。若其中某一外部设备在启动时工作电流短时超过其标称值，便很可能会触发离散量输出接口过流保护功能。而目前单一离散量输出接口设定的保护策略大多为保护后锁定输出状态为开路，且仅可通过给整个产品上下电才能解除输出锁定。因此，若离散量输出电路出现误保护将直接导致互联设备无法工作，进而影响飞机安全。

1.3.2 电流采样电路故障

通常离散量输出接口输出 28V 驱动对应的外部负载后，会保持该路输出直至外部负载完全打开 / 关闭。当外部负载

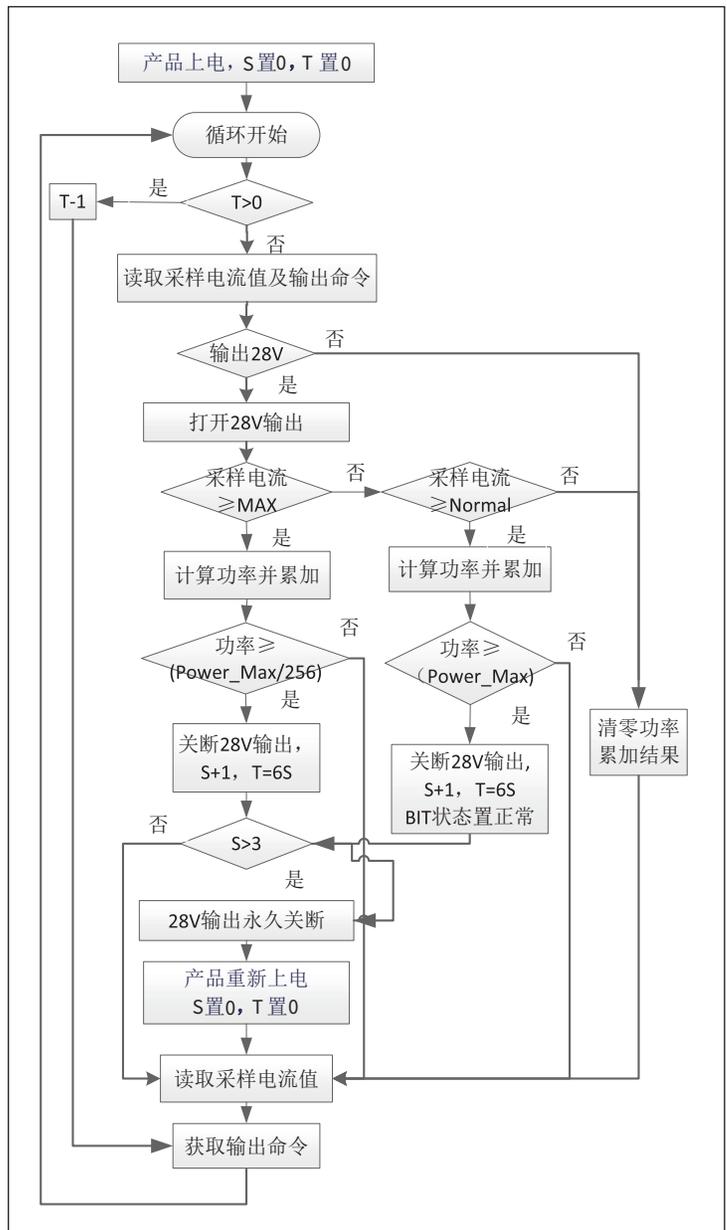


图4 输出接口保护流程图

完成动作后，自身便会断开该路输出回路。当接收到该外部负载的指示信号后才通过切断 MOS 关闭该路输出。因此，当输出接口的 MOS 管保持导通，电流采样电路仍在输出回路中，此时外部感性负载关闭的瞬间造成的反向电压干扰有可能作用到电流采样电路的芯片输入管脚，导致芯片出现错误信号，从而使得离散量输出电路出现误保护情况。

2 总结与防范措施

经过上述分析，离散量输出电路出现误保护的主要原因有两个：①交联的外部负载发生了短时的过流情况，软件按照设定对输出接口进行误保护；②切断负载时，外部负载电压串扰导致电流采样电路出现错误信号，最终导致离散量输出电路出现误保护虚警。

■ 2.1 防止离散量输出电路误保护策略

机载计算机通常都具备多路 28V/ 开离散量输出电路，对应于多种类型的功率负载。为防止离散量输出电路出现误保护，提出以下方法：

①在保证机载计算机内部电路安全的情况下，可以通过多次试验，优化相应的保护动作曲线。尽可能输出较大的负载电流，防止因外部设备短时过流造成输出接口误保护。

②增加当前输出接口状态的判断。只有当该通道输出接口的状态为 28V 输出时，才进行输出接口的电流检测及保护，否则该接口的状态为空开，不进行输出的电流检测及保护，提高输出接口保护功能的鲁棒性，进一步降低虚警。

③完善控制软件中的锁定策略，增加过流保护后输出接口重试机制，多次重试以提高输出接口的故障容限，降低虚警，完善后的输出接口保护流程图如图 4 所示，其中 S 为保护次数计数器，T 为再次输出时间计数器。

例如，某离散量接口的功率 PMOS 管稳态输出电流为 6.5A，浪涌电流为 25A，承受两次浪涌电流的最小时间间隔为 6s。则完善离散量接口保护策略为：当检测到外部接口发生短路时，立即关闭相应接口，等待 6s 后再次重试输出。共计重试 3 次，若 3 次仍检测到过流保护，则进行接口锁定，本次加电工作期间不再输出，只能通过重新上下电清除接口锁定状态。

■ 2.2 信号串扰对采样芯片的影响

为了验证信号串扰是否会导致电流采样芯片故障。本文选取了某采样芯片进行了测试，芯片允许反向输入电压为 -0.3V，该指标为长期稳态值，对该芯片的实际值进行了测试。

对该芯片输入端施加负电压，负电压在 0~-0.5V 范围

内，芯片输出正常；负电压为 -0.7V 时，芯片输出一个幅度为 2V，频率约 45K 的方波信号，持续时间 5 秒左右后输出变为 0；负电压低于 -0.8V 时，芯片输出为 1.7V，负电压去除后，器件恢复正常。当施加负电压达到 -4V 时，器件损坏，去除负电压后无法恢复。

而机上外部感性负载断开的瞬间，形成的反向电动势幅值一般不超 -0.8V，持续时间仅 ms 级，因此不会对电流采样芯片造成损坏。所以因信号串扰造成采样芯片误输出，进而导致离散量输出接口误保护的问题，可以通过调整软件过流保护策略解决，而无需在硬件上增加保护电路，进而降低了改进成本。

■ 2.3 测试结果分析

将完善后离散量输出电路过流保护策略应用到某机载计算机中，进行了实际试验。将该机载计算机与多型外部设备进行了多次交联试验，产品离散量输出接口均未出现过流锁定造成交联设备无法驱动的情况。因此可以验证，经过完善的离散量输出接口过流保护策略，可以有效提高机载计算机 28V/ 开离散量输出接口保护功能的鲁棒性，降低虚警。

3 结语

本文提出了一种防止离散量输出电路误保护的方法，通过完善离散量输出电路过流保护策略，即优化过流保护动作曲线，增加当前输出接口状态的判断，完善控制软件中的锁定策略，进而有效防止离散量输出接口误保护。并通过实际试验验证了方法的有效性，能够较好满足机载计算机的实际使用要求。

参考文献

- * [1] 李春雷. 一种分布式机电综合管理系统架构研究 [J]. 数字技术与应用, 2017(4): 105.
- * [2] 杨子怡, 李亚晖, 王中华, 等. 基于机载嵌入式可信计算平台的安全配置管理系统 [J]. 航空计算技术, 2023, 53(2): 123-126.
- * [3] 张庆珍, 李玉芳, 徐涛, 等. MBSE 在机载机电计算机研制过程中的应用探索 [J]. 电子技术应用, 2023, 49(3): 143-146.
- * [4] 张东昕, 段小虎, 齐宇心. 针对计算机供电系统的硬件设计方案 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2023(2): 17-19+71.
- * [5] 窦智峰, 王永华, 武洁, 等. 过流保护机制下 IGBT 桥臂小尺度短路失效对比分析 [J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(24): 7325-7335+7505.
- * [6] 徐忠锦. 一种简单可靠离散量信号电路的设计和实现 [J]. 电子设计工程, 2013, 21(5): 130-133.

一种新型数字可调线性直流稳压电源设计

徐丽萍

(南京工业职业技术学院 电气工程学院, 江苏南京, 210023)

摘要: 设计了一种0-30V/2A数字可调线性直流稳压电源, 硬件电路由初始基准电压产生电路、基准电压调整控制电路、功率放大线性稳压电路、辅助电源电路组成, 初始基准电压产生电路通过稳压管及运算放大器产生稳定的初始基准电压, 基准电压调整控制电路通过单片机及数字电位器对初始基准电压进行调整, 从而改变稳压电源的输出电压, 功率放大线性稳压电路一方面采用运算放大器放大基准电压, 另一方面通过大功率管增加电源带负载能力。

关键词: 线性; 直流稳压电源; 基准电压; 硬件电路

0 引言

在很多电子设备中都需要用到直流稳压电源, 直流稳压电源包括线性性和开关两种模式, 区别线性电源和开关电源的关键是看电路中晶体管的工作状态, 若是工作在放大状态, 且晶体管起到一个反馈调节则是线性电源; 若是工作在开关状态, 晶体管的目的是产生高频信号, 则是开关电源^[1], 线性电源功耗高, 纹波小, 开关电源功耗低, 纹波大, 一般电源纹波要求高的场合宜采用线性稳压电源。

线性直流稳压电源一般采用串联型线性稳压电路, 由调整管、基准电压、取样电路、误差放大电路等几个基本部分组成。取样电路通过取样电阻取得输出电压, 并与基准电压比较, 比较结果由误差放大电路放大控制调整管的导通程度, 使输出电压保持稳定。

基于串联型线性稳压电源实现原理, 本设计开发了一种数字可调线性稳压电源, 线性稳压电源输出0~30V可调, 最大负载电流不小于2A, 可满足较多场合应用。

1 总体方案设计

数字可调线性稳压电源的总体设计方案如图1所示, 由初始基准电压产生电路、基准电压调整控制电路、功率放大线性稳压电路、辅助电源电路组成, 初始基准电压产生电路通过稳压管及运算放大器构成的电路产生稳定的初始基准电压, 基准电压调整控制电路通过单片机及数字电位器对初始基准电压进行调整, 从而改变稳压电源的输出电压, 功率放大线性稳压电路一方面采用运算放大器放大基准电压, 另一方面通过大功率管增加电源带负载能力, 辅助电源电路

由220V交流电通过交流降压、整流、滤波、稳压电路组成, 产生其他电路工作所需的辅助电源。

2 硬件电路设计

2.1 初始基准电压产生电路设计

初始基准电压产生电路如图2所示, D1采用OP15单运算放大器, 单电源供电, 稳压管采用1N4734。刚上电稳压管V3不能工作, D1输出电压Vrefout1开始增大, 当达到V3稳压值 V_z 时, 电路达到稳定, 这时R3两端的电压也为 V_z , 由于运算放大器特点, 流过D1的同相端引脚电流可忽略, 因此流过R2、R3的电流是一样的^[2], 电路中R2的阻值与R3的阻值相等, 则Vrefout1电压保持不变, 电路产生了稳定初始基准电压 $2V_z$ 。稳压管1N4734的稳压值为5.6V, 因此产生的基准电压近似11.2V。

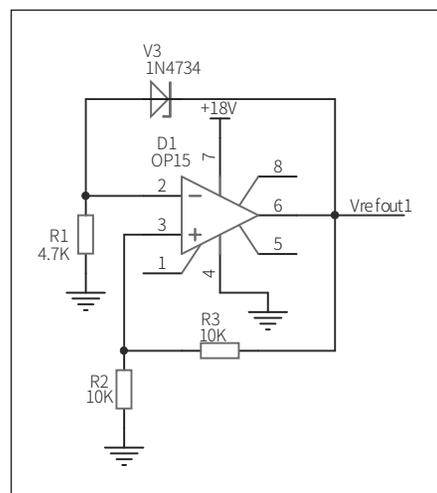


图2 初始基准电压产生电路图

2.2 基准电压调整控制电路设计

基准电压调整控制电路如图3所示, D2采用达拉斯公司的7位非易失数字电位器DS3501, 其阻值范围0~10kΩ, 电阻的变化

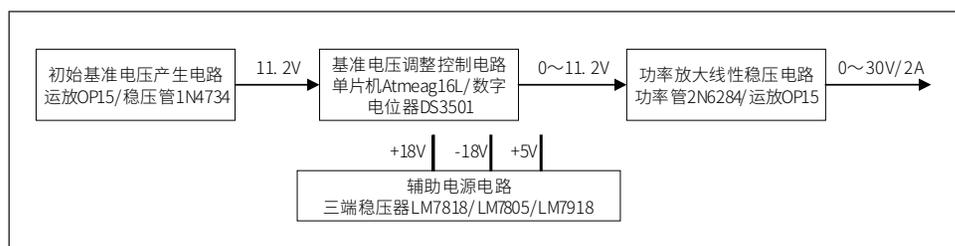


图1 总体设计方案

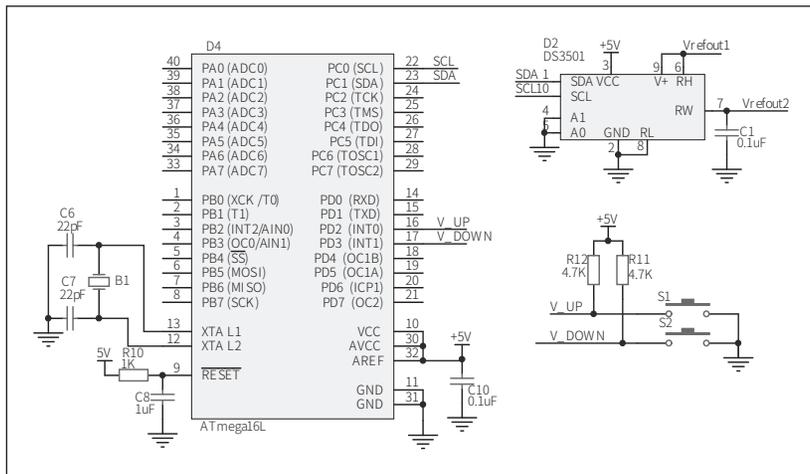


图3 基准电压调整控制电路图

率为 $\frac{1}{127}$ ，器件具有高达 15.5V 的输出电压。

D4 采用 ATMEL 公司 Atmeag16L 单片机，单片机通过 I²C 接口控制 D2 数字电位器阻值变化，稳压电源的实际基准电压 Vrefout2 的大小由数字电位器的分压比 $\frac{RW}{RH - RL}$ 控制，根据图 3 连接关系，RL=0Ω，RH=10kΩ，

$$V_{refout2} = \frac{RW}{RH - RL} \times V_{refout1} = 0.1RW \times 2V_z$$

改变 RW 即改变基准电压 Vrefout2，从而实现基准电压的调整。按键 S1，S2 通过程序控制数字电位器 RW 的阻值，每按一次 S1 按键，RW 增加 $\frac{1}{127} \times 10k\Omega$ ，每按一次 S2 按键，RW 减少

$\frac{1}{127} \times 10k\Omega$ ，S1、S2 按键最大次数 127，RW 最大为 10kΩ，通过按键调整可实现基准电压 Vrefout2 的调整，从而控制基准电压的变化，进而改变稳压电源的输出电压，电路中实现基准电压 0V~2V_z 的变化范围，Vrefout2 的最大值

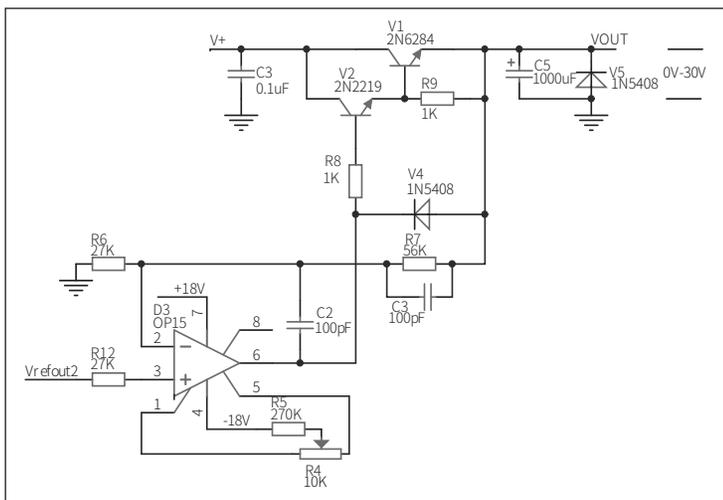


图4 功率放大线性稳压电路图

U_{2MAX} 是 $2V_z$ ，即 11.2V。

2.3 功率放大线性稳压电路设计

功率放大线性稳压电路如图 4 所示，线性稳压电路调整管 V1 采用 2N6284 大功率达林顿晶体管，其最高电压 100V、最大电流 20A、最大功率 160W，V1 的基极接一个电阻 R9，保证 V1 工作在放大状态，数字可调线性稳压电源的输出电压 VOUT 由 V1 的发射极引出，V2 增加电路的带负载能力及输出电压的稳定。

D3 采用 OP15 运算放大器，双电源供电，D3 工作在同相放大状态，其放大

倍数由 R6、R7 确定，实现基准电压的放大，在 D3 的引脚 1、引脚 5 之间连接一个电位器 R4，调整 R4 保证输出电压 VOUT 最低电压是 0V^[2]。输出电压

$$V_{OUT} = V_{refout2} \times \left(1 + \frac{R_7}{R_6} \right)$$

取 R7 阻值为 R6 的 2 倍，则输出电压 $V_{OUT} = 3 \times V_{refout2}$ ，输出电压的调整范围 $\Delta V_{OUT} = 3 \times (V_{refout2MAX} - V_{refout2MIN}) = 3 \times (2V_z - 0)$ ，取 $V_z = 5.6V$ ，稳压电源的输出电压调整范围 0~33.6V，实现稳定的 0~30V 线性稳压电源。

2.4 辅助电源电路设计

辅助电源电路如图 5 所示，主要组成包括电源变压器、整流电路、滤波电路以及稳压电路 4 个部分^[3]。T1 采用 220V/28V、功率不小于 120W 的带中心抽头变压器，便于电源电路中运算放大器工作所需的负电源，电路经过 T1 变压器降压、V6 桥式整流、C4 电容滤波、把交流 220V 转换为直流电压信号，根据经验公式桥式整流电容滤波输出电压

平均值近似为 1.2 倍变压器副绕组电压，可知 V+ 直流电压近似 33V，V- 直流电压近似 -33V。

V+ 直流电压通过三端稳压器 LM7818 产生稳定的 +18V 电源电压、V- 直流电压通过 LM7918 产生稳定的 -18V 电源电压供运算放大器工作，三端稳压器 LM7805 产生稳定 +5V 电压供单片机和数字电位器工作。

3 软件设计

数字可调线性直流稳压电源的软件流程图如图 6 所示，主程序首先进行初始化，包括 S1、S2 按键中断初始化、I²C 接口初始化等，主程序检测电压调整状态，若为增加输出电压状态，则读取

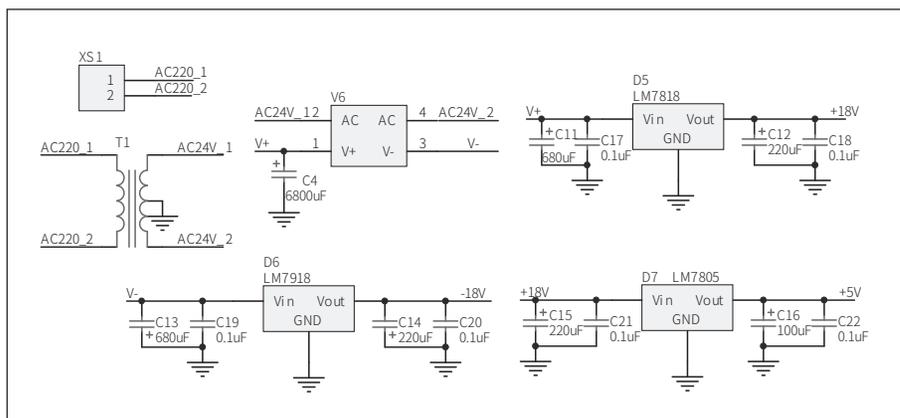


图5 辅助电源电路图

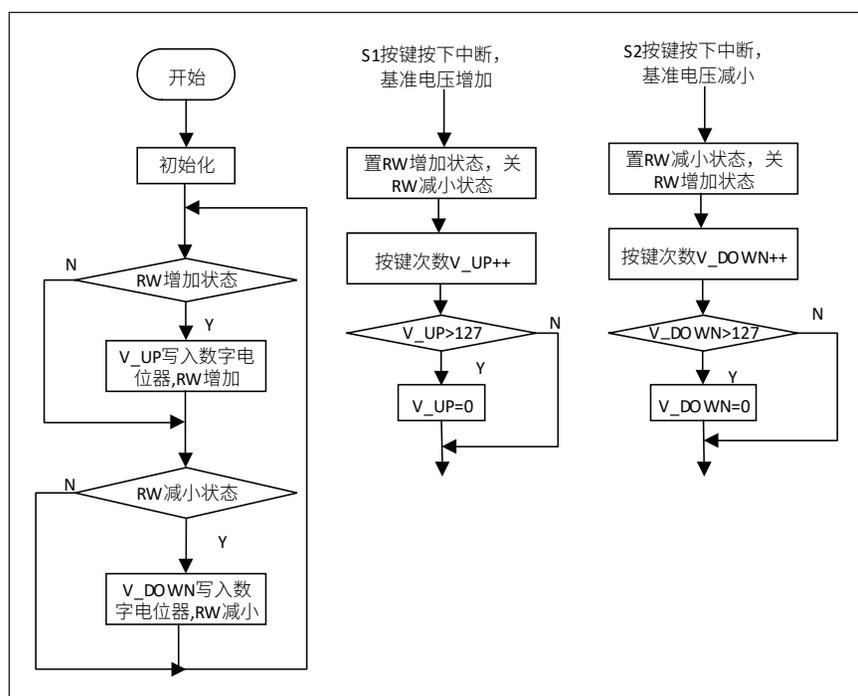


图6 软件流程图

增加按键 S1 的次数 V_UP ，写入数字电位器，使数字电位器 RW 的阻值增加 $\frac{V_UP}{127} \times 10k\Omega$ ，若为减小输出电压状态，则读取增加按键 S2 的次数 V_DOWN ，写入数字电位器，使数字电位器 RW 的阻值减小 $\frac{V_DOWN}{127} \times 10k\Omega$ ，两个按键采用中断检测，每按下 1 次，对按键次数进行累加，当

表1 测试结果数据

测试次数	空载电源输出 (V)	负载端电压 $V_{max}-V_{min}(V)$	负载电流 $I_{max}-I_{min}(A)$	负载电阻 $R_{max}-R_{min}(\Omega)$	负载调整率 (%)
1	5	5.0-4.9	2.44-1.0	5-2	2
2	10	9.9-9.8	2.43-0.99	10-4	2
3	15	14.9-14.7	2.10-0.99	15-7	2
4	20	19.7-19.5	2.13-0.98	20-9	2.5
5	25	24.8-24.3	2.11-0.99	25-11	2.8
6	30	29.7-29.1	2.08-0.99	30-14	3

按键次数大于 127，则清零。

4 测试结果

数字可调线性直流稳压电源电压调整功能测试，输出端接 30Ω 的负载，用万用表测量负载两端电压，每按下一次 S1 按键，输出电压增加近似 0.3V，测得输出电压范围 0V~30.3V 之间。每按下一次 S2 按键，减少近似 0.3V，实现了数字调整稳压电源稳定输出。

数字可调线性直流稳压电源性能测试，调整稳压电源的空载输出在 5V、10V、15V、25V、30V 情况下，依次连续改变负载电阻阻值，测量负载两端电压、电流的最大值和最小值，测试结果数据见表 1。

通过测试结果数据可知，数字可调线性直流稳压电源能够实现 0~30V 直流电压输出，最大负载电流不小于 2A，带负载能力强，负载调整率 $\leq 3\%$ ，可满足多场合应用。

5 结论

本文设计了一种新型数字可调线性稳压电源，采用单片机控制数字电位器调整基准电压，进而改变线性稳压电源输出，可实现 0~30V

电源电压调整范围，最大负载电流不小于 2A。

数字可调线性稳压电源精度高、范围宽、温度特性好、带负载能力强，后续可对电路进一步优化，如负载短路保护、负载过流检测、输出电压显示等。

参考文献

- * [1] 李清海, 田相鹏, 朱黎. 基于单片机的线性直流稳压电源的设计 [J]. 湖北民族大学学报 (自然科学版), 2020, 38(2): 226-230.
- * [2] 0-30 VDC Stabilized power supply with current control 0.002-3A. [OL]. <http://english.cxem.net/power/power1.php>. 2021(8).
- * [3] 孙晓丹, 代忠红, 宁平华. 小功率直流稳压电源设计 [J]. 通信电源技术, 2021, 38(4): 81-83.

单片机控制太阳能充电系统设计

王榆

(陕西机电职业技术学院, 陕西宝鸡, 721001)

基金项目: 陕西机电职业技术学院2022年度院内教育教学科研课题 (名称: 基于单片机的太阳能充电保护系统的设计, 编号: YJ202217)。

摘要: 能源是现在社会中人类生存和发展的必要条件, 随着社会的快速发展, 能源的结构也在不断变换。随着传统能源的日益消耗, 可再生资源的发展成为必然的发展趋势。目前, 采用太阳能这种新能源实现充电的研究有很多, 但是在实际过程中, 存在太阳能充电控制器对蓄电池的保护不够充分, 蓄电池的寿命缩短这种情况, 所以本系统通过一种低功耗, 高性能的单片机控制太阳能充电系统, 制作难度不大, 性能相对稳定等特点。本系统采用太阳能电池直流充电系统, 通过说明太阳能电池的输出特性和蓄电池充电特性, 从而进行系统充电。本系统的硬件部分由单片机控制电路, 太阳能电池充电电路, 电压采集模块以及液晶显示模块, 串口通信模块以及太阳能充电电池等组成。

关键词: 太阳能; 单片机; 控制显示模块

0 引言

随着地球上不可再生资源的减少, 近几年, 新能源成为一个非常热的关键词。如何使用新的可再生资源来代替煤炭、石油等资源是我们应该思考并解决的问题。太阳能作为一种绿色能源被提出, 很快成为人们可利用的能源, 因此对太阳能的研究有着非常重要的意义。太阳能与天气的变化息息相关, 光照强度具有不稳定性, 在本文设计过程中, 需要考虑此因素, 因此使用到蓄电池来存储太阳能所转换成的电能。太阳能电池板的工作原理是利用光伏效应将太阳能转化为电能。当太阳能照射到太阳能电池板上时, 太阳能电池板中的半导体材料会吸收光子, 产生电子和空穴, 从而产生电流。本系统采用太阳能电池直流充电系统, 通过说明太阳能电池的输出特性和蓄电池充电特性, 从而理解系统充电。在本系统的硬件设计过程中, 为了模拟光照强度所导致的温度的变化, 通过热敏电阻来采集温度, 从而控制蓄电池处理电压的变化, 从而可以解决过充过放现象以及出现不同浮充电压现象^[1]。在实现的过程中, 实现蓄电池充电的效率, 使得蓄电池不过充、过放, 保护蓄电池, 延长蓄电池使用寿命。

1 系统总体设计

考虑到成本低, 性能稳定等因素, 选用实验室现有的芯

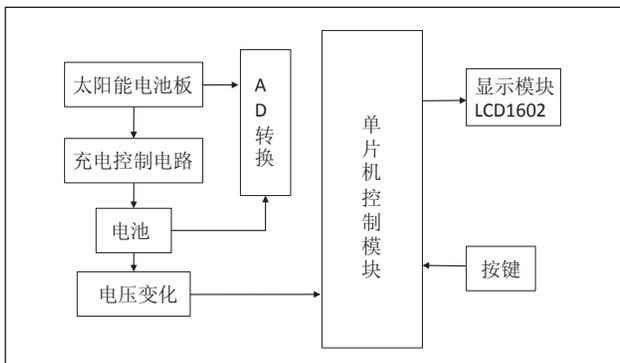


图1 系统结构框图

片STC89C52作为单片机控制电路, 本系统采用单片机作为主控电路, 太阳能电池充放电模块, 通过ADC0832电压检测模块以及LCD1602液晶显示模块以及太阳能充电电池等组成, 通过单片机控制采集电压电流信号, 获取对应的数据, 在整个系统, 确保对充放电有一定的控制, 对装置进行保护, 使得整个系统稳定且有效。系统结构框图如图1所示。

2 系统硬件电路设计

2.1 系统主控电路

通过对本系统功能以及性能的分析, 最终采用STC89C52单片机作为整个系统的核心, 用其控制整个充电系统, 其关键在于单片机在整个系统使用过程中具有控制简单、方便、快捷等优点, 可以充分发挥其资源丰富、有较为强大的控制功能及寻址操作功能、价格低廉等特点。STC89C52单片机具有功能强大的位操作指令, 对于本设计完全够用, 同时考虑到成本因素, 价格也非常低廉^[2]。

单片机最小系统包括复位电路、电源电路和时钟电路。其中复位电路是单片机系统中的重要保护电路, 它能够在单片机出现异常情况时将其强制复位, 以保证系统的稳定性和可靠性。它可以通过复位的方式, 让单片机回到初始的工作状态。本系统采用的是手动按键复位的方法, 通过接通上拉电阻的方式, 提高输出高电平的值, 完成复位作。电源电路是单片机系统的重要组成部分, 它能够为单片机提供稳定的电源供应, 以保证单片机正常工作。时钟电路其实就是振荡电路, 它能够产生稳定的振荡信号, 为单片机提供精确的时钟信号。

2.2 太阳能充电电路

太阳能电池板的工作原理是利用光伏效应将太阳能转化为电能。当太阳能照射到太阳能电池板上时, 太阳能电池板中的半导体材料会吸收光子, 产生电子和空穴, 从而产生电流。锂电池具有高能量密度、长寿命、低自放电率等优点,

是太阳能锂电池太阳能充电系统的理想储能设备。太阳能电池板将太阳能转化为电能，充电控制器对电能进行控制和管理，锂电池储存电能，负载则是使用电能的设备。

充电电路是太阳能充电系统的重要组成部分，它对电能进行控制和管理，主要功能是对太阳能电池板输出的电能进行调节和管理，保证锂电池的充电效率和安全性，还可以对锂电池进行保护，防止过充、过放和短路等情况的发生。太阳能充电系统是由太阳能电池板、充电控制器、电池和负载组成的。主要原理是太阳能充电板在阳光的照耀下产生电荷，用锂电池存储太阳能电池板的电荷，经过充电模块芯片给锂电池充电同时也可以通过模块上的usb接口用手机充电器快速充电。充电时，充电红色指示灯点亮，说明锂电池正在充电中，当充电模块上的指示灯变成蓝灯亮时，充电完成。本设计中的锂电池，容量是250mAh，如果需要长时间给外部供电，可以将电池容量换大点的锂电池。

2.3 太阳能过充电保护的设计

太阳能充电系统保护电路是保护太阳能手机充电器防止电池过充的一个保护装置，在设计中，通过电流和电压调制放大器对充电过程中的电流和电压进行控制。当锂电池电压达到饱和状态时，通过单片机控制继电器，断开充电回路，从而防止电池过充，继续充电。当单片机的输出为低电平时，三极管的继电器工作吸合，断开充电电路，继电器工作指示灯点亮。当单片机的输出为高电平时，三极管截止继电器停止工作，工作指示灯熄灭，充电系统恢复正常充电状态。

2.4 电压检测模块

电压检测模块可以从8个模拟输入通道选择一个通道进行采样，实现的过程中，需要一个参考电压来进行模拟信号到数字信号转换。通常情况下，可以通过模块上的引脚接入外部参考电压源，也可以使用模块内部的参考电压。ADC0832模块内部有一个采样保持电路，用于暂时存储输入信号，以保证其稳定性。当开始转换时，模块内部的时钟电路开始工作。时钟信号可以由外部提供，也可以使用模块内部的时钟电路。ADC0832模块根据时钟信号对输入信号进行采样，并将采样结果转换为数字信号。转换结果以并行的方式输出，可以通过数据总线连接到微控制器或其他数字设备。

锂电池电压采集A/D转换是单片机通过ADC0832模数转换芯片对锂电池输入的模块电池电压信号的采集测量，并将对应的数值存入相应的内存单元太阳能充电系统。利用ADC0832采集充电电压经过电阻分压单片机运算分析，然后在液晶上把充电电压值显示出来。

2.5 显示模块

考虑到成本因素以及设计功能原因，要求达到功耗小、体积小、成本低，显示信息多等要求，本系统的显示模块采用LCD1602显示器进行显示，LCD1602显示器能够清晰地液晶上显示字符和数字，和单片机系统的接口更加简单可靠，操作更加方便。相对而言，其功耗主要消耗在其内部的电极和驱动IC上，因而耗电量比其他显示器要少得多。

显示模块的实现方式主要是通过单片机采集太阳能充电电池的电压和充电时间，然后在LCD1602液晶屏上显示

对应的数据。

2.6 电源部分的设计

太阳能充电系统的电源部分主要采用USB线对电源进行供电，电源接口电路中包括电池接口、电源开关，电路中的LED是太阳能光伏充电系统的电源工作指示灯，防止电流过大击穿电源指示灯。经过实验验证，当系统工作时，单片机、传感器的工作电压稳定可以满足系统的要

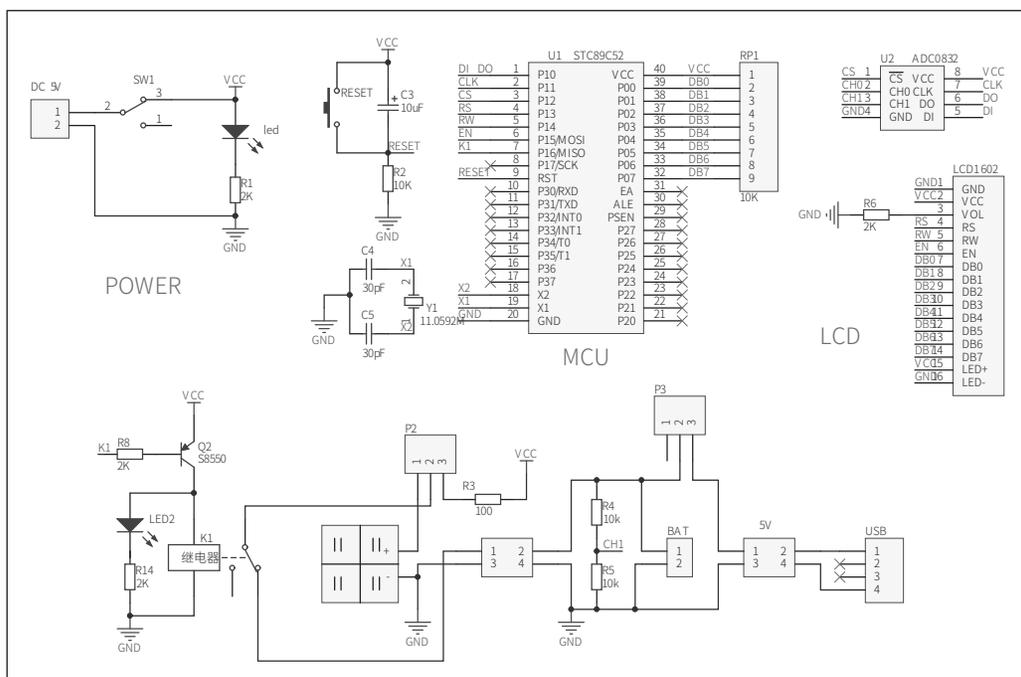


图2 系统原理图

求，而且电池更换方便。

2.7 系统原理图设计

太阳能充电系统的原理图设计主要采用模块化的设计思想，系统整体原理图如图 2 所示。

3 系统软件电路设计

本设计通过单片机采集太阳能充电电池的电压，充电时间，然后在 LCD1602 液晶屏上显示对应的数据。当太阳能充电打开电源开关时，STC89C52 单片机自动复位，该程序开始运行。首先程序对 STC89C52 单片机系统初始化，显示部分定时器初始化，从而出现开机状态，然后定时器初始化完成后进去工作状态，与此同时开启 ADC0832 模数转换器，通过模数转换器获取电池电压，将采集到的当前电压的数据值与启动电压数据值进行比较，如果当前电压大于启动电压，将采集的电压数据显示在液晶屏上，可以直观读取电压值；如果当前电压小于启动电压，需启动保护装置，定时器初始化后，重新获取当前电池电压，进行输出显示。主程序的具体工作流程图如图 3 所示。

4 系统的安装与调试

首先要按照各元件的检测方法对元器件进行检测，并检查与原理图是否一致，按原理图的要求放置各元件，在插装集成芯片时注意芯片的安装方向，确认无误后进行焊件，防止出现错误焊件后不便改正。焊接完成后，将编写好的程序烧写进单片机，首先观察显示模块程序，看电压显示是否正常。如果显示不正常，则检测 LCD1602 的各引脚的焊接情况，有没有存在虚焊，短焊，错焊的情况。待显示正常之后，再观察模数转换程序，看充电电压检测是否正常，待正常后进

行整机调试。系统实物图如图 4 所示。

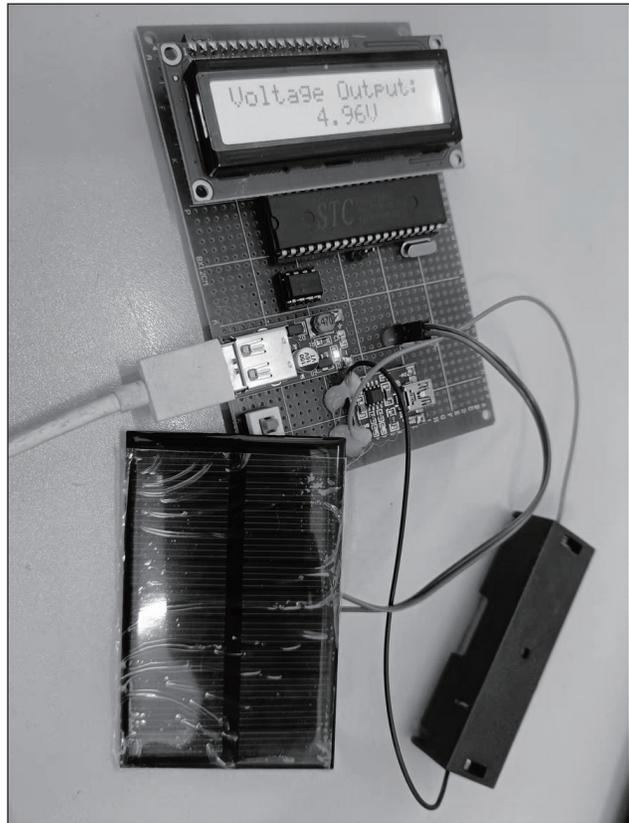


图 4 系统实物图

5 结论

太阳能充电系统主要以单片机为控制系统，通过太阳能充电板给电池充电，并通过 ADC0832 模数转换器采集充电电池的充电电压，并将其在 LCD1602 上显示出来。通过本设计的研究，学会了分析系统功能，元器件选择，软硬件设计，以及各种测试与调试方法，从而完成系统要求。

参考文献

- * [1] 李作文,于海月.单片机控制太阳能充电控制器[J].光电技术应用,2015,30(03).
- * [2] 周永强.太阳能蓄电池充放电控制器的设计[J].电子测试,2019(22).
- * [3] 戴寅松,徐长帅,马思宇.基于 STM32 的太阳能充电系统设计[J].信息技术与信息化,2019(02).
- * [4] 刘兴.太阳能充电站监测系统的研究与设计[D].西安理工大学,2019.
- * [5] 张昊,张婧婧.基于单片机的太阳能手机充电器的设计[J].电子制作.2021(23).
- * [6] 何磊杰,王海玲,杨佳,闻铭,马洁瑾.太阳能手机充电系统设计[J].现代制造技术与装备.2022,58(04).

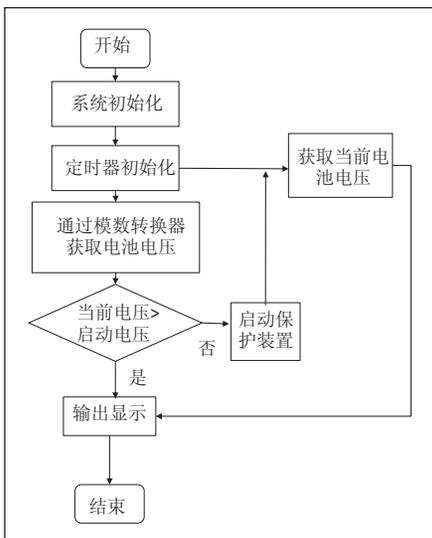


图 3 主程序流程图

基于高职实训教学的一种智能寻迹小车的设计

施少华

(天津工业职业学院, 天津, 300000)

摘要: 本设计从高职实训教学的角度出发, 设计一款适合教学使用的智能寻迹小车。该小车以STC89C51为主控制器, 使用红外传感器对路面检测, 采用PWM调速技术, 在电机驱动芯片驱动下小车实现自动寻迹, 本设计电路具有结构简单, 易实现等特点, 能够满足高职实训教学需求。

关键词: 实训教学; 智能寻迹; STC89C51

0 引言

人工智能是引领未来发展的战略性技术, 是未来国际竞争的焦点和经济发展的新引擎。随着人工智能技术的快速发展和国家政策的大力支持, 作为人工智能载体的智能机器人在当今社会变得越来越重要, 越来越多的领域和岗位都需要智能机器人参与。智能寻迹小车(简称AGV), 是一种移动的机器人, 它作为智能机器人中的一种, 目前被广泛应用于工业自动化和仓库物流等领域, 可以有效地提高物流运营效率和生产效率以及替代人工完成一些危险作业。随着研究的深入, 智能寻迹小车将会越来越普及, 应用场景将会更广泛。

智能寻迹小车的出现最初是为了代替人来做一些危险或者精度要求很高的事情。在1966年至1972年斯坦福研究院首次研制出了真正意义上的移动机器人 Shakey, 它是首台采用了人工智能学的移动机器人。但是由于当时的计算机各方面性能较差, 导致 Shakey 运行速度非常缓慢。之后有“斯坦福车”(Stanford Cart)、Cog 机器人、ASIMO 机器人等研究的出现, 为现在智能机器人奠定了基础。

本文从高职院校的电子信息技术专业的智能电子产品设计课程出发, 基于课程要求设计制作出一款简易的智能寻迹小车。首先小车的机械结构是基于普通三轮玩具车的, 车身前面配有一个万向轮, 控制小车后面左右轮子的方向, 整体就是小车的底盘外加左右轮子上安装的两电机和小车的三个轮子。然后设计出小车寻迹电路系统, 使小车能够平稳地跟踪预先绘制好的路面上的黑色轨迹。

1 小车寻迹的原理

寻迹小车通过安装在车头的四个红外传感器, 利用红外探测法检测路面, 从而实现在白色路面上沿着黑线走的功能。在小车行驶过程中, 传红外信号传感器不断地向路面发射红外光, 当发出的红外光遇到黑线时会被吸收, 这时红外接收器就接收不到红外光, 从而输出信号为 1, 此信号经过比较器变成 0, 也就是送给单片机的信号为低电平, 单片机运行相关程序, 输出信号控制电机驱动电路, 进而控制左右轮子上的电机, 使小车在黑色轨迹上运行。当传感器发出的红外光

没有检测到黑线时红外光会被反射, 这时红外光被红外接收器接收到, 从而输出信号为 0, 此信号经过比较器变成 1, 也就是送给单片机的信号为高电平, 此时小车正常运行。单片机通过接收到的高低电平来调整小车沿轨迹行走。

小车在沿轨迹运行时要不断调整车姿, 此过程是利用单片机的 PWM 控制口对电机进行转速的控制, 实现速度调整, 进而实现小车方向的控制。PWM 脉宽调制的过程中主要是控制单片机输出的高电平信号在一个周期中所占的比值, 所占比值越大电机转速就越高。通过调节这个比值, 实现电机的转动、减速、停止等状态, 在不断实验、调试的情况下, 保证小车准确平稳沿轨迹运行下去。

2 系统总体设计方案

STC89C51 单片机是一款国产芯片, 性价比高, 非常适合实训教学, 本设计主控制芯片采用 STC89C51。检测路面的传感器使用四个反射式红外光电传感器 ST168。小车左右轮子上的电机采用步进电机, 驱动电机的芯片采用 L298N, 一片 L298N 可以分别控制两个直流电机。如图 1 所示为系统的总体设计方案。

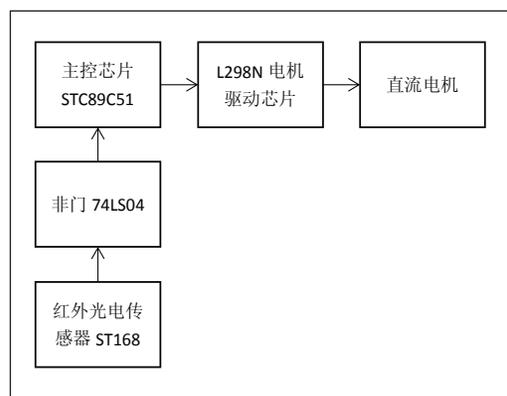


图 1 系统总体设计方案

3 系统硬件设计

3.1 单元电路设计

主控制器采用 STC89C51 芯片, 在此基础上构成单片机的最小系统, 包括时钟电路、电源电路和控制引脚 \overline{EA} 。

时钟电路采用内部时钟电路，由 XTAL1、XTAL2 两个引脚外接石英晶体和电容构成。 \overline{EA} 引脚接高电平，访问单片机内部程序存储器。单片机的电源部分需要 +5V 的直流电，本设计选择使用 9V 的蓄电池经三端稳压器 7805，再通过去耦电容与地相接，滤除电压中的纹波电压，输出平滑的直流 +5V 电压，供 STC89C51 单片机使用，这部分电路如图 2 所示。

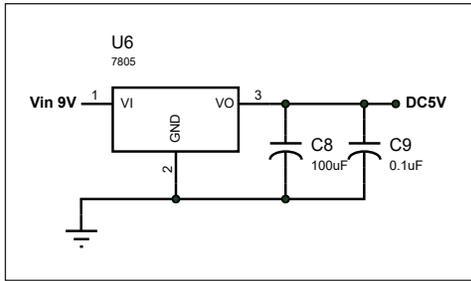


图 2 直流 5V 电压产生电路

■ 3.2 传感器检测电路的设计

3.2.1 ST168 介绍

传感器检测电路部分是为了完成路面的检测，使用四个反射式红外光电传感器 ST168，这四个传感器的接电源端共接在一起接到 +5V 的电源上，接地端共接在一起接地。

ST168 的发射二极管具有高发射率的特点，接收管非常灵敏，是非接触式检测。ST168 的发射管发出相同的光，但接收管接收的光强度不同，当这种发射光遇到黑色物体时，光被吸收，反射回来的光弱，接收管接收不到信号输出高电平，经比较器或非门处理变成低电平；当这种发射光遇到白色物体时，光被反射回去，接收管接收到光信号输出低电平，经比较器或非门处理变成高电平。由于 ST168 的检测距离比较短，安装时距离地面不能太高，否则接收管接收信号受影响，经多次实验比较，距离地面大约 10mm 检测效果最好。

3.2.2 传感器检测电路的设计

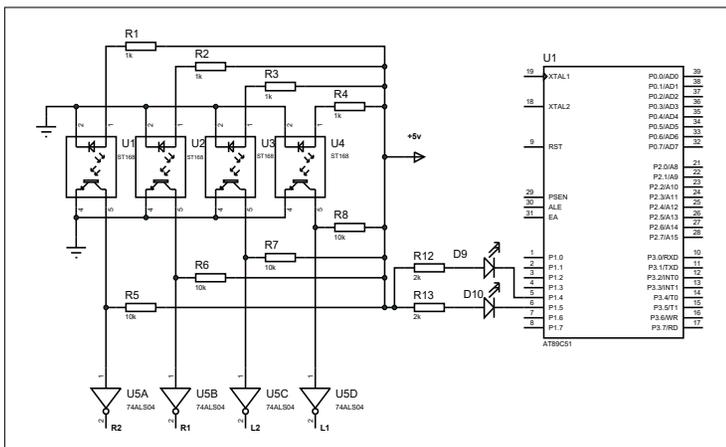


图 3 传感器检测电路

小车前面安装了四个光电对管传感器 ST168，在小车运行过程中传感器的发射管一直向外发射红外光，传感器的接收管一直在接收路面反射回来的光，从而起到对路面进行检测的作用。在传感器检测电路中，光电对管中的发射二极管和接收二极管都需要加限流电阻，如图 3 中的 R1 ~ R4 和 R5 ~ R8。四路传感器检测电路后面均接有非门 74LS04，首先非门 74LS04 能够起到滤波整形的作用，使最终输出一个标准的矩形波。其次可以使信号反相，当单片机收到低电平信号时，说明小车没在黑色轨迹上行驶，需要进行车姿的调整，当单片机接收到高电平信号时说明小车行驶在黑色轨迹上，此时不需要调整车姿。

■ 3.3 电机驱动电路的设计

3.3.1 电机驱动芯片 L298N 介绍

小车的运行靠电机带动，而在单片机控制系统中，电机需要在驱动系统驱动下工作。本设计中采用 QX-A51 直流电机，使用 L298N 芯片构成电机驱动电路。供电方式采用 +9V 蓄电池和逻辑 +5V 电压，其中 VDD 引脚接 +9V 电源给电机供电，VCC 引脚接 +5V 电源给芯片供电。

驱动电路使用 H 型全桥式电路，方便实现直流电机的四象限运行，也就是电机正转、正转制动、反转、反转制动。如图 4 所示。在

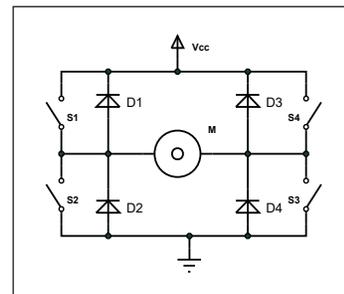


图 4 电机 H 型桥式驱动电路

小车运行的整个过程中电机在四个象限之间切换，当 S1、S2 闭合且 S3、S4 断开时电机正转；当 S1、S2 断开且 S3、S4 闭合时电机反转。在两种状态相互切换过程中由于开关断开和闭合需要时间，就会使上下桥臂直通短路，比如在上桥臂关断的过程中，下桥臂导通了。这里我们通过软件实现延时方式来解决此问题。

3.3.2 电机驱动电路设计

电机驱动电路主要是完成单片机对电机的控制，使电机能够带动轮子转起来。这部分功能需要借助于电机驱动模块，因为电机转动需要很大的电流和功率，单片机输出的电流和功率小，无法直接驱动电机转动，这种情况需要加电机驱动电路。本设计选用 ST 公司生产的 L298N 芯片，单片机先输出信号控制 L298N，通过 L298N 来驱动小车的左右轮子上的电机，让小车运行起来。如图 5 所示为寻迹小车的电机驱动电路。

电机作为感性负载，在通断电源的瞬间，会

基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统设计

李勇

(江苏省宿迁市泗阳医院, 江苏宿迁, 223700)

摘要: 针对智能医疗设备控制系统存在的控制准确率低的问题, 本文设计了一种新的基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统。首先, 设计嵌入式单片机的医疗设备控制系统整体架构, 依据系统整体架构设计了控制系统硬件结构; 其次, 根据硬件结构, 设计了单片机电路、蓝牙模块电路、供电模块电路、键盘模块电路。完整硬件设计后, 引入PID控制; 最后, 在软件中设计设备信息采集模块和设备控制模块, 通过模糊控制优化PID控制, 完成系统软件设计。实验结果显示, 该控制系统应用到医疗设备后, 其控制准确率达到了99.8%, 具备了一定的有效性, 实现了医疗设备控制。

关键词: 嵌入式单片机; 智能蓝牙; 医疗设备; 控制系统; PID控制; 模糊控制

0 引言

医疗设备是医疗的需求组成, 如果医疗设备的自动化程度低、智能化程度不理想, 则医疗设备的控制效果不佳。现阶段的医疗设备已经具备一定程度的智能化和自动化, 但部分设备控制效果不佳, 不能很好地满足医疗需要。

针对上述问题, 相关学者进行深入研究, 如张禹^[1]引入深度学习算法, 基于SSH开源框架搭建医疗设备质量控制信息化系统, 实现医疗设备控制。但该方法的控制准确率较低。赵东亮^[2]等人研究了医疗用熏蒸床集中控制系统, 该系统采用作为整个系统的控制核心, 并且通过PID算法结合PWM技术实现控制。但该方法的控制准确率低。徐旭^[3]等人采用基于SSM框架的互联网+多元监管相结合的方式, 构建了医疗设备质量控制管理服务云平台, 该平台具备一定的医疗设备控制效果, 但由于研究范围较广, 导致医疗设备质量控制效果不佳。

基于单片机功能强等特点, 设计一种基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统, 以期通过嵌入式单片机完善智能蓝牙医疗设备控制系统, 提高系统的性能。

1 嵌入式单片机的医疗设备控制系统设计

1.1 嵌入式单片机的医疗设备控制系统整体架构

智能蓝牙医疗设备控制系统是实现工作人员与智能蓝牙医疗设备交互的基础^[4]。控制系统具有双向功能, 不仅可以控制各种智能蓝牙医疗设备, 还能监测设备状态。考虑基于嵌入式架构系统比较符合较复杂的应用的设计要求, 嵌入式系统结构简单, 功耗低, 易扩展, 稳定性高的特点, 设计基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统, 控制系统整体架构如图1所示。

根据图1可知, 控制系统主要包含设备终端、主控制器、

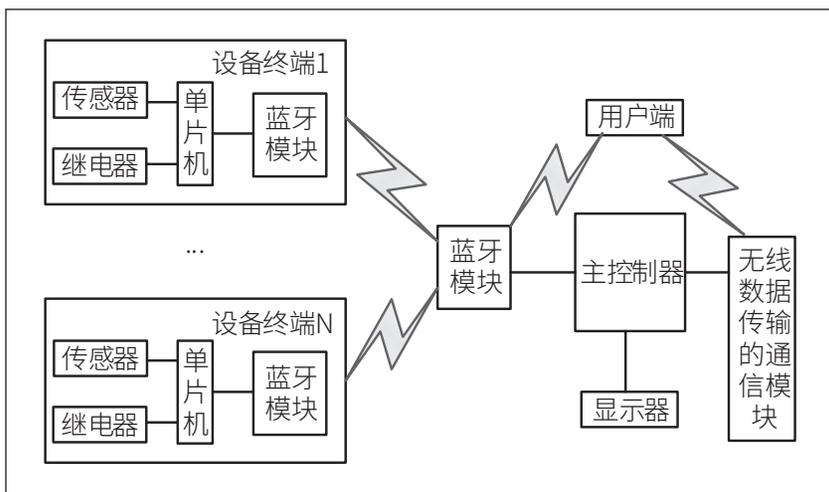


图1 嵌入式单片机的医疗设备控制系统整体架构

用户端和无线数据传输的通信模块。其中主控制器是智能蓝牙医疗设备控制系统的核心。具体设计如下所示:

设备终端: 设备终端是由单片机、传感器、继电器、能源供应模块和蓝牙模块等组成。主要负责家居环境和设备的信息采集、处理和发送和控制命令的接收、处理和执行。

主控制器: 主要由嵌入式单片机加上外围电路组成, 构成智能蓝牙医疗设备控制系统的核心部分, 是外网与内网连接的枢纽节点, 同时也是智能蓝牙医疗设备控制系统网络的入口节点。主控制器能够通过蓝牙网络与智能蓝牙医疗设备控制系统内部网络进行数据传送, 也能够通过网络向用户端传送用户的需求信息。同时主控制器配备的触摸显示器, 通过显示器显示设备状态。

用户端: 用户端主要是方便用户远距离监控医疗设备状态的手持设备, 功能与主控制器的触摸屏上功能类似。用户端是采用设计智能蓝牙医疗设备控制系统图形界面软件, 通过与控制器交互, 用户可以方便地监控医疗设备状态。

无线数据传输的通信模块: 每个配备蓝牙模块的设备终端均可看作是一个蓝牙节点, 由蓝牙节点构成了整个智能蓝牙医疗设备控制系统网络。主控制器将控制信息经过处理后转发给无线控制系统网络中相应的节点, 实现对医院内的医

联网技术^[5]的蓝牙模块，蓝牙模块的电路设计如图5所示。

由图5可知，该蓝牙模块提供有34个引脚，其中1-10引脚为串口数据输入/输出，PCM数据输入/输出。11引脚提供复位功能，12-13引脚，21-22引脚为电源供应输入引脚，15-20引脚提供USB数据输入/输出、SPI数据输入/输出功能，23-34引脚为可编程输入输出接口。该蓝牙模块提供了多种数据模式，本系统中单片机S3C2440A与蓝牙模块采用UART串口相连。3.3V引脚接电源，GND引脚全部接地，PIO(3)依次对应开关、低电平和低电平。

1.2.4 控制系统硬件供电模块电路设计

由于基于嵌入式单片机的控制系统功耗不大，因此该供电模块电路^[6]中选取78L05型三端稳压器。供电电路如下。

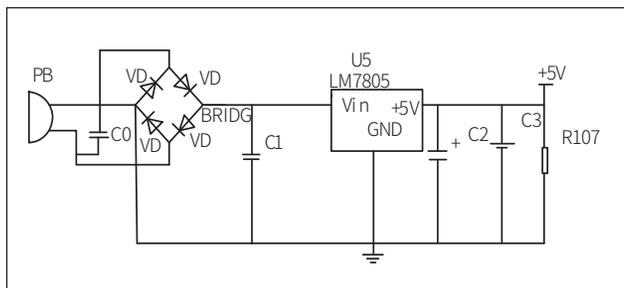


图6 蓝牙模块电路

通过上述电路实现基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统的嵌入式单片机供电，为其提供电压。

1.2.5 控制系统硬件键盘模块电路设计

为了在智能蓝牙医疗设备控制系统中实现用户输入功能，设计键盘模块。通过键盘模块，用户可以使用物理按键来与设备进行交互和操作。键盘模块电路如图7所示。

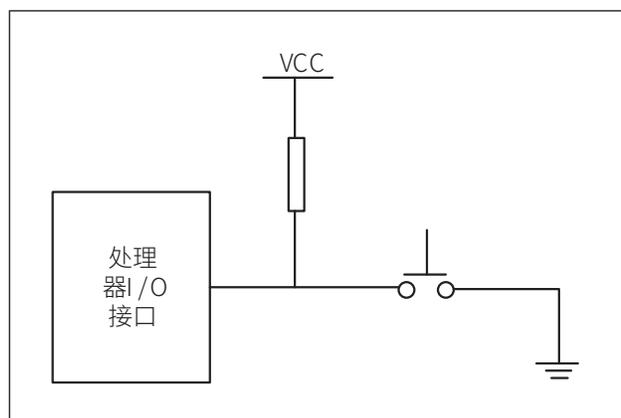


图7 键盘模块电路

上述设计的电路，通过键盘模块，用户可以直接通过按键来输入指令、选择菜单、调整参数等，提供一种直观、便捷的操作方式。允许多达4×4键矩阵的任意组合按键，使得用户可以进行更复杂的输入操作，满足在不同场景下的需求，并且支持自动重复输入。实现与控制系统的集成，方便

对按键事件进行处理和响应。

1.3 医疗设备控制系统软件设计

本文设计的嵌入式单片机智能蓝牙医疗设备控制系统的软件部分，主要包括设备信息采集模块和设备控制模块。

将系统各个功能和协议拆分为独立的模块，每个模块负责实现一个特定的功能或协议，模块化设计使得系统更具组合性和可复用性，在进行模块调整及程序修改时，可以只关注单个模块的需求进行调整与改进，不会对整个系统产生较大的影响。

首先需要对单片机进行初始化设置，包括配置I/O口、时钟初始化、中断配置等。通过适当的设置，确保系统正常工作，并为其他模块提供正确的环境。然后通过数据模块，依据传感器收集数据并进行处理。使用蓝牙协议栈来实现与蓝牙设备之间的通信，并将采集到的数据传输嵌入式单片机中。最后通过设备控制模块，采用模糊控制优化PID控制，实现控制输出。

1.3.1 设备信息采集模块

智能蓝牙医疗设备信息采集模块主要通过传感器来实现对设备的信息采集。根据具体的医疗设备需求，选择适合的传感器进行信息采集，并将选择的传感器与嵌入式单片机进行连接，连接后通过校准再开始采集数据。

通过单片机的I/O口读取传感器产生的模拟信号或数字信号。但是由于采集到的数字信号包含一定的干扰信号，因此需要通过均值滤波处理，去除或减弱不需要的频率成分，计算公式如下：

$$\bar{z}(n) = \frac{z(n-1) + z(n) + z(n+1)}{3} \quad \text{式(1)}$$

式中： $\bar{z}(n)$ 表示已处理的标准数据； n 表示初始数据。

采集到的信息可以存储在内部存储器中，通过蓝牙将数据传输到单片机中，等待对应的操作控制。

1.3.2 设备控制模块

设备控制模块以PID控制为基础，但是考虑到PID控制存在的局限性，采用模糊控制优化PID控制，从而提高智能蓝牙医疗设备控制系统的控制准确性。

PID控制构成的控制偏差，公式为：

$$e(t) = x(t) - y(t) \quad \text{式(2)}$$

式中， $x(t)$ 表示PID控制输入； $y(t)$ 表示PID控制输出。根据控制偏差，得到PID控制规律，公式为：

$$a(t) = \alpha(e(t) + \frac{\int_0^t e(t)dt + T_I \frac{de(t)}{dt}}{T_0}) \quad \text{式(3)}$$

式中， α 为比例系数； T_0 为积分时间常数； T_I 为微分

时间常数。

将公式(3)改成传递函数的形式,便于后续计算,公式为:

$$b(t) = \alpha(1 + \frac{1}{T_0 c(t)} + T_1 c(t)) \quad \text{式(4)}$$

在完成PID控制设计后,引入模糊控制,通过模糊控制优化PID控制,首先,确定模糊控制目标,即使误差趋近0,公式为:

$$e(t) = x(t) - y(t) \rightarrow 0 \quad \text{式(5)}$$

通过模糊目标的隶属度修正智能蓝牙医疗设备控制系统的控制,隶属度公式为:

$$f(t) = \exp(-\beta e^2(t)) \quad \text{式(6)}$$

$$\beta > 0$$

式中, β 表示隶属度系数。

根据模糊目标的隶属度获取智能蓝牙医疗设备控制系统的控制输出,公式为:

$$Y(t) = b(t) + f(t)e(t) \quad \text{式(7)}$$

至此通过控制系统软件和硬件的结合,完成基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统设计。

2 实验分析

2.1 实验准备

为了验证基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统的控制效果,以控制准确率为性能评估指标,该指标值越大,则说明控制系统的控制越准确,最大值为100%。实验过程中以某医院的智能蓝牙医疗设备为研究对象,将本文设计的系统应用到该设备,以假人作为医疗对象,通过本文设计的控制系统控制医疗设备对假人模拟治疗。为了保障实验的可靠性,避免偶然性,实验共计进行200次测试,统计200次测试的实验结果,并且与文献系统进行对比,对比系统为文献[1]系统和文献[2]系统。

2.2 结果分析

控制准确率评估指标的数据为多次实验的平均值,比如50次实验后,统计这50次实验获取的控制准确率的均值,对不分析不同系统的控制准确率就是分析该均值。因此,在完成上述准备后,开始实验分析,评估指标数据结果如表1所示。

根据表1数据可知,本文系统在200次实验后,控制准确率达到99.9%,而此时的文献[1]系统和文献[2]系统的控制准确率仅为97.4%和98.2%,虽然文献系统的控

表1 控制准确率

实验次数/次	控制准确率/%		
	本文系统	文献[1]系统	文献[2]系统
50	99.9	97.2	98.2
100	99.8	97.5	98.5
150	99.9	97.5	98.3
200	99.9	97.4	98.2

制准确率较高,但是与本文系统相比,本文系统的控制准确率比文献系统高1.7%以上,并且本文控制系统的控制准确率整体高于文献系统的控制准确率,说明该系统具备更好的控制效果。

3 结论

因部分医疗设备存在控制效果不佳的问题,提出了基于嵌入式单片机的智能蓝牙医疗设备控制系统设计。该控制系统通过在控制系统中嵌入单片机的形式,提高控制效果,本文设计了新的单片机电路和蓝牙电路,通过模糊控制优化了控制算法,实现智能蓝牙医疗设备有效控制。为了分析本文系统的性能,采用对比分析实验,该系统的控制准确率达到99.9%,比文献系统准确率高1.7%以上,验证了本文设计系统具备更好的控制效果。为了进一步提高医疗设备控制效果,在后续研究中,将针对控制系统的响应时间进行深入分析,并且采用简化的形式,降低该控制系统的响应时间,优化智能蓝牙医疗设备控制系统的控制性能。

参考文献

- * [1] 张禹. 基于深度学习的医疗设备质量控制信息化系统研究[J]. 现代科学仪器, 2021, 38(6): 25-29.
- * [2] 赵东亮, 郭艳幸, 冯坤, 等. 熏蒸床集中控制系统设计[J]. 中国医疗设备, 2021, 36(2): 30-33.
- * [3] 徐旭, 李明明, 夏辉, 等. 基于SSM框架的互联网+多元监管下构建医疗设备质量控制管理服务平台研究[J]. 中国医学装备, 2021, 18(12): 106-110.
- * [4] 孙华悦, 向宪听, 颜廷义, 等. 基于智能纤维和纺织品的可穿戴生物传感器[J]. 化学进展, 2022, 34(12): 2604-2618.
- * [5] 白文华, 王成, 张乐. 物联网技术在可移动医疗设备管理中的探索及应用[J]. 中国医院管理, 2023, 43(2): 72-74.
- * [6] 严浩, 路鹤晴, 苏琦. 医疗设备配套用UPS电源的风险控制[J]. 中国医疗器械杂志, 2021, 45(4): 459-462.

基于 STM32 的智能一体化智慧农业大棚设计与实现

郑铨桦¹, 曾鹏宇², 陈浩¹

(1. 沈阳航空航天大学 自动化学院, 辽宁沈阳, 110036;

2. 沈阳航空航天大学 应用技术学院, 辽宁沈阳, 110036)

摘要: 当前农业生产领域技术仍面临许多短板, 过去的粗放型经营方式抑制了农业技术的广泛应用。以智慧农业大棚建设为例, 就国内范围而言仍处在摸索期。本文提出了一套基于单片机的智慧农业大棚的制作方案, 该大棚可以对所种植的农作物设置适宜的湿度, 通过液晶屏幕进行显示, 并具有冷凝集水、远程操控和语音提醒等功能, 同时客户通过操控APP, 可以随时随地了解大棚周围环境情况以及土壤内部各项指标参数。

关键词: 农业生产; 智慧农业大棚; 冷凝集水; 语音提醒

0 引言

农业农村部颁布的《国家农业农村信息化创新培训基地认证方法(修订版)》, 明确提出支持、指导现代信息技术在农业与农村生产、营销、管理和公共服务等各环节各方面的运用与创新。随着农业发展政策的不断推进和农村技术的持续发展, 以智能大棚工程为契机, 将持续提高中国农村生产方式的机械化、智能化程度, 也就必然能不断解放乡村的生产动力, 让更多农户致富起来, 使乡村粮食生产安全更加稳定。

智慧农业大棚物种管收整个过程的少人化和无人化管理, 不但可以节省大量劳动力生产成本, 而且还可以吸纳更多年轻的科技人员参与农业生产, 培养新型农户。另一方面, 通过利用智慧农业生产管理系统为农产品管护过程提供大数据信息, 还可以指导调整农作物生长发育的环境, 使之更好地适应作物生长发育需求。而与此同时, 管理整个过程的工业规模化又可以达到提升产出、作业效能, 提高增收减损的综合效益^[1]。

1 系统总体方案设计

智慧农业大棚是一种基于单片机 STM32F103C8T6 控制的自动集水浇水控制系统, 实现大棚自动集水并浇水的功能。本设计分别由四个部分组成, 分别是采集部分、控制部分、集水部分和浇灌部分。采集部分主要实现对大棚内的环境温湿度、光照强度、烟雾浓度、土壤温湿度等进行采集, 并将采集到的数值传输到 OLED 液晶屏幕与 APP 中; 控制部分主要是对大棚内的农作物所需要的土壤湿度进行设定, 并且根据采集部分所采集到的湿度进行差值判断, 控制集水部分和浇灌部分为花盆内的盆栽进行集水和浇水。集水部分是由半导体制冷的空气集水装置组成。浇灌部分主要由电磁继电器、水泵组成, 水泵与集水部分的集水器和农作物所在土壤相连接, 控制部分发送浇灌指令, 继电器形成通路完成对农作物的浇灌, 土壤湿度达到设定的土壤湿度超出 5% 时停止浇灌。大棚实物图如图 1 所示。

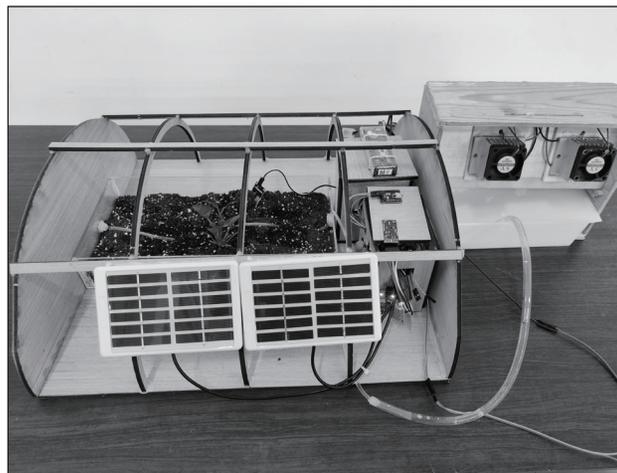


图 1 智慧农业大棚实物图

智慧农业大棚是利用现代技术和信息化手段对农业生产环境进行监控和管理的一种农业生产方式。它的应用主要包括以下几个方面: 自动化控制, 水肥一体化管理, 数据分析与决策支持, 节能减排, 远程监控与管理^[2]。

综上所述, 智慧农业大棚的应用可以提高农业生产效率、减少资源浪费, 同时为农民提供科学决策支持, 推动农业可持续发展。系统运用人工智能、自动化等新型信息技术, 利用智能手机或电子展示屏幕, 即时收集大棚内环境资料,

表 1 智慧农业大棚系统主要功能

序号	功能模块	组成描述	功能描述
1	农业大棚	骨架和覆膜组成	为农作物提供一个可控、适宜的生长环境
2	信息数据显示屏	两块 OLED 液晶显示屏组成	展示农业大棚内环境数据和现场场景, 是展示智慧农业的一个窗口
3	传感器	数据采集传感器: 温湿度传感器、光照传感器、二氧化碳浓度传感器、土壤湿度传感器等	采集大棚内环境信息, 监测农作物生长最优环境变化; 用于安防管理、植物生长状况观察监测
4	大棚设备控制器	各种硬件控制设备: 半导体集水装置、水泵、通风装置等	根据农作物需求情况, 启动农业设备, 对农作物生长环境进行优化, 实现农作物生长过程精确控制
5	系统软件	APP	实现远程控制、远程数据、数据分析及汇总

并通过农作物生产模型分析系统等智能远程、半自动控制的装置操作,确定区域大棚内最有利于农作物生长发育的环境,从而实现生产网络化、智能大棚控制,以实现农作物高产、优良、健康、环境、安全可靠的生产。

2 系统硬件设计

智慧农业大棚监测系统整体设计框图如图 2 所示。整个体系主要由内部主控板、外部感应器、室外监控装置、手机 APP 等几部分所构成。STM32 主控板采集空气温湿度、CO₂、烟雾浓度、土壤温湿度等传感器数据,处理后通过 HC-05 蓝牙模块上传至用户智能手机。如果智能系统监测到异常情况,则 STM32 智能单片机系统控制相关灌溉、光照、通风设备动作。

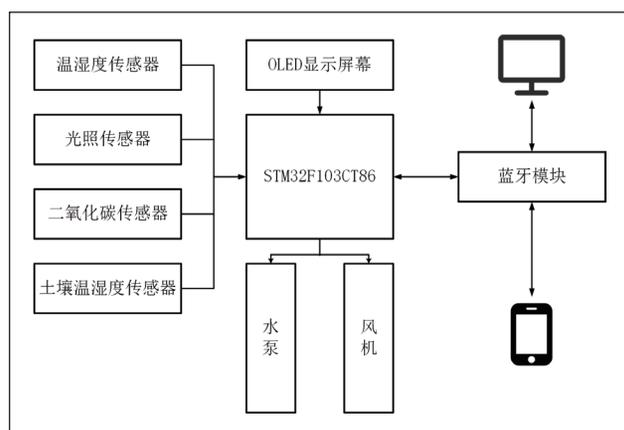


图 2 设计电路原理框图

(1) 电源模块

电源模块为整个系统提供电能,决定着智慧农业大棚正常工作时间的长短,其性能的好坏直接影响到智慧农业大棚的应用以及推广。本设计采用 Li-Po 电池与 12V 太阳能电池板组合使用的方法,通过 LM7805 转换器,经过 DC/DC 转换电路,转换为 5V 电源。白天两者共同工作为装置供电的同时太阳能电池板为 Li-Po 电池充电,保证其夜间续航。

(2) 土壤湿度检测模块

土壤湿度传感器两个金属插片探针插在土壤里,土壤湿

度传感器等同于可变电阻 R 和电容 C1 的组合,AO 口可以收集电压值,当土壤中水分减少时,湿度值会降低,两金属插片探针之间的电阻值接近于无穷大,只有微弱电流通过;土壤中水分增多时,土壤湿度值升高,两金属插片探针之间电阻值减少至几百欧姆,同理,AO 电压随之发生变化。

(3) DHT11 温湿度传感器

DHT11 数字温湿度传感器是一款带有已校正数字信息输出的温湿度复合传感器,内部由一个八位单片机控制一个电阻型感湿器件和一个 NTC 测温元件。其温度测量范围为 0°C~50°C,误差在 $\pm 2^\circ\text{C}$;湿度的测量范围为 20%~90%RH,误差在 $\pm 5\%\text{RH}$ 。

(4) 半导体制冷集水装置

半导体制冷技术是利用半导体材料组成的 PN 结,在半导体的两端接入直流电,在热电偶的接头处就会产生温差并且会形成热量的转移^[3]。冷端的电流的流动方向 N 到 P;热端,电流的流动方向是 P 到 N。固液气三态实行相互转换关系如图 4 所示。

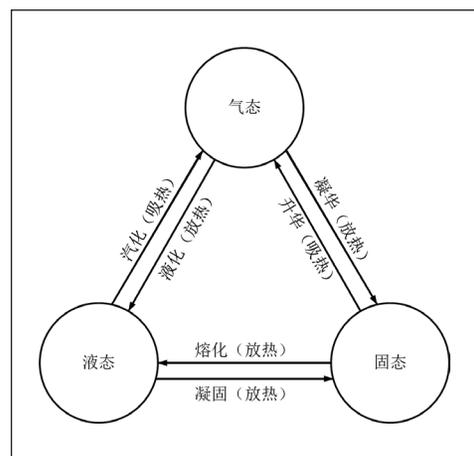


图 4 固液气三态转化图

(5) 光照强度检测模块

光照强度检测模块采用 BH1750 模块,BH1750 的内部由运算放大器、ADC 采集、光敏二极管等组成。PD 二极管利用光生伏特效应将光信号转化成电信号,经运算放大电路放大后,再由 ADC 采集电压。光照强度越强,电压越大,

于是通过检测电压的大小就能判断光照的强弱。

(6) 蜂鸣器模块

当装置启动后为了防止水分过于吸收,因此本系统在失控保护装置中加入了

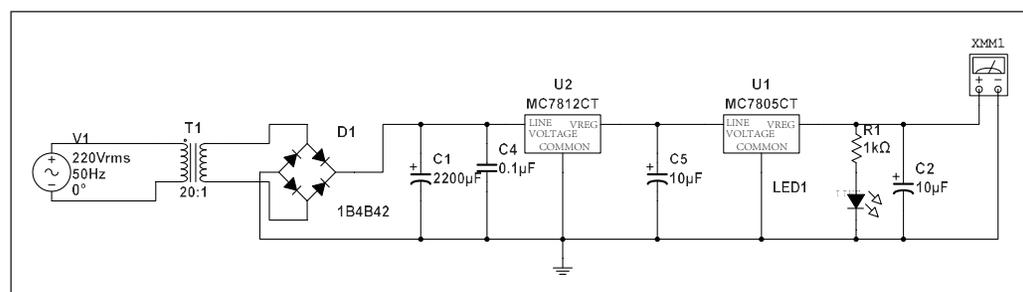


图 3 LM7805 电路工作原理

蜂鸣器模块，以提醒业主。同时当光照长时间过强时，也通过蜂鸣器报警，过强的光照会烧伤植物，导致叶片变褐并枯死。也会影响植物的光合作用效率，导致光合产物减少，从而影响植物的生长和发育。

(7) 直流 DC 水泵模块

装置供电后，直流 DC 水泵的叶轮在水泵体内部高速旋转，甩出的冷凝水在泵体内的扩散室内流速减慢，冷凝水被甩出后，在叶轮中心部分会形成真空低压区，集水槽中的冷凝水将在外部大气压差的影响下，经吸入管流向恒压水泵内。随着被甩出冷凝水的增多，水压就会慢慢上升，最后全部由水泵的出水口排出。

(8) HC-05 蓝牙模块

HC-05 蓝牙模块是一种串口通信模块，它可以将串口数据转换成蓝牙信号，实现蓝牙通信。HC-05 蓝牙模块通过串口与 MCU 或其他设备进行通信，可以使用 UART、USB 等接口进行通信。

3 系统软件设计

用户通过 Android 手机控制智能空气取水花盆，通过 APP 可以打开或关闭装置、给智能花盆设置湿度阈值、接收大棚中土壤湿度的数据并进行可视化展示等^[4]。

3.1 智慧农业大棚程序流程

在程序设计过程中，需要充分考虑系统的可靠性、安全性和易用性，确保程序能够准确、高效地获取数据、控制设备，并提供良好的用户体验。同时，也要注意与硬件设备的接口兼容性及其稳定性，以保证整个智慧农业大棚系统的正常运行。

3.2 智慧农业大棚 APP 架构

使用 HC-05 蓝牙模块，它可以将串口数据转换成

蓝牙信号，实现蓝牙通信。由手机蓝牙接收信息并在 APP 上显示^[5]。

4 结束语

智慧农业大棚可以让用户在手机上更直接的查看大棚内的状态，真正实现足不出户就能够控制大棚，达到智能化，大大减少资金的耗费，大大提高农田和农村资金的使用率^[6]。随着我国人工智能和智慧农业的充分发展，智慧农业大棚管理系统具有更高的推广应用价值，可综合推动我国农业高质量、可持续化发展。其实物图如图 7 所示，为验证其可行性、有效性和实用性，对用户进行了测试。

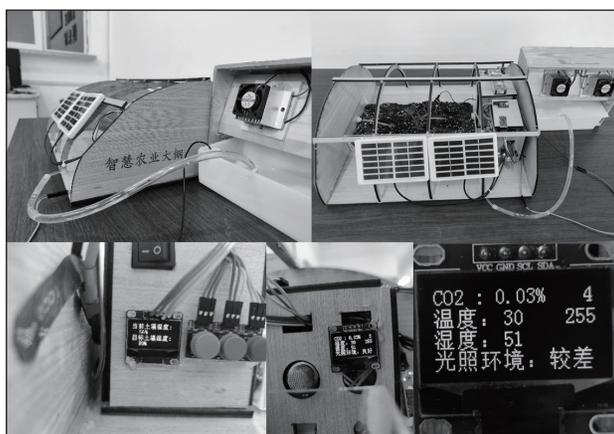


图 7 智能空气取水花盆实物图及测试结果

测试结果表明：智慧大棚系统能够准确地对花盆内土壤湿度进行检测，可以实现湿度、光照强度特征信息异常，同时用户通过 APP 能够及时了解花盆的数据信息。经过试验检验，智慧大棚数值检测准确，符合规定，具有广泛的应用前景。

参考文献

- * [1] 刘诗涵, 胡立夫, 邢德志. 基于 RFID 和蓝牙技术的用药提醒手环设计 [J]. 自动化技术与应用, 2019,38(04):165-168.
- * [2] 车轶涵, 胡立夫, 王首起等. 基于 STM32 的夜间心率呼吸监测床垫设计 [J]. 中国科技信息, 2021(05):63-64.
- * [3] 赵华夏, 李登常, 王月等. 基于套筒外壁沟槽改善回填料式搅拌摩擦点焊过程材料流动行为的研究 [J]. 热加工工艺, 2021,50(15):127-130.
- * [4] 李开旭. 基于阿里云的智慧温室大棚系统设计 [J]. 物联网技术, 2023,13(06):131-132+137.
- * [5] 郭颖. 基于 STM32F103 的智慧大棚无线温度传感器节点设计 [J]. 物联网技术, 2023,13(02):30-32.
- * [6] 杨一凡. 智慧农业大棚监控系统的设计与实现研究 [J]. 南方农机, 2023,54(02):171-173.

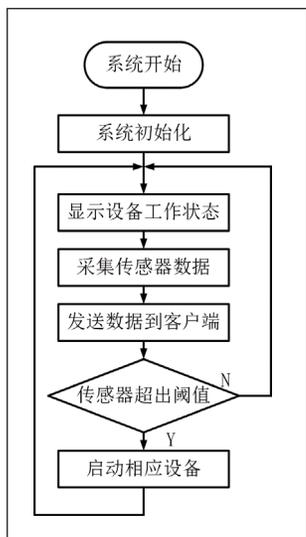


图 5 程序流程图

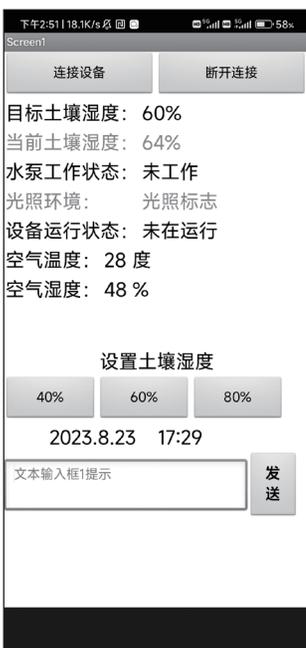


图 6 手机 APP 开发界面

基于多模感知的智能手机壳研究

马稼鸿¹, 余宇曦¹, 余锦明¹, 张焕杰¹, 郑誉煌²

(1. 广东第二师范学院 物理与信息工程学院, 广东广州, 510303;

2. 广东第二师范学院 教务处, 广东广州, 510303)

基金项目: 省级大学生创新训练项目“基于多模感知的智能手机壳研究” (项目编号: S202314278027)。

摘要: 设计了一个基于Arduino Mega 2560单片机可穿戴智能手机壳设备, 使用黑白电子墨水屏可视化设备的数据, 使用DHT11温度湿度传感器实时测量室内的温度和湿度, MLX90614体温传感器和PULSESENSOR心率传感器为用户提供健康监测, 本设备拥有SU-03T语音模块, 用户不仅可以语音启用不同的模块, 还可以播放MP3。

关键词: 可穿戴; 手机壳; 单片机

手机壳正在逐步成为附属手机上的独立智能设备, 而且发展趋势日益明显。有数据显示, 智能手机用户中, 近八成用户使用手机壳。而目前国内手机外壳市场科技含量普遍低下。手机外壳仅仅只能保护手机, 手机壳的功能少之又少, 国内手机外壳市场无法生产出既能保护手机又有实用性的手机外壳。本文设计了智能手机壳突破手机外壳只能保护手机的局限性, 根据大量的测试认为可以推广到市面上使用。

本文设计的智能手机壳具有以下特点: 一是以ArduinoMega2560 单片机为基础。可以实现多种功能的集成和控制; 二是使用黑白电子墨水屏, 可以显示设备的数据和信息, 节省电量, 提高可视性; 三是使用多种传感器, 可以监测室内的温度、湿度, 和用户的心率等健康指标; 四是使用语音模块, 可以实现语音操控和 MP3 播放, 增加互动性和娱乐性。本文设计的这款智能手机壳, 既有保护手机的功能。还可以为用户提供便捷、实用、智能的服务, 是一种创新型的产品。

1 方案的总体设计

本设计是一款基于 Arduino 进行嵌入式开发, 集成了多种功能模块, 可以实现温湿度检测、心率测量、体温测量、语音控制等功能的智能手机壳, 同时与云端和微信小程序相连, 方便用户查看数据和切换界面。本设计的主要特点如下:

本设计把 ARDUINO Mega 2560 单片机、ESP01s WiFi 模块、e-Paper 电子墨水屏模块、SU-03T 语音模块组合在一块独立设计的 PCB 面板上, 形成了手机外壳的内部电路系统。基于 ATmega2560 微控制器的 ArduinoMega2560 微处理器是一个开源的电子平台, 它拥有 54 个数字输入输出通道 (15 个可以用作 PWM 输出)、16 个模拟输入通道, 以及 4 个 UART 串行通信端口。此平台采用 16MHz 晶振, 并支持通过 USB 连接进行通信。ESP01s WiFi 模块是一款基于 ESP8266 芯片的低功耗无线网络模块, 可以实现与云端和微信小程序的数据传输。e-Paper 电子墨水屏模块是一

款 3.7 英寸的黑白显示屏, 有低功耗、长寿命、无蓝光等特点, 可以有效保护用户视力。SU-03T 语音模块是一款语音识别的模块, 具有自学习功能, 可以训练模块识别方言, 适合不同场景的使用。

本设计在墨水屏上设计了四个界面展示不同的功能: 标签界面、温湿度界面、心率界面和体温界面。标签界面反馈当前环境的情况, 本设计给温湿度设定了阈值, 如果温度或湿度超出了预设的范围, 那么使用者可以从标签界面直观地感受到环境变化。温湿度界面展示当前手机外壳所处环境的温湿度数据, 通过 DHT11 传感器, 实时监测温度和湿度, 并在墨水屏上呈现数据。心率界面展示当前使用者的心率数据, 采用 PULSESENSOR 心率传感器只需将手腕放在传感器上几秒钟就能测得心率, 与此同时数据会发送到墨水屏进行显示。体温界面展示当前使用者的体温数据, 采用了 MLX90614 测温传感器, 非接触式的 MLX90614 测温模块能够非常迅速测量使用者的体温, 并将数据发送到墨水屏上显示。

本设计可以通过语音或者软件切换墨水屏界面选择启用不同的功能, 轻松实现人机交互。用户可以利用语音发布指令, 从而实现界面的转换, 比如说“你好小明, 我要测体温!”就能跳转到心率界面。使用者亦可通过微信小程序控制界面切换, 同时可以观察历史数据和实时数据。本设计还具备通过云端平台进行数据管理和分析的能力, 多为用户提供服务, 多提意见。

总体而言, 本设计是一款集成了多种功能模块的智能手机壳, 既能提高用户对自身健康状况的关注和管理, 又能提供良好的视觉效果和人机交互体验。

2 硬件设计

2.1 硬件系统框图

Mega2560 是一款采用 AVR 架构的 32 位微控制器, 拥有强大的处理能力和丰富的外设资源, 支持串口、I²C、

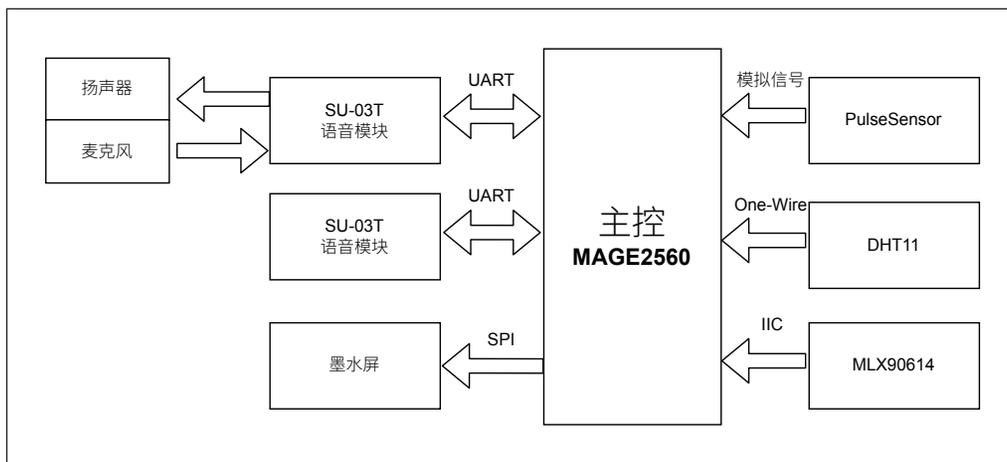


图1 硬件系统框图

SPI等多种通信接口，同时具有丰富的GPIO和定时器资源，可以方便地连接各种外设。本设计选用Mega2560作为主控芯片，系统框图如图1所示，其中SU-03T模块的作用是通过串口与主控芯片通讯实现语音识别和播报功能，PulseSensor心率传感器将采集到的模拟信号通过GPIO传输给主控芯片，DHT11温湿度传感器通过One-Wire协议将温湿度信息传递给主控芯片，MLX90614通过I²C通讯协议将红外温度信息传递给主控芯片；主控芯片通过SPI控制墨水屏显示相应的信息，通过串口控制ESP-01联网模块，将数据实时同步到云端。

■ 2.2 PulseSensor

PulseSensor采用光电反射技术制成，用于捕捉心率波形数据以及进行心率变异性（HRV）分析。其运作方式是通过LED灯发出红外光照射皮肤，光敏电阻接收反射回来的光信号，通过监测光信号强度的变化来评估血液流动情况，从而获取心率和脉搏波形数据。它能够被佩戴在手指、耳垂等部位，并将采集的模拟信号通过导线传输至支持模拟信号采集的单片机，将其转化为数字信号。通过单片机内的算法处理，便能获得心率数值。本设计采用MEGA2560自带的10位ADC对模拟信号进行处理。

■ 2.3 DHT11 温湿度传感器

DHT11数字温湿度传感器使用数字化模块采集技术，内部整合了校准的温湿度传感器，确保其长期稳定性和可靠性优越表现。该传感器由电阻式湿度感测元件和温度测量单元构成，与高性能的8位单片机进行连接。该产品具有高质量、反应快、抗干扰能力强、性价比高等优势。每一个DHT11传感器都经过了在高精度的温度和湿度校准环境中完成校准。这些校准系数以程序的方式存储在OTP内存中，并在内部处理信号时被调用后可以进行使用。通过One-Wire协议将温湿度信息传递给主控芯片。

■ 2.4 ESP-01 联网模块

ESP-01模块是ESP8266系列无线模块，是一款经济高效的WiFiSOC模块，支持标准的IEEE802.11b/g/n协议，内置完整的TCP/IP协议栈。使用这些模块，用户可以将网络功能集成到现有设备中，也可以创

建一个独立的网络控制器。基于本模块开发云端和微信小程序。ESP8266支持软件接入点模式、客户端模式和软件接入点加客户端共存模式。通过利用ESP8266的功能，可以灵活地构建各种网络布局和拓扑结构。

■ 2.5 MLX90614 测温模块

MLX90614传感器运用了MLX90302信号处理芯片，该芯片整合了多项关键元件，包括稳压电路、低噪声放大器、DSP单元和控制电路等，这些部件的协同作用形成了MLX81101红外热电堆传感器的核心部分。其运行原理如下：热电偶感测，即传感器内部的热电偶会感应到来自人体皮肤的红外辐射。与一般的MLX90614相似，这些热电偶会产生微小的电压差，即热电势，用于测量皮肤表面温度。用户通过I²C总线对内部存储单元进行访问，即可获取所测体温数值。

■ 2.6 语音识别、播报模块

SU-03T是由“机芯智能”推出的一款成本低、功耗低、体积小的离线语音识别模组。它搭载32位RISC架构内核，允许自定义命令词和回复语。在本系统中，主要用于实现语音识别和播报功能，通过串口通信与单片机连接。主控芯片通过串口可以接收SU-03T识别到的语音信息，并且可以控制SU-03T播放不同的语音。这样的设计使得本系统具有以下优点：

(1) 离线语音识别，运行不依赖于互联网连接，从而保障了系统的稳定性和数据安全性。

(2) 用户可以根据个人需要自定义语音识别和播报的内容，这一特性使本设计更具灵活性和适应性。

(3) 串口通信方式简单易用，方便与单片机进行数据交互。

(4) 在费用方面具有经济性，能耗方面表现出低耗特点，同时体积也相对较小，适合于各种场合和应用。

SU-03T是一款具有创新意义和市场潜力的离线语音识

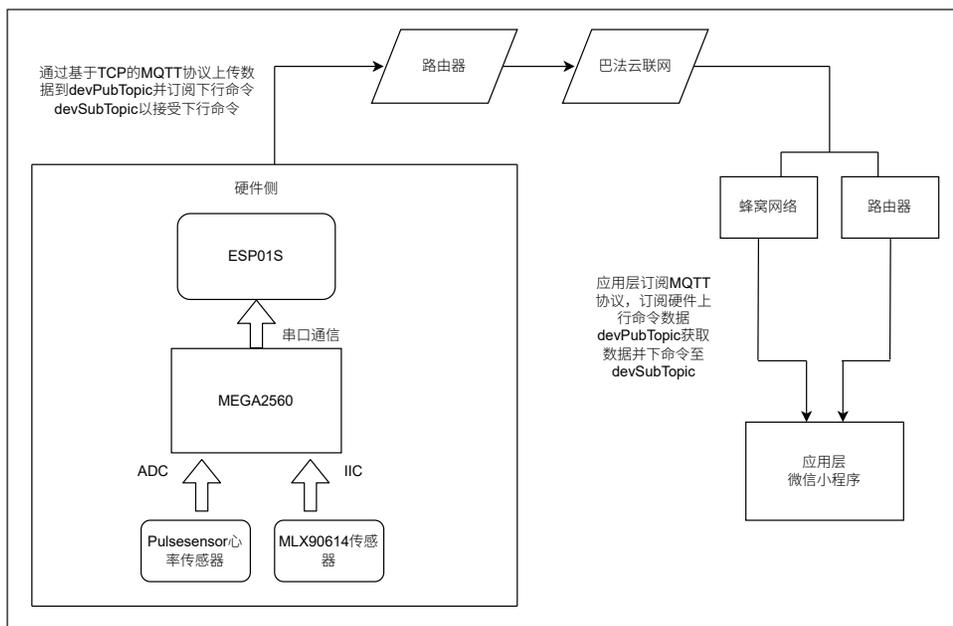


图4 网络通信流程图

但是它其实是一个单总线的结构，它类似于 I²C 是因为 data 数据引脚接到了电源引脚而通过一个上拉电阻来实现的。因此，在编写 DHT11 温湿度传感器的代码时，首先要读取单总线上的一个字节来进行判断是高电平还是低电平，再进行检测，一个高低电平结束之后，就可以检测出此时室内的温度和湿度了，然后再进行数据的收集采样，最后再接收一下校验码，就完成了温湿度的采集。

■ 3.3 PULSESENSOR 心率传感器子程序的设计

运用单片机内置的定时器 1 进行时间控制，进行一次计数的时间为 5ms，同时使用外部中断程序进行心率测量。首先初始化使能按键，防止抖动 300 ms。其次判断手指是否放在传感器上，若放在其上，检测到有心率，当 PA0 端口检测到有上升沿时，进入中断程序。单片机通过计算高电平的持续时间，测出心跳一次所需要的时间，连续测 4 次心跳一次的时间，将所测四次时间值进行取平均，可得到心跳一次时间的准确值。将一分钟转化为 60000 ms，用 60000 ms 除以心跳一次的时间 t，计算出一分钟的心率值。最终，在电子墨水屏上展示心率数值。当 PA0 端口检测到下降沿时，跳出中断服务程序继续进行主程序的检测。

■ 3.4 MXL90614 红外温度传感器子程序的设计

本设计使用了 MXL90614 的 SMBus 输出模式，SMBus 即系统管理总线，类似于 I²C 通信协议。首要步骤涉及对 MXL90614 进行初始设置与配置，之后通过 SMBus 协议输入各个操作码，即可获取传感器数据。为了增强数据有效性，本设计采用了均值平滑的策略，每次读取十个数据，并输出平均值，以此减少误差的干扰。

■ 3.5 SU-03T 语言指令读取子程序的设计

本设计的主控芯片通过三根数据线与 SU-03T 语音模块进行连接，SU-03T 通过一个数据线产生外部中断信号，另外两根数据线和主控芯片进行并口通讯。当用户发出语音指令，语音芯片会触发中断请求，主控芯片会在中断处理程序内读取两根数据线的状态，并根据读取到的数据改变显示的页面。

■ 3.6 数据上传程序设计

主控芯片每 5 秒通过串口 jiang1 数据发送到 ESP01S，ESP01S 在接收数据后，会借助 MQTT 协议将数据传送至云端服务器。微信小程序通过订阅相关主题即可获得相应数据，流程图如图 4 所示。

4 实验效果

手机开启热点后，系统上电，进入主界面，主界面显示环境温湿度，说出一级语音指令“你好小明”、二级语音指令“我想测体温”来进行体温的测量，将手靠近测温模块，体温数值发生变化，待稳定下来后，数值接近 36.5 度，说出二级语音指令“返回主界面”来进行界面的切换，返回主界面后，说出一级语音指令“你好小明”二级语音指令“我想测心律”来进行心律的测量，将手置于心律传感器上，观察心律数值，数值在 55BPM 和 130BPM 之间来回波动，同



图5 测试图



图6 测试图

(下转第 78 页)

基于 PFMEA 的集成电路芯片银导电胶粘接工艺可靠性研究

程晓冉, 丁鸷敏, 吴照玺, 孟猛

(中国空间技术研究院 宇航物资保障事业部, 北京, 100094)

摘要: 微电子封装中, 芯片银导电胶粘接工艺的质量会直接影响集成电路的可靠性。针对银导电胶粘接工艺的可靠性问题, 本文提出了一种基于 PFMEA 的芯片粘接工艺风险识别方法, 通过开展潜在失效模式分析, 找到了芯片粘接工艺中的高风险环节, 并制定了相应控制方法, 有效提升了芯片粘接工艺质量, 为微电子封装工艺开展 PFMEA 分析提供参考依据。

关键词: 集成电路; 银导电胶粘接; PFMEA; 可靠性

0 引言

芯片贴装技术是集成电路封装中一个重要的工艺环节, 其质量直接影响整个器件制造的成品率和器件性能^[1]。银导电胶粘接工艺因其环境友好性和温和的工艺条件被广泛应用, 然而工艺中的疏漏或薄弱环节可能会影响下道工序或造成器件不合格, 甚至整个批次器件无法使用。为了提升芯片银导电胶粘接工艺的可靠性, 需要系统研究工艺过程中的质量问题。

过程潜在失效模式及后果分析 (Process Failure Mode and Effects Analysis, PFMEA) 作为一种国际上通用的预防质量缺陷分析方法, 在航空航天^[2,3]、电力电子^[4]和汽车制造业^[5]等都有广泛的应用。微电子封装领域中, 施文婧等对 SMT 回流焊过程进行了 PFMEA 研究, 提出了质量改善方法^[6]。奚慧等通过对通孔插装元器件生产装配的焊接过程进行 PFMEA 分析, 为工艺改进提供了依据^[7]。代晓丽等研究了连接器焊接中 PFMEA 方法的应用, 有效降低了工艺中的风险^[8], 可见较多的研究主要集中于元器件贴装的 PFMEA 应用上。而对芯片粘接的可靠性研究大多是针对某类器件或材料进行研究^[9,10], 鲜有文献对集成电路芯片粘接工艺质量提升开展系统性方法分析。由于工艺原理、特点及缺陷对集成电路造成的影响不同, 已有的 PFMEA 分析研究提出的严重度、频度、探测度量化评估指标无法直接作用于芯片粘接工艺。

因此, 本文基于 PFMEA 技术研究集成电路芯片银导电胶粘接工艺的可靠性问题, 建立适用于芯片粘接的评估指标, 开展系统性粘片工艺潜在失效模式分析, 从而提升芯片粘接工艺的可靠性。

1 PFMEA 方法流程及评估指标

1.1 芯片粘接工艺 PFMEA 方法

过程 FMEA 作为 FMEA 的分支, 主要应用于产品的制造阶段。本研究基于 PFMEA 技术, 研究制定了芯片银导电

胶粘接工艺的 PFMEA 分析流程。

(1) 结构和功能分析: 针对芯片粘接工艺, 拆解工艺中的各个工序, 梳理工序功能及工序间的关联, 旨在后续寻找各个可能的失效模式奠定基础。

(2) 潜在失效模式识别: 收集以往出现的由芯片粘接工艺引起的各个失效问题, 并假设所有可能与银导电胶的失效模式。

(3) 失效原因及机理分析: 失效原因主要从人、机、料、法、环方面进行分析, 通过深入剖析失效机理, 找到工艺导致集成电路失效问题的核心。

(4) 风险评估: 主要从失效模式对集成电路的严重度, 发生的频度和探测度进行分析与评估, 识别出工艺中的薄弱环节。

(5) 对芯片粘接工艺中的薄弱环节进行控制及改进, 并将研究与经验等文件化。

1.2 评估指标

针对芯片银导电胶粘接工艺原理和集成电路整体封装过程, 本研究量化设计了严重度、频度和探测度的评定描述和分数。

严重度评分 (S) 主要从失效模式一旦发生对下道封装工序或工艺的影响, 对器件本身的损坏以及造成的经济损失来考虑, 具体如表 1 所示。

表1 PFMEA严重度评分标准

严重度评分	等级	危害的严重程度
1-2	非常轻度的	对封装后续工序以及集成电路功能没有可察觉到的影响或没有影响。
3-4	轻度的	对后续工艺及集成电路功能影响较小, 生产线不需要停工, 通过筛选可以进行剔除。
5-6	中等的	引起集成电路的电参数超差, 或造成中等程度的经济损失, 或生产线需要停工进行修正。
7-8	严重的	引起集成电路部分功能失效, 或造成较大的经济损失, 或为用户使用时带来很大困难。
9-10	灾难的	引起集成电路功能失效或造成重大经济损失, 或导致用户任务失败。

频度评分 (O) 按照集成电路从工艺完成到试验、使用过程中, 某一失效模式发生的概率作为划分依据, 如表 2

所示。

表2 PFMEA频度评分标准

频度评分	故障模式发生的可能性	故障模式发生概率 P_m 参考范围
1-2	极低或从未发生	$P_m \leq 10^{-6}$
3-4	较低	$1 \times 10^{-6} < P_m \leq 1 \times 10^{-4}$
5-6	中等	$1 \times 10^{-4} < P_m \leq 1 \times 10^{-2}$
7-8	高	$1 \times 10^{-2} < P_m \leq 1 \times 10^{-1}$
9-10	非常高	$P_m > 10^{-1}$

探测度评分(D)主要评价设备检测失效模式的有效性。如果可以检测,则分数低,如果需要通过间接手段或过程审核手段来确认,而无法直接检测分数就高。探测度的评分准则见表3所示。

表3 PFMEA探测度评分标准

探测度评分	等级	检测方法成熟度及检测能力
1-2	非常高	检测方法通过实践证明总是可以探测到失效模式或失效起因。
3-4	高	经过实践证明为有效可靠的检测系统,以设备为基础的自动化检测方法,有较大机会可以检测到失效模式和差异产品。
5-6	中等	测试或检验方法经过实践证明为有效或可靠,可检测失效模式的人工检验方法或者一些基础的检验设备。
7-8	低	测试或检验方法尚未经过实践证明为有效或可靠,可检测失效模式的人工检验方法或者一些基础的检验设备。
9-10	非常低	测试或检验方法不可能检测到失效模式或尚未建立或尚未有已知的测试或检验方法,无法检测到失效模式。

2 芯片银导电胶粘接 PFMEA 分析

2.1 结构功能分析

根据芯片粘接工艺原理,对芯片银导电胶粘接工艺进行工序分解,如图1所示。

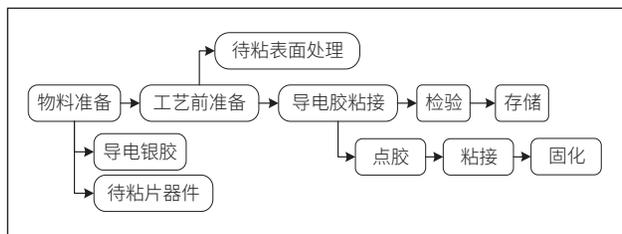


图1 银导电胶粘接工序分解示意图

2.2 潜在失效模式分析

(1) 早期失效,主要包括芯片虚粘或者从贴片区域或腔体内脱落,以及芯片本身受损,导致集成电路失去功能。芯片虚粘脱落形貌如图2所示。

粘接界面的状态、贴片过程中的工艺参数和导电胶用量是导致芯片粘接不良脱落的主要原因。芯片贴装表面的污染物及氧化层,会导致粘接料无法良好润湿基体,可能导致芯片粘接强度变差。粘接胶层厚度较小,粘接料不足,可能导

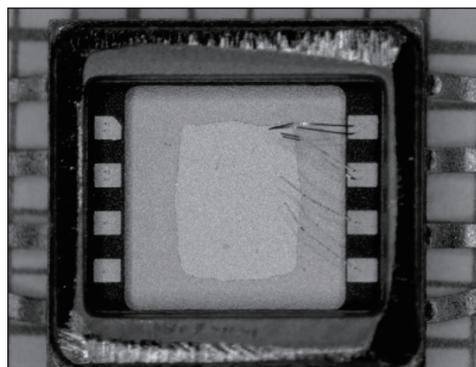


图2 芯片虚粘脱落形貌

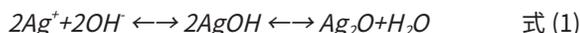
致芯片粘接质量差甚至脱落。而粘接压力过大则可能导致芯片易破裂损伤。

(2) 银迁移失效,经常发生于电场作用下的潮湿环境中,导电胶中银颗粒会遵循银迁移机理进行迁移,使银的枝晶从阴极向阳极生长,进而造成集成电路短路失效,如图3所示。



图3 银迁移形貌

在电场作用下的潮湿环境中,因水分子渗入产品表面电解形成 H^+ 与 OH^- ,并在阳极和阴极产生化学反应。在阳极, Ag 在电场及 OH^- 的作用下,离解产生 Ag^+ ,并与 OH^- 形成 $AgOH$; $AgOH$ 中的 $Ag-O-H$ 化学键弱,易分解为 Ag_2O 和 H_2O 。反应示意图如图4(a)所示。反应式为:



生成的 Ag_2O 不稳定,在高温条件下又转变为金属银。在阴极, H^+ 接收电子形成 H_2 ;阳极形成的 Ag^+ 在电场作用下直接从电解液中迁移至阴极,接收电子并完成电沉积,转化为 Ag ,反应示意图如图4(b)所示。反应式为:



银迁移过程中,阴极反应和阳极反应均存在,因此可以观察到两种类型的产物,即在阳极区形成的 Ag_2O 和 Ag 的胶体沉积物和阴极区形成的 Ag 的枝晶,最终导致无电连接的两导体间形成电通路。

(3) 电性能异常。芯片贴装中,欧姆接触不良会使器

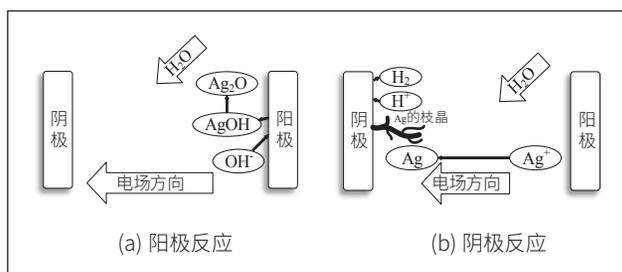


图4 银迁移反应

件热阻加大，散热不均，影响电流在器件中的分布，破坏器件的热稳定性，使器件电性能下降，严重时可能导致器件功能异常。银导电胶粘接中，粘接胶层厚度越大，芯片温度越高，散热效果越差，可能导致器件电性能异常。此外，较大面积的粘接空洞也可能导致该类失效问题发生，如图5所示。

(4) 多余物导电失效。芯片贴装过程中产生可动导电多余物，或者粘接料与芯片有源区接触，造成器件短路失效。芯片与管壳间距较小，与外键合区距离近，粘接用料量控制不当、粘接压力过大会导致银导电胶堆积至芯片表面与有源区接触或者堆积至管壳外键合区，造成器件短路，如图6所示。粘片后清洗工艺不当，可能导致粘接料脱落，产生的可动导电多余物，可能导致芯片有源区搭接，存在器件短路失效的风险。

表4 银导电胶芯片粘接工艺PFMEA表

工序	工艺参数	失效模式	失效后果及影响	失效原因及机理	检测方法	S	O	D	RPN
待粘表面处理	表面洁净度	电性能异常	电性能下降，甚至功能异常。	污染物影响胶黏剂对被黏物表面的浸润，形成粘接空洞。	外壳清洗、烘干。	6	2	5	60
	表面氧化度	电性能异常	电性能下降，甚至功能异常。	氧化严重，粘接料无法良好润湿基体，形成粘接空洞。	控制存储环境。	6	2	5	60
点胶	点胶量	电性能异常	器件电性能下降，甚至导致器件功能异常。	点胶量过大，粘接胶层厚度越大，芯片温度越高，散热效果越差。	设备实时监控点胶量，固化完成后检验厚度。	6	3	4	72
		多余物导电失效	器件短路。	粘接料过多，堆积到芯片表面或外键合区。	工艺完成后进行内部检查和X光检测并抽取样品抽取进行芯片剪切强度试验。	8	4	5	160
	早期失效	芯片脱落，器件功能失效。	粘接胶层厚度较小，粘接料不足，起不到粘接牢固的效果。	设备监控点胶图形，工艺完成后进行X光检测。	8	4	4	128	
	点胶图形	电性能异常	器件电性能下降，甚至导致器件功能异常。	点胶图形不当，将导致粘接来料分布不均匀，形成粘接空洞。		6	3	4	72
粘接	粘接压力	早期失效	芯片损伤，器件功能失效。	粘接压力过大，使芯片承受较大压力，芯片易破裂损伤。	设备控制并监测贴片压力，工艺完成后进行内部目检及X光检测。	8	2	3	48
		多余物导电失效	器件短路。	过大的压力将粘接料大量挤出，堆积至芯片表面或外键合区域。		8	4	5	160
		电性能异常	器件电性能下降，甚至导致器件功能异常。	粘接压力过小，内部气体难以排出，形成粘接空洞。		6	3	3	54
固化	固化温度	早期失效	芯片脱落，器件功能失效。	固化温度高，则时间短，胶层变脆。	设备实时监控固化温度曲线及固化气氛，工艺完成抽取样品进行芯片剪切强度试验，对封装完成的样品抽检内部气氛。	8	3	3	72
	固化时间	早期失效	芯片脱落，器件功能失效。	固化速度太快，胶层变脆。		8	3	3	72
	固化气氛	银迁移失效	器件短路。	银颗粒会遵循银迁移机理迁移。		8	4	5	160
粘片后处理	清洗有效性	键合失效	后续键合失效。	键合焊盘有沾污，在高温下键合丝脱键或键合强度变低。	等离子清洗或键合前氮气喷吹。下道工艺前进行内部目检。	7	3	4	84
		多余物导电失效	器件短路。	粘片后清洗工艺不当，可能导致粘接料起皮脱落。		8	4	5	160
存储	器件腔体内部气氛	银迁移失效	器件短路。	存储环境不良，导电胶中的银颗粒会遵循银迁移机理进行迁移。	工艺完成入氮气柜存储对封装完成的样品抽检内部气氛。	8	2	4	64

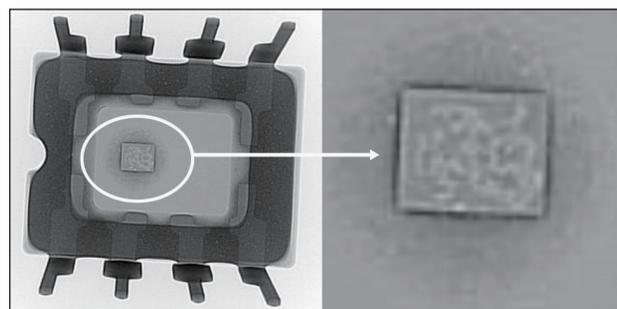


图5 芯片粘接大面积空洞形貌

(5) 键合失效。芯片银导电胶粘接过程中，键合焊盘可能受到污染，若沾污等污染物没有被有效清理，留在焊盘上则会对后续键合工艺造成不良影响，引线互连结构存在高温环境下键合丝脱键或键合强度变低的风险。

2.3 风险评估与 PFMEA 表格建立

在对失效模式进行原因及机理分析的基础上，对集成电路银导电胶粘接工艺进行 PFMEA 风险评估，分析结果并形成 PFMEA 风险评估表，如表4所示。我们认为风险序数 (Risk Priority Number, RPN) 超过 90 分，即为高风险项。

2.4 控制及改进

在芯片粘接工艺 PFMEA 的分析中，共识别出 5 项高风险项，对高风险项实施改进措施，再次评估 RPN 值，均降

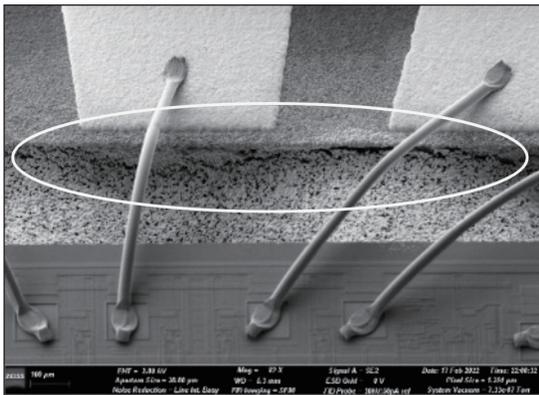


图6 银导电胶堆积至外键合区域形貌

为90分以下。举其中一例高风险项作为实例分析，在点胶工序中，点胶量过大可能导致粘接料堆积至芯片表面或外键合区造成集成电路短路的风险，RPN值为160。针对该问题，提出以下控制和改进措施：

(1) 在首件试粘后增加检验过程中内部目检对粘接形貌、银导电胶溢出高度和溢出范围的检查，并及时修正粘接压力参数设置；

(2) 批量粘接完成后对样品进行100%内部目检工作并加强对粘接形貌、银导电胶溢出高度和溢出范围的检查；

(3) 对检验项目形成记录表格，要求检验人员逐一核实；

(4) 加强检验人员培训，增强员工责任心和细心程度，提升检验能力。

采用上述措施之后，失效模式的严重度评分不变，频度评分降低为2，探测度评分降低为4，RPN值降为64，风险得到了有效控制。PFMEA是一种需要不断优化完善的过程，通过不断更新工艺过程中的问题反馈，完善工艺控制，可以更进一步地提升工艺可靠性。

3 结论

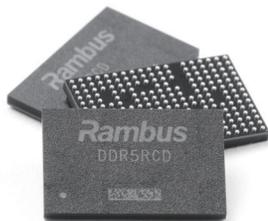
本研究结合芯片银导电胶粘接工艺原理以及PFMEA技术，提出了基于PFMEA的芯片银导电胶粘接工艺风险识别方法，根据芯片粘接工艺特点量化设计了严重度、频度、探测度的评定描述和等级分数。通过对芯片粘接工艺进行结构功能分析，分解工序，系统地分析芯片粘接工艺的潜在失效模式。通过对工艺中高风险的控制和改进，有效降低了风险顺序数，对提升芯片粘接工艺质量和可靠性效果显著，也为微电子封装工艺开展PFMEA分析提供参考依据。

参考文献

- * [1] 侯相召. 微组装工艺研究 [D]. 南京: 东南大学, 2019.
- * [2] 周建华, 张发平, 李伊, 等. 涡扇发动机转子系统装配过程PFMEA技术应用研究 [J]. 航空制造技术, 2023, 66(1): 6.
- * [3] 郑国栋, 王杨, 赵明, 等. PFMEA在航天复合材料结构件成型中的应用研究 [J]. 玻璃钢/复合材料, 2019(8): 6.
- * [4] 席瑞萍. 基于FMEA的风力发电机组偏航系统可靠性分析 [J]. 机电产品开发与创新, 2021(004): 034.
- * [5] 杨维建. 运用PFMEA提升新能源汽车制造过程的质量管理 [J]. 汽车实用技术, 2022, 47(20): 14-18.
- * [6] 施文婧, 闫莉. 基于PFMEA的SMT回流焊质量改善方法 [J]. 探测与控制学报, 2018, 40(3): 5.
- * [7] 奚慧, 张其政, 宋萍. PFMEA方法在印制板组件装配中的应用研究 [J]. 电子工艺技术, 2014(5): 4.
- * [8] 代晓丽, 王辉, 董东, 等. 连接器焊接中PFMEA方法的应用研究 [J]. 电子质量, 2020(7): 5.
- * [9] 刘岗岗, 蔡景洋, 谢炜炜. 一种典型功率运算放大器芯片粘接故障分析及改进 [J]. 电子制作, 2021(12): 3.
- * [10] 沈祥伟, 朱旭波, 张小雷, 等. InSb红外探测器芯片粘接工艺研究 [J]. 激光与红外, 2019, 49(1): 5.

Rambus 通过第四代 DDR5 RCD 提升数据中心服务器性能

近日 Rambus 宣布推出先进的第四代 DDR5 寄存时钟驱动器 (RCD)，并于 2023 年第四季度开始向主要 DDR5 内存模块 (RDIMM) 制造商提供样品。Rambus



第四代 RCD 将数据传输速率提高到 7200 MT/s，设立了新的性能标杆，相比目前的 4800 MT/s DDR5 模块解决方案，其内存带宽提高了 50%。它支持服务器主内存性能的快速

提升，以满足生成式人工智能和其他高级数据中心工作负载的需求。

Rambus DDR5 内存接口芯片组包含 RCD、串行检测 (SPD) 集线器和温度传感器，对于提升领先服务器的性能水平十分重要。凭借在高性能内存领域积累 30 多年的经验，Rambus 以其信号完整性 (SI) / 电源完整性 (PI) 方面的专业技术著称。这些专业技术有助于实现 DDR5 内存接口芯片，为数据中心服务器 RDIMM 提供卓越的性能和可靠性。

基于 KingSCADA 的换热站智能远程监控的研究

黄润智, 孟亚男, 黄迎旭, 侯圣坤

(吉林化工学院 信息与控制工程学院, 吉林吉林, 132022)

摘要: 本文以某小区换热站系统为例, 设计了一个基于PLC和上位机之间进行通讯连接的控制系统, 利用组态软件KingSCADA搭建上位机监控界面, 该控制系统实现了两级实时监控和报警功能, 提高了换热站系统的自动化程度和可靠性。该系统可以节省人力的同时实时采集、调节现场的运行参数, 并且通过程序对换热站系统远程监控。由于集中供热系统存在耦合性、非线性、滞后性等控制难点, 而且国家大力提倡节能环保理念, 由此换热站设计了基于PLC和KingSCADA的换热站远程监控系统。

关键词: 换热站; KingSCADA; PLC; 远程监控

0 引言

随着国民经济的增长, 国家对环保越来越重视以及居民对供暖要求越来越高, 换热站作为集中供热最重要的环节, 其控制效果是否优异直接影响用户的供暖体验, 作为我国北方寒冷地区城市的重要基础设施之一, 传统的供热方式对环境造成很大的污染,

并且能源浪费严重, 利用率远低于集中供热, 并且在供热质量方面比传统供热方式更有优势^[1]。集中供热向区域热用户提供热能的方式是用高温热水或者热蒸汽作为传递热量的媒介, 由多个热源通过换热站形成的热网对城市内的存在热需求用户进行供热。然而目前大多数换热站采用人工监控, 并且采用手动调节温度, 这种方式都是人为根据经验对温度进行调节, 换热站具有很强的滞后性, 不能准确反映换热站在供暖期间的供需关系, 这就使得热用户的温度需求得不到保障, 并且在发生问题时难以第一时间被发现, 容易造成安全隐患^[2]。本文针对小区换热站, 并完成了基于PLC与KingSCADA软件的换热站智能监控系统的设计, 确保换热站的运行情况良好。

1 换热站系统供热原理

目前城市一般采用集中供暖方式, 由热电厂统一对热媒进行集中加热, 热媒蒸汽通过首站换热器交换热量, 然后将热量分发给二级换热站^[3]。每个小区之间的供暖回路之间不存在互相影响的情况, 都是独立供热, 通过调节二次网管

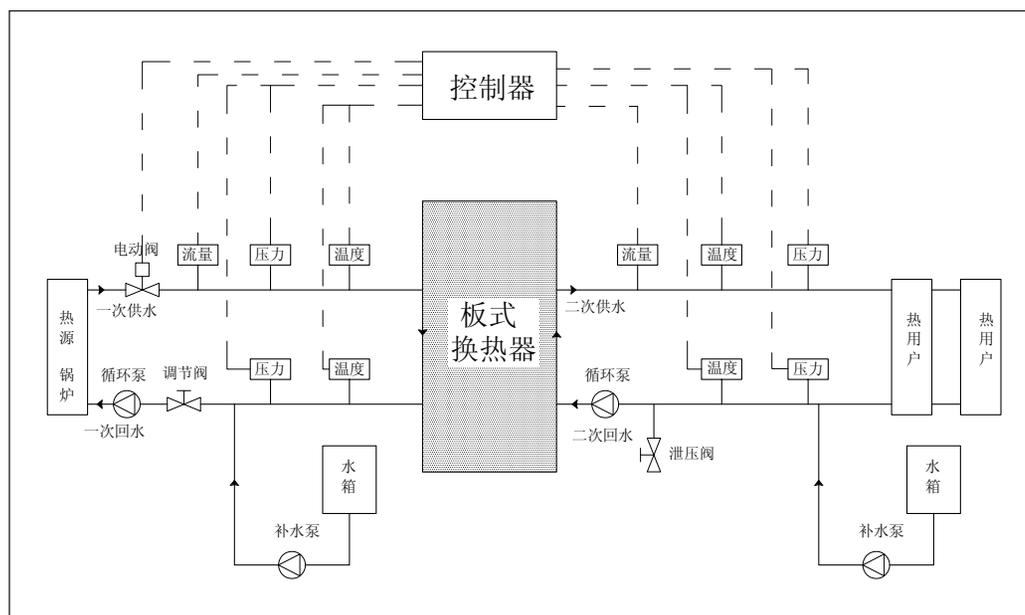


图1 换热站工作原理图

道口径与循环泵的数目来实现对大面积或者高层小区供暖。二级换热站通过换热器对一次供暖回路和二次供暖回路进行热交换。换热器采用间接连接, 能够使一、二次网的水力工况互不影响, 便于调节与控制。以一次管网提供的高温蒸汽作为二级站供暖的热源, 用户会返回未达标温度的冷水在经过换热器对冷水进行加热处理, 然后将达到温度需求的热热水对小区用户进行供给, 最后由分水器给小区各用户进行供暖^[4]。通常会在换热器之前加循环泵, 目的是防止二次回路中压力不够对其进行加压, 并在循环泵和补水箱之间加变频补水泵, 以稳定二次供暖回路的压力。换热站的工作原理如图1所示。

2 硬件系统结构设计

2.1 换热站系统组成

基于PLC的换热站系统组成如图2所示。该硬件系统主要由PLC, 变频器、换热器、液位传感器、水泵机组、A/D模块、D/A模块、管网压力表、管道以及相关低压电器等组成的。PLC是换热站系统的主控制器, 接受各种传感器、

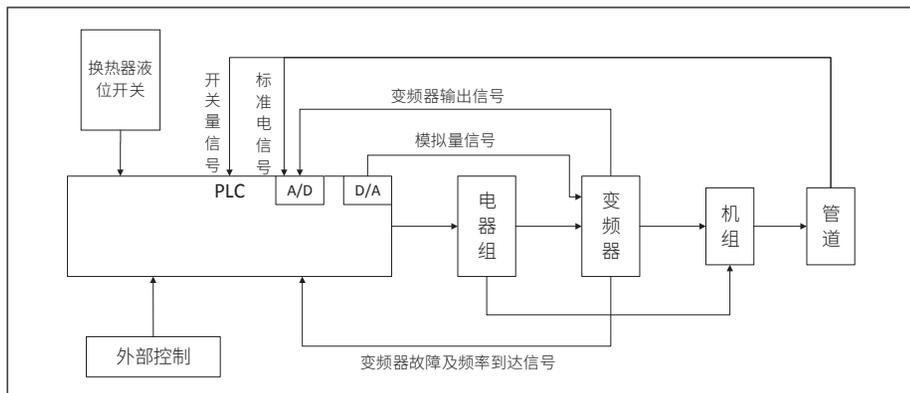


图2 硬件系统框图

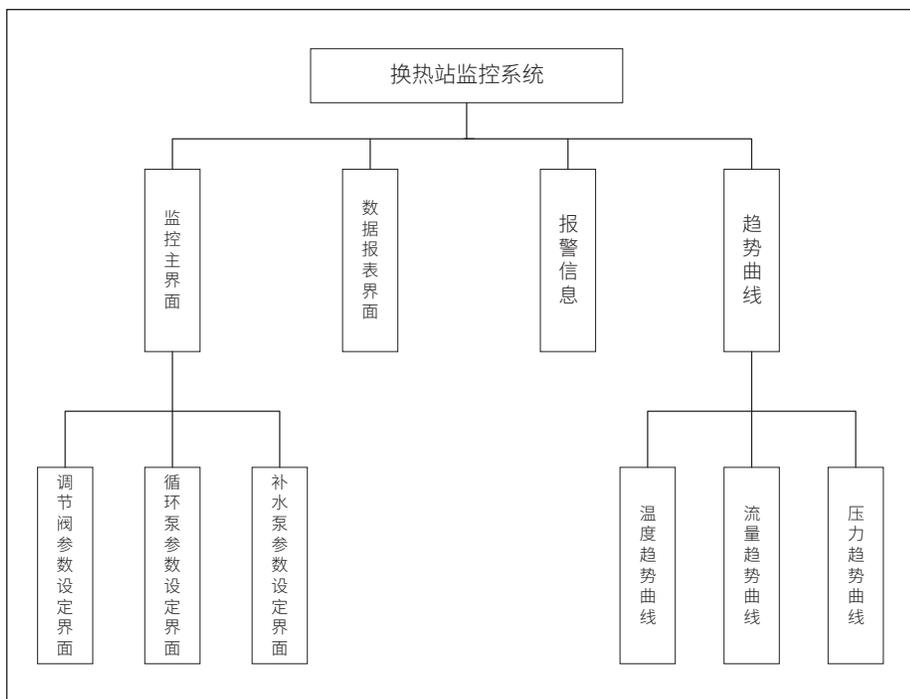


图3 换热站监控系统界面组成

变频器以及开关的信号，进行程序运算后输出对应的数字量给电气组，对应的模拟量给变频器。其中由机组作为换热站系统的执行机构，管道内的热水都是该执行机构进行调动的。电气组的作用就是负责将PLC的信号传递转换给变频器，变频器与PLC进行交换信号的同时驱动机组进行工作，管道上的压力传感器反馈信号然后由PLC对供暖系统进行调节，如补水，冷凝，污水处理等^[4]。

■ 2.2 换热站监控系统的功能

2.2.1 监测功能

换热站监控系统主要监测内容包括一、二次供回水压差，一、二次供回水流量，一、二次供回水温度，室内室外温度、供热水泵手自动转换状态以及其工作及故障状态^[5]。

2.2.2 控制功能

换热站监控系统的控制功能主要包括自动调节二次侧

供热水泵的频率，实现供水温度的自动控制。此外，系统中存在动态偏差，为解决该问题在系统中应加入流量前馈补偿信号^[6]。在解决动态偏差之后还要对室内的温度进行控制，因为室内温度对供水温度存在影响。通过测定出水温度、回水温度和流量，并计算得到热负荷，达到按需就热的目的。

3 监控软件的设计

本课题中采用KingSCADA作为控制系统的上位机，目的是对换热站远程控制并监控，该系统包括数据报表、历史数据库、实时数据库等多个模块，为了支撑整个系统的运行以及数据共享，所有的模块都将连接实时数据库。换热站监控系统界面组成如图3所示。

为了实现对换热站系统的可视化实时监控，提供简单、功能齐全的界面，设计了控制系统所需的监控界面。该监控界面可以使工作人员轻松操作控制系统，对系统的运行状况、数据分析、运行参数进行实时监控，在很大

程度上提高了设备的运行效率，并且更加地可靠。监控系统主界面如图4所示。

实时数据：对换热站系统的任何一个时间点参数的实时数据，都可以比较直观地显示出来，其中包括系统需要采集的温度、压力、流量及变频器频率等。

历史数据曲线：用来反映随时间变化变量改变的情况，对运行参数进行存储记录，可以以天为单位进行曲线记录，历史数据曲线记录有助于消除系统运行时的不安全因素，提高管理水平。

参数设定：在参数设定界面中，操作人员可以对循环泵、补水泵、调节阀等进行PID参数设定，其中调节阀作为换热站系统中至关重要的组成部分，可以对调节阀参数进行设置和调整。页面内包含对供回水温度参数的检测，而且操作人员可以选择自动或者手动控制调节阀。

为达到这一目标则需要供热系统中加装智能化设备，在无人值守的情况下自动控制使热网供热点与热能需求点达到供需平衡，从而达到节约能源提高效率的目的。另外，在操作人员休息时打开换热站智能化系统的无人值守模式，当此模式打开时，整个系统运行效率得到提高，而且降低了运行风险，供热质量也得到提高，使整个运行系统运行时更加的合理流畅。

数据信息的准确性。城市供暖智能化控制系统最重要的目标就是用户的供暖质量，而影响供暖质量的变量则是对供水温度的控制，由于外界温度随时变化，所以要实时对供水温度进行控制。但是在目前的整个供热过程中，一方面是供热系统的智能控制程度低，这就导致了设备更容易出现故障，所以在智能控制方面应该有所提高，另一方面在智能化设备安装、操作的水平有待提高，两方面原因在很大程度上影响了智能化控制的数据信息准确性。同时，在实际的供暖过程中，由于供热管道传输存在很强的滞后性，所以就导致供热效果达不到理想状态，室内温度低于理想目标温度，这也直接造成智能化控制难度加强。

■ 4.2 换热站控制

换热站是城市供热系统中重要组成部分，它的作用是将供热源提供的高温热水经过处理后转变为用户所需的低温水。为了实现这一目标，控制换热站的操作非常关键，主要包括控制二次供水的温度和控制蒸汽压力等方式。通过这些控制手段，换热站可以为用户提供稳定可靠地取暖服务^[8]。

■ 4.3 气候补偿

气候补偿是目前换热控制中使用最多的手段之一，它是指用户设定室内温度后，智能设备根据室外气候条件自动控制供水温度，通过调节换热站二次供水温度来调节供热量，从而使用户感到更加舒适，同时也能大大节约供热成本。在实际操作中，应该建立对应关系温度曲线，根据室外温度利用换热站适当调整供热温度。

■ 4.4 无人值守操作

无人值守操作通过加入自动控制设备替代人工操作是现代智能供热的一种常见模式，这种模式在提高系统的运行能力和安全性的同时，降低了失误率并节约了人力资源的成本，最重要的是，整个系统可以随时进行监控，提高运行的精确性。

■ 4.5 换热站智能化控制系统中的问题

工程人员综合能力。在现实的工作中，很多供热公司对人员要求不高，但是随着更加智能化设备的应用，就必须要求

相关人员有更高的职业素质，所有供热系统岗位中对换热系统直接调试的工作人员，必须具备良好的技术水平和设备操作经验，此外，在发生突发事件的情况下，具备良好技术水平的人才能够第一时间做出正确判断，减少损失并为用户提供最优质的服务。因此，工程人员需要具备综合能力。城市目前虽然已经建立了信息调度中心，但是对调度能力要求依旧很高，很多设备基于历史原因长期使用人工操作，这就导致了系统的效率不高，所以为了加强信息的传输、利用，就应该采取更加智能化的系统，发现问题时及时处理，提高用户的满意度。

5 结束语

该系统根据组态画面提供的供热参数，可以实时显示换热站各设备的工作状态是否正常，指导操作人员对供热情况进行定时检查，并且对供热效果不好的地方进行合理调试，提高供暖质量。由组态画面所提供的数据，能够对供热的参数曲线进行绘制，其中包括供回水的流量、压力，循环水的温度，全天总供热量，室内外温度等。采用该系统每个采暖季可节能 10%~20%，节能效果可观。由于在供暖系统中集成了先进技术从而提高了换热站的工作效率优化了运行质量，提高了供热质量，节能效果显著从而取得了良好的经济效益和社会效益。

参考文献

- * [1] 陈广庆,王吉岱,刘廷瑞等.基于 PLC 和 MCGS 的换热站监控系统[J].制造业自动化,2010,32(10):8-9+13.
- * [2] 李炜,余延磊.基于 PLC 控制技术的换热站系统设计[J].仪器仪表用户,2021,28(04):16-18+35.
- * [3] 刘春蕾,孙勇,杨桂春.换热站监控系统节能技术研究[J].低压电器,2009,No.329(08):42-45.
- * [4] 孟亚男,周雪阳,赵文斌.基于 PLC 的换热站控制系统设计[J].化工自动化及仪表,2021,48(06):541-544+561.
- * [5] 彭良德,郭百泉,周永阳等.城市供热系统的智能化控制分析[J].集成电路应用,2022,39(05):66-68.
- * [6] 隋修武,余保付,葛辉,田松.基于 Kingview 的热网远程智能监控策略研究[J].应用科学学报,2016,34(03):352-360.
- * [7] 晁越.集中供热智能无人值守换热站自控系统的设计与实现[J].通讯世界,2018(07):139-140.
- * [8] 陈晨,欧伟.智能化城市供热管网控制系统设计[J].电子世界,2020(14):128-129.

通信作者：孟亚男。

公益广告

你珍惜我的生命
我还你一片绿荫

中宣部宣教局 中国文明网

电子制作

国际标准连续出版物号：ISSN1006-5059 国内统一连续出版物号：CN11-3571/TN 邮发代号：82-541

主管单位：中国商业联合会

主办单位：中国家用电器服务维修协会

电话：010-62410551

投稿邮箱：ed@ele169.com

网址：www.ele169.com