

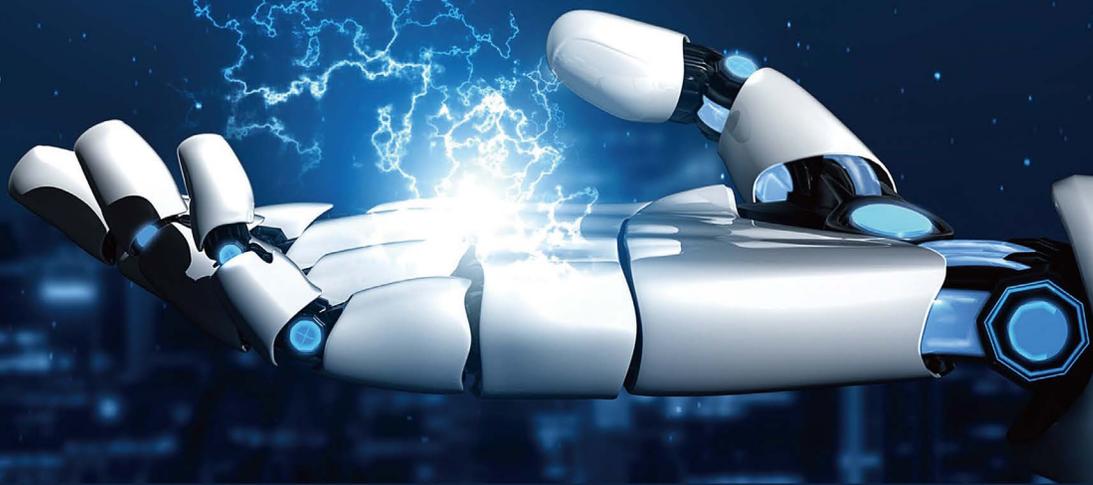
# 电子制作

## PRACTICAL ELECTRONICS

欢迎关注微信公众号



总第486期  
2024年2月(下)  
www.ele169.com



基于 STM32 的多功能函数信号发生器设计  
基于幅值跟踪法的自动增益控制系统设计  
基于深度学习的钢坯编号识别系统的研究与开发

ISSN 1006-5059



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

电子制作

第三十二卷  
第四期

二〇二四年二月

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

---

---

## 电子技术

基于 PLC 与 RFID 垃圾车智能管理系统设计 .....	王冬云, 孙源, 张建刚	3
基于 STM32 的多功能函数信号发生器设计 .....	杜威, 孟丽囡, 宁武	7
基于高精度光耦器件的供电电路设计 .....	欧阳鹏, 周伟平	12
一种大功率内燃机车牵引变频器设计 .....	张涛, 柴媛, 李锦	16
基于幅值跟踪法的自动增益控制系统设计 .....	武永华, 董建怀	20

## 实验研究

基于 STM32 的高校电气实验室温湿度监测系统设计 .....	马博经, 张慧玲, 俞丙威, 王宇霄, 包子洪, 张艺越, 金万荣	24
基于双谱特征和 CNN 的导航欺骗干扰识别 .....	肖永江, 张兴娇, 马文科, 张玄, 刘琨	28
极坐标下基于圆的无人机纯方位无源定位研究 .....	赵延阳, 丁奕心, 崔家铭	32
电动汽车绝缘电阻测试方法的研究 .....	牛飞飞	35
5G 基站天线一体化空口性能测试场适用性分析 .....	喻春, 王成宇, 胡波	38

## 智能应用

基于 STM32 的车库智能排水系统设计 .....	黄海俊, 黎冬梅, 许媛媛, 潘佳豪, 黄日荣	41
基于嵌入式的智能家居控制系统设计与实现 .....	何丽媛	44
基于 STM32 的温室大棚调节系统的设计与实现 .....	陈茂芳, 谭程霏, 李伟宾, 邓带弟, 阮芝莺	49
基于 STM32 的智能公共厕所控制系统设计 .....	罗杨, 宋春华, 李丹丹, 戴凌锋	53
基于麦克纳姆轮的智能搬运机器人 .....	章扬, 周子尧, 杨皓斌	57
基于 STM32 的智能化太阳能路灯装置设计 .....	李德政, 王若钧, 唐群, 张骏风, 王叶南	63

# 电子制作

PRACTICAL ELECTRONICS

2024年2月刊(下)  
第32卷第4期  
总第486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15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。

## 软件开发

基于深度学习的钢坯编号识别系统的研究与开发

邱玥灏,王子佳,牛丹,刘铭皓,刘进波,丁军军 67

EMD算法的改进及在信号去噪中的应用 ..... 刘佳昕,周风波 73

型号产品动态管理看板的设计与实现 ..... 李焕梅,吴长安,王志刚,王晓哲 76

## 信息工程

基于机器人视觉自动压铆控制系统设计 ..... 陈辉煌,翁伟 80

一种用于HTCC封装的DC~20GHz频段垂直互联结构设计 ..... 王晟 83

基于5G技术的电子元器件智能检测研究 ..... 马肖肖,李根 86

利用虚拟仪器开展电子器件低频噪声测试分析的系统设计 ..... 王洁,肖鑫磊 89

基于机器视觉的磨砂注塑杯缺陷检测设计 ..... 罗瑞,何为,郑雪枚,卢小海 92

## 应用技术

基于单片机的电子测量系统仿真设计 ..... 文浩,宋世宇 95

利用筛选装置进行电子元器件检测装置设计 ..... 奚望,周加耀 100

基于单片机的纸张检测设计 ..... 徐昊,何远纲 103

## 科技论坛

电子元器件老炼二次筛选质量控制方法探究 ..... 詹家强 106

高温老化工艺在电子元器件老化测试工作中的应用 ..... 张琦,白升旺 109

直升机交流电源系统电压跳动故障分析 ..... 裴翔,李铮 112

利用编程控制系统开展多路功率电子元器件老炼控制探究 ..... 谷元元,贾兆旭 117

# 基于 PLC 与 RFID 垃圾车智能管理系统设计

王冬云, 孙源, 张建刚

(1. 秦皇岛职业技术学院, 河北秦皇岛, 066100; 2. 河北科技工程职业技术大学, 河北邢台, 054000;  
3. 秦皇岛首秦金属材料有限公司, 河北秦皇岛, 066326)

**基金项目:** 大中学生科技创新能力培育专项—包装生产线中 RFID 标签防碰撞研究(课题编号: 22E50379D)。

**摘要:** 本文针对现代垃圾转运车的垃圾清理不及时、无法溯源等问题, 基于可编程控制器和射频识别技术, 以 PLC 为硬件控制中枢, 设计一种集信息记录溯源、实时显示信息、垃圾桶抬升抖动、清洗消毒一体化、智能化的管理系统, 包含控制、识别、传感、执行和上位机五部分。结果表明: 系统有效监管垃圾运输流向, 提高了垃圾清理效率, 减少了垃圾桶倒不净、过脏, 极大地限制细菌滋生。

**关键词:** 可编程控制器; 射频识别技术; 垃圾转运车; 溯源; 消毒

## 0 引言

随着城市、农村建设的快速发展, 人们对环境问题越来越重视, 并且在新型冠状病毒等传染病流行的今天, 垃圾的收集转运物流监控已经提升到越来越重要的地位, 但是由于技术或者管理的局限性, 环卫处对垃圾车的管理一直缺乏有效的方式和方法。主要问题如下: 无法了解垃圾桶的数量和分布信息, 导致垃圾管理不及时, 劳动强度大; 垃圾无法及时清理, 造成环境污染; 无法进行垃圾溯源记录; 无法保证垃圾搜集次数执行到位, 有重复或遗漏。

要解决这些问题就需要一套监管系统, 而 RFID 射频识别技术的运用为垃圾转运车监管提供了方向<sup>[1]</sup>。为解决上述问题, 文献 [2] 利用了 RFID 技术, 当垃圾车通过垃圾集装箱时, 车上的读取设备准确读出垃圾集装箱上的标签信息, 获取收取垃圾的地址等信息。文献 [3] 利用 RFID 技术, 将读写器采集的 RFID 标签数据传输至中央控制计算机, 调度垃圾车。但是这些方法, 与现场控制分离, 在 RFID 读取数据后, 将数据上传, 现场垃圾桶是否被清理存在漏洞。

## 1 系统概述

### 1.1 系统流程概述

给垃圾桶贴或嵌入 RFID 标签, RFID 标签中写有垃圾桶位置等数据信息, 垃圾车配有此系统设备 PLC 控制器、HMI 触摸屏、RFID 读写器、水箱、水泵等。

在系统启动后, 垃圾转运车正常行驶中, 当带有 RFID 标签的垃圾桶进入 RFID 读写器射频范围, RFID 标签数据传输到 PLC 内, PLC 驱动蜂鸣器鸣响, 提醒工作人员附近有待清理垃圾桶, 并在 HMI 触摸屏上实时显示标签部分信息, 将垃圾桶放在抬升臂附近, 工作人员按下启动按钮, 传输信号给 PLC, PLC 驱动液压缸等执行元件动作, 垃圾桶被抬起, 垃圾倒入车斗内, 抖动, 清洗消毒, 并将存储的 RFID 标签信息上传至上位机 (PC), 保存到数据库, 工作人员通过上位机查询垃圾桶一日清理及各垃圾转运车回收

垃圾的情况, 可对数据信息溯源。

### 1.2 射频识别技术概述

RFID (Radio Frequency Identification, 射频识别) 是一种无线通信技术, 而且是一种非接触式的自动识别技术, 不需要建立在机械或者光学接触的基础上。RFID 通常是一个简单的无线系统, 通常由三部分组成: 阅读器、电子标签和调试软件。阅读器由天线、耦合元件、芯片、读取 (写入) 标签信息设备四个部分组成, 分为手持式阅读器和固定式阅读器。电子标签有多种分类方式, 从供电方式进行分类, 电子标签分为有源标签和无源标签。有源标签内部自带电池, 不需要通过阅读器发射射频信号磁场产生电能。而无源标签内部没有自带电源, 它需要利用阅读器发射的电磁场产生能量才能完成读写操作。标签一般包含天线、耦合元件、芯片三个部分, 电子标签内的编码具有唯一性, 并附着在识别对象上。调试软件是应用软件层, 主要作用为调试 RFID 与电子标签识别、读取 (写入) 标签信息, 为人们做出管理决策提供依据。系统设有的天线, 通常用于标签和阅读器间传递射频信号<sup>[4]</sup>。

## 2 系统总体设计

### 2.1 系统结构

系统以 PLC 为核心, 包含控制、识别、传感、执行和上位机五部分, 设计结构如图 1 所示。

**识别部分:** 应用 RFID 读写器对在射频信号范围内贴或嵌入垃圾桶的电子标签进行识别、读取信息, 通过通信传输, 传送到 PLC 控制器中。

**控制部分:** 接收 RFID 标签数据信息, 通过程序将标签部分信息转换实时显示在 HMI 触摸屏上, 现场工作人员按下 HMI 启动按钮, 启动执行元件, 垃圾桶被清理后, PLC 将 RFID 标签信息通过 WiFi 通信传输上传至上位机 (PC) 并保存在数据库。

**执行部分:** 液压缸、水泵、蜂鸣器等, 通过接收到的控

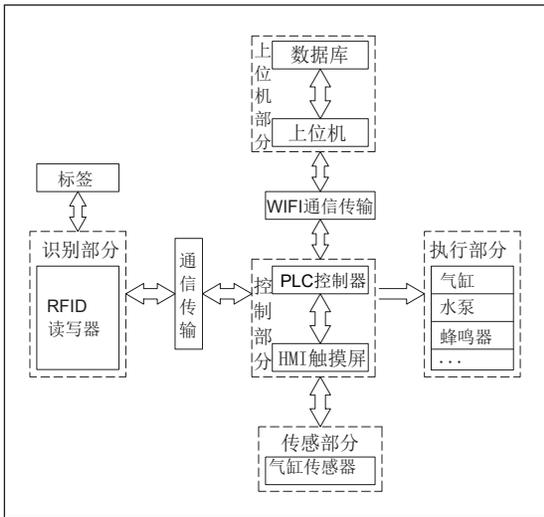


图1 基于PLC与RFID垃圾车智能管理系统结构图

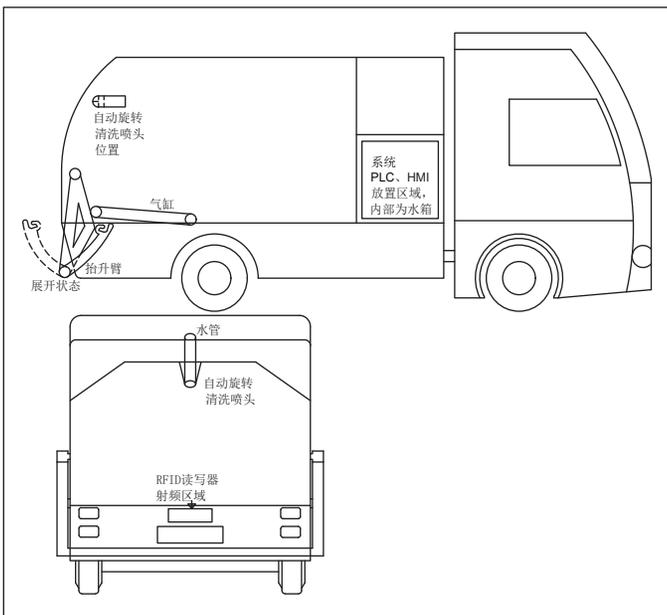


图2 系统车载示意图

制指令，实现升降、清洗垃圾桶等动作。

**传感部分：**液压压力继电器检测液压缸伸出、缩回到达指定位置，检测液压缸有杆腔、无杆腔的压力，到达设定压力，将到位时的压力转换成电信号传送到PLC控制器，PLC根据信号执行指令。

**上位机部分：**接收PLC传输的标签数据信息，通过软件实现标签信息的可视化及查询，垃圾车的工作情况。

车载系统示意图如图2所示。

## 2.2 设备选择

**控制器选择：**由于水泵多数位220V交流电供电，换向阀为直流24V供电即可，再根据功能要求、经济等情况，这里选择西门子PLC，CPU型号为

1214C DC/DC/RLY。

**RFID设备选择：**根据标签工作频率的不同，标签可分为低频标签（频率范围：30kHz~300kHz）、高频标签（频率范围：3MHz~30MHz）、超高频标签（频率范围：300MHz~3GHz）和微波系统（2.45GHz）四类<sup>[2]</sup>。这里选择UHF超高频RFID读写器及标签，由于此读写器接口为RS485接口，PLC需要拓展CM1241-RS422/485通信模块。

**压力继电器选择：**选用海德信HJCS-02N压力继电器。

**WiFi模块选择：**网络上WiFi远程控制模块多数以RS232、RS422/485串口转WiFi/以太网接口，这里使用RS485串口通信的模块，减少程序复杂程度。

**水泵选择：**根据水箱大小、对水压的需求，选择24V—220W抽水直流潜水泵。

PLC控制器与各设备的外部连接如图3所示。

## 2.3 执行部分液压回路设计

后装式垃圾车一般有两个液压缸分别安装在垃圾车厢两侧，为同步动作缸。本系统结合现有后装式垃圾转运车以液压驱动方式，抓取、提升翻斗机构的垃圾桶抬升装置即液压回路，在原有的基础上，在液压缸伸出到位、缩回到位的位置安装液压缸传感器，液压缸到位时通过传感器生成电信号输入给PLC，将液压缸的单个电控换向阀线圈与PLC连接。液压回路连接如图4所示。

## 3 系统实现

### 3.1 PLC与RFID读写器及WiFi模块的通信传输

这里使用的西门子PLC，应用TIA博途组态软件梯形图编程，添加相应PLC及CM1241通信模块，选择功能块SEND\_PTP，此功能块是发送数据，功能块RCV\_PIP，此功能块是接收数据，填写相关参数及数据

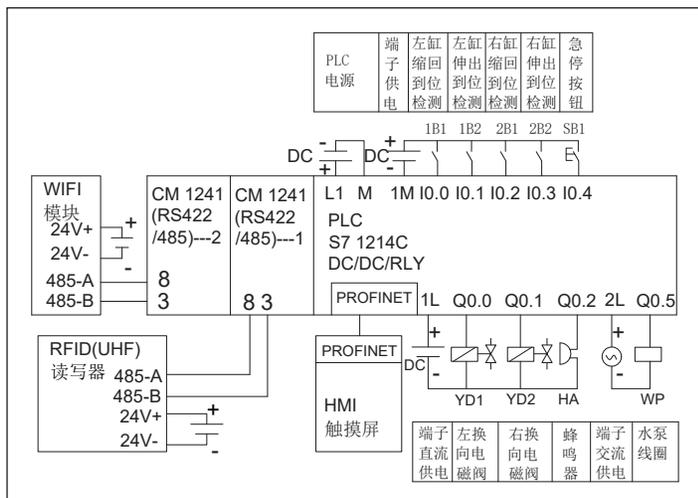


图3 PLC外部接线图

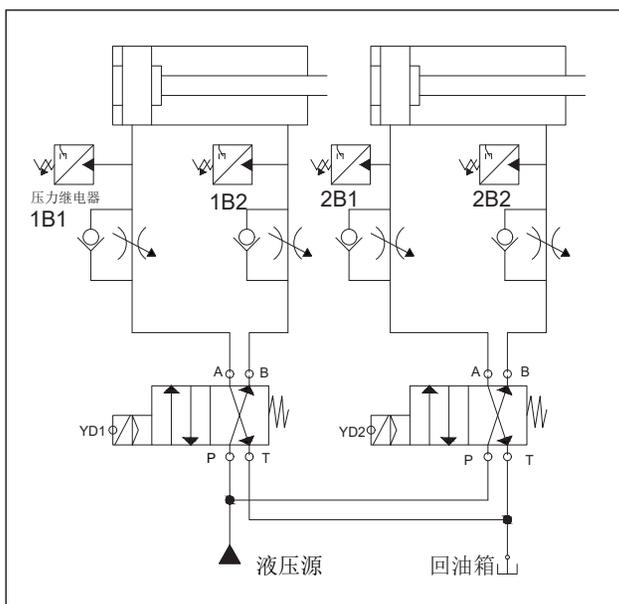


图4 液压回路连接图

引脚	说明	连接器 (插孔式)	引脚	说明
1	逻辑接地或通信接地		5	6 PWR +5V与100 Ω电阻串联：输出
2 TxD+	用于连接RS422 不适用于RS485：输出		4	7 未连接
3 TxD+	信号B (RxD/TxD+)： 输入/输出		3	8 TxD- 2 信号A (RxD/TxD-)： 输入/输出
4 RTS	请求发送 (TLL电平) 输出		2	9 TxD- 1 用于连接RS422 不适用于RS485：输出
5 GND	逻辑接地或通信接地		SHELL	机壳接地

图5 CM1241-RS422/485 模块引脚含义

块，将CM1241引脚与USB转485接头相连并接入电脑，通过调试软件检验PLC收发数据功能<sup>[5]</sup>。通过CM1241模块引脚定义，将模块3脚与RS485-B口连接，8脚与RS485-A口连接。CM1241-RS422/485模块的引脚含义(母头)如图5所示<sup>[5]</sup>。

在PLC和RFID读写器单独测试发送、接收数据无异常后，将两部分连接，将标签放在射频区域附近，观察PLC

DB_Rcv_Buffer				
名称	数据类型	偏移量	起始值	监视值
1	Static			
2	Data from RFID	Array[1..30] of Byte	0.0	
3	Data from RFID[1]	Byte	0.0	16#0
4	Data from RFID[2]	Byte	1.0	16#10
5	Data from RFID[3]	Byte	2.0	16#01
6	Data from RFID[4]	Byte	3.0	16#39
7	Data from RFID[5]	Byte	4.0	16#00
8	Data from RFID[6]	Byte	5.0	16#10
9	Data from RFID[7]	Byte	6.0	16#0
10	Data from RFID[8]	Byte	7.0	16#01
11	Data from RFID[9]	Byte	8.0	16#0
12	Data from RFID[10]	Byte	9.0	16#03
13	Data from RFID[11]	Byte	10.0	16#0
14	Data from RFID[12]	Byte	11.0	16#0
15	Data from RFID[13]	Byte	12.0	16#06
16	Data from RFID[14]	Byte	13.0	16#0
17	Data from RFID[15]	Byte	14.0	16#0B

图6 RFID接收数据块中数据示例

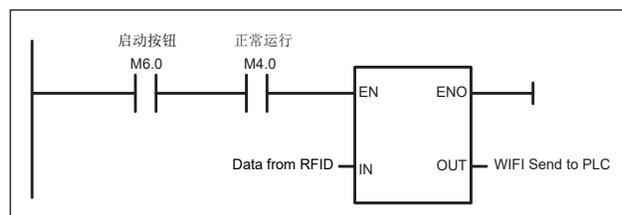


图7 上传结合实际操作程序

接收数据块的数据变化，完成PLC与RFID读写器的通信传输。RFID接收数据块变化数据为识别RFID标签数据示例如图6所示。

由于WiFi模块为RS485接口，PLC和WiFi模块的通信与RFID通信传输同理。

### 3.2 记录上传、溯源功能实现

在RFID读写到标签数据后，不会将数据立刻上传到上位机(PC)，而是暂时储存在PLC接收数据块中，要将数据上传，需要现场操作，将垃圾桶清理的同时上传数据。具体操作为：在按下启动按钮后，PLC梯形图程序将存储在RFID接收数据块中的RFID标签数据

传输给WiFi模块发送数据块中，程序上传结合实际操作如图7所示。

WiFi模块通过无线网络上传至PC数据库，上位机通过开发应用通过设定PLC型号、IP地址与垃圾转运车的PLC控制器通信<sup>[6]</sup>。上位机数据查询如图8所示。

### 3.3 抬升垃圾桶、抖动和消毒功能实现

利用PLC程序实现一次操作，多功能顺序动作，通过RFID读取到标签数据，液压缸通过传感器1B1、2B1检测在原位(缩回到位)状态，工作人员按下HMI触摸屏的启动按钮，收垃圾、抖动和消毒功能启动。PLC控制器使垃圾转运车两侧液压缸的电磁换向阀线圈得电，垃圾桶被机械结构的抬升臂抬升，到达最高处(液压缸伸出到位置)，垃圾桶中的垃圾车被倒出，这时部分垃圾桶会有附着在垃圾桶上的垃圾桶，就需要抬升臂做出

垃圾桶信息				
日期	转运车名	垃圾桶位置信息	时间	
2023/10/20	调C-xx01x	某某学院学生公寓1号楼	8:10:05	
2023/10/20	调C-xxxA1	某某学院教师公寓1号楼	8:14:45	
2023/10/20	调C-xx01x	某某学院学生公寓3号楼	8:18:09	
2023/10/20	调C-xxxA1	某某学院教师公寓2号楼	8:19:23	
2023/10/20	调C-xx01x	某某学院学生公寓6号楼	8:25:52	

图8 上位机画面实例

像人手一样抖动的动作，本系统通过 PLC 梯形图程序，2s 一周期的使电磁换向阀线圈得电失电，由于换向阀带有弹簧复位，在线圈失电后，换向阀换向，液压缸缩回，这样就实现了抬升臂“抖动”。PLC 控制垃圾桶抬升、抖动程序如图 9 所示。

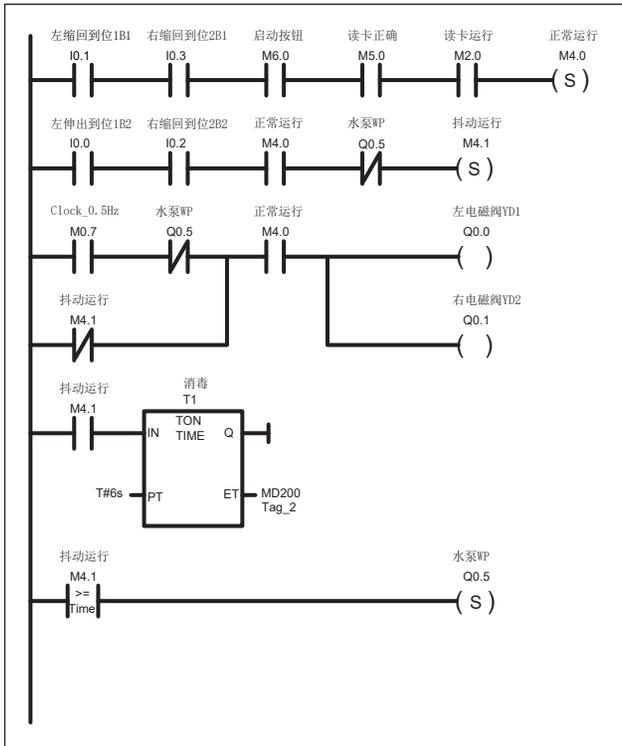


图 9 抬升垃圾桶、抖动程序图

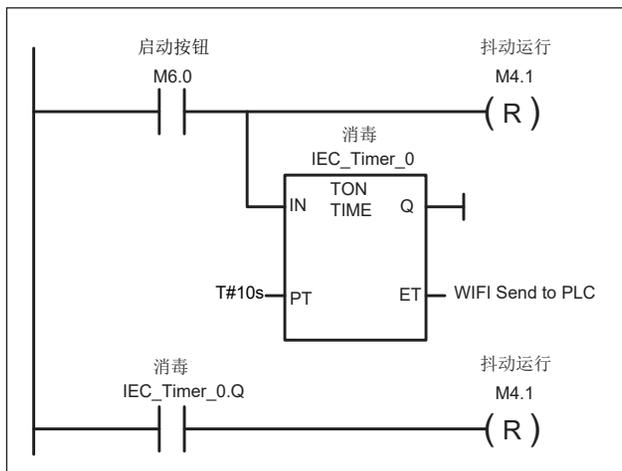


图 10 消毒程序图

PLC 消毒功能是垃圾转运车在垃圾桶被抬升位置正对

的垃圾桶口附近，装有自动旋转清洗喷头（是利用液体的反作用力驱动进行旋转运动，无需外部动力），水泵与喷头水管连接，水泵与 PLC 电连接。PLC 消毒程序如图 10 所示。

## 4 系统的组态界面

系统的组态界面即 HMI 触摸屏画面由启动 RFID 读写器射频功能、执行元件启停、数据显示构成，实时显示 RFID 识别读取标签的部分信息，另外配备紧急状态下的电气按钮。HMI 触摸屏画面如图 11 所示。



图 11 HMI 触摸屏画面

### 参考文献

- \* [1] 陈军梅. 土耳其城市应用 RFID 优化垃圾处理 [J]. 中国自动识别技术, 2016,(05);35.
- \* [2] 王超. 射频识别系统在生活垃圾转运上的应用 [J]. 现代制造技术与装备, 2010(05):56-57.
- \* [3] 王凯, 杨枢, 刘玉文. 基于无线射频识别技术的医疗垃圾信息采集与管理系统设计 [J]. 重庆科技学报 (自然科学版), 2017.16(06):113-116.
- \* [4] 邓超. 基于 RFID 电子标签的物联网物流管理系统 [J]. 电脑知识与技术, 2014,10(36);8843-8844+8847.
- \* [5] 北岛李工. 工业串口通信之如何使用 S7-1200 的 CM1241 模块 [Z]. 2017-01-21. <https://www.doc88.com/p-7374977193064.html>.
- \* [6] 宣原. 应用 VS 实现上位机对 PLC 的数据处理 [J]. 自动化应用, 2020,(10);74-76.

# 基于 STM32 的多功能函数信号发生器设计

杜威, 孟丽因, 宁武

(辽宁工业大学 电子与信息工程学院, 辽宁锦州, 121000)

**摘要:** 本文设计了一种0~10MHz多功能函数信号发生器, 该信号发生器以STM32F103C8T6单片机为控制核心, 通过控制直接频率合成芯片AD9833产生正弦波, 三角波和方波三种波形, 通过按键设置实现对输出波形种类, 频率和幅度的控制和调整。STM32F103C8T6输出波形的频率、幅度等参数在OLED上实时显示。本设计实现了对正弦波, 三角波和方波三种波形的输出, 输出频率0~10MHz连续可调, 输出幅度0~5V连续可调。经测试表明, 装置达到要求指标, 且成本低廉、操作简单、功能齐全, 能输出多种波形, 节省了硬件成本且具有很高的应用价值。

**关键词:** 直接频率合成; 程控放大器; 数模转换; LC滤波

## 0 引言

宽频函数信号发生器是一种能够产生宽带正弦、三角波、方波及脉冲等多种函数波形, 且其频率、幅度等参数可进行调整输出的仪器。宽频函数信号发生器的研究与设计对生产与生活都具有重要的意义<sup>[1]</sup>。目前, DDS技术作为信号发生器设计的关键性新技术, 具有输出波形频率分辨率高、稳定性好和便于数字化控制等优势, 因此在信号发生器领域中具有重要的地位和广泛的应用<sup>[2]</sup>。

直接频率合成技术作为目前信号发生器设计的关键性技术, 在信号发生器领域中具有重要的地位。目前大多数的信号发生器都采用CPU作为函数信号发生器的控制核心, 操作和控制DDS芯片产生函数信号波形。伴随微处理器技术和微波集成电路的进步, 信号发生器逐渐采用液晶显示屏、触摸式键盘取代模拟的度盘、表头、旋钮控制和显示方式, 构成良好的人机交互界面。相比于以往功耗数百瓦的函数信号发生器, 采用DDS技术的信号发生器功耗极低仅为数十瓦。信号的频率稳定性能够达到晶体振荡器实现的水平, 采用直接频率数字合成的信号发生器可以实现多台模拟式信号发生器才能实现的功能<sup>[3]</sup>。

## 1 总体设计

本设计实现函数信号发生器的周期性函数波形信号的产生, 通过STM32F103C8T6单片机读取输入的键盘信息, 经过程序处理后送入AD9833波形产生单元以及D/A转换

器实现波形的调频和调幅功能, 并且通过OLED显示屏实时显示相关函数波形的类型、频率以及幅度参数。通过单片机技术实现函数信号的波形、频率、幅度参数调节, 主控单片机、AD9833波形生成电路、程控放大电路、按键电路、显示电路、D/A转换等组成; 系统软件程序主要包括键盘读取, 波形类型、频率、幅度选择, OLED显示相关的程序设计。系统整体框图如图1所示。

## 2 系统硬件设计

0~10MHz多功能函数信号发生器的系统硬件电路由主控电路、AD9833波形产生电路、程控放大电路、D/A转换电路、显示电路以及按键电路等组成。

### 2.1 主控电路设计

STM32F103C8T6单片机最小系统核心部分主要由时钟电路、复位电路、供电电源电路三个部分构成<sup>[4]</sup>。利用该最小系统就可以实现宽频函数信号发生器的控制目的, 完成矩阵键盘扫描、OLED显示、函数波形信号切换、频率以及幅度参数调整等基本功能。

系统最小系统电路由时钟电路、复位电路、调试下载电路、启动方式选择以及核心微处理器组成。

系统的复位电路采用10k的上拉电阻和0.1μF的电容以及独立按键构成, 与单片机的NRST引脚连接, 一般的复位电路来说, 只要在单片机的NRST管脚上保持10ms及以上的低电平信号, 单片机就可以有效地复位<sup>[5]</sup>。

系统时钟电路的外部高速时钟源利用是4MHz~16MHz晶体振荡器, 一般取典型值8MHz大小的晶振和22pF大小的电容组成, 分别与单片机的OSC\_IN引脚和OSC\_OUT引脚连接, 给外设提供时钟, 通过STM32F103C8T6内部倍频器设置为9倍频, 使其最高工作主频率为72MHz, 这样能使单片机快速地处理外部事件。外部低速时钟电路由32.768kHz的晶体振荡器和15pF大小的电容组成<sup>[6]</sup>, 用来给RTC提供实时时钟。主控电路原理图如图2所示。

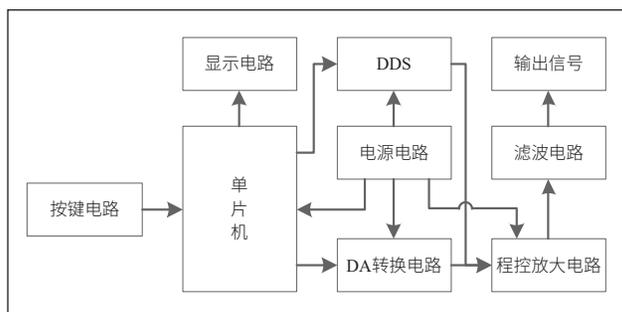


图1 整体结构框图



好频率和波形种类经过 1k 电阻输入到 VCA821 的 VIN 引脚，由于是程控放大，需要的放大倍数可通过编程经过 AD5320 把数据传给 VCA821。最终确定频率和幅值的各种波形经过滤波电路输出到示波器上。程控放大电路如图 4 所示。

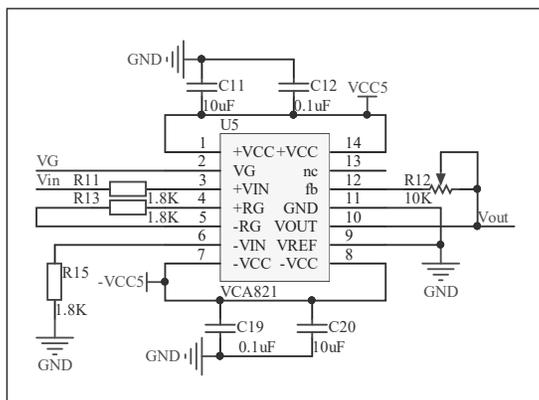


图 4 程控放大电路原理图

## 2.4 D/A 转换电路设计

由于输出电压幅值是 0~5V 可调，AD9833 理论上最大输出幅值为 0.65V，据此，预设将增益放大电路总的放大倍数设置为 10 倍，以确保 AD9833 输出幅值无法达到理论值时可以通过放大来达到任务要求。函数信号发生器为了可以输出高性能的波形，采用通用型运算放大器和乘法型 D/A 转换器来实现幅度放大，其对乘法型 D/A 转换器的转换速度要求高，成本代价较高。综合设计的难易程度与成本，最终选取数字电位器与固定增益的放大器结合实现波形的幅度连续可调。

AD5320 是单片 12 位电压输出 D/A 转换器，单电源工作，电压范围为 +2.7V~5.5V。片内高精度输出放大器提供满电源幅度输出，AD5320 利用一个 3 线串行接口，时钟频率可高达 30MHz，能与标准的 SPI、QSPI、MICROWIRE 和 DSP 接口标准兼容<sup>[9]</sup>。单片机 4 个输出端口分别连接 AD5320 的 SCLK、DIN、SYNC 和 VDD，以进行输入数字信号，最后通过 VOUT 引脚输出模拟信号通过外部电路传给放大电路来实现 D/A 转换。D/A 转换电路如图 5 所示。

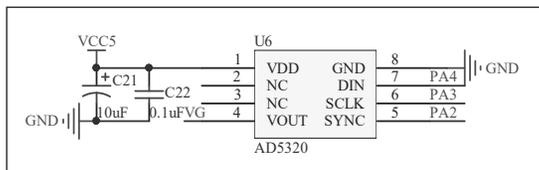


图 5 D/A 转换电路原理图

## 2.5 显示电路设计

在本设计中利用 0.96 寸 I<sup>2</sup>C 通信 OLED 屏作为函数信号发生器的显示设备，实现函数波形种类、频率、幅度等参数的显示。

显示电路作为本次设计中的人机交互设备，其作用主要完成输出函数信号的波形种类、信号幅度以及频率值的显示。当使用者通过矩阵键盘输入所设定的频率、波形种类等参数信息时，经过单片机处理数据控制 AD9833 波形产生电路与幅度放大电路调整波形参数，通过 OLED 显示屏实时显示设定的参数信息。使用者根据显示屏显示参数信息结果，可以判断所设置的参数信息是否正确，适当地进行参数信息调整。显示电路如图 6 所示。

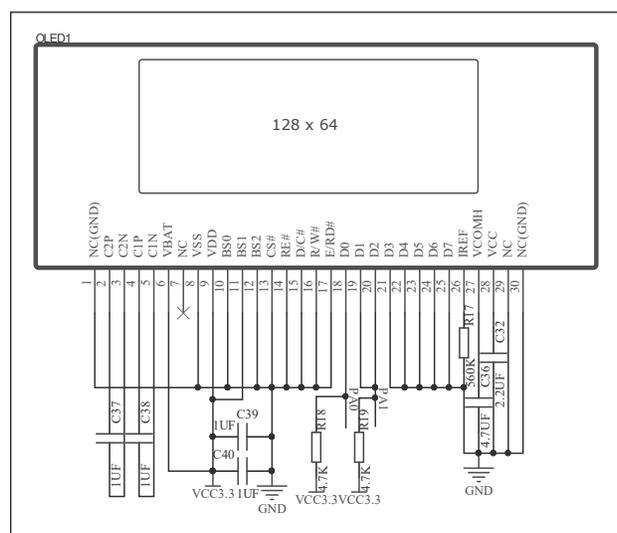


图 6 显示电路原理图

## 2.6 电源电路设计

在本次设计中，需要为单片机提供 3.3V 电源、为 AD9833 提供 5V 电源、为 VCA821 提供 ±5V 电源。电源电路为单片机或其他外部硬件分别提供稳定的 3.3V 电源和 ±5V 电源，电源电路如图 7 所示。

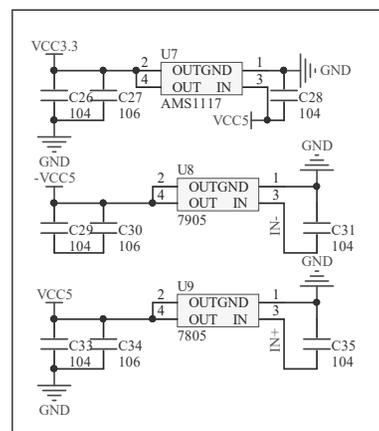


图 7 电源电路原理图

## 3 系统软件设计

### 3.1 主程序设计

当 STM32F103C8T6 单片机一上电即进行 OLED 显示

初始化、AD9833 波形产生电路初始化、幅度放大电路初始化操作，OLED 显示预先设定好的频率、幅度、波形等参数信息，AD9833 波形生成电路以及幅度控制电路实时响应。当使用者未按下按键 S1 时，进入步进的频率设置界面。首先，通过按键 S2 进行频率值的加减操作，步进值为 1kHz。然后，通过按键 S3 进行幅度值的加减操作，步进值为 0.1V。最后通过按键 S4 实现波形的切换，实现所有的参数设定。整体系统的软件设计实现了宽频函数信号发生器的设计要求。

主程序软件流程图如图 8 所示。

通过单片机协调控制外围的 AD9833 波形生成电路、幅度调理电路实现了宽频函数信号发生器的设计。采用按键键盘配合 OLED 显示屏实现相关的波形种类、频率、幅度的显示和参数设定。

### 3.2 波形生成程序设计

单片机经过三线式 SPI 方式将所要实现的波形、频率参数写入 AD9833 的内部寄存器。当 FSYNC 引脚被置为低电平时，16 位串行数据字 (SDATA) 在串行时钟的作用下通过 AD9833 的 SDATA 引脚写入具体的内部寄存器之中。频率值的改变由写入频率寄存器中的频率字决定。由于 AD9833 串行方式传输需要 16 位字节，而单片机每次以 8 位字节传送数据，每个周期内只有 8 个 SCLK 下降沿。因此在第一批传送数据结束时，P2.1 应该仍保持低电平，同时启动第二次的写操作来传输数据的第二个字节。AD9833 首先接收 MSB 写入目标寄存器，4 个 MSB 为控制信息，接下来的 4 个为地址，最后的 8 个 LSB 将包含数据信息。

以 SPI 串行方式向 AD9833 内部的控制寄存器写入数据，设置 AD9833 的工作模式。采用 PSEL 和 FSEL 控制位方式选取具体的频率寄存器和相位寄存器。有两种数据源可以选择，当 Freq\_SFR 为 0 时将数据分两次写入频率寄存器 0，首先写入低 14 位数据，然后写入高 14 位数据，最后设置相位，频率寄存器 0 输出波形。当 Freq\_SFR 为 1 时将数据分两次写入频率寄存器 1，首先写入低 14 位数据，然后写入

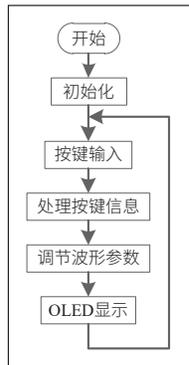


图 8 主程序流程图

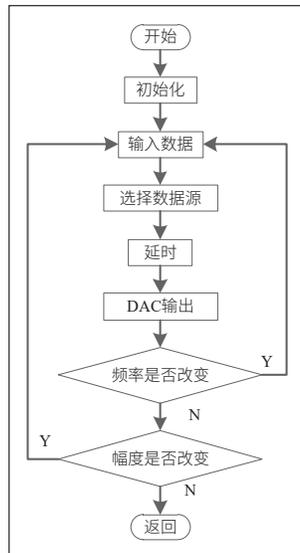


图 9 波形生成程序流程图

高 14 位数据，最后设置相位，频率寄存器 1 输出波形。在设置的 8 个时钟周期后，内部的 D/A 转换器将产生数据输出<sup>[10]</sup>。如果想改变波形的相位或者频率时，通过向 AD9833 重新写入 16 位新数据完成。向 AD9833 写入 0x2000 输出正弦波；向 AD9833 写入 0x2002 输出三角波；向 AD9833 写入 0x2028 输出方波。实现波形生成电路流程图如图 9 所示。

## 4 系统测试

AD9833 波形生成电路与单片机通过 SPI 三线式连接。

单片机的 TXD 驱动 AD9833 的 SCLK 引脚，RXD 驱动串行数据线 SDATA。FSYNC 信号通过单片机的位可编程引脚 P2.1 获得。波形生成电路测试包括正弦波、三角波以及方波三种波形信号的输出频率、幅度、失真等参数，具体测试如下。

### 4.1 正弦波测试

AD9833 内部的正弦查询表将来自频率和相位寄存器的相位信息转换成幅度信息，从而在输出端产生正弦波。将 Bit Mode 位清 0，AD9833 的输出口 IOUT 与 IOUTB 将提供正弦波输出，正弦波参数数据记录表如表 1 所示。1MHz 的正弦波如图 10 所示。

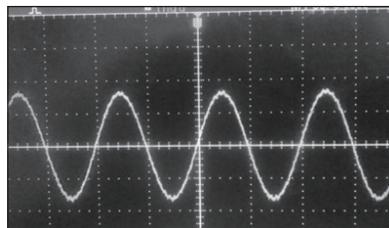


图 10 正弦波波形测试

表 1 正弦波参数数据记录表

序号	频率			幅值			失真
	标称 /MHz	实测 /MHz	精度/%	理论/v	测量/v	精度/%	
1	1	1.003	0.30	3.5	3.52	0.57	否
2		1.004	0.40		3.51	0.28	
3	3	2.999	0.03	3.2	3.24	1.25	否
4		3.004	0.13		3.22	0.62	
5	5	4.995	0.10	2.7	2.72	0.74	否
6		5.010	0.20		2.74	1.48	
7	7	7.022	0.31	2.4	2.40	0.00	否
8		7.013	0.18		2.38	0.83	
9	10	10.02	0.20	2.2	2.23	1.36	否
10		9.980	0.20		2.24	1.81	

对记录的 10 组正弦波数据进行计算得频率、幅度精度平均值。计算结果表明：正弦波的频率精度达到 0.20%，幅度平均精度达到 0.89%。在高频段由于放大器的带宽所限，幅度输出精度略有下降。

### 4.2 三角波测试

转换器将产生 10 位的线性三角波。将 Bit Mode 位置 1，AD9833 的输出口 IOUT 与 IOUTB 将提供三角波输出。

三角波参数数据记录表如表 2 所示。1MHz 三角波的测试结果如图 11 所示。

表2 三角波参数数据记录表

序号	频率			幅值			失真
	标称 /MHz	实测 /MHz	精度/%	理论/v	测量/v	精度/%	
1	1	996.0	0.40	3.3	3.28	0.61	否
2		1.002	0.20	3.3	3.31	0.30	否
3	3	3.000	0.00	1.0	1.06	6.00	否
4		3.000	0.00	1.0	1.04	4.00	否
5	5	4.996	0.08	1.3	1.27	2.31	否
6		4.996	0.08	1.3	1.28	1.54	否
7	7	6.977	0.33	1.1	1.12	1.82	否
8		7.005	0.07	1.1	1.13	2.73	否
9	10	10.04	0.40	1.0	0.98	2.20	否
10		9.998	0.02	1.0	0.98	2.00	否

对记录的 10 组三角波数据进行计算得频率、幅度精度平均值。计算结果表明：三角波的频率精度达到 0.16%，幅度精度达到 2.20%。设计的 7 阶巴特沃思低通滤波器和放大器在高频段受到带宽所限是导致误差的主要原因。

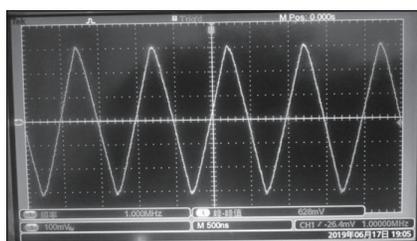


图 11 三角波波形测试

#### 4.3 方波测试

DAC 输出后经过低通滤波电路来改善波形的抖动性能，然后将平滑的正弦波施加于 AD9833 内部比较器的输入端 VIN 引脚。当控制寄存器中的 Bit OPBITEN 和 Bit SIGN/PIB 置 1 时，在 SIGN BIT OUT 引脚将输出方波信号。方波参数数据记录表如表 3 所示。1MHz 方波测试结果如图 12 所示。

表3 方波参数数据记录表

序号	频率			幅值			失真
	标称 /MHz	实测 /MHz	精度/%	理论/v	测量/v	精度/%	
1	0.5	499.9	0.02	3.2	3.16	1.25	否
2		499.8	0.04	3.2	3.18	0.62	否
3	1	1.000	0.00	3.2	3.18	0.62	否
4		1.001	0.10	3.2	3.2	0.00	否
5	2	2.030	1.50	3.2	3.20	0.00	否
6		1.973	1.35	3.2	3.18	0.62	否
7	4	3.953	1.18	3.2	3.17	0.94	否
8		4.016	0.40	3.2	3.21	0.31	是
9	5	5.000	0.00	3.2	3.17	0.94	否
10		4.999	0.02	3.2	3.18	0.62	否

对记录的 10 组方波数据进行计算得频率、幅度精度平均值。计算结果表明：方波的频率精度达到 0.48%，幅度精度达到 0.59%。

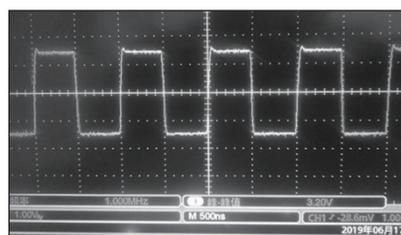


图 12 方波波形测试

## 5 结论

本文设计了基于 DDS 的 0~10MHz 多功能函数信号发生器设计，运用电子技术、单片机控制技术及 DDS 技术实现周期性函数波形的产生。利用按键与液晶屏构成良好的人机交互界面，通过按键设定输出函数波形的种类、频率、幅度等参数，并通过液晶显示屏 OLED 实时显示设置的参数。通过各部分硬件电路分模块调试及软件调试，最终完成宽频函数信号发生器样机制作。基于 DDS 的 0~10MHz 多功能函数信号发生器设计实现了正弦波、三角波、方波等周期性函数波形输出功能，输出波形的频率在 0~10MHz 范围内连续可调以及幅度 0~5V 范围连续可调。本设计的创新之处在于采用 DDS 技术具有频率分辨率高、稳定度好的优势，该宽频函数信号发生器可广泛应用于现代科研、教学试验、仪表测量等领域，装置具有低功耗、低成本的特点，实现了绿色环保、低碳节能。

#### 参考文献

- [1] 梁状. 基于 DDS 的高频函数信号发生器设计与实现 [D]. 哈尔滨理工大学, 2018.
- [2] 王珊, 王利, 王国帅, 杨敏, 马振兴. 多功能函数信号发生器设计 [J]. 自动化仪表, 2017, 38(11): 99-102.
- [3] 朱兆旭. 基于 51 单片机的函数信号发生器的设计 [J]. 数字技术与应用, 2017(02):11.
- [4] 梁丽. 函数发生器的仿真设计与电路实现 [J]. 测控技术, 2019, 38(01): 93-97.
- [5] 陈孟臻, 陈莹. 基于 DDS 技术的函数信号发生器设计 [J]. 沿海企业与科技, 2018(06):18-21.
- [6] 汤衡, 何善亮, 陈杨. 一种改进超四算法的 DDS 设计 [J]. 电讯技术, 2020, 60(03):344-349.
- [7] 罗昕, 易群. 试论基于单片机的 DDS 算法的实现 [J]. 网络安全技术与应用, 2019(11):54-55.
- [8] 冯越江, 张秋实, 吕东云. 基于 DDS 微波频率源的技术特征分析 [J]. 中国新通信, 2019, 21(19): 62-63.
- [9] 李瑜庆, 田娟. 基于 DDS 的高频正弦波信号发生器设计与实现 [J]. 通化师范学院学报, 2020, 41(02): 5-8.
- [10] 项川, 王皓. 基于 DDS 技术的信号源的设计与制作研究 [J]. 自动化应用, 2017(07):37+58.

# 基于高精度光耦器件的供电电路设计

欧阳鹏, 周伟平

(湖南科技大学, 湖南湘潭, 411201)

**摘要:** 为解决高精度光耦器件正常工作时的供电电源电路问题, 本文设计出了一种以LT8471、TPS7A4700RGWT、TPS7A3301RGWR芯片为基础, 可提供多种电源输出电路。

**关键词:** DC-DC电源转换; 光耦器件; LT8471; TPS7A4700RGWT; TPS7A3301RGWR

本文将介绍一种电源模块设计, 这种电源模块可以提供多路电压输出, 并且可以稳定地输出双电压。该设计采用了 LT8471 芯片以及 TPS7A4700RGWT 芯片和 TPS7A3301RGWR 芯片, 这些芯片的特性使得设计的电源电路具有高精度、高稳定性以及高效率等优点。

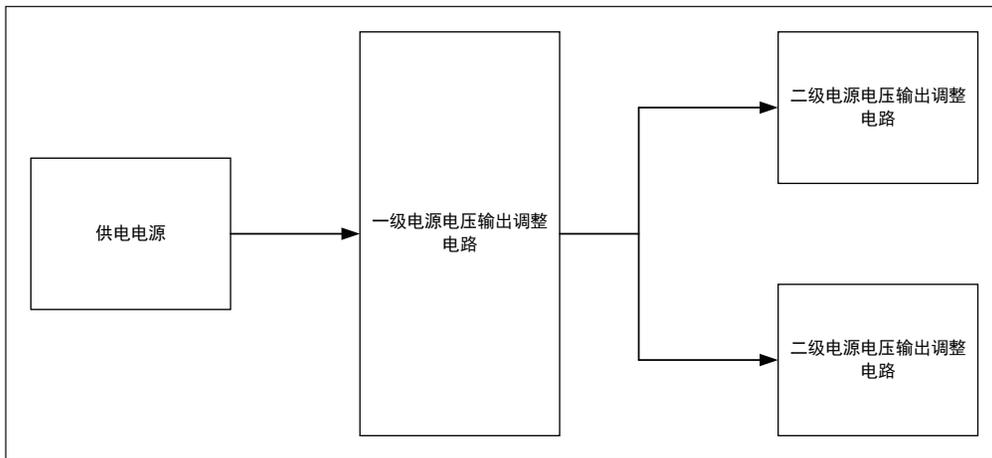


图1 硬件总体结构

## 1 总体设计

本文所设计的供电电路是一种具有高精度、低噪声的电源模块, 其总体结构主要由供电电源、一级电源电压输出调整电路和二级电源电压输出调整电路三个部分组成。首先, 供电电源是整个系统的能源供给部分, 它负责将外部输入的 12V 电压转化为供电电源, 为整个系统提供 12V 电压。供电电路输出端与一级电源电压输出调整电路的输入端相连, 为后续电压调整提供稳定的能量来源。一级电源电压输出调整电路是整个电源模块的核心部分, 它主要由降压型开关电压调节芯片和 TPS7A4700RGWT 电压转换芯片、TPS7A3301RGWR 电压转换芯片等组成。这个电路的设计目的是在一级电源电压输出调整电路的输出端稳定地输出 +5V3 和 -5V3 的电压。这一部分的设计与实现对于整个电源模块的性能起着至关重要的作用, 因为它要实现对供电电源输出的直流电进行第一次调整, 以满足高精度光耦器件对电源电压的需求。最后, 二级电源电压输出调整电路是整个系统的最终输出部分, 它的输入端与一级电源电压输出调整电路的输出端相连, 输出端则是稳定输出 +5V 和 -5V 的电压。这个电路的设计目的是通过对 +5V3 和 -5V3 的电压进行第二次调整, 以获得最终稳定的 +5V 和 -5V 的电压输出。在整体设计上, 三个组成部分之间通过电路结构的设计互相互连接, 互相影响, 共同构成了这个高精度、低噪声的电源模

块。其中一级电源电压输出调整电路可同时稳定输出 +5V3 和 -5V3 电压, 二级电源电压输出调整电路可分别稳定输出 +5V 和 -5V 电压。这种结构设计的优点在于它能够提供稳定且精确的电压输出, 从而满足高精度光耦器件对电源电路的需求。

## 2 电源模块的主要性能

电源模块使用的芯片包括 LT8471、TPS7A4700RGWT、TPS7A3301RGWR, LT8471 是一款高性能的 PWM DC/DC 转换器, 其内部包含了两个 2A、50V 开关和一个额外的 500mA 开关。每个 2A 通道可以独立地配置为降压转换器, 而且 LT8471 的输出端能够分别输出正负电压, 它是电源电路设计的理想选择之一, 可以独立给高精度光耦器件提供电能。LT8471 的使用不仅能够提高电源模块的电能转换效率, 而且还可以有效降低电源模块的设计复杂度, 同时提升电源模块的可靠性。TPS7A4700RGWT 是一种正电压超低噪声低压降线性稳压器芯片, 它能够稳定地提供正电压。这种稳压器芯片具有低噪声、低功耗、高效率等优点, 而且其输出电压稳定性非常好, 可以满足高精度光耦器件对电源电压的需求。TPS7A3301RGWR 则是一种负电压超低噪声低压降线性稳压器芯片, 它能够稳定地提供负电压。这种稳压器芯片同样具有低噪声、低功耗、高效率等优点, 而且其输出电压稳定性也非常好, 同样可以满足高精度光耦器件对电源电

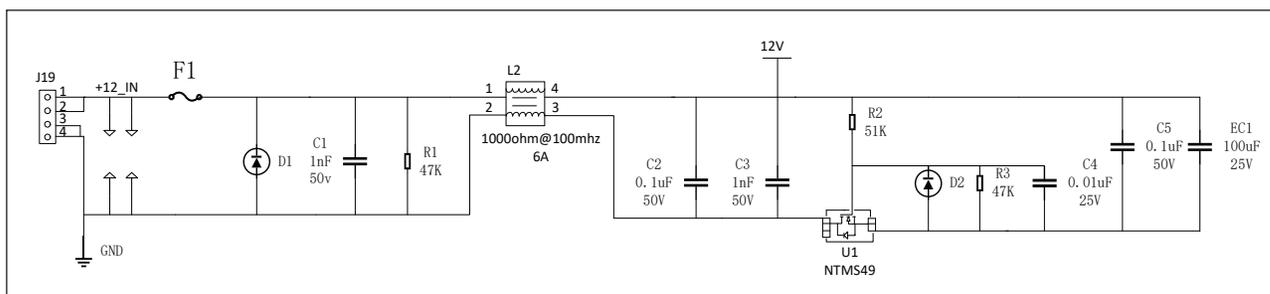


图2 供电电路

压的需求。

综上所述，本设计的电源模块所采用的这些芯片不仅具有低噪声、高效率等优点，而且还可以稳定地提供正负电压，这使得本设计的电源模块在应用上具有非常高的实用性和广泛性，它不仅可以在需要稳定电压的电子设备中，如敏感的仪器、测试和测量设备、音频和射频应用等场合中，而且还特别适用于高精度光耦器件的供电电路中，具有很高的实用价值和应用前景。

### 3 电路设计

#### ■ 3.1 供电电路设计

供电电源的主要作用是提供稳定的 12V 电源，将外部 12V 输入电压转化为稳定的直流电压，该电路主要由滤波电容、滤波电感、电阻、增强型 MOS 管、稳压管构成，可以有效滤除杂波，适用于各类电路，图 2 中 J19 为排针，该器件的作用是连接外部输入电压，是整个电路电压的来源。F1 为保险丝，防止外部电压输入过大破坏整体电路功能。D1 为稳压管，具有稳压的作用，便于后续对输入电压的处理。U1 器件为增加型 MOS 管，该器件具有整流的作用，可以使输出电压更加稳定。L2 为共模滤波电感，适合于开关电源，具有良好的滤波作用。

为了使电源正常工作，需要注意以下要点：首先，要确保输入电压在规定范围内，以保证电路的安全性和稳定性；其次，要选择合适的滤波元件参数，以实现最佳的滤波效果；最后，要注意保护电路元件的额定值和负载情况，以保证电路的安全性和稳定性。整体电路设计如图 2 所示。在实际应用中，该电路具有很强的实用性。经过实际测试发现，该电路抗干扰性较强，可以稳定提供 12V 的输出电压。此外，该电路还具有结构简单、易于制造和调试的优点。因此，本电路设计可以在各种需要提供稳定直流电压的电子设备中得到广泛应用。总之，本供电电源电路具有良好的稳压性能和滤波性能，能够提供稳定的 12V 输出电压，适用于各种需要直流电源的电子设备中。在实际应用中，为了保证电路的安全性和稳定性，需要注意输入电压的范围和滤波元件的

参数选择等问题。同时，本电路设计具有较强的实用性和广泛的应用前景，值得在电子设备领域中推广和应用。

#### ■ 3.2 一级电源电压输出调整电路设计

一级电源电压输出调整电路主要由 LT8471 芯片、滤波电容网络等构成，供电电路的输出端与该电路的输入端相连，如图 3 所示，该电路有两个输入端和输出端，该芯片 C1、C2 引脚为输入引脚，旁路电容为滤波电容，输出引脚 E1 和 E2 可分别输出正负电压，通过 E1 引脚、FB1 引脚和 E2 引脚、FB2 的引脚的反馈电路，可实现升压、降压功能，本电路实现的是降压功能，通过设置反馈电阻 R1、R4、R7、R8 的电阻值，电路可完成降压功能，引脚可输出 +5V3 和 -5V3 电压，输出电压由反馈电路中的反馈电阻 R1、R4、R7、R8 计算得出，根据 LT8471 数据手册可知，反馈网络中电阻的计算公式为  $R1=R4 \cdot (V_{out}/V_{FB}-1)$ 、 $R7=R8 \cdot (V_{out}/V_{FB}-1)$ ， $V_{out}$  为电路设定的输出值， $V_{FB}$  为反馈电压，当输出为正电压时， $V_{FB}$  的值为 0.789V，输出为负电压时， $V_{FB}$  的值为 -0.789V，根据数据参考手册提供参考电路可知，R4 和 R7 的电阻值可为 59k，经过计算可知，当 R4 和 R7 的值为 59k，输出电压为 +5V3 和 -5V3 时，R1 和 R8 的电阻值约为 340k。输出电压后续经过由滤波电容构成的滤波电路后可输出稳定的直流电压，该滤波电路由电解电容和滤波电容构成，可滤波多种频段的杂波，该电路可为二级电源电压输出调整电路提供电压。

#### ■ 3.3 二级电源电压输出调整电路设计

二级电源电压输出调整电路（见图 4、图 5）主要由 TPS7A4700RGWT、TPS7A3301RGWR 芯片、滤波电容组成，TPS7A4700RGWT 芯片的作用是正电压超低噪声低压降线性稳压器，其中，TPS7A4700RGWT 主要采用双极型技术，主要用于高准确度、高精度仪器仪表应用。配置该芯片输出电压时，用户可通过芯片引脚或使用外部反馈电阻器调节。在此类应用中，规整的电压轨对于系统性能的最大化至关重要。这种设计使其成为光耦器件供电的首选器件之一。TPS7A3301RGWR 芯片的作用是负电压超低噪声线性稳压器，性能与上述芯片功能类似。由数据手册可知，在负

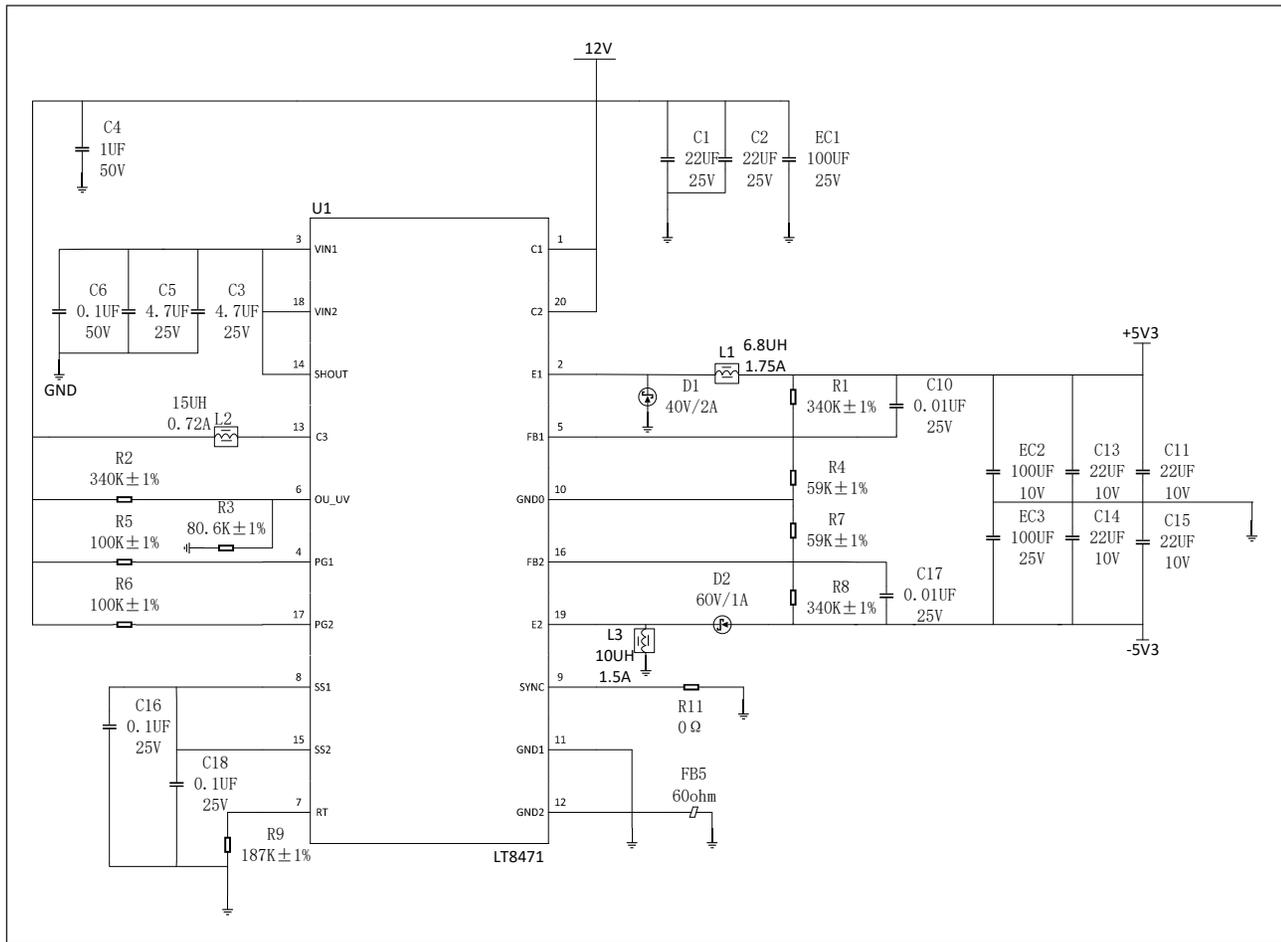


图3 一级电源电压输出调整电路

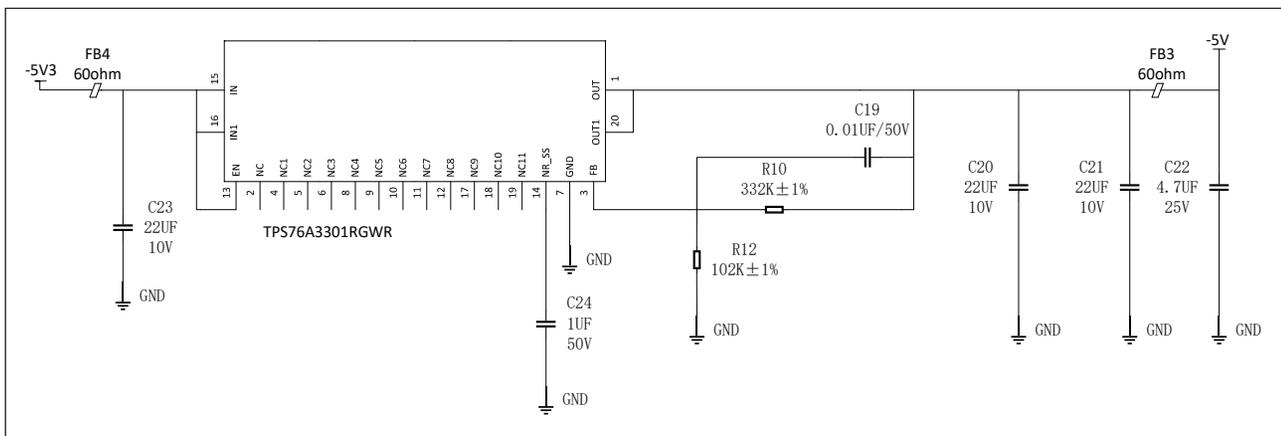


图4 二级电源电压输出调整电路

电压输出电路中，当 R10 电阻值设为 332k，R12 电阻值设为 102k 时，可保证输出电压为稳定的 -5V 直流电源。在正电压输出电路中，TPS7A4700RGWT 芯片中的第 6 引脚和第 10 引脚接地时，则可以稳定输出的 +5V 电压。

#### 4 电路仿真结果

通过使用 Pspice 软件对二级电源电压输出调整电路进

行模拟仿真，我们发现该电路设计具有高精度和高稳定性的特点，能够同时输出 +5V 和 -5V 的电压。这一特性在电源电路中非常重要，因为同时提供正负电压是许多应用场景的关键需求。在仿真过程中，我们观察到二级电源电压输出调整电路的输出电压表现出了很强的稳定性。即使在输入电压波动等条件下，其输出电压仍然保持在预定范围内，没有出现大的偏差。这一结果表明该电路设计具有良好的稳定性和

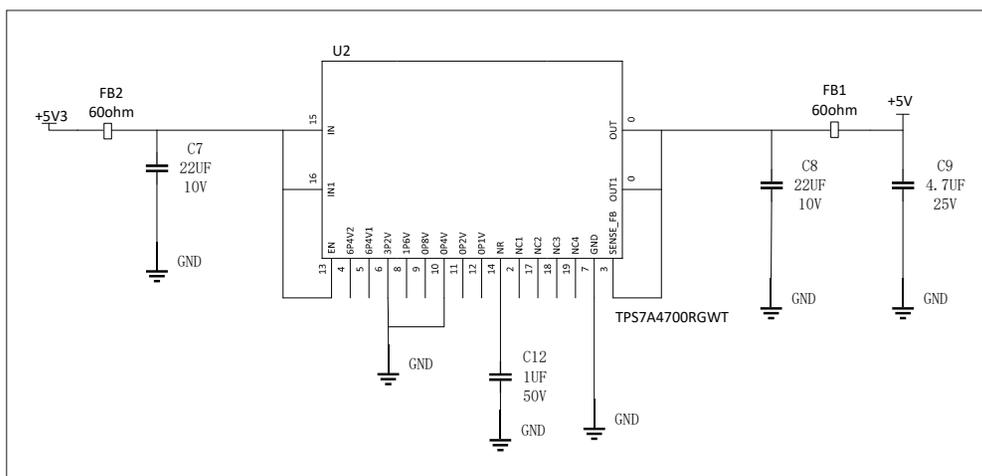


图5 二级电源电压输出调整电路

可靠性。为了进一步验证实际应用效果，我们对二级电源电压输出调整电路进行了实际测量。通过分析和评估这些实际测量数据，我们得出结论：该电路设计和实现不仅满足了基本的功能需求，而且在实际应用中能提供稳定可靠的电源输出，具有一定的实用性。总之，二级电源电压输出调整电路的设计和实现具有良好的性能和稳定性，能够满足同时提供正负电压的基本需求。在实际应用中表现出了一定的实用性。因此，该电路设计和实现方法可以应用于需要稳定电源输出的电子设备中。

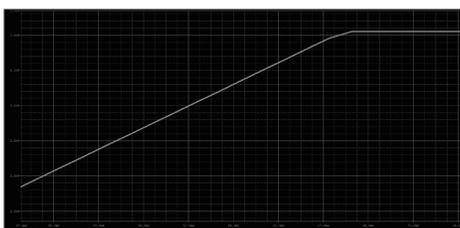


图6 二级电源电压输出调整 +5V 电路输出仿真结果

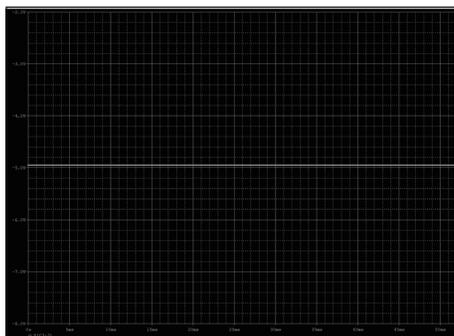


图7 二级电源电压输出调整 -5V 电路输出仿真结果

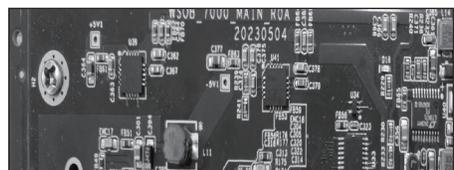


图8 电路实物图

## 5 电路测试

在整个电路打样完成后，应先检查电路模块是否存在缺陷，包括元器件短路、虚焊等情况，观察芯片是否存在焊错和焊反位置的情况，接入12V电源电压后，使用万用表分别测量一级电源电压输出调整电路的输出端是否输出正常，再测量二级电

源电压输出调整电路的输出端是否输出正常，最后观察该电路是否可以长时间稳定工作。

## 6 结语

本文介绍了一种基于高精度光耦器件的电源电路设计，其目的在于提供一种能为高精度光耦器件提供高精度的电源输出的方法，通过设置互相配合的供电电源、一级电源电压输出调整电路、二级电源电压调整电路，该电路能够有效提高电源转换效率，提高了电压输出的精度，一级电源电压输出调整电路可同时输出+5.3V和-5.3V的电压，二级电源电压调整电路可同步稳定输出+5V和-5V的电压，解决了光耦器件受到供电电源输出噪声影响的问题，该电源电路具有很强的实用性。对于现代电子设备而言，电源电路的设计是至关重要的。尤其对于那些需要高精度光耦器件的应用，一个稳定、高效的电源电路是必不可少的。本文详述的设计，不仅考虑了电源的精度和效率，还着重解决了光耦器件可能受到供电电源输出噪声影响的问题。总的来说，本文所介绍的高精度光耦器件的电源电路设计，不仅解决了供电电源噪声对光耦器件的影响，而且优化了电源的工作效率和稳定性。其简洁、实用、高效的设计理念，值得在现代电子设备中广泛应用和推广。

### 参考文献

- \* [1] 王立刚, 张殿元. 低噪声光电检测电路的研究与设计[J]. 电测与仪表, 2007(08):63-66.
- \* [2] 周任晖. 直流高压电源保护电路设计[D]. 沈阳师范大学, 2023.
- \* [3] 刘艳, 张其林, 李祥超. 基于电子电路仿真软件(PSPICE)的MOV全电流仿真模型的建立[J]. 科学技术与工程, 2014,14(02):112-115.

# 一种大功率内燃机车牵引变流器设计

张涛, 柴媛, 李锦

(中车永济电机有限公司, 陕西西安, 710016)

**摘要:** 本文以某大功率内燃机车牵引变流器为例, 对牵引系统主电路拓扑结构进行了分析, 并对系统功能及关键部件的选型计算方法进行了介绍, 并在Matlab软件中搭建了牵引系统电气模型, 对其进行了系统仿真, 最后对牵引变流器样机的试验情况进行了说明, 从电气仿真和试验两方面验证了内燃机车牵引系统设计方法的合理性和可靠性。

**关键词:** 内燃机车; 牵引系统; 参数设计; 仿真分析; 试验验证

## 0 引言

大功率内燃机车作为铁路运输的重要组成部分, 在铁路货运和客运中扮演着重要角色。牵引变流器作为内燃机车的核心部件之一, 在提高机车牵引力和控制能力方面起着关键作用, 其主要功能是将内燃机产生的功率通过电机转换为牵引力, 以驱动车辆进行货运运输。

本文介绍了一种具备起车和移车功能的牵引变流器

的电路拓扑, 该系统集成度高, 功率密度大, 智能, 互联, 绿色, 环保。本文分别介绍了系统及子部件的电气功能、理论计算、选型方法, 并通过仿真和试验验证了设计思路和合理性、可行性。

## 1 系统概述

本文以某交流传动货运内燃机车为例, 整车包含前后两架, 两架共用一台牵引变流器, 每台牵引变流器包含不控整流单元、牵引逆变单元等, 主电路拓扑示意图如图 1。

主电路采用两路独立中间直流母线设计, 每路包括不控整流, 逆变和斩波电路。内部器件主要包含 2 组三相不控整流器、2 组牵引逆变器、2 组三相交流接触器、1 组起机转换开关、1 组蓄电池移车转换开关、2 组接地检测单元和 1 台控制单元等组成。

## 2 工作原理

牵引系统三相不控整流器将 AC 600V~2066V 电压转换成 DC850V~2650V 的中间直流回路电压, 供牵引、辅助系统使用。牵引逆变器将 DC850V~2650V 中间直流电压转换成 AC0~2066V 交流电供给 6 台牵引电机使用。

起车时, 蓄电池 110V 通过转换开关 DCL, 进到中间直

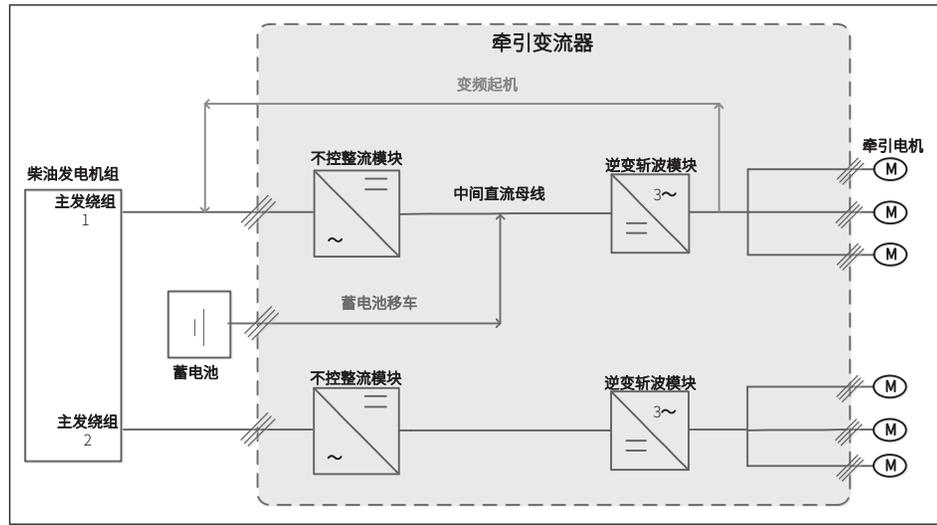


图1 牵引变流器主电路拓扑示意图

流母线, 启动牵引逆变相模块, 将蓄电池电压逆变为交流电后, 转换开关 CTS 与牵引电机断开, 与主发连接打开, 同时输入三极接触器断开, 将三相交流电返回到主发三相定子绕组里, 同时主发励磁绕组通过励磁控制器给电, 主发工作在同步电动机模式, 转子转动带动柴油机启动; 当柴油启动后, 主发工作在发电机模式, 将 DCL 打到空挡, 断开蓄电池供电, 闭合三极输入接触器, CTS 去主发的开关断开, 去牵引电机的开关闭合, 整车开始正常牵引。

移车时, DC110V 通过转换开关 DCL, 进到中间直流母线, 启动牵引逆变相模块, 将 110V 逆变为三相交流电后, CTS 与牵引电机开关闭合, 与主发连接的开关断开, 驱动牵引电机低速转动, 整车开始移动。

牵引变流器主电路原图见图 2。

### 2.1 主要技术参数

整车电传动系统参数如表 1 所示, 牵引变流器技术参数如表 2 所示。

### 2.2 主要技术特点

牵引变流器包含 2 架电路拓扑结构, 采用架控方式进行主电路设计, 每台牵引逆变器驱动一架 3 台牵引电机, 该架控方式应用成熟, 控制成熟, 可靠性高。

不控整流输出增加直流电抗器, 与直流母线支撑电容一

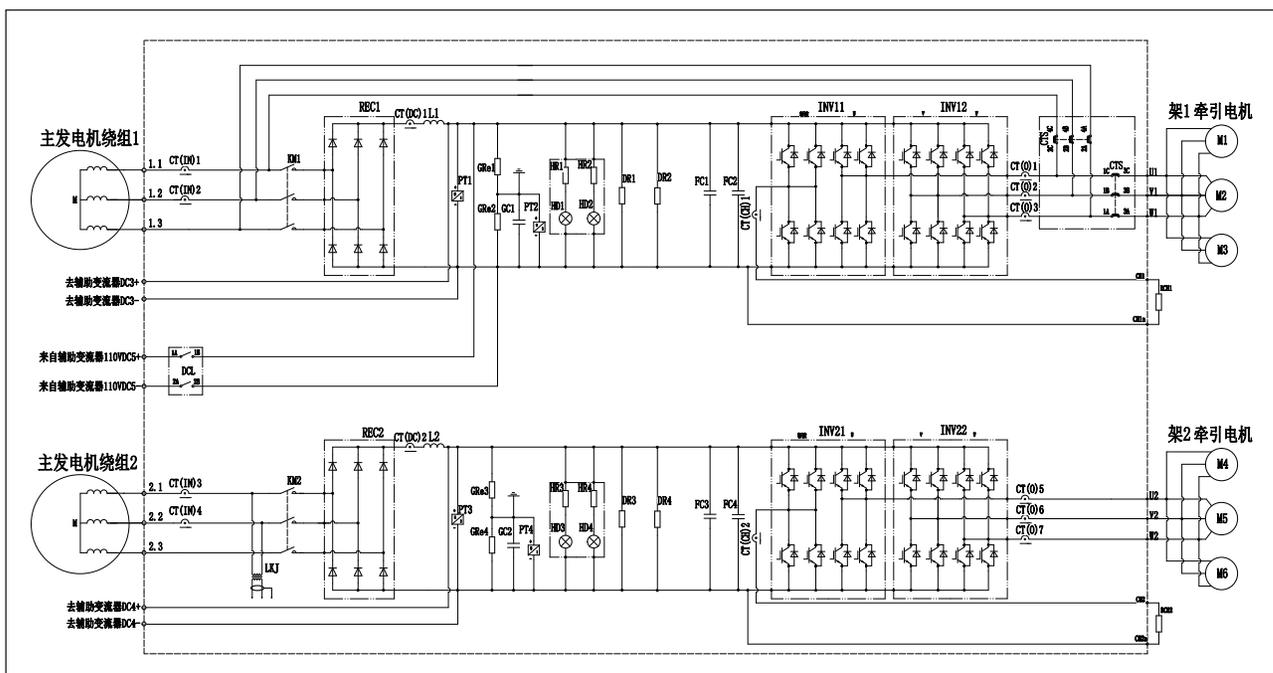


图2 牵引变流器主电路原理图

起构成 LC 滤波器，改善主电路谐波情况，提升中间直流母线品质。

牵引系统具备蓄电池移车及起车功能，可减少柴油机起机硬件装置如起动电机等的应用，降低变流器成本，提升系统可靠性。

表1 整车电传动系统参数

整车参数		电传动参数	
类型	内燃机车	传动方式	AC-DC-AC
用途	货运	轮周牵引功率	2800kW
轴式	C0-C0	辅助功率	450kW
最大牵引力	570kN	持续牵引力	540kN
最高速度	120km/h	持续速度	18km/h
主发电机技术参数			
发电机输出额定电压	AC 2066V	发电机输出电压范围	AC 600~2066V
发电机额定容量	3580kVA (双路输出)	发电机额定频率	83.3Hz
额定输出电流	984A	发电机输出频率范围	33.3~83.3Hz
额定励磁电压	DC 152V	额定励磁电流	DC 102A
起动交流侧输入电流	AC 600A	起动达到最高转速	120r/min
起动励磁电压	DC 96V	起动励磁电流	≤DC 200A
功率因数	0.95	额定转速	1000r/min
励磁方式	他励、有刷	极数	10 极
效率	96%	绝缘等级	H

### 2.3 牵引变流器控制和保护功能

牵引变流器的控制功能主要包括：机车牵引特性控制；机车动力制动特性控制；蓄电池 110V 起车制动控制；蓄电池 110V 移车控制功能；主发电机励磁控制功能；中间电路过压抑制控制；机车自负荷试验控制功能；在线监测和调试功能。

牵引变流器具备完善的保护动作，主要包括以下保护功能：中间直流环节放电保护；接地保护；直流回路过压保护；牵引逆变器输出过流保护；牵引逆变器输出缺相保护；冷却系统水温水压异常保护；斩波回路过流保护；空转 / 滑行保护；超速保护；检修时的安全联锁保护等。

表2 牵引变流器技术参数

牵引不控整流技术参数			
电路形式	三相桥式不控整流电路	冷却方式	水冷
额定输入电压	AC 2066V/3p	额定输出电压	DC 2650V
额定输入电压范围	AC 600~2066V/3p	输出电压范围	DC 850~2650V
额定输入电流	AC 492A/3p (单路)	额定输出电流	DC 635A
最大输入电流	AC 545A/3p (单路)	最大输出电流	DC 692A
输入频率	33.3~83.3Hz	开关器件	6500V/1000A 二极管
效率	≥99.5%	开关数量	6个 (每个内部双管并联)
牵引逆变器技术参数			
电路形式	逆变相电路	冷却方式	水冷
额定输入电压	DC 2650V	额定输出电压	AC 1040V/3p
额定输出功率	1400kW	输出电压范围	AC 0V~2066V/3p
牵引逆变器效率	≥98%	额定输出电流	AC 1020A
开关器件	4500V/1500A IGBT (双管并联)	最大输出电流	AC 1050A
冷却方式	水冷	开关频率	≤350Hz

### 2.4 主电路参数计算

根据整车功率需求，对牵引主电路参数进行计算，作为器件选型的依据。

#### (1) 牵引不控整流器计算

根据主发参数额定输入电压 AC600V~2066V，额

定输入电流  $984/2=492\text{A}$ ，额定频率  $83.3\text{Hz}$ ，发电机额定功率  $3400\text{kW}$ （双路输出）。额定输出电压为  $2650\text{VDC}$ ，考虑不控整流效率为  $0.99$ ，额定输出电流  $3400/2 \times 0.99/2650=635\text{A}$ 。

根据轮周功率反推至输入端，计算最大输入电流  $1833 \times 1000/0.99/2066/1.732/0.95=545\text{A}$ ，最大输出电流  $1833 \times 1000/2650=692\text{A}$ 。

(2) 中间直流母线计算

中间母线功率是牵引逆变功率与辅助功率之和：

$$P_{\text{bus}} = \frac{P_{\text{out\_inverter}}}{\eta_{\text{inverter}}} + \frac{P_{\text{out\_aux}}}{\eta_{\text{aux}}} \quad \text{式 (1)}$$

其中：逆变器效率  $\eta_{\text{inverter}} = 0.985$ ； $P_{\text{out\_aux}} = 200\text{kW}$ ； $\eta_{\text{aux}} = 0.9$ 。计算得到中间母线功率  $1833\text{kW}$ 。

(3) 牵引逆变器计算

根据机车调速的需求，逆变器通过脉冲宽度控制，将中间直流电压变换为所需要的频率和幅值的三相交流电压供给交流牵引电机，通过能量转换驱动列车。

逆变器输出侧通常涉及两路电流传感器，用于进行输入电流的测量及实现输出过流、短路等保护的功能。

逆变器持续工作电流通过轴功率进行计算：

$$P_{\text{out\_inverter}} = \frac{P_{\text{axle\_power}}}{\eta_{\text{motor}} * \eta_{\text{gearbox}}} \quad \text{式 (2)}$$

$$I_0 = \frac{P_{\text{motor}}}{\eta_{\text{motor}} * \sqrt{3} * U_{\text{ab}} * \cos\theta} \quad \text{式 (3)}$$

其中：轴功率  $P_{\text{axle\_power}} = 1400\text{kW}$ ；电机的效率  $\eta_{\text{motor}} = 0.9$ ；齿轮箱效率  $\eta_{\text{gearbox}} = 0.98$ 。计算得到逆变器输出额定功率： $1587\text{kW}$ 。

$$I_{\text{out\_inverter}} = \frac{P_{\text{out\_inverter}}}{U_{\text{inverter\_out}} * \cos\phi} \quad \text{式 (4)}$$

其中： $\cos\phi = 0.918$ ； $U_{\text{inverter\_out}} = \sqrt{3} \times 1040 = 1801.28\text{V}$ 。

计算得到逆变器输出电流  $960\text{A}$ 。

电机启动时，最大电流为  $350\text{A}$ ，逆变器输出最大电流为  $3 \times 350=1050\text{A}$ 。

■ 2.5 主电路器件选型

主电路器件选型如表 3 所示。

表3 主电路器件选型明细

序号	名称	数量(台/套)	参数
1	不控整流二极管	12	6500V/1000A
2	逆变+斩波IGBT	32	4500V/1500A
3	中间直流支撑电容	4	2x3000V/365A/2.6mF
4	控制单元	1	7U机箱
5	复合母排	1	DC3600V
6	水冷管路	1	200L/min
7	电连接器	2	550A/3600V
8	信号变压器	1	2066V/40V
9	三相交流输入接触器	2	4000V/4000A
10	转换开关DCL	1	2650VDC/400A
11	转换开关CTS	1	2650VDC/1020A
12	直流电抗器	2	YL.DDF-1000/0.1
13	整流输入电流传感器	4	1300A
14	整流输出电流传感器	2	
15	斩波电流传感器	2	
16	三相输出电流传感器	6	4000V
17	中间直流电压传感器	2	
18	接地电压传感器	2	
19	慢放电阻	4	单架2x35k/600W并联
20	接地电阻	4	单架100k/300W串联
21	接地电容	2	0.1μF/4000V/30A
22	高压检测板	2	额定电压4000V
23	冷却压力传感器	2	温度范围-40°C~150°C
24	冷却温度传感器	2	压力范围0bar~6bar
25	柜内温度传感器	1	100Ω/B级精度/IP68

于柜体中间部分，便于检修维护；低压器件位于柜体右上区域，接近于主机厂低压接口位置，方便接线。

变流器从警示标识、高压检测、吊挂设计、柜体安全等方面进行人员防护，确保操作人员安全；柜体及部件非金属材料选用、器件优化、防火探测等方法进行防火设计，保证变流柜防火设计安全；变流柜内部所有器件均可打开门后进行状态测试，方便技术人员故障排查，提高故障分析效率，缩短故障修复时间。变流器结构的总体布局如图 3 所示。

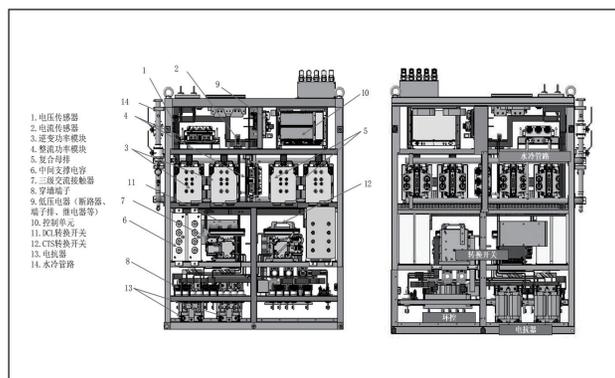


图3 牵引变流器结构布局图

3 结构设计

牵引变流器位于车体内部，根据整车结构特点，将功能独立、结构维护不便的部件进行模块化单元设计。柜体整体布局采用高压，中压和低压分区布局方式实现。高压接口分布在柜体前部下方区域，便于接线；重量较大的电器器件位

4 仿真分析

根据牵引系统主电路拓扑结构，通过对主电路参数计算、仿真，对牵引充电机系统各种额定运行工况进行仿真分析，保证设计合理性。主电路不控整流、中间直流母线、逆变单元仿真波形如图 4~8 所示，仿真结果如表 4 所示。

表4 牵引逆变器额定仿真结果

序号	参数/部件	理论值	仿真结果	结论
1	牵引不控整流输入电压	2000V	1980V	不控整流输入电压仿真结果,满足主发电机额定工况电压要求,满足系统输入性能需求。
2	牵引不控整流输入电流	545A	553A	不控整流输入电流仿真结果,满足主发电机额定工况电流要求,满足系统输入性能需求。
3	牵引直流母线电压	2650 VDC	2725V, 2598V (峰-峰值)	母线电压峰-峰值127V,电压纹波±2.4%,符合变流柜直流电压纹波≤±5%的指标,满足系统设计要。
4	牵引逆变器输出电压(额定)	1040VAC	1076VAC	逆变器输出电压仿真结果,满足牵引电机额定工况电压要求,满足系统输出性能需求。
5	牵引逆变器输出电流	960A	951A	逆变器输出电流仿真结果,满足牵引电机额定工况要求。

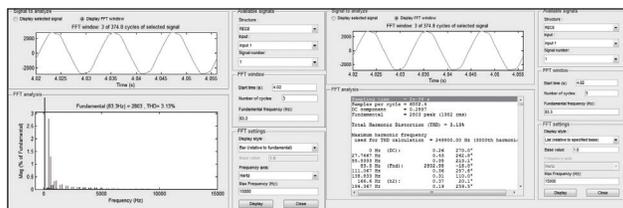


图4 牵引不控整流输入电压仿真波形

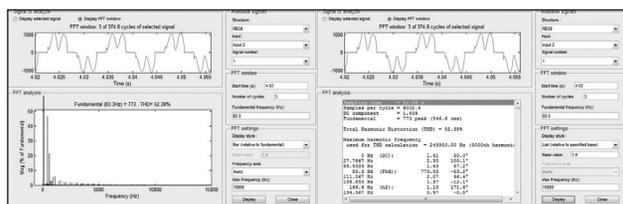


图5 牵引不控整流输入电流仿真波形

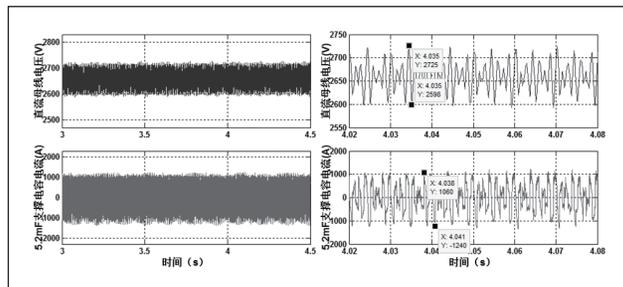


图6 中间直流母线电压仿真波形

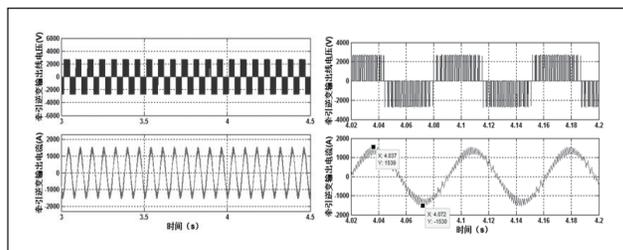


图7 牵引逆变器输出电压仿真波形

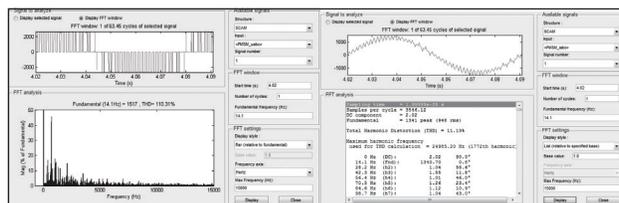


图8 牵引逆变器输出电流仿真波形

## 5 试验验证

为验证大功率内燃机车牵引系统理论设计、仿真计算结果的准确性,按照机车实际配置及运行要求,搭建全尺寸地面模拟试验台,对牵引系统进行试验验证。

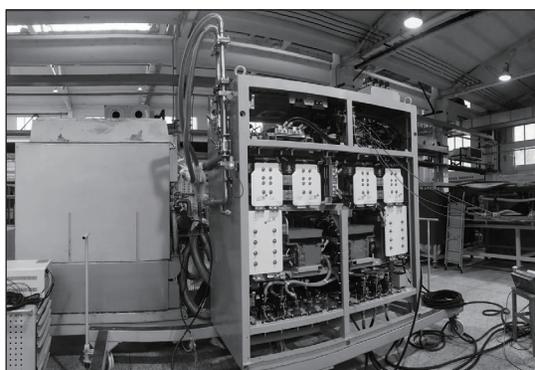


图9 试验台位搭建

如图9所示,按照国家标准及铁路标准对该牵引变流器样机进行了相关试验,通过对系统输出电压、电流等参数的检测,验证了牵引系统具有良好的电气性能,可以满足针对牵引系统供电的功能需求。

## 6 结语

本文介绍了一种大功率内燃机车牵引变流器的设计方法,通过对主电路工作原理和功能分析,结合整车对牵引系统的性能需求,介绍了牵引系统主电路计算及部件选型方法。通过电气仿真和试验验证,该牵引系统具有主电路拓扑成熟、可靠性高等特性,各项性能指标均能满足整车技术需求。目前该型牵引变流器已完成各项试验验证,将推动中国货运干线内燃机车发展达到新的高度。

## 参考文献

- \* [1] 王强. 大功率交流传动内燃机车产品技术平台的建立[J]. 铁道机车车辆, 2011(2): 11-15.
- \* [2] 曲天威,傅廉胜,刘景来,王明岩,董飞,刘宁,臧玉军,孟浩,韩亮,杜静远,刘颖. 大功率交流传动内燃调车机车研发与应用[Z], 中国北车集团大连机车车辆有限公司, 2015.
- \* [3] 高健, 中等功率 4400 马力交流传动内燃机车研究[J]. 科技视界, 2013:34,54.

# 基于幅值跟踪法的自动增益控制系统设计

武永华, 董建怀

(福建江夏学院 电子信息科学学院, 福建福州, 350108)

**基金项目:** 福建省自然科学基金项目 (2021J011221, 2023J011100)。

**摘要:** 为了实现信号幅值的自适应调整, 设计了一种基于幅值跟踪法的信号自动增益控制系统, 该系统主要由单片机、增益可控放大器、幅值跟踪电路、按键和LCD等组成。通过实时比较幅值跟踪电路获取的实际幅值和按键设置的期望幅值, 系统利用算法动态地调整放大器中反馈电阻的大小, 使输出信号幅值始终与期望幅值一致。实验结果表明该系统能实现放大器增益的自动控制, 输出幅值误差小于1.5%, 响应时间小于0.1秒, 可应用于相关的信号处理领域中。

**关键词:** 增益可控放大器; 自动增益控制; 幅值跟踪; 数字电位器

在通信等系统中, 由于通信环境或元器件参数等原因, 前级输入信号的幅度可能大小不一、变化范围大。如果本级放大器采用固定增益, 则当输入信号大时会造成后级信道饱和或阻塞, 甚至损坏设备, 如果输入信号小时则有可能导致信号的丢失<sup>[1]</sup>。为了保证信号的有效传输和利用, 需要一种能实时地根据输入信号大小自动地调整放大器增益从而使信号幅值保持稳定的电子系统<sup>[2]</sup>。这种电子系统除了应用于通信系统外, 在测量、自动化等领域也有着广泛的应用<sup>[3-5]</sup>。目前, 实现信号自动增益控制主要有两种方法, 一种是利用电子元器件的非线性特性设计的自动增益控制电路, 另一种是采用软硬件相结合方法设计的自动增益控制系统。自动增益控制电路虽然成本较低, 但其输出信号的幅值一般是固定的、无法改变<sup>[6-8]</sup>, 现有的自动增益控制系统大多存在成本高、控制精度低等问题<sup>[9]</sup>, 基于此, 本文设计一种基于幅值跟踪电路的实用的自动增益控制系统。

## 1 系统总体设计

系统的结构框图如图1所示, 其主要由单片机、增益可控放大器、幅值跟踪电路、按键和LCD组成。增益可控放大器是一个由运放和反馈电阻等构成的放大电路, 其中的反馈电阻由阻值受单片机控制的数字电位器承担。幅值跟踪电路负责将放大后信号的幅值转换成电平信号, 单片机通过对该电平信号进行A/D转换即可获得放大后信号的幅值。输出信号的期望幅值可通过按键设置或更改, LCD用来实时显示当前信号幅度的设置值和实际值。

工作中, 系统将实际幅值与预置幅值实时地相比较, 若实际幅值大于预置幅值则单片机发出相应的控制信号来减少放大器中反馈电阻的阻值即减少增益, 反

之单片机则使反馈电阻增大即增大增益, 从而实现放大器增益的自动控制。由于系统对放大器增益的控制是闭环的, 所以在输入信号幅度发生变化时能确保输出信号的实际幅值与预置幅值相等。

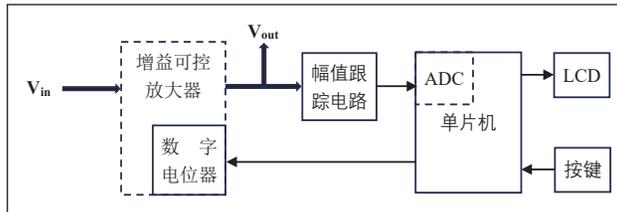


图1 自动增益控制系统结构图

## 2 硬件设计

### 2.1 增益可控放大器

增益可控放大器的电原理图如图2所示, 它由两级放大电路和一个电压跟随器组成。第一级是由增益带宽积 (GBW) 为10MHz的运放NE5532 (U1A) 和数字电位器X9C103<sup>[10]</sup> (U2) 构成的增益可控的反相放大电路, 第二级是由U1B和R2、R3构成的放大倍数为1的反相放大电路, 后者的作用是确保输出信号与输入信号相位相同。由U3A构成的电压跟随器主要是用来隔离后续的负载及幅值跟踪电路对放大器的影响。

第一级放大电路中的反馈电阻 $R_f$ 由X9C103的 $V_L$ 和

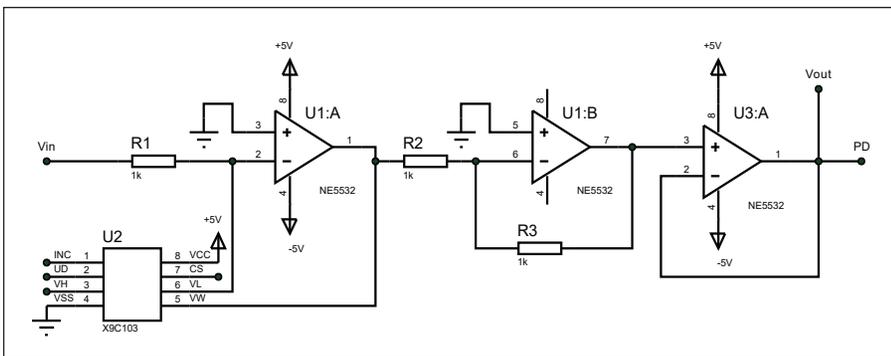


图2 可变增益放大器电原理图

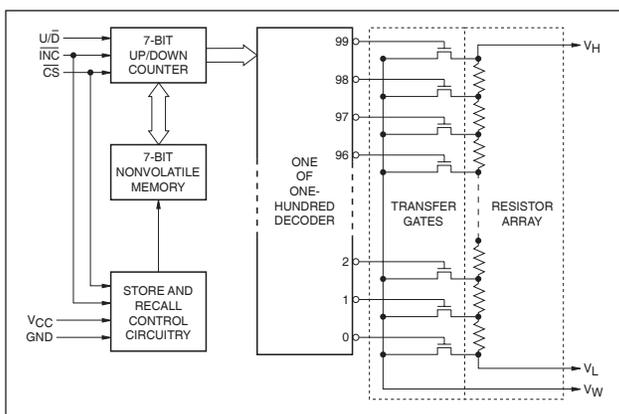


图3 X9C103 内部结构图

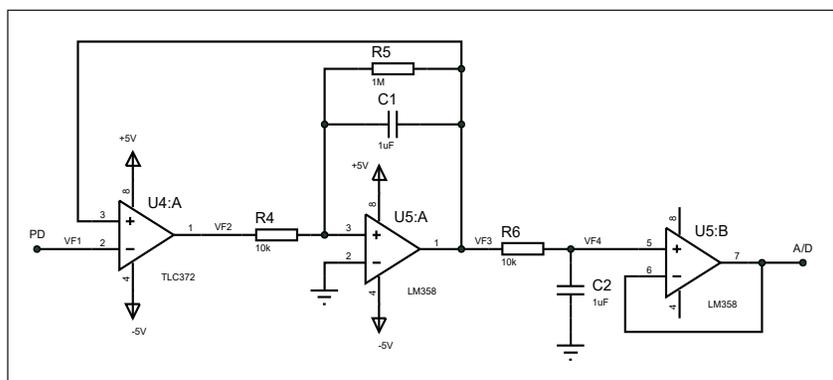


图4 幅值跟踪电路原理图

$V_w$  引脚间所呈现的电阻实现。数字电位器的内部结构图如图3所示， $V_L$  和  $V_H$  引脚间的阻值为 10 k，它是由 99 个阻值相同（约 101）的电阻串联而成的。 $V_w$  相当于电位器的滑动端，引脚  $V_w$  与  $V_L$  间所呈现的电阻大小是由引脚  $U/\bar{D}$ 、 $\overline{INC}$  和  $\overline{CS}$  的电平决定的，X9C103 具体的工作模式选择如表 1 所示。

反相放大器的增益为  $A_v = -\frac{R_f}{R_i}$ 。由于  $R_1$  固定，所以通过编程改变反馈电阻  $R_f$  的阻值（X9C103 引脚  $V_L$  和  $V_w$  间电阻的阻值），即可改变放大器的增益  $A_v$ 。明显地，当  $R_f$  为 10 k 时，放大器的增益为 10 即 20dB，当  $R_f$  为 101 时，放大器的增益约为 0.1 即 -20dB。

电压跟随器的输出分两路，一路是系统的输出信号  $V_{out}$ ，另一路输入到幅值跟踪电路。

表1 X9C103工作模式选择

$\overline{CS}$	$\overline{INC}$	$U/\bar{D}$	模式
低电平	下降沿	高电平	向上滑动
低电平	下降沿	低电平	向下滑动
上升沿	高电平	高或低电平	存储滑动端位置
高电平	高或低电平	高或低电平	维持电流

上升沿	低电平	高或低电平	不存储, 返回等待
-----	-----	-------	-----------

## 2.2 幅值跟踪电路

幅值跟踪电路的作用是将输入信号的幅值实时地以电平大小的形式反映出来，这样，单片机只要检测该电平的大小就可获取当前输入信号的幅值。幅值跟踪电路原理图如图4所示，该电路由漏极开路比较器 TLC372、积分电路、无源低通滤波器以及电压跟随器等构成，其中积分电路由运放 LM358、 $R_4$ 、 $C_1$  和  $R_5$  组成；无源低通滤波器由  $R_6$ 、 $C_2$  构成，截止频率为  $f = \frac{1}{2\pi R_6 C_2} = 15.92\text{Hz}$ ，其用来滤除积分

器输出信号中的开关噪声和纹波。低通滤波器输出的信号经由 LM358 构成的电压跟随器隔离后输入到单片机内的 A/D 转换器进行模数转换。

图 5、图 6 是输入信号频率为 10kHz、幅值为 3.5V 时的幅值跟踪电路不同时段的工作时序图。从图 5 可以看出，当  $V_{F1}$  大于  $V_{F3}$  时， $V_{F2}$  为 -5V，此时电容  $C_1$  通过  $R_4$  充电， $V_{F3}$  的电位升高；当  $V_{F1}$  小于  $V_{F3}$  时，由于 TLC372 的输出级（漏级）是开路的且

LM358 输入阻抗很大，所以电容  $C_1$  只能通过  $R_5$  放电，由于  $R_5$  的阻值较大，所以  $R_5$  放电缓慢，此时  $V_{F3}$  的电位基本保持不变。这样，经过多个信号周期后  $V_{F3}$  的电平就接近输入信号的幅值。从图 5 还可以看出，当  $V_{F3}$  越接近输入信号幅值时， $V_{F2}$  为 -5V 的时间就越短，即电容  $C_1$  充电的时间就越短。

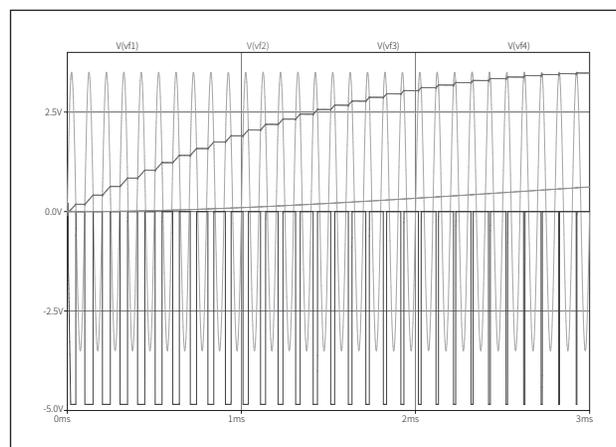


图5 0ms~3ms 间工作时序图

从图 6 可以看出，经过一段时间后  $V_{F3}$  和  $V_{F4}$  都等于  $V_{F1}$ ，即峰值检测电路的输出电平等于当前输入信号的幅值。另外，此时  $V_{F2}$  为 -5V 的时间相当短，这段短时间的充电

是为了弥补电容放电所造成的电平降低，使峰值电路输出的电平动态地与当前信号的幅值保持相等。

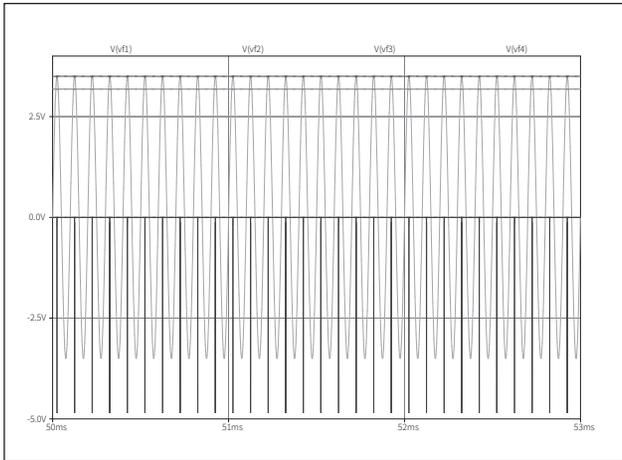


图6 50ms~53ms间工作时序图

需要提出的是，图5是幅值跟踪电路刚启动（即输入幅值从0跳变到3.5V）时的工作情况，由于实际输入信号幅值一般不会发生大的跳变，所以该电路能在较短的时间内使输出的电平等于输入信号的幅值。同理，当输入信号的幅值降低时，电容C1通过R5放电，使输出的电平接近于信号幅值。

### 3 软件设计

设计中，单片机采用片内含有10位ADC的ATMEGA16单片机，系统控制流程图如图7所示。数字电位器X9C103刚上电时 $V_w$ 与 $V_L$ 间的电阻为0，为了使初始时其滑动端 $V_w$ 尽快达到指定位置，初始化时将其置于中间位置。程序中，预置幅值 $V_{pre}$ 是通过调用按键子程序实现的，当前输出信号幅值 $V_{out}$ 是通过幅值跟踪电路的输出电平进行A/D转换得到的，增大阻值和减小阻值分别通过调用相应的子程序实现。

由于数字电位器X9C103的输出电阻（即 $V_w$ 与 $V_L$ 间

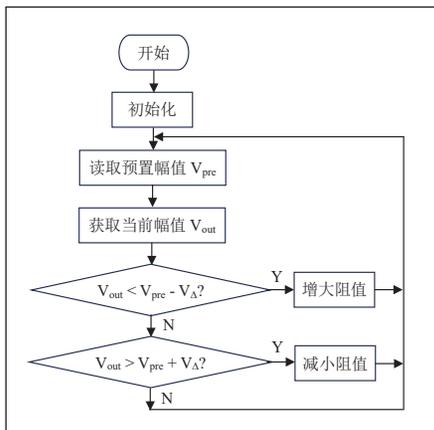


图7 系统控制流程图

电阻)是不连续的，是由99个约101电阻串联而成的，所以程序运行时滑动端 $V_w$ 可能在前后两个位置间不断跳跃。这种增益的反复跳变不仅会使输出信号不稳定，还会使输出信号中叠加上相应的高频噪声，为了解决这一问题，设计中引入一个阈值 $V_\Delta$ ，且采用如下的控制策略：当输出信号的幅值 $V_{out}$ 在 $V_{pre} - V$ 与 $V_{pre} + V$ 之间时放大器增益保持不变，从而确保输出波形的稳定。应用中可根据需要选择合适的阈值 $V_\Delta$ 。

### 4 性能测试

测试中，所用的信号发生器型号为UTG7025B，示波器型号为DSO-X-2002A。输入信号频率为1kHz和10kHz时的测试结果分别如表2、表3所示，表中响应时间指的是输入信号发生变化开始到信号输出稳定时所经过的时间，输出误差指的是实际输出幅值与预置幅值间的相对误差即 $\frac{|V_{out} - V_{pre}|}{V_{pre}} \times 100\%$ 。从这两个表可以看出，频率和幅度变化时，系统输出信号的幅值总是近似等于预置值，输出误差小于1.5%，响应时间小于0.1s，这说明系统可以根据输入信号的大小快速地自动调整放大器的增益，使输出幅值与预置幅值基本相同。

表2 信号频率为1kHz时的测试结果

预置值 $V_{pre}$ (V)	输入值 $V_{in}$ (V)	输出值 $V_{out}$ (V)	响应时间 (s)	输出误差 (%)
0.5	0.3	0.494	< 0.1	1.20
0.5	2	0.499	< 0.1	0.20
0.5	3.5	0.507	< 0.1	1.40
2.0	0.5	2.016	< 0.1	0.80
2.0	2.0	1.986	< 0.1	0.70
2.0	4.0	1.977	< 0.1	1.15
4.3	0.5	4.262	< 0.1	0.88
4.3	2.0	4.321	< 0.1	0.49
4.3	4.0	4.332	< 0.1	0.74

表3 信号频率为10kHz时的测试结果

预置值 $V_{pre}$ (V)	输入值 $V_{in}$ (V)	输出值 $V_{out}$ (V)	响应时间 (s)	输出误差 (%)
0.8	0.3	0.810	< 0.1	1.25
0.8	2	0.789	< 0.1	1.38
0.8	3.5	0.792	< 0.1	1.00
2.5	0.5	2.510	< 0.1	0.40
2.5	2.0	2.466	< 0.1	1.36
2.5	4.0	2.532	< 0.1	1.28
4.0	0.5	3.942	< 0.1	1.45
4.0	2.0	4.022	< 0.1	0.55
4.0	4.0	3.951	< 0.5	1.23

### 5 结语

本文设计了一种基于幅值跟踪电路的实用的自动增益控制系统，在输入信号幅值变化时系统输出信号的幅值都能

与预置的幅值基本相同，实现了放大器增益的自动控制。该设计具有智能化高、输出信号稳定，收敛速度快、成本低、性能可靠等特点，可广泛应用于相关的电子领域中。设计通频带更宽的幅值跟踪电路并采用宽带可控增益放大器可进一步拓展系统的适用范围，是类似系统设计的一个方向。

参考文献

- \* [1] 王栋. 一种大动态范围数字 AGC 快速控制算法 [J]. 通信技术, 2023,56(09):1099-1106.
- \* [2] 徐超, 马瑶瑶, 黄玉玲, 朱涛, 吴迪. 基于反相积分峰值检测法的高频信号 AGC 系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2023, (01): 65-69+77.
- \* [3] 李文, 陈爱新, 王学锋, 等. 多服务低速率数字光载射频系统中的新型自动增益控制算法设计 [J]. 电子与信息学报, 2021, 43(4): 1090-1097.
- \* [4] PASTOR E M T, PILLING K R, CHEN C, et al. Effects of bilateral automatic gain control synchronization in cochlear implants with and without head movements: sound source

localization in the frontal hemifield [J]. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 2021, 64(7):11-14.

- \* [5] DOMINIKOWSKI B. Measuring current in a power converter using fuzzy automatic gain control [J]. Applied Sciences, 2021, 11(13): 5793 – 5793.
- \* [6] 汪群, 许高斌, 陈兴, 等. 超声波测距自动增益控制电路的设计 [J]. 电子器件, 2017,40(03): 597-601.
- \* [7] 王燕君, 徐英雷. 一种高动态范围自动增益控制电路设计 [J]. 现代电子技术, 2023, 46 (02): 19-22.
- \* [8] 原庆, 刘希淼, 梁雪明. 大动态高速响应数字 AGC 功能电路的实现 [J]. 固体电子学研究与进展, 2022, 42 (06): 467-472.
- \* [9] 王纪伟. 基于单片机的自动增益功率放大器设计 [J]. 长江信息通信, 2021, 34 (07): 81-83.
- \* [10] 戚丹, 李开良. 基于数控电位器 X9C103 的温度调节器设计与应用 [J]. 中国医疗设备, 2018, 33 (07): 83-84+93.

通信作者: 董建怀。

(上接第 52 页)

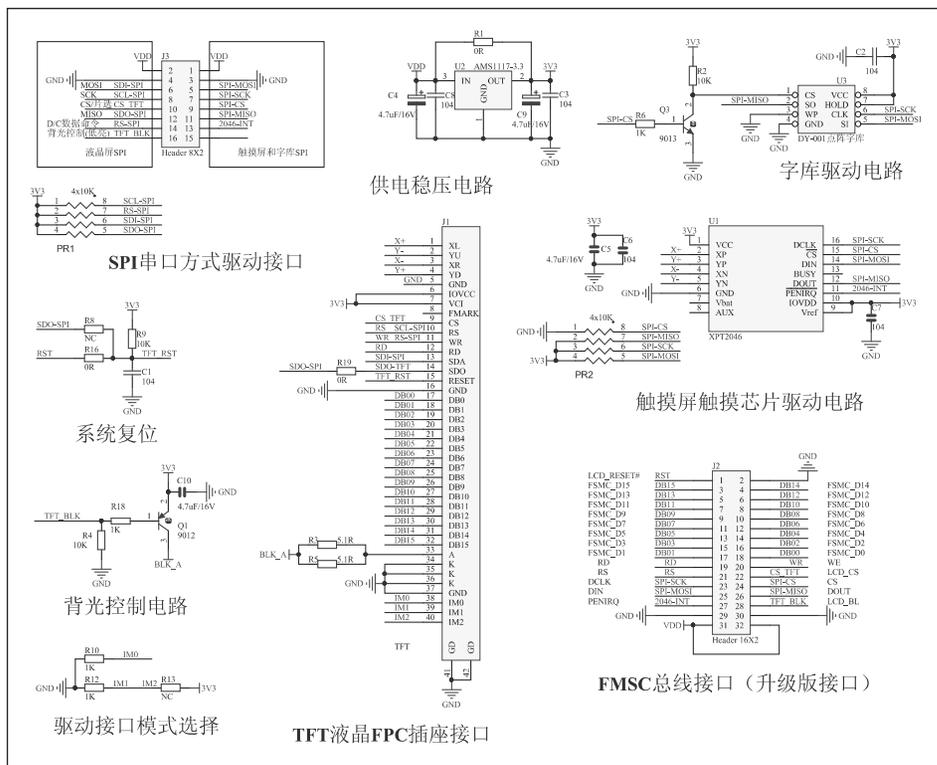


图 8 触摸屏原理图

显示效果好: ILI9341 采用 16 位色彩格式, 可以呈现出丰富的颜色, 并具有较高的对比度和亮度。能很好地显示数据并触摸屏设置目标值。其原理图如图 8 所示。

4 结语

针对当前农业在将多个参数融合存在的问题, 本文提出采用机器学习来解决, 借助服务器强大的处理数据能力, 得到系统的允许参数区间, 此外, 使用精准的数据采集模块获取到准确的数据和可靠的数据传输模块传输数据, 使得用户可以远程了解温室大棚的实时情况, 对于农业智能化有一定的推动作用。

参考文献

- \* [1] 赵荣阳, 王斌, 姜重然等. 基于物联网的农业大棚生产环境监控系统设计 [J]. 农机化研究, 2021,43(11):131-137.
- \* [2] 王维洲, 刘福潮, 杨建华等. 基于可时移农业负荷的光伏智慧农业大棚微型能源网优化调度 [J]. 中国农业大学学报, 2018,23(06):160-168.
- \* [3] 周德锋. 基于物联网的智慧农业温室大棚环境智能调节管理系统设计 [J]. 办公自动化, 2023,28(10):58-60.

# 基于 STM32 的高校电气实验室温湿度监测系统 设计

马博经, 张慧玲, 俞丙威, 王宇霄, 包子洪, 张艺越, 金万荣  
(浙江广厦建设职业技术大学 智能制造学院, 浙江东阳, 322100)

**基金项目:** 2022年新专业内涵建设项目-建筑电气与智能化工程专业(物联网技术与应用教学资源建设), 编号: BK15-02。

**摘要:** 温湿度是电气实验室中非常重要的环境参数, 它们可以对实验室内设备的性能、稳定性以及人员安全产生显著的影响。本文基于 STM32F103C8T6 微控制器, 设计了一种高校电气实验室温湿度监测系统, 搭配 DHT11 温湿度采集模块、ESP8266 无线传输模块和 OLED 显示模块, 利用 WiFi 网络, 通过 MQTT 数据传输协议将采集到的温湿度数据传输到 OneNet 云平台进行可视化展示, 旨在实时监测实验室的温湿度和湿度状况, 超过设定阈值时可通过微信推送的方式向机房管理员发送报警信息。

**关键词:** 电气实验室; OneNET; 温湿度; 监测

## 0 引言

高校电气实验室作为培养电气工程师的重要场所, 在现代教育体系中具有不可忽视的地位。随着科技的不断进步, 现代电气实验室正朝着智能化、模块化、网络化、安全性等方向快速发展, 以满足科研和工业发展的需求, 并为学生和工作人员提供更高效、更安全、更开放的实验环境和条件<sup>[1-2]</sup>。然而, 实验室中常常面临着温湿度等环境因素对设备稳定性和学生实验体验的影响。尤其是电气设备对温湿度的敏感性, 可能导致设备性能的下降和实验数据的偏差。甚至存在实验室安全隐患难以及时发现的情况, 如火灾、漏水等, 如果不能及时发现和处理, 必将会对实验室的安全造成威胁<sup>[3]</sup>。

传统电气实验室管理效率低下, 实验室管理员需要定期巡检实验室, 记录温湿度等数据, 工作量大且繁琐。而且数据无法实时获取, 缺乏数据共享和分析的能力, 无法满足现代实验室的高效运行和安全管理需求。

当前, 虽然已有温湿度监测系统在医学、生物、农业、测量等实验室环境中广泛应用<sup>[4-6]</sup>, 但仍存在实时性不高, 网络平台开发难度大成本高, 数据查看不便等问题。本文设计了一种高效可靠的高校电气实验室温湿度监测系统, 以满足电气实验室温湿度环境监测的需求。该系统能够实时监测电气实验室的温湿度变化, 并将数据精确及时传递给实验室管理人员, 以确保设备的稳定运行和学生的安全实验。

## 1 系统总体设计

本系统采用 STM32F103C8T6 微控制器作为核心控制芯片, DHT11 作为温湿度数据采集模块, 对高校内电气实验室环境的温湿度状况进行实时采集。ESP8266 作为 WiFi 传输模块, 温湿度传感器采集到的数据经 STM32 处理后通过无线传输的方式上传到 OneNET 服务器, 同时 OLED 显示模块可以对温湿度数据进行实时显示。

OneNET 是中移物联网公司推出的免费物联网开放云平台, 传感器以及各种终端设备可以通过平台提供的 API 接口和应用模板实现快速联网, 用户也可通过该平台处理、分析和存储实验数据。本系统使用 OneNet 开放平台展示数据, 可以显著节省开发服务器和平台所需的时间和成本。此外, 该平台还具有数据存储能力强、可视化效果好的优点, 能够满足系统对数据展示和存储的要求。在 OneNET 云平台上可对数据进行云存储以及可视化展示, 机房管理员可通过手机 APP 端和 Web 端随时查看当前温湿度状况。当温湿度数据超过设定阈值时, 系统会通过邮箱以及微信推送的方式向机房管理员发送报警信息, 以便及时采取措施。系统框图如图 1 所示。

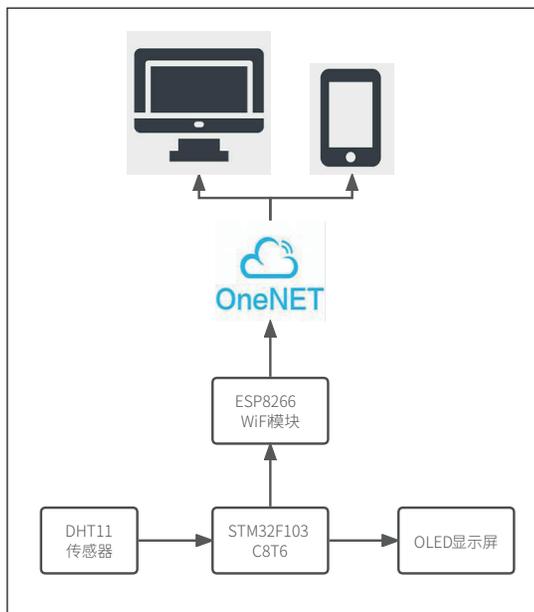


图 1 系统总体框图

## 2 硬件设计

本系统的硬件设计主要包括电源电路、微控制器模块、

WiFi 无线传输模块、温湿度传感器模块、OLED 显示模块等外围电路的设计与连接。DHT11 传感器通过 GPIO 口连接到 STM32 微控制器, ESP8266 模块通过 UART 串口与 STM32 通信, OLED 显示模块则通过 I<sup>2</sup>C 总线与 STM32 连接。

## 2.1 电源电路

在设计电源电路时, 考虑到了该温湿度在线监测系统的各个单元模块对输入电源的电压级别要求不同, 本系统将电源管理电路分为两部分, 设计电路图如图 2 所示。

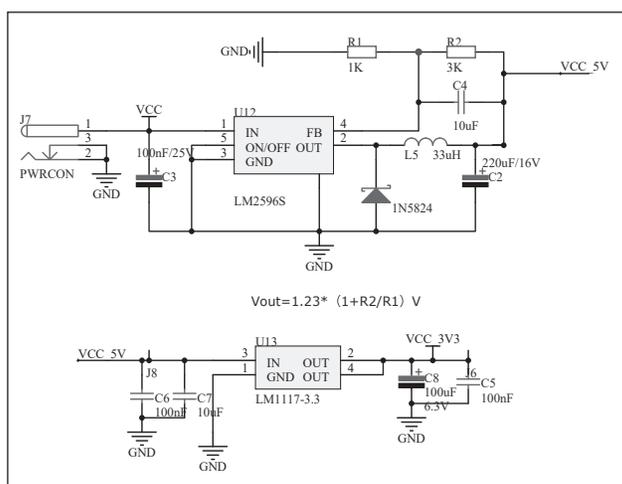


图 2 电源模块电路图

由于 DHT11 温湿度传感器和 OLED 显示屏要求输入电源电压为 5V, 第一步先用 LM2596S-ADJ DC-DC 调压芯片将外部输入电源进行一级降压处理。本系统采用 12V 直流电压供电。输出电压的计算公式为:

$$V_{OUT} = V_{REF} (1 + R_2 / R_1) \quad \text{式 (1)}$$

式中:  $V_{OUT}$  为芯片输出电压;  $V_{REF} = 1.23V$ ;  $R_1$  和  $R_2$  为采样反馈电阻。

当选取  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 3k\Omega$  时, 便可将 LM2596 调压芯片输出电压设置为 4.92V, 可以满足 OLED 显示屏和温湿度传感器的电源需求。

本系统中的 STM32 微控制器模块和 ESP8266 无线传输模块的工作电压均为 3.3V, 所以第二步再用 AMS1117-3.3 芯片将 LM2596 调压芯片输出电压进行二级降压降至 3.3V 为其供电。

## 2.2 微控制器模块

微控制器选用的是 STM32F103C8T6 嵌入式微处理器。STM32F103C8T6 微控制器搭载了 ARM Cortex-M3 内核, 具有较高的计算能力, 性能可靠, 能够满足系统的实时性要求, 适用于对温湿度数据进行处理和控制。它还拥有多个 GPIO、UART、I<sup>2</sup>C 和 SPI 接口, 这些丰富的接口允许其与 DHT11 传感器、ESP8266 WiFi 模块和 OLED 显示模块等多

个外部设备同时进行稳定的通信。此外, STM32F103C8T6 还具有低功耗特性, 适合进行长时间运行的监测系统。

## 2.3 DHT11 温湿度传感器

本系统选用 DHT11 作为温湿度数据采集模块, 用于实时采集电气实验室的环境温度和湿度数据。DHT11 传感器采用单一的数字信号线进行连接, 这使得其硬件集成变得相对简单。在本系统中, DHT11 的信号线连接到 STM32 微控制器的一个 PB12 引脚上, 用于传输传感器输出的数字信号。此外, DHT11 的供电线和接地线连接到 STM32 的相应引脚, 以提供传感器所需的电源和地线。接口电路如图 3 所示。

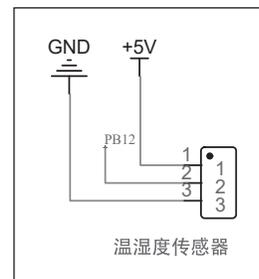


图 3 DHT11 模块接口电路

此外, DHT11 的供电线和接地线连接到 STM32 的相应引脚, 以提供传感器所需的电源和地线。接口电路如图 3 所示。

DHT11 传感器使用一种简单的单线制数据通信协议, 其通信过程包括 STM32 向传感器发送请求、传感器采样并返回数据。DHT11 温湿度传感器在成本、功能和易用性之间取得了良好的平衡。虽然它的精度相对较低, 但在室内环境监测应用中足够可靠。通过 DHT11 的数字信号输出, 可以直接与 STM32F103C8T6 相连接, 无需进行模拟信号转换, 简化了数据处理流程。

## 2.4 ESP8266WiFi 模块

在本系统中, ESP8266 WiFi 模块通过 UART 串口与 STM32F103C8T6 微控制器相连接, 以实现数据的可靠传输。ESP8266 模块的作用是作为数据传输通道, 将采集到的温湿度数据上传

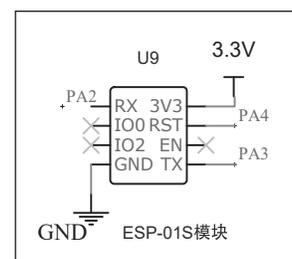


图 4 ESP8266 模块接口电路

到 OneNET 服务器, 从而实现从实验室环境到云端的温湿度数据传输, 使用户能够远程监测实验室的温湿度状况。ESP8266 接口电路设计如图 4 所示, TXD (发送数据) 引脚连接到 STM32 的 RXD (接收数据) 引脚, 以实现 STM32 向 ESP8266 发送数据。同时, ESP8266 的 RXD 引脚与 STM32 的 TXD 引脚相连, 以实现 ESP8266 向 STM32 返回数据。

## 2.5 OLED 显示模块

采用 OLED 显示屏作为显示模块, 负责在系统中实时显示温湿度数据。OLED 显示模块外围接口电路设计如图 5 所示, OLED 显示屏与 STM32F103C8T6 微控制器通过 I<sup>2</sup>C 总线进行连接, OLED 的 SDA 数据引脚与 STM32 的 PB15 引脚连接, 而 SCL 时钟引脚与 STM32 的相应 PB13 引脚连接, 以实现双向数据传输。当 STM32 从 DHT11 传

传感器采集到温湿度数据后，数据经过处理和解析后，通过 I<sup>2</sup>C 总线与 OLED 显示屏进行通信。STM32 将温湿度数据发送给 OLED 显示屏，并通过控制 OLED 的驱动芯片来显示数据。OLED 显示屏使用其内置的显示控制逻辑，将温湿度数据以数字和文本的形式呈现在屏幕上。这样，OLED 显示屏模块就将从 DHT11 温湿度传感器采集到的数据以可视化方式直观地呈现给教师、学生以及实验室管理员，为实验室内部的温湿度环境状况提供及时反馈，方便实时监测。

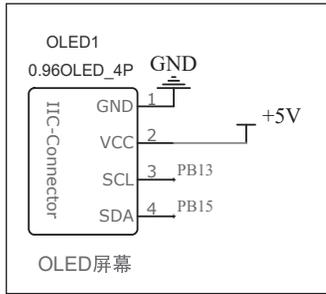


图 5 OLED 显示屏模块接口电路

### 3 软件设计

该监测系统选择了 Keil μVision5 作为其嵌入式开发环境，并使用 C 语言进行编程。首先进行系统初始化，然后调用 GPIO 接口，设置定时器，进行数据采集和处理，响应中断，以及进行 UART 串口通讯，依次执行温湿度数据采集、传输、显示等操作。微控制器定期向 DHT11 传感器请求温湿度数据，对数据进行校验和滤波处理。采集到的数据传递给 OLED 显示，并通过 WiFi 模块使用 MQTT 协议发送到 OneNet 云平台。整个主程序流程是一个持续循环的

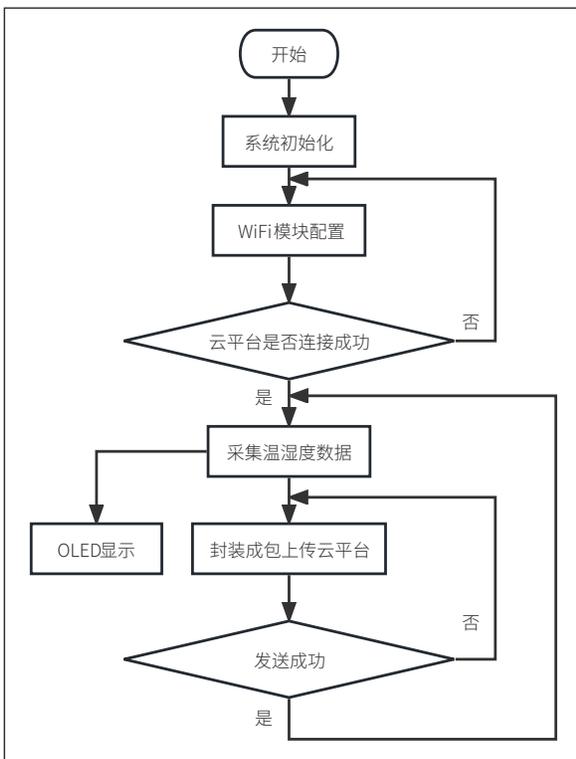


图 6 主程序流程图

过程，确保对机房温湿度的实时监测和调控。云平台端使用 OneNet 提供的 API 接口，实现数据的接收、存储和可视化展示。主程序流程图如图 6 所示。

### 4 应用效果

根据《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》等相关法条对配电室温度和湿度国家标准做出了规定：配电室标准的温度应保持在  $-5^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ ，湿度应控制在 80%RH 以下。只有保持在标准的范围内，现场的电力机器才能保持良好的运行状态，避免出现故障。所以本文将温度报警阈值设置在  $40^{\circ}\text{C}$ ，湿度报警阈值设置在 80%RH。当电气实验室环境温度超过  $40^{\circ}\text{C}$ ，或者湿度超过 80%RH，将会触发报警。系统会向实验室管理员进行微信推送，实现温湿度异常报警。报警功能界面如图 7 所示。



图 7 温湿度异常报警推送界面图

经过实际测试，本系统能够稳定地实时监测机房的温度和湿度，并将数据准确地传输到 OneNet 云平台。在云平台上，管理员可以随时查看机房环境的变化趋势，及时发现异常情况，实验室温湿度在线监测系统数据可视化界面如图 8 所示。一旦温湿度超过设定阈值，系统能够及时通过微信推送向管理员发送报警信息，保障了机房设备的安全运行。

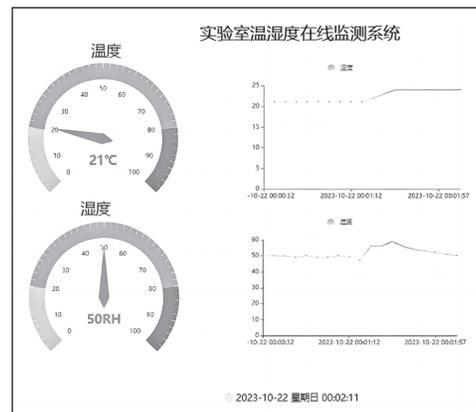


图 8 温湿度在线监测系统界面图

### 5 结论

本文设计了一种基于 OneNet 的高校电气实验室温湿度监测系统，通过嵌入式硬件和软件的协同设计，实现了温湿度数据的实时监测、传输和可视化展示。通过应用效果

测试, 本系统能够准确采集实验室环境温湿度数据并通过 OLED 显示器进行稳定显示, 用户能够通过 OneNET 云平台实时查看温湿度数据, 当温湿度环境超过设定阈值能够有效报警推送, 有效地提高了实验室设备运行效率和保障实验室安全, 基本能够满足现代高校电气实验室的温湿度监测需求。该系统为高校机房的设备管理和运行维护提供了有力支持, 具有广泛的应用前景。同时, 该系统具有低功耗、高性能、易于维护等优点, 可以长期稳定运行, 具有很高的实用性和推广价值。

### 参考文献

\* [1] 黄涛, 肖勇. 高校开放实验室服务社会改革与探索 [J]. 实验室

科学, 2023, 26(02):197-199+203.

\* [2] 覃建波, 韦丽兰. 新工科背景下电气类课程教学改革思考 [J]. 科技风, 2023(17):134-136.

\* [3] 陈响, 寇文军, 沈亮等. 高校实验室安全用电与防触电措施研究 [J]. 电焊机, 2017, 47(09):126-128.

\* [4] 许翔, 汪纛. 基于物联网的核医学机房环境监测系统设计 [J]. 中国医疗设备, 2019, 34(01):101-105.

\* [5] 苗君臣, 王睿昊, 尤达等. 基于物联网的智能农业温室大棚监测系统 [J]. 物联网技术, 2023, 13(10):16-18. 2023.10.004.

\* [6] 王爽, 肖波, 韩涛等. 一种基于 STM32 的智能排水系统设计 [J]. 自动化与仪表, 2022, 37(11):33-36.

通信作者: 张慧玲。

(上接第 75 页)

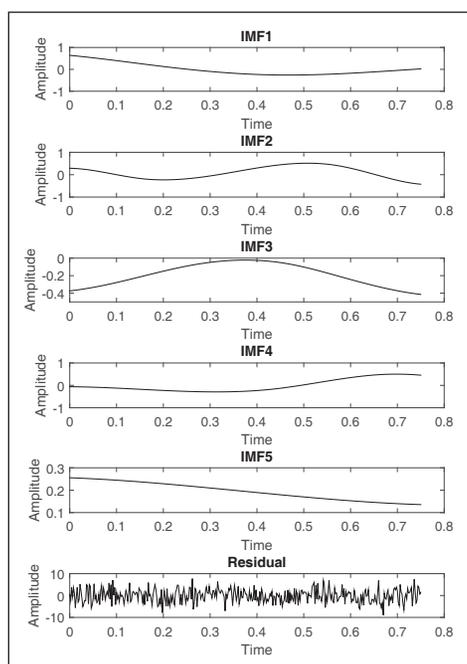


图 7 改进后的 EMD 分解结果图

次的计算结果会有细微的差异。为了更好地分析和比较重构信号与原始信号之间的差别, 需要对重构信号进行统计检验, 以确定在一定条件下所定义的误差限是否符合要求。尽管这些值应该保持恒定, 但在试验中仍然有一定的误差。

### 3 结束语

改进的 EMD 算法是针对 EMD 分解出现的模态混叠现象而改进的一种噪声辅助数据方法, 相对于其他经验模态分

解算法, 其具有更好的抗噪声性能和更稳定的分解结果。通过引入不相关序列的统计平均值为 0 的定理, 有效地处理非线性和非平稳信号, 判断其实验误差范围, 在信号去噪领域, 具有广泛应用和巨大前景。

### 参考文献

\* [1] 沈晓隶, 刘香银, 王红标等. 基于多变换 - 谱峭度的配电网暂态电能质量扰动检测与辨识方法研究 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(06):134-142.

\* [2] 刘克天, 胡新宇, 李想等. 基于 EMD 和 TLS-Prony 的次同步振荡模态辨识方法及电压反馈抑制策略 [J]. 太阳能学报, 2023, 44(11):294-302.

\* [3] 董朋, 张健文, 贾立敬. EMD-SVD 及粒子群优化的 SVM 变压器局部放电模式识别 [J]. 电气开关, 2016, 54(04):16-21.

\* [4] 孔杰, 田学民, 尚林源. 基于 EMD 和闭环测试的回路振荡诊断方法 [J]. 控制工程, 2019, 26(05):879-885.

\* [5] 龙丹, 牛聪, 周怀来等. 基于 VMD 算法在地震数据时频分析中的应用 [J]. 地球物理学进展, 2020, 35(01):166-173.

\* [6] 张晓楠. EMD 算法的改进及其在非平稳信号处理中的应用 [D]. 郑州大学, 2014.

\* [7] 刘慧婷. EMD 方法的研究与应用 [D]. 安徽大学, 2004.

\* [8] 李盖, 林余杰, 吴成坚等. 基于 LSTM 组合模型的短期电力负荷预测 [J]. 电力与能源, 2023, 44(05):429-436+440.

\* [9] 林煜凯, 张会林. 基于 EEMD 和 ICS-SVM 的齿轮箱故障诊断研究 [J]. 电力科学与工程, 2020, 36(10):56-62.

\* [10] 周先春, 嵇亚婷. 基于 EEMD 算法在信号去噪中的应用 [J]. 电子设计工程, 2014, 22(08):12-14.

# 基于双谱特征和 CNN 的导航欺骗干扰识别

肖永江, 张兴娇, 马文科, 张玄, 刘琨  
(萍乡学院 机电学院, 江西萍乡, 337000)

**基金项目:** 江西省教育厅科技项目 (No.151272) 资助。

**摘要:** 针对卫星导航信号接收过程中的欺骗干扰信号隐蔽、危害大的问题, 利用 Matlab 软件模拟产生发射机和干扰机的接收信号, 利用高阶谱中的双谱的阶次低, 具有良好的时频性能、分辨能力和聚能性, 对角切片后进行二次特征提取, 送入卷积神经网络进行干扰识别, 在 -10dB 到 20dB 的加性噪声干扰条件下进行识别率分析, 具有一定的有效性。

**关键词:** 欺骗干扰; 双谱; 特征提取; 卷积神经网络

## 0 引言

卫星导航信号到达地面接收机时十分微弱, 极易受到干扰的影响。其中, 欺骗式干扰更隐匿, 危害更大, 是导航系统面临的主要安全威胁。而导航通信系统的设备硬件因电子器件的容差效应、功放的非线性、组装工艺的缺陷和差异等, 造成发射信号“无意中”蕴含有别于其他通信设备的“细微特征”。基于射频指纹信号微弱特征的提取和分类算法对导航信号接收过程中的干扰识别的准确率有直接影响<sup>[1]</sup>。导航信号的双谱能够抑制高斯有色噪声, 完整保留信号信息, 具有时移不变性、尺度变化性和相位保持性, 被广泛应用于信号特征提取, 但有维数灾难问题。深度学习中的卷积神经网络的出现开辟了新的方向。

文献 [2] 采用卷积神经网络 (Convolution Neural Network, CNN) 滤波器进行空间导航信号滤波处理, 抗干扰性较好。文献 [3] 设计了干扰识别的卷积神经网络模型, 干信比为 0dB 时的干扰正确识别概率为 98%。文献 [3] 基于时域射频信号的双谱矩阵次对角线上的数据, 构建基于 VGG19 的深度卷积神经网络的辐射源平均识别率达到 90.38%。文献 [4] 基于信号双谱与改进的残差神经网络 (Residual Neural Network, ResNet) 算法在实际电磁环境下识别率达到 95.2%。文献 [5] 基于信号全双谱, 通过 CNN 对信号身份属性识别率达 96% 以上。文献 [6] 提出基于双谱谱图特征和深度卷积神经网络, 采用卫星目标实测数据进行实验, 通过网络训练可准确有效地识别雷达目标。CNN 是真正多层神经网络结构学习的算法, 具有特征自学习能力, 可提取数据的深层隐含特征和增强特征信息, 更适用于微弱信号的个体识别。本文提出一种基于导航信号的双谱特征+卷积神经网络来对欺骗干扰信号进行检测和识别。

## 1 信号双谱提取

双谱是三阶累积量的二维离散时间傅里叶变换, 能表示信号的幅度、频率和相位信息, 具有平移不变性, 对有

色高斯噪声具有免疫能力<sup>[8]</sup>。信号的双谱表示为:

$$B(\omega_1, \omega_2) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_{3x}(m, n) e^{-j(\omega_1 m + \omega_2 n)}$$

$$C_{3x}(m, n) = \sum_k x^*(k) x(k+m) x(k+n)$$

其中,  $C_{3x}(m, n)$  是  $x(k)$  的三阶累积量。双谱是阶次最低的高阶谱, 其多个不同信号分量之间因交叉项问题易产生“虚假信号”, 所以采用加指数核 Choi-Williams 函数进行交叉项滤除<sup>[9]</sup>; 双谱的运算量不小, 文中采用经典方法中的对角切片来降低自变量的维数。

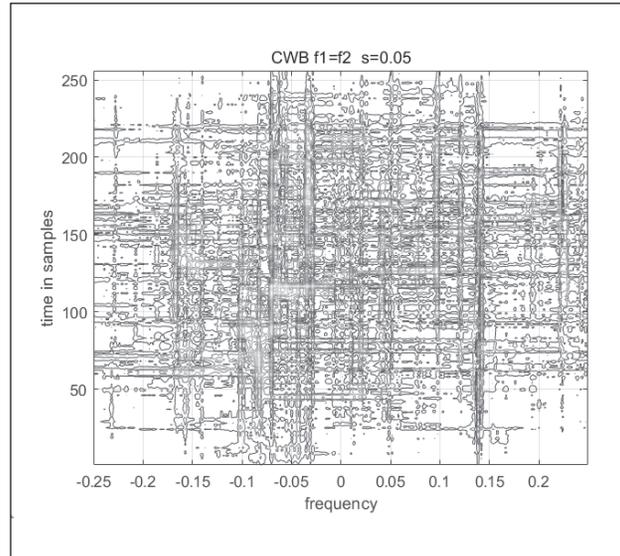


图1 10dB 条件下 256 个样本数据的双谱对角切片

## 2 卷积神经网络

卷积神经网络并非 2012 年才被提出。1962 年, 生物学家 Hubel 和 Wiesel 发现猫的视觉系统中存在层级结构, 提出感受野 (Receptive Field) 的概念<sup>[10]</sup>。1984 年, 神经感知机 (Neocognitron) 的提出, 标志第一个初始的卷积神经网络的诞生, 也是感受野概念在人工神经网络领域的首次应用。卷积神经网络是一类包含卷积运算且具有深度结构的前馈神经网络。CNN 为立体网络, 其组成包括卷积层、池化层、全连接层、输出层。

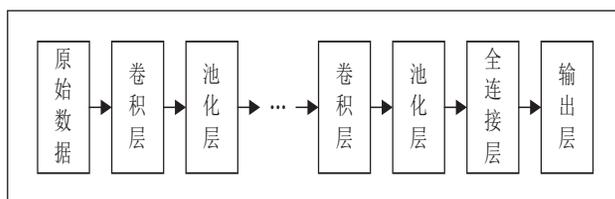


图2 CNN的结构框图

## 2.1 卷积层

卷积层 (Convolution Layer) 具有稀疏连接、参数共享、等变表示三个特性<sup>[11]</sup>。卷积层每一个节点的输入只是上一层神经网络的一小块，通过卷积核矩阵进行局部感知，对输入的原始双谱数据信息进行卷积运算，进行隐含关联性抽象，从而进行特征提取。每一个卷积核可提取一种特征，有  $n$  个卷积核就能得到  $n$  个特征图。一个卷积神经网络通常有多个卷积层；同一个卷积层中可以有多个不同的卷积核和偏置值；卷积核内每个元素都具有各自的权重，共用偏置，且都与前一层中特定“感受野”区域内的卷积神经元相连。卷积核以一定的步长在神经元的输入层上进行滑动；输入局部数据与权重矩阵进行卷积运算，从输入的双谱分析特征数据中获得特征映射。卷积核的大小根据实际设置，以获得不同尺度的特征，再把这些特征融合。卷积层的卷积核一般随机初始化，偏置初始化为0。假如输入一个  $4 \times 4$  大小的二维矩阵。

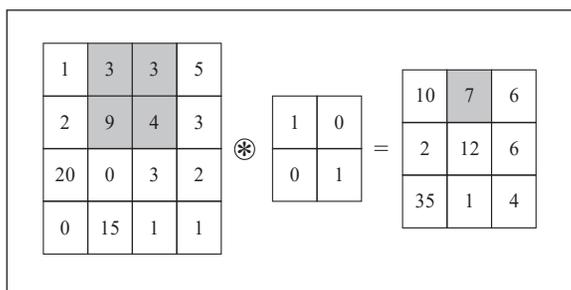


图3 滑动卷积运算的第2步示意图

卷积运算属于线性运算，即  $y = ax + b$ 。卷积层中另一个计算是激活函数，引入非线性表达。卷积神经网络在分类时，常按照“先卷积，再激活，后池化”的顺序，在卷积输出结果的基础上嵌套一个非线性函数，对输出的特征图进行非线性的映射。卷积网络中常用线性整流函数 (Rectified Linear Unit, ReLU) 来充当激活函数，克服训练时的梯度消失问题，还可加快网络的训练速度。ReLU 函数可表示为：

$$f(x) = \max(0, x)$$

ReLU 函数分段线性，其值域为  $[0, +\infty]$ ；当输入大于零时，导数恒为 1，不存在梯度消失的问题；计算导数非常快，只需判断  $x$  是否大于 0，max 操作使计算量和复杂度大大降低；收敛速度快于 Sigmoid 和 Tanh 函数，加快了网络的收敛速度。

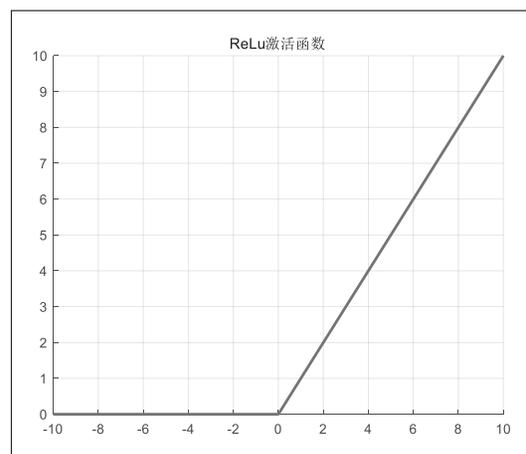


图4 ReLU 激活函数

## 2.2 池化层

池化层 (Pooling Layer) 模拟人类视觉系统对图像的降维和抽象过程<sup>[12]</sup>，获取输入信号卷积层输出结果的子集，只保留特征映射中权重较大的信息，并继续传递至后续层；主要作用是减少特征图的尺寸，对感受域内最具代表性的特征进行筛选，降采样 (Down sampling) 来降低卷积层输出的特征维度，有效减少网络参数和计算量，防止过拟合现象，提高网络泛化能力；引入不变性，消除子区域内的任何位移对运算结果的影响<sup>[13]</sup>。在卷积神经网络中，池化运算是对特征图的给定分析区域求代表值，按操作类型分常有最大池化、均值池化、中值池化和随机池化，分别提取感受域内最大值、均值、中值、随机值作为特征输出。在分类过程中，最大池化能够使得网络获得更好的结果，具有一定的误差筛选作用，常常作为主要池化方法。

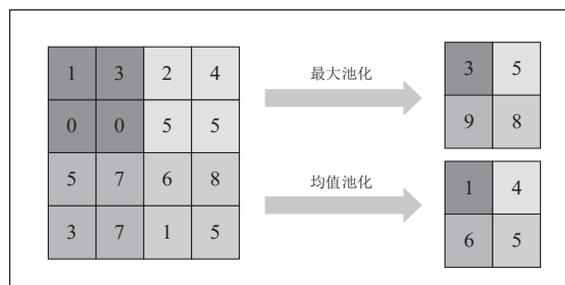


图5 最大池化和均值池化的对比

## 2.3 全连接层

卷积层和池化层将原始数据映射到隐层空间，保留特征的位置信息。全连接层 (Full Connected Layer) 类似标准神经网络中神经元的全连接<sup>[14]</sup>，将卷积和池化层的感受野连接起来。全连接层起到一个分类器的作用，每个输入都连接到每个输出，进行全局化学习，对经过多次卷积和池化所得高级特征进行全连接汇总，将多维的特征输入映射为二维的特征输出，做最后的加权运算和预测。全连接层的正向传播

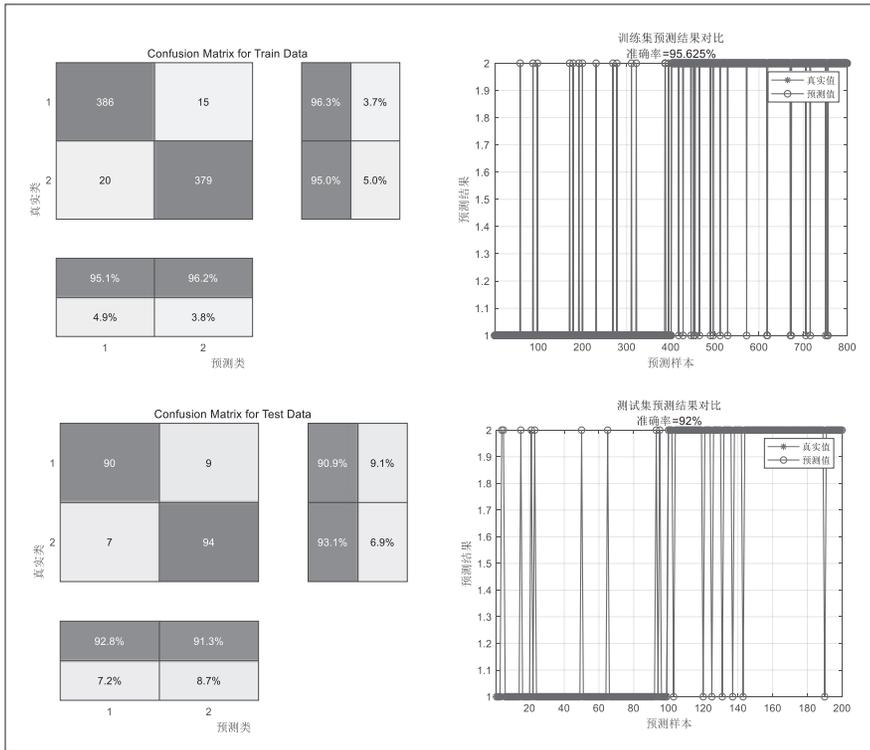


图6 训练集和测试集的测试结果对比

原理为：

$$Z_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} a^{(j)} + b_j$$

$W_{ij}$  为前一层第  $i$  个神经元与后一层第  $j$  个神经元之间的权值， $b_j$  为前一层所有神经元对后一层第  $j$  个神经元的偏置值。

### 2.4 输出层

输出层的目标函数起着指挥作用，根据真实值和预测值之间的误差对网络参数进行调整；不同任务对应不同的输出层。输出层需要完成对结果的预测，一般选用 Softmax 函数进行分类。Softmax 函数实际上是有限项离散概率分布的梯度对数归一化，将输入向量转换为输出不同类别的概率分布情况；在将输入数据压缩到 0-1 之间的同时，各个输出节点之间的概率和为 1。

$$\text{Soft max}(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{c=1}^C e^{z_c}}$$

其中  $Z_i$  为第  $i$  个节点的输出值， $C$  为输出节点的个数，即分类的类别个数。

## 3 实验分析

借助 Hammerstein 模型<sup>[15]</sup>，假设卫星干扰为转发式欺骗干扰，将通信设备发射机和无线信道视为静态非线性

子系统 + 动态线性子系统，利用 Matlab 软件仿真产生与发射机非常相似的干扰信号。将发射机和干扰机的 .mat 数据叠加 -10 至 20dB 范围的加性噪声干扰，以 2dB 步进；提取 128000 个样本数据，进行长度为 256 的分段；进行 1024 长度的双谱切片计算得到 256\*1024 的二维复数矩阵；以此为基础，进行概率分布矩阵计算得到切片谱的分布熵；进行奇异值分解后计算奇异值熵；再计算对数和以及均值；得到 5 维特征向量，对样本数据进行二分类标记以利于训练和测试，形成 6 维数据，并将数据分行打乱形成数据集送入 CNN 进行检测。

1 维 CNN 训练网络的结构共 12 层，输入网络采用 5\*1\*1 的方式；二维卷积采用 2\*1\*16，步幅为<sup>[11]</sup>；

采用批量归一化以加速训练过程和防止过拟合，送入 ReLu 函数后再用 2\*1 最大池化；第二层卷积调整为 2\*1\*32 结构；进行全连接后送入 Softmax 分类器后输出识别结果。CNN 使用有标记的样本对所建网络模型进行训练，再利用反向传播不断地更新权值。

CNN 算法具有特征自动学习和选取能力。卷积神经网络的训练过程需要先利用训练样本对网络进行前向传播运算<sup>[16]</sup>，将输出与目标预设值进行比较；若不满足，则进行反向求导计算，不断地调整和更新网络结构参数。信噪比的变化共 16 个，每次输入 CNN 的发射机和干扰机的数据共 1000 个；数据按 4:1 比例进行训练集、测试集随机划分；训练器参数中的初始学习率为 0.001，学习率下降因子 0.1，采用 Adam 梯度下降算法，每次训练打乱数据集，迭代次数为 300 次。图 6 为 10dB 条件下的训练和测试集的预测结果对比。图 7 为信噪比变化的情况下，利用 CNN 进行干扰识别的识别率曲线；在信噪比大于 8dB 后，干扰机的识别率大于 90%。

## 4 结论

本文探索利用深度学习进行卫星导航欺骗干扰识别，基于双谱分析的二次特征提取，设计并构建 5 层一维卷积神经网络。实验结果表明，通过双谱特征 + 卷积神经网络构建深层次干扰辐射源特征识别是有效的。

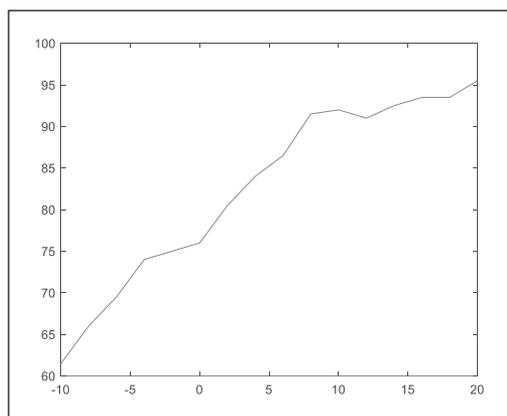


图7 不同信噪比条件下的识别率曲线

参考文献

- \* [1] 王君, 郭妍等. 卫星导航欺骗式干扰技术发展趋势综述 [J]. 导航与控制, 2022,21(01):13-24.
- \* [2] 王春霞, 刘新芳. 基于卷积神经网络的空间导航信号抗干扰处理技术 [J]. 无线电工程, 2023,53(11):2659-2663.
- \* [3] 程文利. 卫星通信系统中的干扰识别技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.
- \* [4] 曹阳, 徐程骥等. 基于局部双谱和深度卷积神经网络的通信电台识别研究 [J]. 通信技术, 2020,53(07):1652-1657.
- \* [5] 谢跃雷, 邓涵方. 基于改进 ResNet 的射频指纹识别方法 [J].

- 电讯技术, 2022,62(04):416-423.
- \* [6] 方成, 薛质. 基于全双谱和卷积神经网络的信号分类方法 [J]. 计算机应用研究, 2018,35(12):3766-3769.
- \* [7] 卢旺, 张雅声, 徐灿等. 基于双谱 - 谱图特征和深度卷积神经网络的 HRRP 目标识别方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2020,42(08):1703-1709.
- \* [8] 孙闯红, 闫云珍, 邵章义. 基于 Wigner 对角切片谱的射频指纹特征提取 [J]. 电子技术应用, 2016,42(01):87-90.
- \* [9] 杨兴宇, 阮怀林. 基于双谱分析的雷达有源欺骗干扰识别 [J]. 探测与控制学报, 2018,40(02):122-127.
- \* [10] 冷雨泉. 机器学习入门到实战 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2019.
- \* [11] 彭博. 深度卷积网络: 原理与实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- \* [12] 丁敏. 通信辐射源个体识别技术研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- \* [13] 刘赢等. 基于深层卷积神经网络和双谱特征的雷达信号识别方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2019,41(09):1998-2005.
- \* [14] 王鹏宇, 程郁凡等. 基于卷积神经网络联合多域特征提取的干扰识别算法 [J]. 信号处理, 2022,38(05):915-925.
- \* [15] M.W.Liu, Nonlinearity Estimation for Specific Emitter Identification in Multipath Channels [J], IEEE Transactions on Information Forensics & Security, 2011,6(3):1076-1085.
- \* [16] 鲁东生, 黄琳, 龙华. 一种基于深度学习的民航 GPS 干扰识别方法 [J]. 通信技术, 2022,55(03):330-338.

(上接第 40 页)

表3 推荐性使用场地

辐射发射指标	推荐场地	辐射接收指标	推荐场地
6.2 Radiated transmit power	室内远场/紧缩场	7.2 OTA sensitivity	室内远场/紧缩场
6.3 OTA base station output power	电波混响室/室内远场/紧缩场	7.3 OTA reference sensitivity level	
6.4 OTA output power dynamics	室内远场/紧缩场	7.4 OTA dynamic range	单探头近场/紧缩场/室内远场
6.5 OTA transmit ON/OFF power		7.5 OTA in-band selectivity and blocking	
6.6 OTA transmitted signal quality		7.6 OTA out-of-band blocking	
6.7.2 OTA occupied bandwidth	电波混响室	7.7 OTA receiver spurious emission	电波混响室
6.7.3 OTA ACLR		7.8 OTA receiver intermodulation	单探头近场/紧缩场/室内远场
6.7.4 OTA operating band unwanted emissions	电波混响室	7.9 OTA in-channel selectivity	单探头近场/紧缩场/室内远场
6.7.5 OTA transmitter spurious emission	电波混响室+EMC 暗室、远场/紧缩场	--	--
6.8 OTA transmitter intermodulation	室内远场/紧缩场	--	--

中, 逐个测试项目分析不同测试场地的适用性, 得出表 3 中的不同指标参数参考的测试场地。可以看出 5G 基站天线性能测试由于采用 OTA 空口测试, 导致了测试相较于 2/3/4G 基站天线更加复杂和繁琐, 单个类型的场地已不能完全满足 5G 基站天线的性能测试, 需综合各类型场地的优势满足不同的性能指标的高精度、高效率测试。本文分析得出了不同性能指标测试的场地优势, 为 5G 基站天线一体化空口性能的高效测试提供参考。

参考文献

- \* [1] 倪琨. 5G 基站天线 OTA 测试方法研究 [J]. 电子世界, 2019(07):31-32.
- \* [2] 宫剑, 任宇鑫, 熊林. 5G 基站 OTA 测试场分析 [J]. 技术研究, 2019(04):10-11.
- \* [3] 3GPP TS 38.141-2 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) conformance testing Part 2: Radiated conformance testing (Release 17).

# 极坐标下基于圆的无人机纯方位无源定位研究

赵延阳, 丁奕心, 崔家铭

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁葫芦岛, 125000)

**摘要:** 无源定位技术是指定位站不向被定位的对象发射电磁信号, 在不发射对目标照射的电磁波条件下获得目标的位置, 在无人机领域可以认为是由编队中某几架无人机发射信号、其余无人机被动接收信号, 从中提取出方向信息进行定位, 来调整无人机的位置的技术。本文通过建立极坐标方程, 采用三角定位算法将纯方位无源定位技术应用到无人机编队飞行中。相对于有源定位具有生存能力强, 作用距离远, 重量轻、体积小、成本低的特点。

**关键词:** 无源定位; 极坐标方程; 三角定位算法

## 0 引言

随着电子信息技术的更新迭代, 探测定位技术在不断发展, 同时探测定位技术在军事斗争中的地位和作用得到不断提高<sup>[1]</sup>。传统的有源探测定位会不断发射出电磁波, 极易被对方侦查到, 导致生存能力下降。相比于有源定位技术, 无源探测定位技术具有很多优点, 其中最重要的一点是本身不发射信号, 因此不易被对方捕获自身的位置, 使得自身生存能力大幅提升。因此无源定位技术得到越来越广泛地研究和应用<sup>[2]</sup>。本文针对无人机编队调整问题, 通过纯方位无源定位方式对无人机进行调整, 研究在极坐标下基于圆的无人机纯方位无源定位系统及其推广。

## 1 前提假设

假设在无偏差的情况下, 9架无人机均匀分布在圆周上, 发射信号无人机的位置无偏差, 因此发射信号无人机的排布满足正九边形的几何特征<sup>[3]</sup>。具体体现在: 无偏差时, 发射信号无

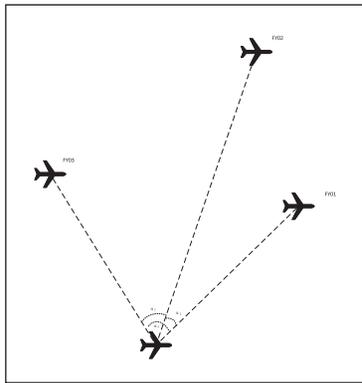


图1 无人机纯方位无源定位原理示意图

人机之间的角度关系与距离关系是确定的, 即图1中虚线长度、发射无人机之间的圆心角可知。考虑发射信号无人机与接收信号无人机的位置我们可以发现, 待定位无人机都是以与发射信号无人机之间的连线长度与夹角信息 $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ 而确定圆的公共交点。编队由10架无人机组成, 形成圆形编队, 其中9架无人机(编号FY01~FY09)均匀分布在某一圆周上, 另1架无人机(编号FY00)位于圆心(见图2)。无人机基于自身感知的高度信息, 均保持在同一个高度上飞行。选择三架无人机发射位置信号, 已知发射信号

的无人机位置无偏差<sup>[4]</sup>。

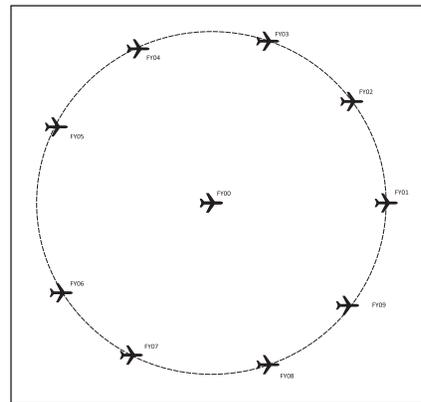


图2 无人机编队组成示意图

## 2 纯方位无源定位模型建立

这一节在无人机FY00和另2架编号已知的无人机发射信号且位置皆无偏差, 其余位置有偏差的无人机接收信号的情况下, 建立接收信号的无人机的定位模型。

### 2.1 极坐标系的建立

已知发射信号无人机的编号, 将FY00无人机记为坐标原点, 其与FY01所在直线为极轴建立极坐标系。另一已知发射信号的无人机坐标为FY0F( $R, \gamma$ ) ( $2 \leq F \leq 9$ ) (见图3) 设接受信号无人机FY0X的理想极坐标为

$$D(R, \beta) \left( X \neq F \beta = \frac{\pi \cdot 40^\circ \cdot X}{180} (X \in (1 \sim 8)) \right)。$$

### 2.2 无人机定位模型的建立

过FY00, FY01, FY0F三点作圆, 令FY00, FY01, FY0F分别为A、B、C, 无人机定位模型由发射信号无人机进行分析计算, 将理想位置的信息发送给临近理想位置的接收信号无人机, 无人机在接收信号后将在自身调整至理想位置。讨论发射信号无人机的位置被定位无人机位置之间的关系: 如图4所示, 已知 $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha_3$ ,  $AB = AC$ ,  $\theta = \angle BAC$ , 通过三角形正余弦定理可得:

$$2 \leq X \leq 5 \text{ 时, 有 } \alpha_3 < \pi :$$

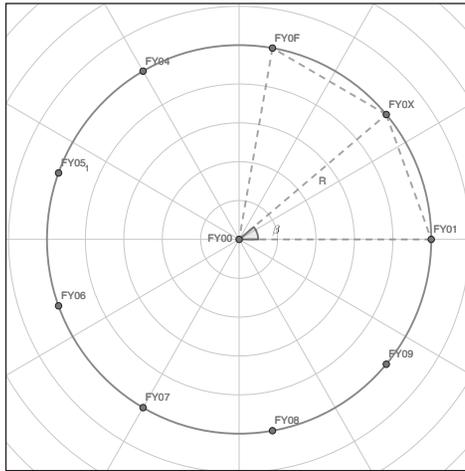


图3 极坐标下无人机编队示意图

$$\begin{cases} \frac{AB}{\sin \alpha_1} = \frac{x}{\sin(\pi - \beta - \alpha_1)} = 2r_1 \\ \frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{x}{\sin(\beta - \theta + \alpha_2)} = 2r_2 \end{cases} \quad \alpha_1 < \alpha_2$$

$$\begin{cases} \frac{AB}{\sin \alpha_1} = \frac{x}{\sin(\pi - \beta - \alpha_1)} = 2r_1 \\ \frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{x}{\sin(\beta + \theta + \alpha_2)} = 2r_2 \end{cases} \quad \alpha_1 > \alpha_2$$

5 ≤ X ≤ 9 时, 有 α<sub>3</sub> > π :

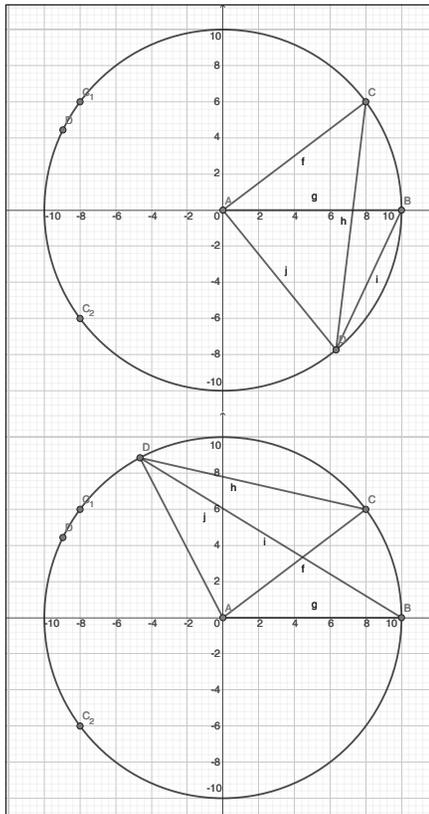


图4 根据 D 点不同时编队的临时几何特征

$$\begin{cases} \frac{AB}{\sin \alpha_1} = \frac{x}{\sin(\pi - \beta - \alpha_1)} = 2r_1 \\ \frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{x}{\sin(\beta - \pi + \theta + \alpha_2)} = 2r_2 \end{cases} \quad \alpha_1 < \alpha_2$$

$$\begin{cases} \frac{AB}{\sin \alpha_1} = \frac{x}{\sin(\pi - \beta - \alpha_1)} = 2r_1 \\ \frac{AC}{\sin \alpha} = \frac{x}{\sin(\beta - \theta + \alpha_2)} = 2r_2 \end{cases} \quad \alpha_1 > \alpha_2$$

解得接受信号无人机 FY0X 的理想极坐标为 D(R, β) :

$$\begin{cases} \beta = \arctan \left( \frac{(\sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cdot \sin(\alpha_2 - \theta))}{\sin \alpha_1 \cdot \cos(\alpha_2 - \theta) - \sin \alpha_2 \cdot \cos \alpha_1} \right) \\ x = \frac{\sin(\beta + \alpha_1)}{\sin \alpha_1} \end{cases}$$

所以接受信号无人机 FY0X 的具体位置信息为 (R<sub>1</sub>, β<sub>1</sub>) ,

可得无人机移动距离为:

$$x = \sqrt{(R - R_1)^2 + (\beta - \beta_1)^2}$$

### 3 无人机数量的最小化

无人机在编队飞行时为避免外界干扰, 应尽可能保持电磁静默, 减少向外发射电磁信号, 所以要保证准确性的前提下尽可能减少无人机向外发射电磁信号的频率及发射源的数量 [5]。

通过选用三角定位算法, 设 FY00 - FY09 九架无人机的编号为 0, P1 - P9。取圆上任意两个无人机 Pn1, Pn2 为发射源, 设圆周半径为 R, Pn1(Rcosθ<sub>1</sub>, Rsinθ<sub>1</sub>), Pn2(Rcosθ<sub>2</sub>, Rsinθ<sub>2</sub>), 我们通过三角定位算法可以确定接收信号无人机 D(x, y) 的 θ<sub>1</sub> 表达式、θ<sub>2</sub> 表达式、同时含有 θ<sub>1</sub> 和 θ<sub>2</sub> 表达式。联立三个表达式我们可以消除 θ<sub>1</sub> 和 θ<sub>2</sub>, 给出四架无人机信号源的分类方式如表 1 所示。

表1

组号	分组情况		
分组一	0	P1	Pn1
分组二	0	P1	Pn2
分组三	0	Pn1	Pn2
分组四	P1	Pn1	Pn2

已知 O(0,0)P1(R,0), 根据以上分类开始使用三角定位算法计算目标点坐标: 首先根据分组, 得出三个圆的方程, 求得圆心坐标和半径。对于分组一、二, 根据 OP1 还有 D 与 OP1 夹角 α<sub>1</sub>, 可以唯一的确定一个圆, 设其圆心为 O<sub>1</sub>(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>), 半径为 r<sub>1</sub>, 可得:

$$\begin{cases} (x_1 - R)^2 + y_1^2 = r_1^2 \\ \frac{R}{\sin 2\alpha_1} = \frac{r_1}{\sin\left(\frac{\pi - 2\alpha_1}{2}\right)} \end{cases}$$

从而求解出  $O_1(x_1, y_1)$  与  $r_1$ ，解得：

$$\begin{cases} r_1^2 = \frac{R^2}{2(1 - \cos(2\alpha_1))} \\ x_1^2 = \frac{R^2}{4} \\ y_1^2 = \frac{R^2}{2(1 - \cos(2\alpha_1))} - \frac{R^2}{4} \end{cases}$$

对于分组三、四：

$$\begin{cases} (X_3 - R \cos \theta_1)^2 + (y_3 - (2 \sin \theta_1))^2 = r_3^2 \\ (X_3 - R)^2 + y_3^2 = r_3^2 \\ (R - R \cos \theta_1)^2 + (1 - (R \sin \theta_1))^2 = 2r_3^2(1 - \cos(2\alpha_3)) \end{cases}$$

解得：

$$\begin{cases} r_3^2 = \frac{R^2(1 - \cos \theta_1)^2 + (1 - \sin \theta_1 R)^2}{2(1 - \cos(2\alpha_3))} \\ y_3 = \frac{1 - \sin \theta_1}{\sin \theta_1} \cdot x_3 \\ x_3 = \frac{R}{\left(1 + \frac{(1 - \cos \theta_1)^2}{(\sin \theta_1)^2}\right)} + \sqrt{\frac{R^2}{\left(1 + \frac{(1 - \cos \theta_1)^2}{(\sin \theta_1)^2}\right)} - \frac{r_3^2}{\left(1 + \frac{(1 - \cos \theta_1)^2}{(\sin \theta_1)^2}\right)}} \end{cases}$$

得到  $x_1 \sim x_4$  四个点坐标和四个半径后，因为已知方程组：

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = r_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = r_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = r_3^2 \\ (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 = r_4^2 \end{cases}$$

任取其中三个，一共有四种组合。由于 D 点是其中任意三个圆的唯一交点，因此可以确定，本模型不需要进行估算，所以可以直接通过解上述方程组消去未知数  $\theta_1, \theta_2$ ，从而求得从而求得 D 坐标  $(x, y)$ ，实现了有效定位。

## 4 模型调整

已知接收信号无人机位置信息，建立调整模型，使无人机群在多次调整后均匀分布于某个圆周上。

### 4.1 调整模型的建立

设计一种无人机编队位置调整方法，使在已知三架无人机位置信息后即可得出其余无人机位置。具体流程图如图 5 所示。

### 4.2 调整模型的求解结果

根据初始坐标计算出无人机接收到的方向信息  $\alpha_1, \alpha_2$ ，接着按照上述两种方法的步骤分别进行 2 次迭代（取  $R=100m$ ）。最终得到无人机组完成迭代前后的坐标对比如表 2 所示。

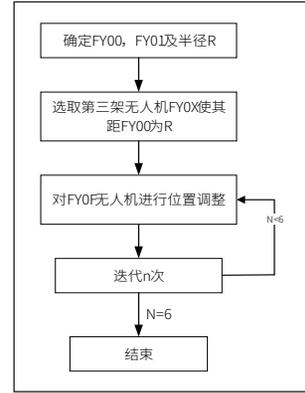


表2 无人机计算前后的坐标

无人机编号	初始坐标(m,°)	求解结果(m,°)
0	(0, 0)	(0, 0)
1	(100, 0)	(100, 0)
2	(98, 40.1)	(100, 40.3)
3	(112, 80.21)	(100, 80.21)
4	(105, 119.75)	(100, 119.46)
5	(98, 159.86)	(100, 159.06)
6	(112, 199.96)	(100, 199.86)
7	(105, 240.07)	(100, 240.87)
8	(98, 280.17)	(100, 280.77)
9	(112, 320.28)	(100, 320.29)

图 5 无人机位置调整流程图

可见该方法在无人机编队调整中系统误差较小，具有良好的准确性。

## 5 总结

本篇论文中，大部分过程都严格使用数学化的表达方式，使无人机位置定位更加严格，具有解析性，模型准确度更高。无源定位可以不依赖问题信息，可以拓展至多个无人机系统中，能够实现无人机协同搜索，同时利用个体局部信息和群体全局信息进行局部搜索。达到目标最优解的速度快，对计算机处理器和内存要求不高。将复杂问题转化成单一问题重复操作，简化解体步骤，效率高。

### 参考文献

- \* [1] 杨俊. 多无人机自组织协同编队控制算法研究[D]. 电子科技大学, 2021.
- \* [2] 巴蕾, 李欣烨, 阮泳航. 基于圆的几何性质的无人机纯方位无源定位研究[J]. 汕头大学学报(自然科学版), 2023, 38(03): 33-41.
- \* [3] 李唯, 施一飞, 刘凯. 无人机遂行纯方位无源定位的建模研究[J]. 无线互联科技, 2023, 20(09): 129-131.
- \* [4] 王小英, 江怡帆, 赵悦. 三维移动目标无源定位算法[J]. 雷达科学与技术, 2019, 17(03): 280-284.
- \* [5] 张鲲, 沈重, 王海丰, 李壮, 高倩, 李涵雯. 海上侦察船的纯方位无源定位技术研究[J]. 舰船科学技术, 2018, 40(02): 19-21.

# 电动汽车绝缘电阻测试方法的研究

牛飞飞

(招商局检测车辆技术研究院有限公司, 重庆, 401329)

**摘要:** 随着电动汽车的快速发展, 电动汽车安全性越来越受重视。整车绝缘电阻作为电动汽车安全性能的重要指标, 其测试方法研究也显得尤为重要。本文概括了电动汽车绝缘电阻测试的试验流程, 通过对比欧标ECE R100和国标GB 18384-2020中整车绝缘电阻测试方法, 对欧标和国标测试结果数据进行分析对比, 结果表明国标测试方法的结果因为考虑更全面而更为合理。

**关键词:** 电动汽车; 绝缘电阻; B级电压电路; 测试方法

## 0 引言

随着中国“双碳”目标的提出, 新能源车被提高到一个新的高度。随着国产电动汽车的快速发展, 电动汽车安全性能测试就显得尤为关键<sup>[1]</sup>。绝缘电阻作为电动汽车安全性能中一个重要的指标, 其测试方法的研究也显得越发重要<sup>[2]</sup>。由于欧标 ECE R100<sup>[3]</sup> 和国标 GB 18384-2020<sup>[4]</sup> 中对 B 级电压电路绝缘电阻测试方法有些不同。本文将通过分别叙述欧标 ECE R100 和国标 GB 18384-2020 中电动汽车绝缘电阻测试的试验流程, 对同一辆样车分别使用欧标 ECE R100 测试方法和国标 GB 18384-2020 测试方法进行测试, 最后得出测试结果进行比对分析。

## 1 国内外 B 级电压电路绝缘电阻测试方法

国内外对 B 级电压电路绝缘电阻的测试方法有所不同, 但是测试条件基本一致。首先, 电压检测工具的内阻要大于等于 10MΩ。试验车辆电量需要充足, B 级电压在整车上电和所有电力、电子开关进入激活状态后电压需要高出车辆制造商给出的额定电压。

由于在测试过程中绝缘监测功能会对整车 B 级电压电路绝缘电阻的测试产生影响, 应事先将车辆的绝缘监测功能关闭或者将绝缘电阻监测单元从 B 级电压电路中断开。

### 1.1 欧标 ECE R100 绝缘电阻测试方法

整车 B 级电压电路绝缘电阻测试根据标准选择电压法进行, 各部分电压测量如图 1 所示接线进行, 接线部位可以使用高压线转接头进行取电或拆开高压分线盒等高压部件进行取电测量。首先测量并记录 B 级电压电路电压 ( $U_b$ )。然后同时测量并记录 B 级电压电路负极和整车电平台之间的电压值 ( $U_i$ ) 以及 B 级电压电路正极和整车电平台之间的电压值 ( $U_i'$ )。

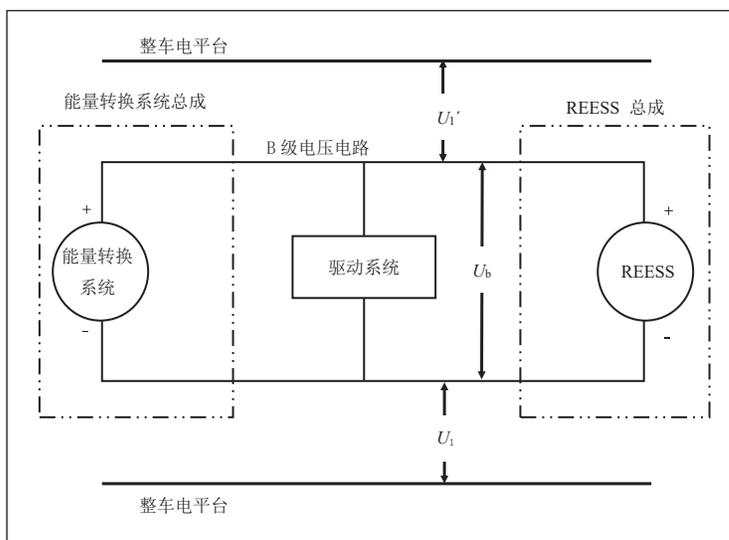


图1 整车电压测试 a

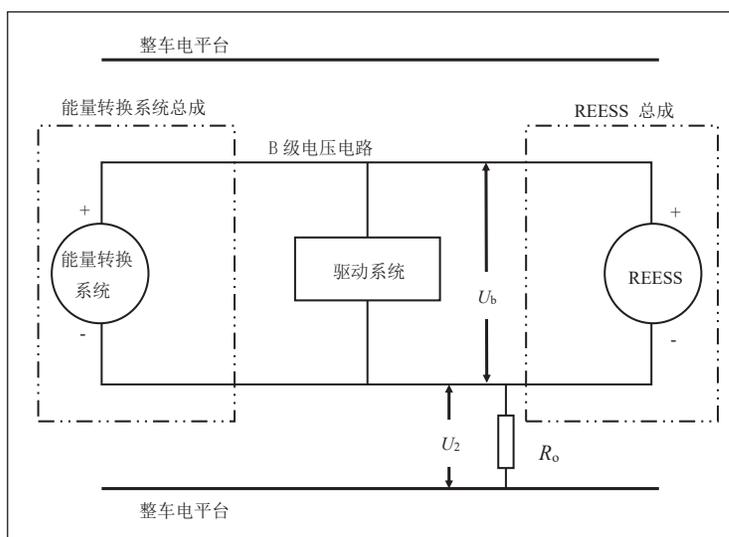


图2 负极并电阻之后的电压测试

如果测得结果电压值 ( $U_i$ ) 大于或等于电压值 ( $U_i'$ )，则在 B 级电压电路负极和整车电平台之间并联入一标准已知电阻 ( $R_0$ )。在并入  $R_0$  后, 测量并记录 B 级电压电路负极和整车电平台之间电压值 ( $U_2$ )。最终得到 B 级电压电路绝缘电阻阻值为:

$$R_i = R_0 \cdot U_b \cdot (1/U_2 - 1/U_i) \quad \text{式(1)}$$

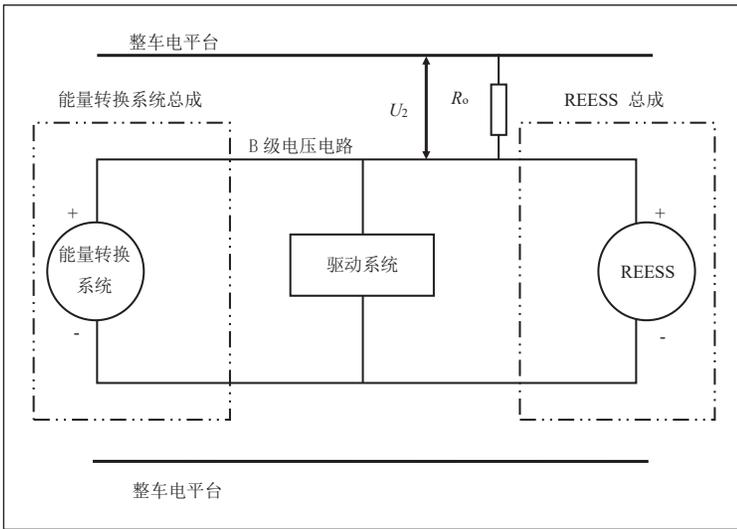


图3 正极并电阻之后的电压测试

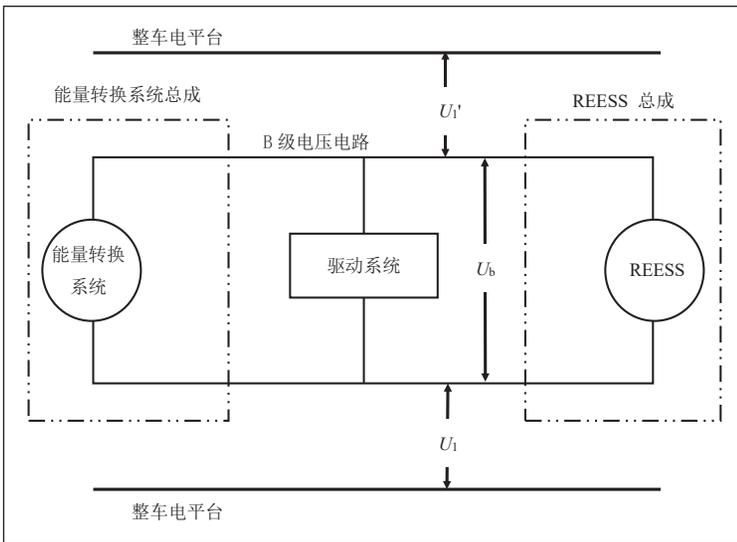


图4 整车电压测试 b

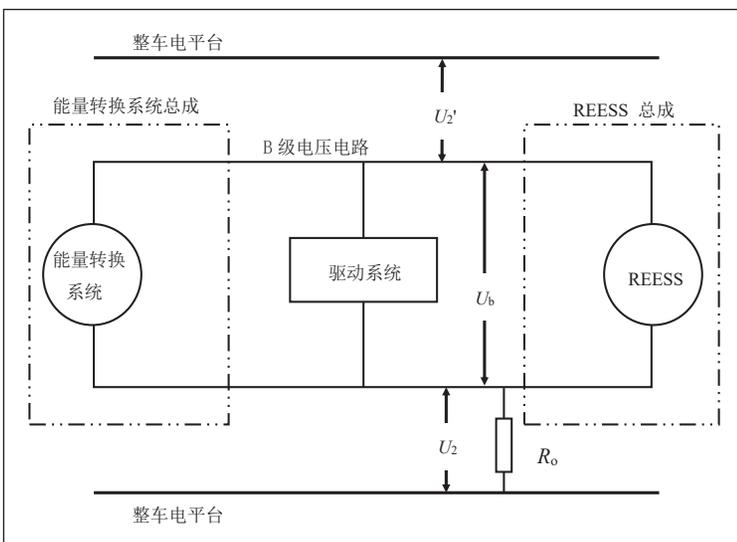


图5 并电阻之后的电压测试

如果测得结果电压值 ( $U_1'$ ) 大于或等于电压值 ( $U_1$ )，则在 B 级电压电路正极和整车电平台之间并联入一标准已知电阻 ( $R_0$ )。在并入  $R_0$  后，测量并记录 B 级电压电路正极和整车电平台之间电压值 ( $U_2'$ )。最终得到 B 级电压电路绝缘电阻阻值为：

$$R_i = R_0 \cdot U_b \cdot (1/U_2' - 1/U_1') \quad \text{式 (2)}$$

注：标准已知电阻  $R_0(\Omega)$  为标准要求绝缘阻值 ( $\Omega/V$ ) 的最小值乘以车辆额定电压  $\pm 20\%$  (V)。  $R_0$  值不一定为此精确值，可在此范围内任意选取，等式对任何  $R_0$  有效，但此范围内的  $R_0$  值对电压的测量结果最有利。

### 1.2 国标 GB 18384-2020 绝缘电阻测试方法

整车 B 级电压电路绝缘电阻测试同样根据标准选择电压法进行，各部分电压测量如图 4 所示接线进行，接线部位同样可以使用高压线转接头进行取电或拆开高压分线盒等高压部件进行取电测量。首先同时使用两个电压检测工具测量并记录 B 级电压电路两个端子（正极和负极）和整车电平台之间的电压，待电表读数基本稳定后读取电压值，其中较高的一个为 ( $U_1$ )，较低的一个为 ( $U_1'$ )。

在 ( $U_1$ ) 一侧和整车电平台之间并联入一个已知电阻  $R_0$ ，阻值宜选择 1 M $\Omega$ 。如图 5 所示并联在 REESS 总成的  $U_1$  侧端子与整车电平台之间。再同时使用两个电压检测工具测量并记录 B 级电压电路两个端子（正极和负极）和整车电平台之间的电压，待电表读数基本稳定后读取电压值，测量值分别对应 ( $U_1$ ) 端和 ( $U_1'$ ) 端为  $U_2$  和  $U_2'$ 。

B 级电压电路绝缘电阻阻值  $R_i$  可以通过  $R_0$  和四个电压值  $U_1$ 、 $U_1'$ 、 $U_2$  和  $U_2'$  以及电压检测设备内阻  $r$  计算得到：

$$R_i = \frac{1}{\frac{1}{R_0 \left( \frac{U_2'}{U_2} - \frac{U_1'}{U_1} \right)} - \frac{1}{r}} \quad \text{式 (3)}$$

## 2 B 级电压电路绝缘电阻测试和数据分析

试验样车选取某企业新能源轿车进行绝缘电阻测试，该样车 B 级电压 (REESS 总成) 电

路的额定电压为 345V。将车辆的绝缘监测功能关闭后进行测量,测试设备为数字万用表(内阻:10.9MΩ)及可调式电阻箱(量程:1kΩ~100MΩ)。

由于欧标 ECE R100 和国标 GB 18384-2020 中对 B 级电压电路绝缘电阻测试方法在测量整车电压时相同,因此此处仅做一次测量。测试得到该样车的总电压为 356.73V, B 级电压电路正极和整车电平台之间的电压值为 179.26V, B 级电压电路负极和整车电平台之间的电压值为 177.47V。由于 B 级电压电路正极和整车电平台之间的电压值较大,在此处并联加入一标准已知电阻  $R_0$ 。

由于标准已知电阻  $R_0$  ( $\Omega$ ) 为标准要求绝缘阻值 ( $\Omega/V$ ) 的最小值乘以车辆额定电压  $\pm 20\%$  (V)。此车电力传动系统由直流电总线和交流电总线联合组成, B 级电压电路与整车电平台间的最小绝缘电阻值为  $500\Omega/V$ 。所以此处  $R_0$  标准值为 (138000~207000)  $\Omega$ , 即 (138~207) k $\Omega$ , 此处选取  $R_0=200k\Omega$ , 使用可调式电阻箱将  $200k\Omega$  并入电路进行测量,测得 B 级电压电路正极和整车电平台之间的电压值为 7.016V, B 级电压电路负极和整车电平台之间的电压值为 349.51V。

根据国标测试方法,由于明确提出已知电阻  $R_0$  阻值宜选择  $1M\Omega$ , 此处选取  $R_0=1M\Omega$ , 即  $1000k\Omega$ 。使用可调式电阻箱将  $1000k\Omega$  并入 B 级电压电路正极端电路进行测量,测得 B 级电压电路正极和整车电平台之间的电压值为 30.322V, B 级电压电路负极和整车电平台之间的电压值为 326.16V。

### ■ 2.1 使用欧标 ECE R100 测试方法进行数据处理

此处  $U_b=356.73V$ ,  $U_1=177.47V$ ,  $U_1'=179.26V$ ,  $U_2=7.016V$ ,  $R_0=200k\Omega$ , 使用公式 (2) 得到绝缘阻值为:

$$R_{i1} = R_0 \cdot U_b \cdot \left( \frac{1}{U_2'} - \frac{1}{U_1'} \right) = 9771039.288(\Omega)$$

### ■ 2.2 使用国标 GB 18384-2020 测试方法进行数据处理

此处  $U_1=179.26V$ ,  $U_1'=177.47V$ ,  $U_2=30.322V$ ,  $U_2'=326.16V$ ,  $R_0=1000k\Omega$ ,  $r=10.9M\Omega$ , 使用公式 (3) 得到绝缘阻值为:

$$R_{i2} = \frac{1}{\frac{1}{R_0 \left( \frac{U_2'}{U_2} - \frac{U_1'}{U_1} \right)} - \frac{1}{r}} = 93919888.43(\Omega)$$

如果不计算电压检测设备内阻  $r$ , 即将  $r$  看作无穷大, 则使用公式 (3) 得到绝缘阻值计算为:

$$R_{i3} = \frac{1}{\frac{1}{R_0 \left( \frac{U_2'}{U_2} - \frac{U_1'}{U_1} \right)}} = R_0 \left( \frac{U_2'}{U_2} - \frac{U_1'}{U_1} \right) = 9766531.9(\Omega)$$

### ■ 2.3 对比测试结果计算值

对比欧标 ECE R100 测试方法和国标 GB 18384-2020 测试方法得到的绝缘电阻可以看出相差较大:

$$R_{i2} / R_{i1} = 9.612$$

而如果不计算电压检测设备内阻  $r$ , 即将  $r$  看作无穷大, 则使用国标 GB 18384-2020 测试方法得到的绝缘电阻值和欧标 ECE R100 测试方法得到的绝缘电阻值基本一致:

$$R_{i3} / R_{i1} = 0.9995 = 99.95\%$$

由此可以看出在绝缘电阻测试过程中,电压检测设备内阻有着很重要的作用,国标 GB 18384-2020 测试方法中由于将电压检测设备内阻因素考虑进去从而使得测试结果更加合理。

## 3 结束语

(1) 本文通过研究电动汽车整车 B 级电压电路绝缘电阻测试的方法,梳理了欧标 ECE R100 测试过程和国标 GB 18384-2020 测试过程;对比分析欧标 ECE R100 测试方法和国标 GB 18384-2020 测试方法,可以看出对 B 级电压电路绝缘电阻测试方法在测量整车电压时方法相同,区别在于并联负载后的电压测试方法(欧标采用单电压测试设备方法,而国标则是采用双电压测试设备方法)和计算公式。

(2) 通过实车试验数据对比分析了欧标 ECE R100 测试方法和国标 GB 18384-2020 测试方法测试得到的整车绝缘电阻数值可以看出,两种方法测试得到的结果相差较大。而国标方法结果将电压测试设备内阻不计算内后得到的绝缘电阻数值和欧标得到的结果基本一致。由此可以看出说明欧标是把电压测试设备看成一种理论状态下,而这种方法在绝缘电阻和电压测试设备内阻接近的时候影响更大,而国标因为考虑了设备内阻影响因为显得更为合理。

### 参考文献

- \* [1] 崔胜民. 新能源汽车技术解析 [M]. 化学工业出版社, 北京, 2016.
- \* [2] 秦振海, 赵雷雷, 王晓鹏, 杨国樑. 新版 GB 18384 对整车绝缘电阻性能要求与测试方法改进的探讨 [J]. 汽车电器, 2022(09):75-76+80.
- \* [3] E/ECE/324/Rev.2/Add.99/Rev.3 E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.99/Rev.3 Regulation No. 100-Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train[S].2011.
- \* [4] 电动汽车安全要求 GB18384-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

# 5G 基站天线一体化空口性能测试场适用性分析

喻春, 王成宇, 胡波

(重庆信息通信研究院, 重庆, 401336)

**摘要:** 本文根据3GPP 协议标准, 1-H、1-O、2-O类型基站的性能测试为OTA (over the air) 空口测试, 针对标准中不同章节的测试项目, 分析其测试场地、测试条件等因素的适用性, 为5G基站天线的OTA空口性能测试提供参考。

**关键词:** OTA; 远场; 紧缩场; 电波混响室; EMC暗室

## 0 引言

对5G基站天线而言, 天线与RRU集成在一起, 一方面电磁耦合、有源驻波等干扰因素不能完全消除; 另一方面, 有源天线的校准及幅相加权是通过各个射频通道上的一系列有源器件配合完成的, 与无源天线阵列通过无源的功分网络来进行幅相加权的方式差别很大。所以对于采用了大规模MIMO有源天线技术的5G基站而言, 一体化OTA测试方式才能有效反映其性能指标。尤其到了毫米波频段, 频段更高, 设备尺寸更小, 电磁干扰问题更加突出, 拆分测试已不具实用意义, 只能采用一体化OTA测试方案。

## 1 测试需求与标准

### (1) 测试需求

对于5G频段, 目前我国仅对FR1中的频段进行了分配, 其中中国移动使用2515MHz-2675MHz(频段号为n41)和4800MHz-4900MHz(频段号为n79); 中国电信使用3400MHz-3500MHz(频段号为n78); 中国联通使用3500MHz-3600MHz(频段号为n78); 广电网络使用700MHz频段。

从频谱划分来看, n41频段使用到100MHz的带宽, n78是全球主要频段, 目前很多国家的5G试点均采用n78的3.5GHz频段, 电信和联通采用共建站的方式实现网络部署, 则单个基站带宽达到200MHz, 因此测试来看需要场地和仪表满足大带宽的测试需求。

### (2) 测试方法标准

目前关于5G基站天线的国际标准有: 3GPP TS 38.141-1《NR Base Station (BS) conformance testing Part 1: Conducted conformance testing》, NR基站传导性能测试; 3GPP TS 38.141-2《NR Base Station (BS) conformance testing Part 2: Radiated conformance testing》, NR基站辐射性能测试; 以及等同的ETSI TS 138.141-1/138.141-2。

作为5G网络架构、协议标准的制定者, 3GPP标准化组织规定了type 1-C/1-H/1-O/2-O四种从物理结构和频率

划分上的基站类型。FR1 sub6G频段内的1-C类型单通道基站到天线的连接, 1-H为基站通过功分网络多通道连接至天线阵列, 1-O类型为天线、功分网络与射频单元完全一体化的结构, FR2毫米波频段内为2-O类型一体化的基站。该标准规定了基站整机传导和空口的测试方法以及技术指标要求, 也明确规定了不同基站类型所需测试的指标参数。

## 2 5G 基站天线空口性能测试场地

5G基站标准中定义的1-C、1-H、1-O、2-O共4种类型的基站, 其中1-H、1-O、2-O需采用空口OTA (over the air) 的方式进行测试。特别是FR1频段的1-O类型和FR2频段的2-O类型基站全部指标需采用OTA测试。采用OTA测试方式, 自然需要电波暗室, 常见的测试场有室内远场、紧缩场、近场、电波混响室这几类。前三种均在全电波暗室环境下进行, 而电波混响室则是一个电大尺寸且具有高导电反射墙面构成的屏蔽腔室。几类电波暗室对于5G基站天线的测试各有优缺点, 不同的电波暗室适用于不同的性能指标测试。

### (1) 室内远场

室内远场以在一个全电波暗室的室内, 点对点收发的直接测试方式, 收发距离需至少满足远场距离 $d=2D^2/\lambda$ , 其中 $d$ 为发射天线到接收天线的距离,  $D$ 为被测天线的口径,  $\lambda$ 为被测天线发射电磁波的波长。以3.5GHz的天线, 尺寸

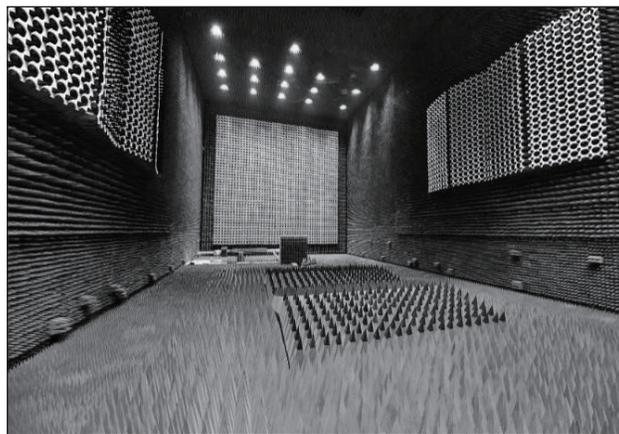


图1 室内远场

口径为 0.8 米为例，远场距离则大约需要 15 米，暗室尺寸长宽高预计约为  $20 \times 10 \times 10$  米。如果频率低一些，天线尺寸会更大，则暗室尺寸则需要更大才能满足测试条件。因此室内远场需要满足不同天线的测试需求，则需要做得足够大，建设成本较高。

### (2) 近场

被测天线与参考天线间的距离  $d \leq 2D^2/\lambda$  或  $10\lambda$ ，此类场地的优点是占用空间小、建设成本相对较低。具有代表性的近场是 MVG 公司的球面近场多探头测试系统，该测试系统通过多探头的快速切换和测试天线绕方位轴步进旋转，能够快速测试被测天线的球面近场幅度和相位数据。球面近场测试方式目前仅可用 CW（连续波）模式下的方向图测试，调制信号的测试暂未验证其可行性。

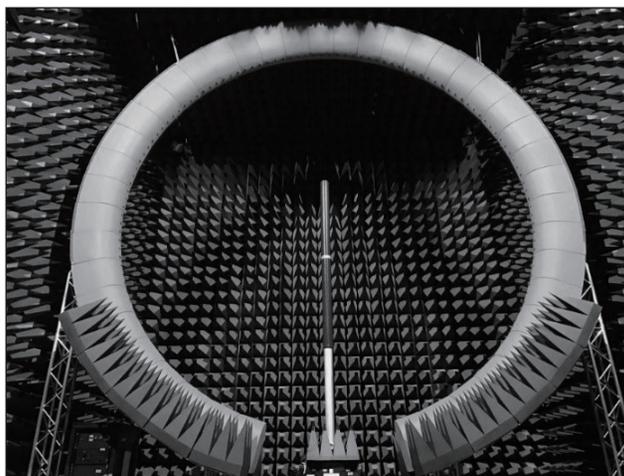


图 2 球面近场

### (3) 紧缩场

紧缩场属于远场的测试方式，它利用反射镜或透镜把位于焦点处的馈源发出的球面波转换为平面波，从而实现有限物理空间内的远场测试。参考天线与被测天线的距离较直接远场可以缩短，但测试动态范围比直接远场小。紧缩场的静区大小受反射面大小影响，因此要获得足够大的静区，其反射面成本较高，所以整体建设成本和维护成本也较高。

### (4) 电波混响室

电波混响室是一个电大尺寸且具有高导电反射墙面构成的屏蔽腔室，腔室中通常安装一个或几个机械式搅拌器或调谐器，通过搅拌器的转动改变腔室的边界条件，进而在腔室内形成统计均匀、各向同性和随机极化的电磁环境。所以混响室可用于多种涉及辐射场的测试，其中就包括天线效率、辐射功率等。相较于传统电波暗室，其对于 5G 基站天线辐射功率的测试高效且成本较低，比较适合用于各类辐射功率指标的测试。



图 3 紧缩场



图 4 电波混响室

## 3 5G 基站天线性能测试指标

由于 5G 基站天线相较于传统 2/3/4G 的天线，将 RRU 与天线“合二为一”，集成度更高，性能指标的测试也更加复杂。因此对于其性能测试需要将整体进行“一分为二”，一体化天线方向图和 OTA 性能两部分。其中天线方向图相较于传统板状无源天线，测试原理类似，测试仪表由网络分析仪变为频谱分析仪，本文不再进行技术分析，可参考传统无源天线的测试方法测试方向图。

5G 基站天线 OTA 性能分发射指标、接收指标两部分，相较于传统基站指标而言，衡量其指标的方式由传导的方式变为了空口（OTA）的方式。业内一般称为辐射发射指标、辐射接收指标。

辐射发射指标有 EIRP（等效全向辐射功率）、TRP（总辐射功率）、EVM（矢量幅度误差）、ACLR（临道功率抑制比）、发射机杂散、发射机互调等；辐射接收指标有 EIS（等效全向灵敏度）、ACS（临道选择性）、ICS（带内选择性）阻塞、

接收机杂散、接收机互调等；各类 OTA 性能指标的测试因为 OTA 的方式相较于传统的传导方式测试有所不同。

## 4 5G 基站天线性能发射指标分析

5G 基站辐射发射性能，对于发射机主要为下行指标，下行指标的测试内容主要为功率、频率误差、幅度误差、占用带宽等，其测试方式采用特定的波束方向测试、球面网格点两种不同测试范围。如表 1 根据标准列出了各指标评价方式和测试范围，TRP（总辐射功率）的测试按照 3GPP TS 38.141-2 中规定的网格点的所有 EIRP，然后按公式 1 进行计算：

$$TRP_{Estimate} = \frac{\pi}{2NM} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} EIRP(\theta_n, \phi_m) \sin \theta_n \quad \text{式 (1)}$$

其中 N 和 M 为球坐标系上  $\theta$  和  $\phi$  角度上测试点个数，EIRP ( $\theta_n, \phi_m$ ) 为每个单独的测试点，采样角度间隔根据天线大小和频率确定。

表1 发射指标评价方式

辐射发射指标	评价方式	测试范围
6.2 Radiated transmit power	EIRP	波束方向
6.3 OTA base station output power	TRP	球面
6.4 OTA output power dynamics	Power dynamic range	波束方向
6.5 OTA transmit ON/OFF power	OFF power/transient period	波束方向
6.6 OTA transmitted signal quality	Frequency error/EVM/time alignment error	波束方向
6.7.2 OTA occupied bandwidth	OBW	波束方向
6.7.3 OTA ACLR	TRP	球面
6.7.4 OTA operating band unwanted emissions	TRP	球面
6.7.5 OTA transmitter spurious emission	TRP	球面
6.8 OTA transmitter intermodulation	TRP	球面

对于标准中发射指标，EIRP、EVM 等指标 OTA 测试时需要在电波暗室环境条件下测试特定波束方向上的射频指标即可，测试方法和传导射频测试方式类似。然而 TRP 测试则需要测试以 5G 基站天线为球心的三维球面上各个采样点的 EIRP，最后通过公式 (1) 进行计算得出 TRP。对于此种 TRP 测试方式，则是需要在室内远场、紧缩场等较大暗室空间中进行，测试精确度高，对整个测试项目周期耗时较长。因此在保证测试精度的情况下，为了缩短测试项目周期，TRP 的测试可以选择测试效率更高的电波混响室作为 1GHz 以上的频率范围的测试场地。

电波混响室可以较大缩短测试周期，但仅限于在高频部

分且只针对 5G 基站天线本身发出的辐射功率进行测试。共址杂散以及极限温度条件下的辐射功率测试，均需要有足够大的静区安装共址天线和温度罩进行测试，另外互调测试同样需要共址天线馈入互调信号。因此对于这几个测试指标仍需选择室内远场、紧缩场等拥有较大静区的电波暗室作为测试环境。

## 5 5G 基站天线性能接收指标分析

接收指标也叫做上行指标，是衡量 5G 基站接收用户终端信号的能力，主要从两个方面验证。一是在基站接收信号吞吐量不低于 95% 的信号电平要足够低，二是在受到主频周围大干扰信号时，吞吐量需保持不低于 95% 的水平。根据标准规定，接收指标除接收机杂散外，其余指标只需在特定波束方向上测试即可，见表 2。

EIS 测试时，作为发射端，发送信号大小均比较低，各类场地的测试环境均可满足要求。对于临道选择性、阻塞等类型的指标测试，则需要保证足够的链路增益，以确保干扰信号达到作为接收端的 5G 基站天线口面时，功率满足标准规定的大小，因此可以考虑单探头近场（链路损耗最小）、室内远场、紧缩场这几种测试方式。根据标准要求，阻塞和临道选择的干扰信号功率大小在 -50~-60dBm 范围左右，室内远场根据 15 米的距离，则可以计算出损耗在 67dB 左右，紧缩场则因为路径距离更近，损耗预计为 60dB 左右。从干扰信号功率大小和测试场地路径损耗分析，室内远场和紧缩场则需要加功放才能满足要求，而单探头近场则可以缩短收发距离，不需要再额外增加路径中的放大器。其中共址阻塞和带外阻塞，需要安装共址天线和频带外的发射天线，因此考虑单探头近场和室内远场的方式作为可选的测量方式。

表2 接收指标评价方式

辐射发射指标	评价方式	测试范围
7.2 OTA sensitivity	EIS	波束方向
7.3 OTA reference sensitivity level	EIS reference	波束方向
7.4 OTA dynamic range	Throughput	波束方向
7.5 OTA in-band selectivity and blocking	EIS reference/Throughput	波束方向
7.6 OTA out-of-band blocking	Throughput/EIS	波束方向
7.7 OTA receiver spurious emission	TRP	球面
7.8 OTA receiver intermodulation	Throughput	波束方向
7.9 OTA in-channel selectivity	Throughput	波束方向

## 6 结束语

本文从 5G 基站天线性能空口一体化测试的标准条款  
(下转第 31 页)

# 基于 STM32 的车库智能排水系统设计

黄海俊, 黎冬梅, 许媛媛, 潘佳豪, 黄日荣

(玉林师范学院 物理与电信工程学院, 广西玉林, 537000)

**基金项目:** 国家级大学生创新创业训练项目 (202110606030)。

**摘要:** 为解决地下停车场排水阻水难题, 本文设计了一种基于STM32的车库智能排水系统。该系统采用STM32微控制器作为核心芯片, 并结合雨水检测模块、人体红外感应模块、百叶式排水机构和剪叉式阻水机构, 实现了自动化的阻水、排水控制。通过实时感知和准确判断地下停车场的降雨情况, 自动引导雨水进入排水或阻水系统, 预防积水和水浸事故。该设计旨在为小区和商场地下停车场提供可靠的排水解决方案。实验结果表明, 所设计的智能排水系统在保证用户停车安全的同时, 能够及时有效地排水, 避免水浸风险。

**关键词:** STM32; 排水阻水; 智能排水系统; 剪叉式机构

## 0 引言

地下停车场作为城市交通配套设施中重要的一部分<sup>[1]</sup>, 为驾驶员提供了方便的停车环境。然而, 由于地下停车场位于地下水平面以下, 面临着排水问题和阻水挑战。特别是在降雨天气或春季融雪时, 地下停车场容易发生积水现象, 给车辆和人员的安全带来潜在威胁<sup>[2]</sup>。因此, 设计和实施有效的车库智能排水系统是解决地下停车场排水问题的关键。

目前, 传统的车库排水方式主要依赖于地面排水系统, 然而, 由于地下停车场位置相对低洼且受到地下水位因素的影响, 常常出现排水不畅、积水严重甚至水浸事故频发的情况<sup>[3]</sup>。为了有效解决这一问题, 本研究提出了一种基于STM32的车库智能排水系统设计。该系统旨在通过实时监测、智能调控和排水、阻水功能来全面解决排水和阻水问题。它能够快速调整排水阻水机构, 以应对各种排水情况, 显著改善地下停车场的排水效果, 提升用户的停车体验和安全性。

## 1 系统方案概述

本文研究的车库智能排水系统主要包括以下3个模块: 控制模块、传感器模块、执行机构模块。控制模块以基于STM32的单片机为核心, 通过接口与其他模块进行数据交互和控制信号传输。传感器模块包括雨水传感器和人体红外感应传感器。用于监测车库内的降雨情况和车辆进出情况。执行机构模块包括百叶式排水机构、剪叉式阻水机构、活动井盖、抽水泵, 根据传感器模块的信号和传感器设置的限度, 通过控制执行机构模块实现自动排水、防倒灌和防止车库被降雨水淹的功能。系统的总体结构框图如图1所示。

## 2 机械结构设计

### 2.1 剪叉式阻水升降机构的机械设计

如图2所示, 是剪叉式阻水机构的机械结构图。为了实现阻水板的升降功能, 选用了适当规格和功率的电动推

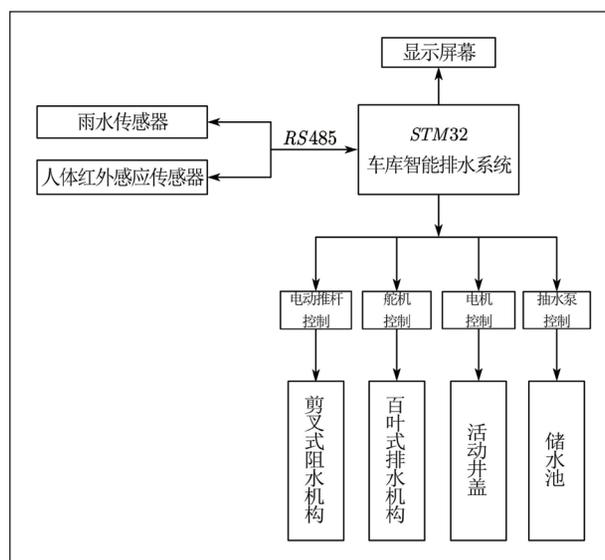


图1 系统总体结构框图

杆作为驱动装置。电动推杆通过固定连接于阻水板底部, 并利用电源和控制器实现灵活控制。为了将电动推杆的线性运动转化为阻水板的垂直运动, 采用了一种剪叉式机构设计<sup>[4]</sup>。该剪叉式机构由两个交叉的连杆组成, 其中一个连杆固定在电动推杆上, 另一个连杆固定在阻水板上。当电动推杆运动时, 剪叉式机构能够将其线性运动转化为阻水板的垂直运动, 从而实现阻水板的升降功能。这种机构设计可有效地将电动推杆的运动传递到阻水板, 使其能够沿垂直方向升降。同时, 通过合理选用电动推杆的规格和功率, 以及优化连杆的长度和比例, 可以实现所需的升降高度和速度。

### 2.2 百叶式排水机构的机械设计

如图3所示, 展示了百叶式排水机构的机械结构。该机构采用了平行四杆机构设计, 并选择舵机作为驱动装置来实现百叶的开闭运动。平行四杆机构由舵机的输出轴和两个连杆组成。其中一个连杆固定在舵机的输出轴上, 而另一个连杆与百叶相连。通过合理设计连杆的长度和比例关系, 舵机的旋转运动可以被转化为百叶的平行运动, 从而实现百叶的同时开闭。通过控制舵机的旋转角度, 可以实现百叶的灵

活开启和关闭操作，以确保车库快速排水。这种简单而有效的平行四杆机构设计为百叶式排水装置提供了稳定可靠的动力传输方式。

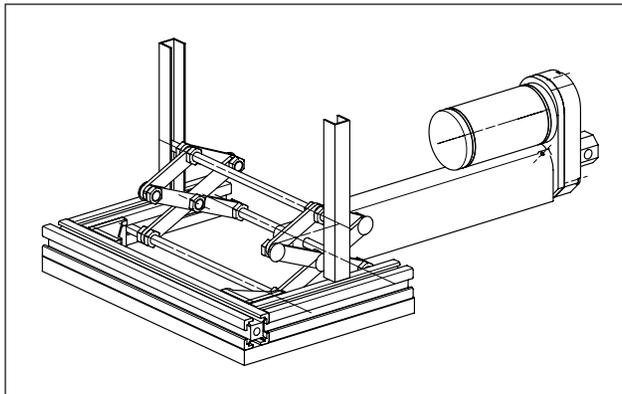


图2 剪叉式阻水机构的机械结构图

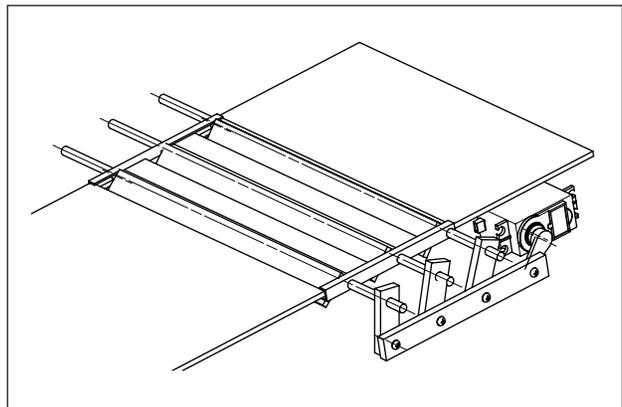


图3 百叶式排水机构的机械结构图

### 3 系统硬件设计

#### 3.1 主控制器模块

车库智能排水系统采用 STM32F103VET6 作为核心控制器，提供了多样化的外设接口<sup>[5]</sup>。这些接口包括电源接口、外部传感器接口、外部执行器接口、I<sup>2</sup>C 总线接口和控制引脚。通过外部传感器接口，系统可以实时获取车库环境的参数信息，比如水量和人员出现情况。外部执行器接口可用于控制排水系统的运行状态，可以驱动水泵或打开排水阀门。同时，使用 I<sup>2</sup>C 总线接口可以与其他设备进行通信和数据传输。控制引脚则用于数据输入输出、定时任务和中断处理。利用软件编程，系统能够智能地控制排水系统的启停，根据传感器获取的数据进行自动调节。这样，车库智能排水系统得以稳定可靠地进行控制和监测，显著提升了系统的智能化水平。

#### 3.2 雨水传感器模块

车库智能排水系统采用雨水传感器模块，通过电阻性原

理设计，能及时检测车库内的雨水积聚并实现智能排水。雨水传感器模块在系统中起到关键作用。当雨水落入车库时，雨滴与涂覆镍线电极接触，形成导电路径，使电路板与地连接，产生低电平信号<sup>[6]</sup>。该信号经过连接的 LM393 电压比较器处理，比较 AC 端口和 IN 端口电平，输出相应的高或低电平。当检测到雨水存在时，输出高电平信号；若无雨水，则输出低电平信号。控制单元连接到雨水传感器模块的 DO 数字输出，可实时监测传感器模块状态，判断车库是否有雨水积聚。同时，通过连接到雨水传感器模块的 AO 模拟输出，可获取雨水的量信息，以便更精准地控制排水程度和时机。使用雨水传感器模块，车库智能排水系统能自动检测雨水状态并进行智能排水，避免车库积水问题，提升安全性和舒适性。

#### 3.3 人体红外感应传感器模块

车库智能排水系统采用了人体红外感应传感器模块作为关键组件，位于入口底部的阻水挡板上。该模块通过双元探头设计和圆形透镜设计，能够精确感知人员和车辆的方向和距离，同时扩大感应角度范围<sup>[7]</sup>。通过延时关闭和感应封锁时间的设置，系统能够自动检测人员和车辆的进出，并在延时时间内阻止水流进入车库。通过此优化设计，人体红外感应模块实现了全自动感应和可重复触发的功能，提高了车库智能排水系统的效率、安全性和便利性，为用户提供更高水平的智能车库管理体验。

## 4 系统软件设计

车库智能排水系统的软件设计分为五个方面。系统启动时，进行 MCU（单片机）的初始化设置，包括引脚配置和时钟设置。传感器模块和执行机构模块也需要初始化，并与

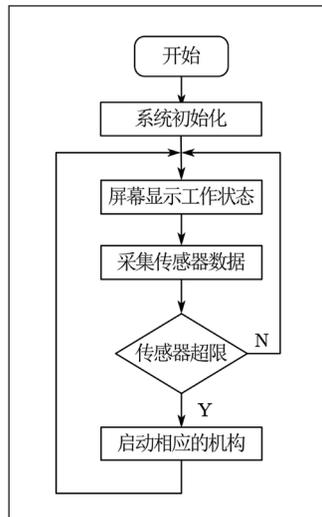


图4 软件整体框图

它们建立通信连接,确保硬件正常工作和数据传输。在传感器数据采集阶段,通过读取雨水传感器和人体红外感应模块数据,获取车库内的降雨情况和车辆进出情况。传感器数据会经过 ADC 转换为数字信号,并进行数据校验和格式转化。参数判断和控制逻辑阶段根据用户预设的阈值对传感器数据进行处理和判断。例如,当降雨超过阈值时触发排水机构启动,当检测到人员或车辆接近车库入口时触发阻水机构升起。设备动作控制阶段,通过 GPIO 控制执行机构的动作,如百叶式排水机构和剪叉式阻水机构的开闭状态、活动井盖的升降、抽水泵的启停。用户界面和操作阶段,通过显示屏提供菜单和界面,并通过按钮进行参数设置和查询系统状态。

整体框架包括初始化子程序、数据采集子程序、决策控制子程序、用户界面子程序,可提供高效排水和用户友好操作。图 4 为软件整体框图。

## 5 系统测试与分析

为验证测试车库智能排水系统的性能功能,模拟车库环境的搭建(如图 5 所示),进行设备动作控制和传感器数据采集的测试与分析,测试结果如表 1 所示。

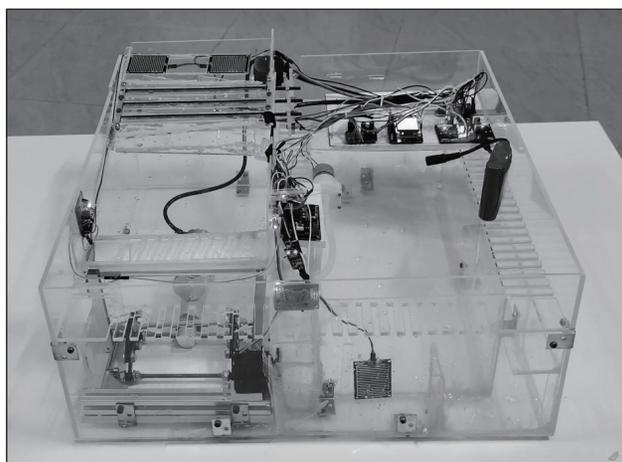


图 5 车库智能排水系统样机

通过对设备动作控制和传感器数据采集的测试与分析,证明了车库智能排水系统在设备动作控制和传感器数据采集方面表现良好,能够根据不同情境进行智能排水管理。然而,在实际应用中仍可能存在改进的空间,例如提升设备响应速度、增加传感器的准确性。未来可以进一步研究和改进系统的性能,以满足更多需求和场景。

表1 传感器数据采集和设备动作控制测试结果

测试次数	测试场景	期望结果	测试结果
10次	少量雨水流入车库	雨水流入排水管道;百叶式排水机构打开,水流入排水管道	成功
10次	大量水流入车库	剪叉式结构升起,阻水排水,阻止水流进入车库并排水;	成功
10次	人或车辆接近	阻水装置关闭等待人或车辆通过后再升起	成功
10次	排水管道水位异常	调节活动井盖,切断与城市排水系统连接	成功
10次	储水池水位到达预设值	启动抽水泵,将水排到城市排水系统	成功

## 6 结束语

本文介绍了一种基于 STM32 的车库智能排水系统。该系统利用传感器和机构实现了自动化的阻水排水控制,解决了地下停车场排水问题。传感器和控制机构的协作保证了系统的高效稳定运行,降低了水浸事故的发生概率,增强了用户停车安全性。通过实时感知和准确判断降雨情况,系统能够智能引导雨水进入排水或阻水系统,有效预防积水和积水事故的发生。实验结果证明,该系统在保证停车安全的同时,能够及时有效地排水,降低了水浸风险,提升排水效果,为用户提供更安全和便利的停车环境。未来,该系统有望在更广范围的停车场中应用,提高城市交通系统的智能化水平,为人们的出行提供更安全、便利的保障。

## 参考文献

- \* [1] 林立华. 城市多层隧道上层空间用作地下停车场设计研究 [J]. 城市建筑, 2022,19(04):117-120.
- \* [2] 付裕, 侯鑫杰, 于守超, 徐晓钰. 谈地下停车场的人性化景观设计 [J]. 山西建筑, 2022,48(06):35-39.
- \* [3] 林基文. PLC 在地下停车场排水系统的应用 [J]. 电子制作, 2016(15):50-52.
- \* [4] 冯军, 朱洪军, 胡明, 高兴文. 基于故障树法的空间球型折展机构可靠性分析 [J]. 机械管理开发, 2023,38(05):67-69.
- \* [5] 汤耀森, 唐艳凤, 蔡鸿谕, 胡钊. 基于 STM32 的养殖机器人控制系统设计 [J]. 机电工程技术, 2022,51(10):137-140.
- \* [6] 徐建财, 蒋进杰, 郑炳凯, 郑雪婷, 黄世娟. 基于 Arduino 的智能晾晒装置 [J]. 科学技术创新, 2023(11):224-228.
- \* [7] 张蕊, 王启明. 基于单片机的汽车防撞防盗系统的设计与实现 [J]. 物联网技术, 2022,12(04):97-98+102.

# 基于嵌入式的智能家居控制系统设计与实现

何丽媛

(内蒙古广播电视监测与发展中心, 内蒙古呼和浩特, 010010)

**摘要:** 本文基于STM32F407微控制器, 设计和实现了一套智能家居控制系统。系统通过使用STM32F407的强大功能和丰富的外设接口, 实现了智能家居的多种功能和智能化控制。主控制单元利用STM32F407微控制器进行电路设计和布局, 选择适当的外设接口和扩展模块, 以及传感器和执行器接口, 实现了与各种设备的连接和控制。软件设计方面, 采用嵌入式操作系统进行配置, 并利用STM32F407固件库和开发工具进行应用程序开发和算法实现。

**关键词:** 智能家居; 嵌入式系统; STM32F407

## 0 引言

随着科技的不断进步, 人们对智能家居的需求越来越高。智能家居控制系统可以提供便利、舒适和能源效率。本研究的目的是设计和实现一个基于STM32F407的智能家居控制系统, 以满足人们对智能家居的需求。通过该系统, 用户能够方便地控制和监测家居设备, 提高生活的便利性和舒适度<sup>[1]</sup>。

智能家居系统应能够控制智能家居设备, 如灯光、空调、窗帘等, 实现开关、调节和定时等功能<sup>[2]</sup>; 应能够监测室内环境参数, 如温度、湿度、光照等, 并能根据设定的条件自动调整设备状态; 应具备安全监测功能, 如火灾、煤气泄漏等, 及时报警并采取相应措施。此外, 系统还应具备能源管理功能, 如实时监测用电量、水量等, 并提供节能建议和优化方案<sup>[3]</sup>。同时能够支持通过手机、平板或电脑远程控制家居设备, 提供便捷的远程管理功能。

## 1 智能家居控制系统逻辑框架

整体架构可分为几个关键层次以确保系统的有序运作, 具体如图1所示。在顶层是应用层, 负责用户与系统的直接互动, 包括用户界面、应用程序逻辑和输入处理。业务逻辑层处于其下, 负责解释用户输入、执行命令, 并协调系统内部操作, 包括控制逻辑、命令解释器和状态管理。通信层管理系统内各组件的通信, 包括硬件间通信和系统与外部设备(如云服务)的通信, 涵盖通信协议、网络通信模块和数据传输层。

在核心控制层, 作为系统的中枢, 主控制单元协调硬件和软件组件, 执行业务逻辑, 控制设备, 包括外设接口、扩展模块管理、传感器和执行器控制。底层则是硬件抽象层, 提供对底层硬件的抽象, 包括微控制器、外设接口、传感器和执行器驱动。这种清晰的分层结构有助于系统的设计、维护和扩展, 同时减少了各个层次之间的耦合, 提高了系统的灵活性和可维护性。

整体逻辑架构中, 硬件设计以STM32F407微控制器为



图1 系统逻辑框架

核心, 通过外设接口和扩展模块实现与传感器、执行器的连接, 同时集成通信模块支持无线和有线通信。传感器负责感知环境信息, 执行器用于控制家居设备, 而通信模块负责与其他设备和云服务进行通信。在软件设计方面, 采用嵌入式操作系统(RTOS), 应用程序层提供用户界面、应用程序逻辑和用户输入处理, 利用STM32F407固件库和开发工具实现算法和功能。通信协议和数据处理确保可靠的数据传输和设备控制。整个系统通过主控制单元协调硬件和软件的工作, 实现了智能家居控制的用户友好界面和智能化功能。下面章节详细介绍硬件系统和软件系统的设计与实现。

## 2 硬件系统设计与实现

### 2.1 STM32F407 微控制器

本研究所选用的STM32F407是STMicroelectronics公司生产的一款高性能嵌入式微控制器, 具有丰富的特性和功能, 适用于广泛的应用领域。它采用ARM Cortex-M4内核, 具有高性能和低功耗的特点。STM32F407具有灵活的时钟系统, 包括多个时钟源和时钟分频器。它支持时钟频率高达

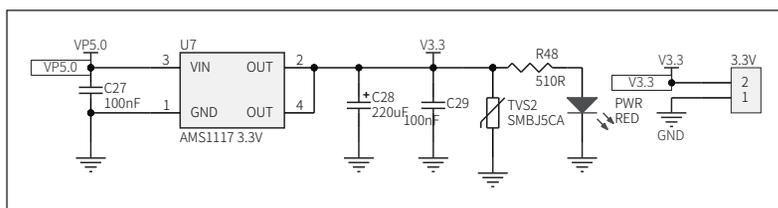


图2 AMS1117 应用原理图

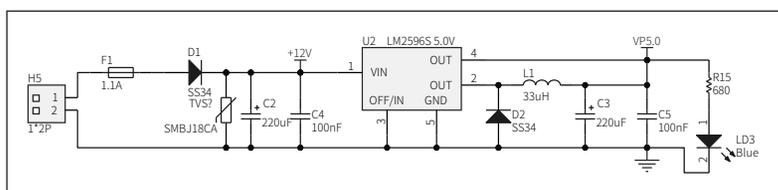


图3 LM2596S 应用原理图

168MHz, 并提供多个定时器和计数器用于精确的时序控制。

该微控制器集成了多种存储器类型, 包括 Flash 存储器用于程序存储和存储器映射数据存储器 (SRAM)。Flash 存储器容量可达到 1MB, SRAM 容量可达到 192KB。STM32F407 提供了丰富的外设接口, 包括多个通用输入/输出引脚 (GPIO)、通用串行总线 (USART、SPI、I<sup>2</sup>C)、模拟输入/输出 (ADC、DAC) 和高级定时器 (PWM、捕获/比较) 等。而且该微控制器支持多种通信接口, 如以太网控制器 (Ethernet MAC)、USB 控制器 (USB OTG)、CAN 总线接口、SDIO 接口等, 实现了各种通信需求。

## 2.2 硬件设计与实现

根据系统需求和 STM32F407 微控制器的引脚功能, 设计主控制单元电路, 并将 STM32F407 微控制器正确连接到外部电路。确保正确配置供电电路、复位电路和时钟电路等。进行电路布局设计, 考虑信号线长度、电源线和地线的走向, 以最小化电路干扰和噪声。为主控制单元提供必要的外部元件, 如晶振、电容器和电阻器等, 以满足 STM32F407 微控制器的要求。以下是主控制单元电路设计的具体模块和功能。

### 2.2.1 供电电路

本设计使用 AMS1117 芯片作为主控制单元的稳压器, 为 STM32F407 提供稳定的 3.3V 电源, 如图 2 所示。同时, 使用 LM2596 芯片作为 DC-DC 转换器, 将较高的输入电压转换为系统其他部分所需的较低电压, 如图 3 所示。

在设计中确保正确连接芯片的引脚、满足电压和电流要求, 并选择适当的电容器进行滤波和稳定电源。还需注意功耗和热管

理, 特别是对于 LM2596 DC-DC 转换器, 根据系统功率需求选择合适的散热措施, 以确保其正常运行和温度控制。在电路布局和连接时要考虑信号线的长度、电源线和地线的走向, 以最小化电路干扰和噪声, 确保供电电路的可靠性和稳定性

### 2.2.2 复位和时钟

将 STM32F407 的复位引脚 (NRST) 连接到复位电路。使用一个电容和一个电阻构成复位电路。将电容连接到复位引脚和地引脚, 将电阻连接到复位引脚和供电电源。

STM32F407 微控制器支持多种时钟源,

包括外部晶振、内部 RC 振荡器和外部时钟输入。外部晶振是一种常用的时钟源, 它提供稳定的时钟信号。本设计选择 8 MHz 外部晶振。将外部晶振连接到 STM32F407 的时钟输入引脚 (PH0 和 PH1 引脚)。在 STM32F407 的时钟配置寄存器中设置正确的时钟源和分频系数, 以确保正确的时钟频率。

### 2.2.3 外部存储器接口

本系统采用 SPI Flash 存储器 W25Q32, W25Q32 容量为 4MB, 最高支持 80 MHz 的快速时钟速度, 并且存储器寿命长。具体引脚对应关系如表 1 所示。

表1 存储器与控制器引脚对应关系

W25Q32存储器引脚	STM32F407引脚
CS	GPIO引脚
SCK	SPI时钟引脚
MISO	SPI主输入引脚
MOSI	SPI主输出引脚

### 2.2.4 ADC 转换设计

本系统采用 ADC 转换芯片 AD7908, 使用 MCP1525 提供稳定的参考电压。连接 MCP1525 的输出引脚到 AD7908 的引用输入 (REFIN)。确保 MCP1525 的输出电压符合 AD7908 的参考电压要求。从 AD7908 的数字输出引脚获得

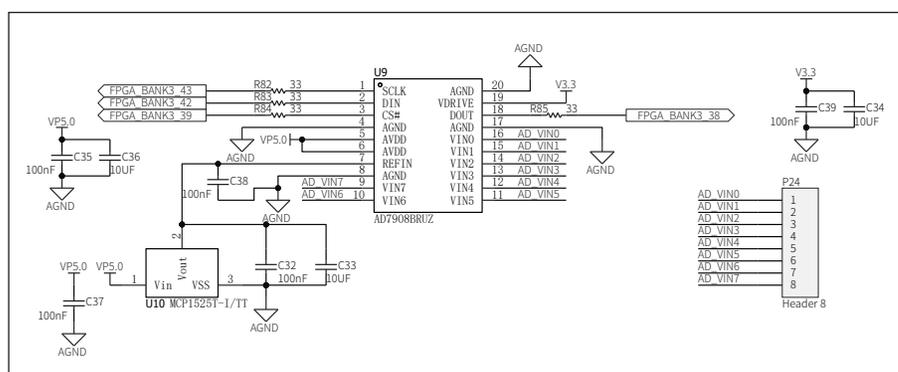


图4 AD 转换原理图

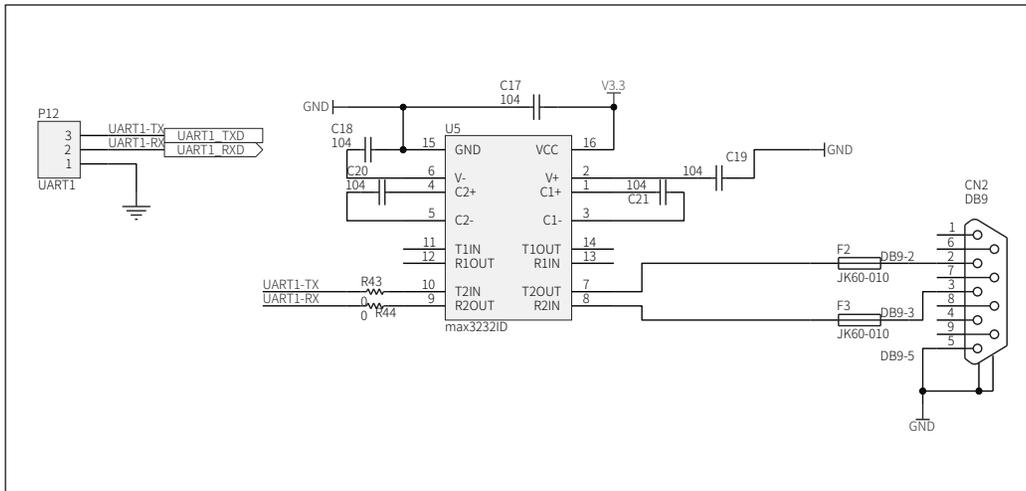


图5 UATR通讯原理图

转换后的数字结果。各个器件的地线连接在一起，确保共同的地电位。在电路中添加合适的滤波电容和去耦电容，以减少电源噪声和抑制干扰，整体设计如图4所示。

### 2.2.5 通信及外设接口

设计的通信接口，包括UART（见图5）、SPI、I<sup>2</sup>C、JTAG等，以实现与其他设备的通信和数据交换。连接外部设备到相应的引脚，并确保通信线路的正确连接和信号质量。根据系统需求和外设选择，设计适当的外设接口，如GPIO、PWM、ADC等。

## 3 软件设计

### 3.1 软件架构

件架构设计需要考虑到软件的可靠性、稳定性、可扩展性和易维护性等因素，软件架构图6所示。



图6 软件系统架构图

#### 3.1.1 引导加载程序 (Bootloader)

引导加载程序是系统启动的第一个阶段，它负责初始化

硬件，加载内核或应用程序到内存，然后将控制权转交给加载的代码。引导加载程序通常位于系统的非易失性存储器中，如闪存。

#### 3.1.2 硬件驱动程序

硬件驱动程序负责与嵌入式系统中的硬件交互，包括以下硬件驱动：

##### (1) FLASH

驱动：管理闪存的读写操作，包括存储应用程序代码和数据。

(2) AD 驱动（模数转换器）：与模数转换器进行交互，将模拟信号转换为数字值。

(3) DM 驱动（数字电机驱动）：控制数字电机的运行，包括速度和方向控制。

(4) 通讯接口驱动：管理与外部设备和传感器之间的通信，如UART、SPI、I<sup>2</sup>C等。

#### 3.1.3 FreeRTOS 内核

FreeRTOS 是一个开源的实时操作系统内核，提供多任务管理、调度和同步机制。内核包括以下组件：

(1) 内存管理：分配和管理系统内存资源，避免内存泄漏和冲突。

(2) I/O 管理：管理外部设备和资源的输入输出操作，包括中断处理和定时器管理。

(3) 进程控制：管理多任务调度，确保不同任务之间的合理分配处理器时间。

(4) 通讯协议：实现任务间的通信和同步机制，如消息队列、信号量等。

#### 3.1.4 应用软件

应用软件是实际实现智能家居功能的核心部分，包括以下内容：

(1) C 函数库：提供了通用的 C 函数库，用于处理数据操作、计算和算法。

(2) 云平台接口：实现与云平台的通信接口，用于远程控制、数据上传和设备管理。

这样的软件架构允许嵌入式智能家居控制系统实现多任务处理、硬件控制、通信和数据处理。引导加载程序确保系统能够正确启动，硬件驱动程序实现与硬件的交互，FreeRTOS 内核提供任务管理和同步机制，应用软件负责实

现智能家居功能和与云平台的交互。这种分层架构使系统的开发和维护更加清晰和可扩展。

### ■ 3.2 进程控制

在 ARM 架构下，本设计中选用的是 FreeRTOS 系统。在嵌入式领域，FreeRTOS 是不多的同时具有实时性，开源性，可靠性，易用性，多平台支持等特点的嵌入式操作系统<sup>[4]</sup>。

FreeRTOS 的任务调度是基于抢占式优先级调度的。每个任务都有一个优先级，优先级越高的任务会优先执行。当多个任务处于就绪状态时，操作系统会自动选择优先级最高的任务执行，直到该任务被阻塞或者时间片用尽，才会调度其他任务执行。在 FreeRTOS 中，任务可以通过 `xTaskCreate()` 函数进行创建，并可以指定任务的优先级和堆栈大小等参数。任务可以通过 `vTaskDelay()` 函数进行延时、通过 `vTaskSuspend()` 和 `vTaskResume()` 函数进行挂起和恢复操作。具体的任务调度状态转变图如图 7 所示。

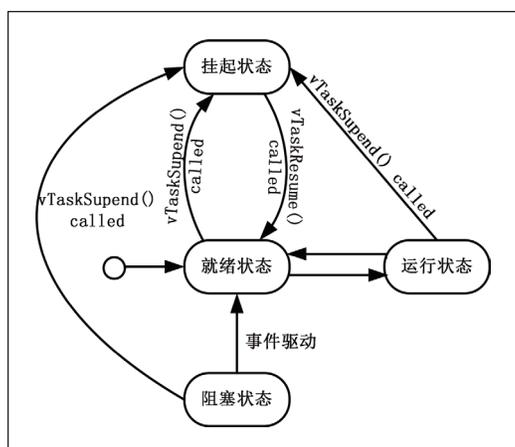


图 7 任务调度状态转换图

### ■ 3.3 驱动程序设计

STM32F407 微控制器提供了丰富的外设和功能模块，每个外设都有相应的底层驱动程序和功能库，具体功能库见表 2。

表 2 STM32 功能库

外设/功能	功能简述	功能库
GPIO	用于控制引脚的输入和输出	STM32 GPIO库
USART/UART	用于串行通信,如RS232、RS485、MIDI等	STM32 USART库
SPI	用于与外部设备进行高速串行通信	STM32 SPI库
I2C	用于与其他设备进行串行通信	STM32 I2C库
ADC	用于将模拟信号转换为数字信号	STM32 ADC库
PWM	用于产生脉冲宽度可调节的信号,如控制电机、LED等	STM32 TIM库
定时器	用于产生定时中断或定时触发事件	STM32 TIM库
DMA	用于实现高速数据传输,减轻CPU负担	STM32 DMA库

这些功能库提供了一系列 API 函数，用于配置和控制相应的外设。在使用之前，需要包含相应的头文件，并根据具体需求调用相应的函数进行配置和操作。

下面以 ADC 库为例说明使用方法：

(1) 引入必要的头文件

```
#include "stm32f4xx.h"
```

(2) 初始化 ADC 模块

```
void ADC_Init(void)
```

```
{
```

```
    // 使能 ADC 时钟
```

```
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_
ADC1, ENABLE);
```

```
    ADC_InitTypeDef ADC_InitStructure;
```

```
    // 配置 ADC 参数
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_Resolution = ADC_
Resolution_12b;
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_ScanConvMode = DISABLE;
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_ContinuousConvMode =
DISABLE;
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConv = ADC_
ExternalTrigConv_T1_CC1;
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConvEdge =
ADC_ExternalTrigConvEdge_None;
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_
Right;
```

```
    ADC_InitStructure.ADC_NbrOfConversion = 1;
```

```
    ADC_Init(ADC1, &ADC_InitStructure);
```

```
    // 配置 ADC 通道
```

```
    ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_
Channel_1,1,ADC_SampleTime_84Cycles);
```

```
    // 使能 ADC
```

```
    ADC_Cmd(ADC1, ENABLE);
```

```
    // 校准 ADC
```

```
    ADC_StartCalibration(ADC1);
```

```
    while(ADC_GetCalibrationStatus(ADC1) != RESET);
```

```
    // 启动 ADC 转换
```

```
    ADC_SoftwareStartConv(ADC1);
```

```
}
```

(3) 读取 ADC 转换结果

```
uint16_t ADC_Read(void)
```

```
{
```

```
    // 等待转换完成
```

```
    while(ADC_GetFlagStatus(ADC1, ADC_FLAG_EOC)
== RESET);
```

```
    // 读取转换结果
```

```
uint16_t result = ADC_GetConversionValue(ADC1);
return result;
}
```

在使用 ADC 模块之前，需要先初始化 ADC 的相关参数，包括分辨率、转换模式、转换触发源等。然后通过调用 ADC\_RegularChannelConfig 函数配置所需的 ADC 通道和采样时间。在配置完成后，可以启动 ADC 转换并等待转换完成。最后，通过调用 ADC\_GetConversionValue 函数读取转换结果。

### ■ 3.4 智能家居系统功能设计

在智能家居控制系统的软件设计中，可以考虑实现以下具体功能：

(1) 设备控制功能：允许用户通过移动应用程序或 Web 界面控制智能家居设备，如灯光、温度调节器、窗帘、安防系统等。可以提供开关、调节、定时等控制选项。

(2) 场景管理功能：允许用户创建和管理不同的场景，例如“回家模式”、“离家模式”、“睡眠模式”等。每个场景可以包含多个设备的状态设置，以实现一键操作。

(3) 传感器数据监测功能：将智能家居中的传感器数据实时监测并显示给用户，如温度、湿度、光线强度等。用户可以通过监测数据了解当前环境状态。

(4) 定时任务功能：允许用户设置定时任务，例如定时开关灯、定时开启/关闭安防系统等。可以根据用户设定的时间和日期自动执行相应的操作。

(5) 能耗监控功能：实时监测智能家居设备的能耗情况，并提供能耗统计和分析报告，帮助用户合理使用能源并降低能耗成本。

(6) 远程访问功能：允许用户通过互联网远程访问智能家居控制系统，无论身处何地都能控制和监测家居设备。

(7) 用户管理功能：提供用户账号管理功能，允许多个用户共享智能家居系统并分配不同的权限级别，以确保家庭成员或授权用户能够安全地使用系统。

(8) 安全防护功能：实现数据加密、身份认证和访问控制，确保智能家居系统的安全性，防止未经授权的访问和操控。

根据以上功能设计，在 FreeRTOS 系统中创建以下任务，如表 3 所示。

在 FreeRTOS 系统需要在 setup() 函数中初始化硬件和系统资源，并使用 xTaskCreate() 函数创建任务，并在每个任务函数中实现相应的逻辑。在任务函数中，使用

表3 任务功能和任务优先级

任务	功能描述	优先级
用户身份认证任务	处理用户身份认证，包括验证用户名密码、指纹识别等	高
设备控制任务	接收用户指令并控制智能家居设备的状态和行为	中
数据监测任务	定时或实时监测环境数据，如温度、湿度、光照强度等	中
定时任务	执行定时触发的任务，如定时开关灯、定时启动清洁机器人等	低
通信任务	处理与外部设备或网络的通信，如与手机应用程序进行数据交互、与云平台进行远程控制等	低
错误处理任务	监测系统错误和异常情况，并采取相应的纠正措施	低

vTaskDelay() 函数来设置任务的延时或挂起，以控制任务执行的时间间隔。

通过完成软件设计与实现，包括嵌入式操作系统选择与配置、STM32F407 固件库和开发工具的使用、设备驱动程序开发，以及应用程序开发，可以实现系统的各项功能，并确保软件与硬件的良好配合和系统的稳定性。

## 4 结论

在本文中，基于 STM32F407 微控制器设计和实现了一套智能家居控制系统。通过硬件设计与实现，我们构建了主控制单元电路，并设计了外设接口和传感器/执行器接口，以实现系统的各项功能和扩展性。在软件设计与实现方面，选择了适当的嵌入式操作系统、使用 STM32F407 固件库和开发工具，开发了设备驱动程序和应用程序，并实现了通信模块以实现本地和远程通信。此外，还关注了系统的安全性与隐私保护，实施了数据加密、用户身份认证和访问控制、隐私保护等措施。通过持续改进和发展，基于 STM32F407 的智能家居控制系统将能够更好地满足用户的需求，并为未来智能家居技术的发展作出贡献。

### 参考文献

- \* [1] 蒋志伟, 王伟, 刘姝, 王凯. 基于 ARM 的智能家居系统的设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2023, 46(04): 177-181.
- \* [2] 刘君君, 胡贵宾, 冯剑平. 智能家居综合管理服务平台 [J]. 中国信息化, 2023(02): 93-94.
- \* [3] 刘立北. 基于单片机的智能家居窗帘自动控制系统设计 [J]. 电子技术与软件工程, 2023(04): 116-119.
- \* [4] 郭富恒, 贺媛媛. 基于 FreeRTOS 的物联网温度监测系统 [J]. 智能物联技术, 2022, 5(02): 48-52.

# 基于 STM32 的温室大棚调节系统的设计与实现

陈茂芳, 谭程霏, 李伟宾, 邓带弟, 阮芝莺

(玉林师范学院, 广西玉林, 537000)

**摘要:** 为进一步提高我国农业精准化水平, 降低经济成本, 我们团队设计了一款基于STM32的温室大棚调节系统, 该系统由数据采集部分, 数据传输部分, 数据处理部分, 控制执行模块部分, 数据显示部分及目标设定与人为调节部分组成, 本团队设计的产品, 具有可靠性、可操作性, 能够帮助用户更好地管理调节温室大棚系统。

**关键词:** 农业; 精准化; 温室大棚; STM32

## 0 引言

当前农业在将多个参数融合在一起方面存在一些挑战。尽管农业物联网技术的应用已经实现了对温室大棚土壤、气候、作物生长等数据的实时监测和管理, 但是目前还没有很好地实现将这些参数融合在一起进行综合分析和决策的技术手段。究其原因, 一方面农业数据的收集和管理尚未建立起完善的数据平台和标准。农业生产中涉及的参数众多, 包括土壤水分、温度、湿度、光照强度、作物生长情况等, 这些数据往往分散在不同的系统和设备中, 缺乏统一的数据标准和接口, 导致数据的整合和分析困难。另一方面, 农业数据的分析和决策支持技术还不够成熟。虽然现有的数据分析技术可以对单个参数进行分析和预测, 但是将多个参数融合在一起进行综合分析和决策仍然面临一定的挑战。例如, 如何确定不同参数之间的关联性和权重, 如何建立多参数的模型和算法等都是需要进一步研究和探索的问题。基于以上不足, 设计基于 STM32 的温室大棚调节系统。

## 1 系统设计

基于 STM32 的温室大棚调节系统由数据采集部分, 数据传输部分, 数据处理部分, 控制执行模块部分, 数据显示部分及目标设定与人为调节部分组成。数据采集部分负责采集温室大棚的农作物生长相关的数据。数据传输负责把采集到的数据上传到服务器。数据处理负责将采集回来的数据进行分析得到是否与系统允许的参数存在偏差, 当存在偏差时。控制执行部分负责调节相应机器时使系统的参数在系统允许的参数区间上。数据显示部分负责将采集回来的数据显示出来。目标设定与人为调节部分是在系统存在偏差或为系统提供数据集时使用, 具体流程如图 1 所示。

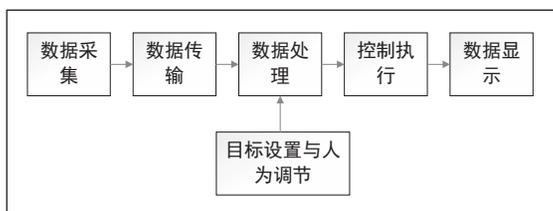


图 1 系统设计示意图

## 2 系统功能模块设计

### 2.1 数据采集

数据采集主要负责采集温室大棚中的气象信息、土壤信息、农作物图像信息, 数据采集模块具体采集的数据见图 2。STM32 通过协议获取来自不同传感器检测到的信息, 并通过数据传输模块将数据上传到服务器中。

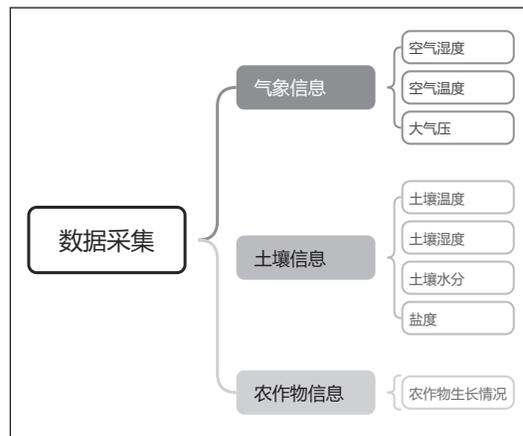


图 2 数据采集示意图

#### 2.1.1 气象信息

气象信息主要由气象站检测系统模块负责, 用于采集影响农作物生长的各类气象信息, 如空气温度, 空气湿度, 光照强度, 风速风向, 大气压, 降雨量等<sup>[1]</sup>, 考虑野外环境的特点, 气象站监测系统采用风能、太阳能互补供电的模式<sup>[2]</sup>。

#### 2.1.2 土壤信息

土壤信息主要通过土壤检测模块来完成, 用于采集影响农作物生长的各类信息 (包括土壤温度, 土壤湿度, 土壤水分、盐度等), 由于需要长时间在土壤中放置土壤检测模块, 其对于传感器的耐腐蚀和抗氧化有极高的要求, 同时为了提高土壤检测模块数据的准确性, 需要定期对土壤检测模块的数据进行检查, 当超过一定误差值后需要进行更换。

#### 2.1.3 农作物图像信息

农作物图像信息主要通过 OpenMV 摄像头来实现, 通过摄像头来获取该区域温室大棚的农作物信息, 摄像头里面含有农作物生长状况评分模型, 能对农作物进行分析并将评分结果通过串口发送给主控模块。

## ■ 2.2 数据传输

考虑到数据传输过程中应具有准确性、高速性、安全性，数据传输模块采用 GPRS 通信方式的 SIM900A 可以很好地满足要求，主控模块将采集到的数据转换为 GPRS 协议格式进行打包，SIM900A 将数据包通过 GPRS 网络和 Internet 远程传输到监测中心的服务器进行传输。在 Web 服务器端设置接收程序，接收来自 GPRS 模块传输的数据。Web 服务器连接了 SQL 数据库服务器，SQL 数据库通过 TCP/IP 协议接收来自服务器的数据并解析成相应格式插入到对应的数据库的表格中，插入数据完成后，关闭数据库的连接。

当用户在 Web 浏览器中访问 Web 应用时，浏览器会向 Web 服务器发送包含需要从数据库中检索的数据的 HTTP 请求。Web 服务器接收到客户端发送的请求后，会根据请求的 URL 和其他参数来确定要执行的操作。如果请求需要从数据库中检索数据，Web 服务器会使用数据库连接库来连接到 SQL 服务器，并执行相应的 SQL 查询语句。SQL 服务器接收到查询请求后，会执行查询操作，并返回查询结果给 Web 服务器。Web 服务器接收到 SQL 服务器返回的查询结果后，对结果进行数据进行计算和转换处理。根据查询结果，Web 服务器生成 HTTP 响应，包含要向客户端返回的数据。Web 服务器将生成的 HTTP 响应发送回客户端，浏览器解析响应并显示在用户界面上。在用户界面可以看到数据处理后显示出来的表格。

当用户需要修改目标值，使温室大棚系统达到用户认为的理想状态，客户端会将用户修改的目标值按照协议发送到 Web 服务器中，Web 服务器会将数据通过 SIM900A 下发到主控模块，主控模块收到数据后，控制执行模块执行。

在数据库服务器中分别存有数据采集模块采集到温室大棚的多个参数和系统允许的参数区间以及用户认为理想的值，数据库服务器会根据用户的需要，将对应的数据通过 web 服务器发送到用户端显示出来。

在数据传输过程中，可能会在传输过程中丢包，导致数据存在错误，故在传输的数据中设置了校验码，当接收到的数据中校验码与计算得到的要处理的数据的校验码不对时，自动丢弃该数据。当系统丢包严重，导致系统久久没有收到数据采集模块采集回来的数据，系统将会认为数据传输模块存在损坏，提醒用户更换。

## ■ 2.3 数据处理

数据处理主要在

服务器后端通过机器学习来实现。

机器学习分为三个阶段，第一个阶段为数据采集和数据处理，第二个阶段为模型训练和调优，第三个阶段为模型部署应用和模型改进。由于该温室大棚系统需要分析多项参数，并通过机器学习得到各个参数的最佳值后返回给控制执行模块执行，而且多个参数之间并不存在很好的线性关系，故采用支持向量机和决策树可以很好地满足要求，通过大量数据分析可以得到，支持向量机取得的效果较好，故采用支持向量机（SVM）来对数据进行分析得到温室大棚调节的最佳参数。

在数据采集和数据处理阶段，通过数据采集模块借助数据传输模块传入到 Web 服务器中，Web 服务器后端对采集的数据进行划分标记然后存入数据库中。在该阶段，主要通过人为调节温室大棚的控制执行部分，数据采集模块采集来获取参数，数据采集模块中的摄像头会对农作物生长情况进行分析得到该区域温室大棚的农作物结果，结果的分数越高，说明该区域的温室大棚和生长状况良好，此外，在农作物成熟后，用户需要对该区域的农作物进行评分，评分越高，用户越满意，系统会将用户的评分和摄像头处理得到的农作物生长情况按照一定的权重分别相乘后相加得到最终的结果并记为农作物的品质系数<sup>[3]</sup>，并将其存入数据库中。

在模型训练和调优阶段，服务器从数据库中获取温室大棚生长农作物生长的品质系数，通过 SVM 模型对数据进行分析训练，得到该温室大棚的农作物生长阶段的最佳参数。在模型部署应用和模型改进阶段，将上述的最佳参数下放给控制执行模块执行，并再次通过摄像头对该区域温室大棚进行分析得到品质系数，不断调整最佳参数的值，得到最后品质系数最高的值对应的参数作为最佳参数。由于在当前参数与最佳参数差值不大时，系统还是可以获得比较满意的评分结果，且控制执行模块调节系统时使参数在最佳参数上下抖动，不利于系统的稳定性，所以设置了系统允许参数区间。

通过机器学习，结合当地温室大棚环境的参数，可以得到温室大棚的系统允许参数区间，当温室大棚系统参数偏离系统允许的参数区间时，通过控制执行模块调节温室大棚，



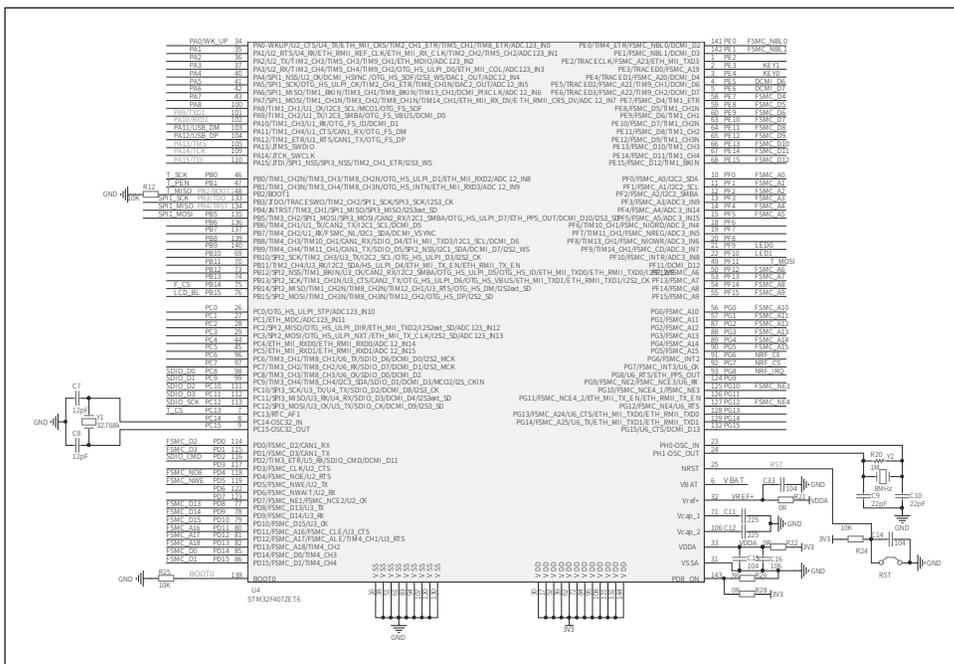


图4 主控模块原理图

使温室大棚在系统允许的参数区间上。

### 2.4 控制执行

控制执行主要对温室大棚采集回来的数据与系统允许参数区间存在偏差时进行处理，使得系统的参数在系统允许参数区间之内。具体控制如图3所示。

### 2.5 数据显示及目标设定与人为调节

数据显示部分由触摸屏部分和无线部分组成，无线部分由手机端和PC端组成。用户可以亲自到现场，通过LCD触摸屏查看此时温室大棚的温度，湿度等和通过触摸屏设置目标，不仅如此，农民还可以通过手机APP或PC端来了解温室大棚情况并通过手机APP或PC端来设定目标值。

#### 2.5.1 触摸屏部分

触摸屏部分使用触摸屏，通过在触摸屏上显示参数让农民可以了解温室大棚的情况，此外用户按下按键切换到GUI图形用户界面，通过GUI图形用户界面，农民点击屏幕上对应的对象，触摸屏根据农民接触到的触摸屏上对应电阻值的变化推测出该位置被农民触摸到，该位置对应的对象随之被认为是要处理的对象，接着触摸屏跳转到键盘操作界面，农民通过点击键盘操作界面上的键盘值设定该对象的目标值，然后按下确定键，便将该对象的目标值设定完成，然后触摸屏跳回到参数显示界面。主控模块会通过控制执行模块执行相应的操作，使数据到达用户设定的目标值，并将用户设定的数据通过SIM900A上传到Web服务器中，Web服务器根据需要进行处理和存储到数据库中。

### 2.5.2 无线部分

无线显示部分使用无线通信模块，用户通过打开手机对应的APP或PC端了解温室大棚的情况，手机APP或PC端会将服务器传过来的当前数据进行描点显示，用户可以通过图表可以清楚地了解到温室大棚当前与之前的状况，此外，用户对于当前系统的调节不满意，用户可以通过手机端或PC端设定目标值，手机端或PC端会将数据封装成合适的格式通过网络发送到服务器上。服务器对数据进行校

准，确认没有问题后，下发至主控模块，主控模块收到数据后执行相应的操作。

## 3 系统各功能模块简介

### 3.1 主控模块

主控模块采用STM32F407ZGT6开发板，该开发板是一款基于ARM Cortex-M4内核的微控制器，其主频高达168MHz，且价格实惠，运算能力强，低功耗，有多个外设接口，能极大地保证温室大棚灌溉系统的工作效率。主控模块原理图如图4所示。

### 3.2 土壤检测模块

土壤检测模块使用的是来自威廉士的五插针土壤多参数传感器。当传感器插入土壤时，电解液溶液在传感器和土壤之间获得平衡。液体中的离子将迅速扩散到土壤中，并与水中的离子达到平衡。通过这种方式，传感器可以测量出有用的信息，例如土壤水分、盐度以及温度等参数。同时，传感器还可以通过计算这些信息来预测其他参数，如根部吸收

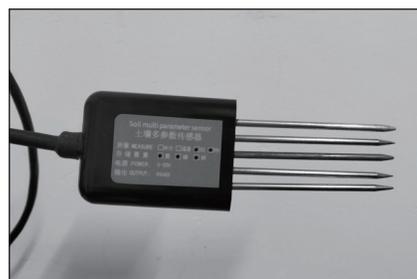


图5 土壤检测模块外形图

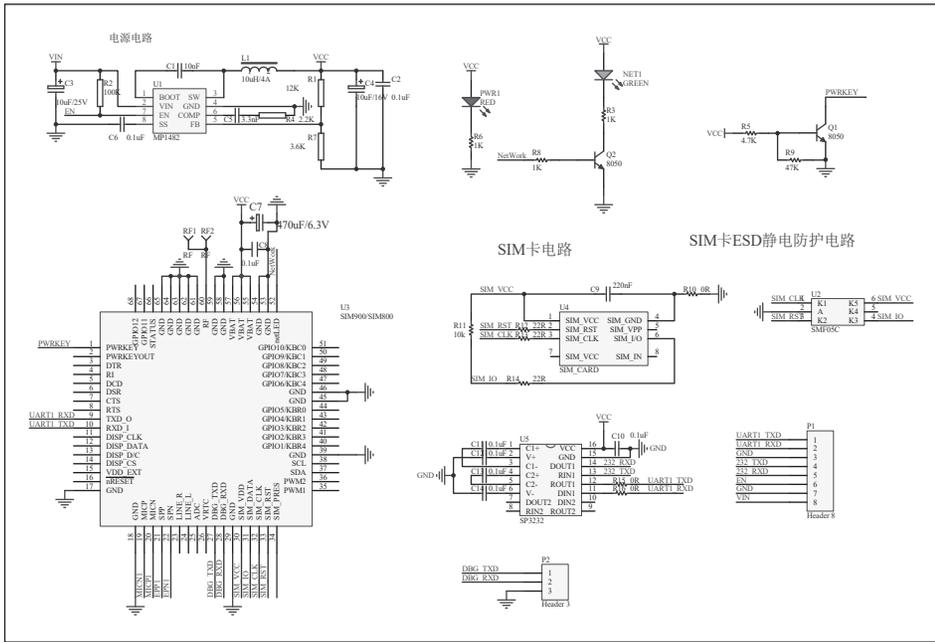


图6 SIM900A原理图

力，最大下载速率为 85.6 kbps，最大上传速率为 42.8 kbps；多种通信接口：支持多种通信接口；低功耗设计：采用了低功耗设计，工作电流较低，适合应用于电池供电的设备，可以延长设备的续航时间；丰富的功能：SIM900A 支持语音通话、短信发送与接收、GPRS 数据传输、TCP/IP 协议等功能，可以广泛应用于物联网、远程监控、智能家居等领域；稳定可靠：SIM900A 模块具有稳定可靠的性能，能够在各种环境条件下正常工作。其原理图如图 6 所示。

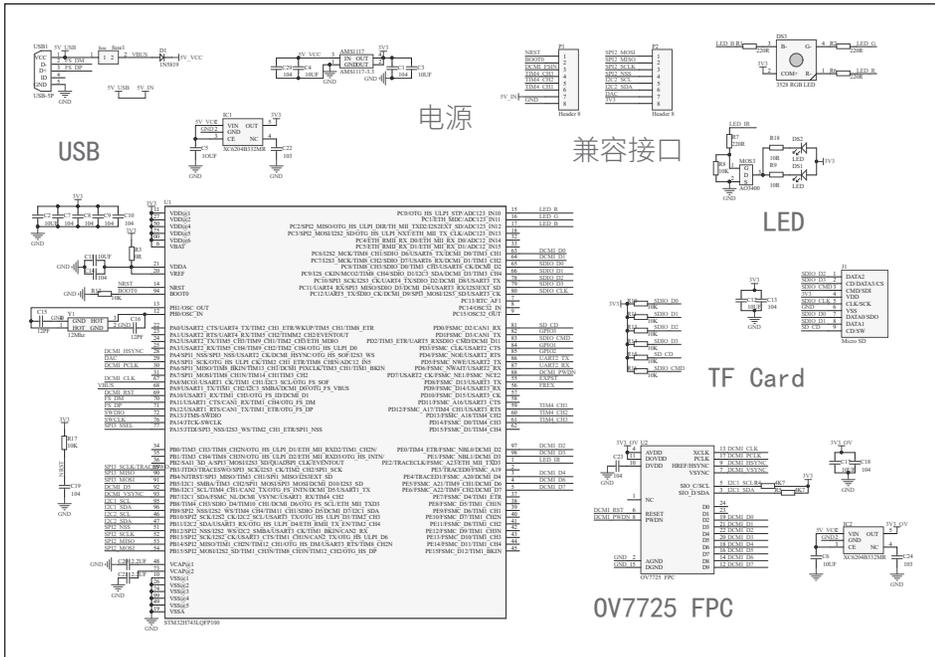


图7 OpenMV原理图

### 3.4 OpenMV 摄像头

OpenMV 摄像头是一款基于 MicroPython 的嵌入式计算机视觉模块，具有强大的计算能力：OpenMV 摄像头搭载了高性能的 ARM Cortex-M7 处理器，运行频率高达 216 MHz，能够实现实时的图像处理和计算视觉算法；具有丰富的图像处理功能：OpenMV 摄像头内置了丰富的图像处理库和算法，包括颜色追踪、形状检测、人脸识别、条码识别等，可以满足各种计算机视觉应用的需求，能很好地对温室大棚的环境进行拍摄。OpenMV 摄像头原理图如图 7 所示。

力和养分含量。该模块稳定灵敏度高，响应快，输出稳定，适用于各种土质，能很好地胜任土壤检测。其外形如图 5 所示。

### 3.3 SIM900A

SIM900A 是一款基于 GSM/GPRS 技术的无线通信模块，具有全球通信覆盖，支持全球四频段（850/900/1800/1900 MHz）的 GSM 网络，可以在世界范围内进行通信；高性能：SIM900A 模块具有强大的处理能力和高速数据传输能

### 3.5 触摸屏

触摸屏使用的是 ILI9341 液晶显示屏，它是一款主流的 TFT 液晶屏驱动芯片，它具有以下几个优点：（1）高分辨率：ILI9341 支持最高 320×240 分辨率，可以满足大多数嵌入式设备的显示需求。（2）低功耗：ILI9341 采用了先进的电源管理技术，能够有效降低电源消耗，延长使用时间。（3）高速传输：ILI9341 支持 SPI 接口和 8 位并口接口两种数据传输方式，在 SPI 模式下可达到最高 60fps 的刷新速度。（4）

# 基于 STM32 的智能公共厕所控制系统设计

罗杨, 宋春华, 李丹丹, 戴凌锋

(西华大学, 四川成都, 610039)

**摘要:** 因生活水平的提高, 人们对公共厕所的卫生要求也越来越高, 人们希望公共厕所可以与时俱进, 能够更加智能化和人性化。本文设计了一种基于STM32F030C8T6单片机的智能公共厕所控制系统, 该系统由HC-SR501, 氨气传感器, DHT11, 光敏电阻传感器, 蓝牙, 体温模块等组成, 采集的数据信息经过MCU处理, 通过蓝牙传输在APP里显示使用者体温, 温湿度, 氨气和可燃气体浓度, 以及有无人在使用等功能。此系统能解决目前公共厕所存在的一些问题, 可进行推广使用。

**关键词:** STM32; 公共厕所; 传感器

## 0 引言

公共厕所的卫生和舒适程度在人们的日常生活中, 是十分重要的。脏乱差, 是大部分人对公共厕所的普遍印象, 体验感也总不那么好, 环境的糟糕, 公共厕所气味的异常影响了人们的心情。为解决目前存在的问题, 本文通过传感技术和控制技术, 设计了一款新的智能公共厕所控制系统, 并使用蓝牙技术将收集到的信息, 显示于手机 APP 上, 能够方便人们了解公共厕所内的温湿度, 氨气及可燃气体浓度, 是否有人正在使用以及使用者的温度等信息。

## 1 系统总方案设计

本设计智能公共厕所控制系统采用 STM32F030C8T6 作为主控芯片, 将整个管理系统分为温湿度传感单元, 单片机中心处理器, 电源模块, 蓝牙模块, 可燃气体传感器模块, 空气质量检测模块, 水流计模块, 红外传感器模块, 体温模块等部分。

单片机中心处理单元的信息进行处理和接收, 传感器检测到的信息通过蓝牙模块传输到移动应用程序, 当光照强度改变时, 光敏传感器的电阻值也随之改变, 因其对光线十分敏感, 可以达到节能减排的目的。要使灯亮, 需要满足两个条件, 一是需要有人进入公共卫生间, 二是公共卫生间内光线亮度低<sup>[1]</sup>。氨气传感器模块用于显示当前公共厕所内氨气的浓度值, 若浓度高于标准值, 便发出提醒音提示保洁人员进行清洁打扫公共厕所, 维持公共厕所里面的干净卫生, 避

免产生异味。体温模块可以检测到进入公共厕所里面的人员的温度, 避免有体温异常者进入公共厕所。空气质量传感器模块用于检测空气中颗粒物的浓度大小。水流计模块用于检测水流的流量大小, 通过检测脉冲数多少经过一定的数值转化显示水流大小, 红外传感器模块用于检测当前是否有人进入公共厕所<sup>[2]</sup>。

## 2 主要硬件设计

### 2.1 总控制器 STM32F030C8T6

系统采用 STM32F030C8T6 作为主控芯片, 实现对整个智能公共厕所的运行控制。

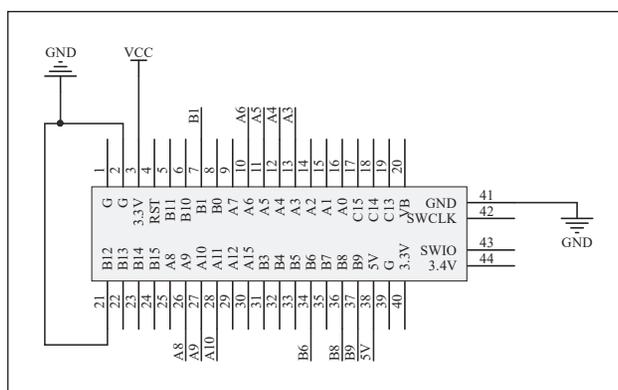


图2 STM32F030C8T6 原理图

### 2.2 温湿度传感器

DHT11 数字温度湿度传感器, 可靠性良好且稳定, 性能优越, 使用了传感器和数字收集信息的技术, 具有两个元件, 一个是感湿元件, 另一个是测温元件。它具有超小的体积, 反应速度快, 传输远, 性价比高, 具有极强的抗干扰性和极低的功耗, 是测量温湿度的绝佳传感器<sup>[3]</sup>。

该传感器的数据由 40bit 构成, 其中包括 16bit 的温度数据, 16bit 的湿度数据和 8bit 的校验和。主机首先发送低电平, 低电平时间不少于 18ms, 在此时间段内, 传感器内部会发生模数转换, 主机上拉后有二十

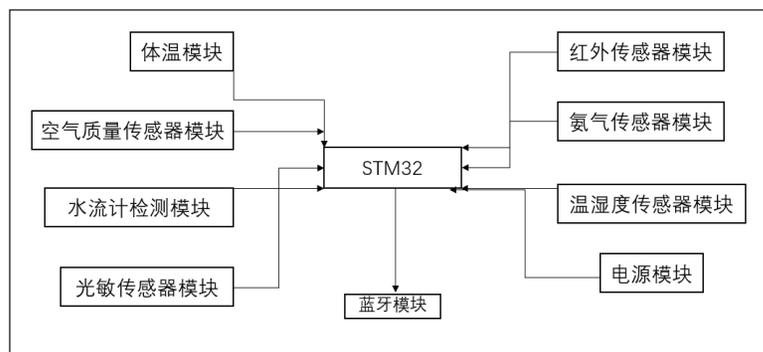


图1 系统的总方案设计

多秒的时间进行输入和输出的切换，从机出现 80μs 左右的低电平，拉上总线后进入数据传输，当最后一位数据传输完成时，从机再次拉下总线 50μs，总线空闲，并上拉电阻，传输的数据为比特数据，是由高低电平时隙组成<sup>[4]</sup>。

### ■ 2.3 光敏传感器

光敏传感器感知光和暗的变化，输出微弱信号，进行放大处理，单片机开发板会进行信号数据处理，可以控制室内照明系统。光敏传感器模块在有光的情况下，输出低电平，无光线的情况下，输出高电平<sup>[5]</sup>。

### ■ 2.4 人体红外感应传感器

人体红外感应模块选用 Hc-sr501，灵敏度高、稳定性好、功耗低、效率高。当人体从此器件的一个方向走过来，传感器会感应到高电平并持续一定的时间，当超过这个时间，又会自动变为低电平，在感应到有人后，传感器不再接收到其他的信号，防止有其他干扰信号进入，该传感器使用了双探头来探测信号，检测信号会更加灵敏<sup>[6]</sup>。

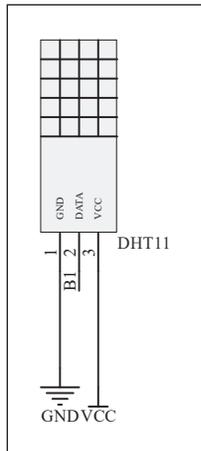


图3 温湿度传感器原理图

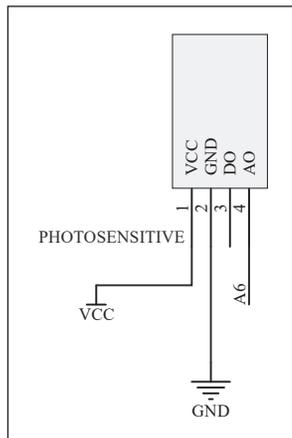


图4 光敏传感器原理图

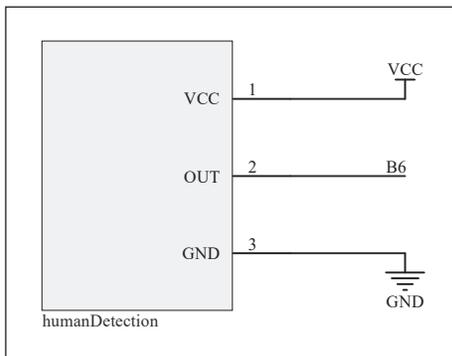


图5 人体红外传感器原理图

### ■ 2.5 氨气传感器

选用 MQ-9 作为氨气传感器，二氧化锡作为气敏材料。当空气中含有氨气时，氨气浓度的变化会改变传感器的电导率，通过一系列的转换，会变成相应的输出信号输出，它对氨气的敏感性好，寿命长，成本低<sup>[7]</sup>。

### ■ 2.6 水流量传感器模块

选用 YF-S201 水流量传感器来进行检测，可以检测到厕所内水流量大小，可以检测到用水量，如果有用水异常的情况，也可以通知管理员及时查看，避免有浪费水资源的情况出现，增强人们的环保意识。

### ■ 2.7 红外测温传感器模块

选用 GY-906 MLX90614ESF 此款传感器测温，在合适的位置安装红外测温传感器。使用 I<sup>2</sup>C 通信协议来编写程序，传感器用来采集温度，收集好的温度信息传送给开发板，开发板会将信息进行加工转换为温度值显示于手机界面上，该过程采用无线传输，并且可以实时观察到数据的变化<sup>[8]</sup>。

### ■ 2.8 无线通信功能模块

蓝牙是一种无线通信模块，我们经常使用的蓝牙耳机就是借用了蓝牙这项技术，技术复杂性较高，设备网络速度快，集成度和可靠性高。蓝牙的信号容易受到干扰，但性价比高，适合短程无线通信，实现固定终端、移动终端和个人长距离数据交换，本设计使用蓝牙来进行数据的传输。

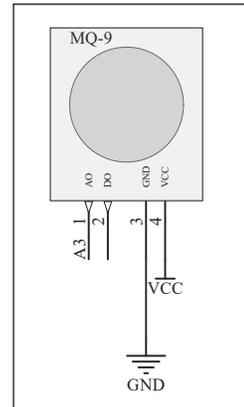


图6 氨气传感器原理图

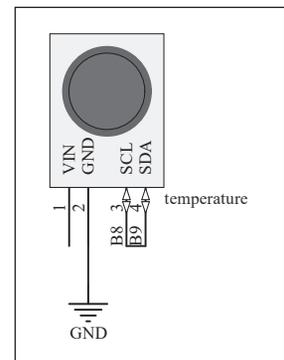


图7 红外测温传感器原理图

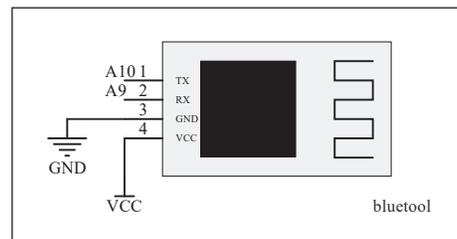


图8 蓝牙原理图

## 3 软件设计分析

使用 STM32CubeMX 和 STM32CubeIDE 两个编程软件作为开发环境来，每个设计的模块进行分别编写其相应的程序，选择好需要用到的引脚，使用多条杜邦线将所有的传感器连接在单片机上，通过 V2 STM8/STM32 仿真器连接在电脑 USB 接口上，使用到的传感器用于检测所处环境的信息。选用 I<sup>2</sup>C 通信协议，用 MX 软件编写程序，I<sup>2</sup>C 是由时钟线

和数据线构成，功能分别是产生属于自己的时钟和传输数据。这两根线既可双向传输又可单向传输，该总线具有多个主机，主机会产生起始和停止条件，非常灵敏，可靠性相比其他的通信协议更高。

本设计使用了多个传感器采集多个信息，并需要实时并同时传输显示数据。使用了 Xcode 软件作为操作系统，在编写程序的过程中，能够对多个任务同时加以控制，采用多线程处理技术。根据智能公共厕所控制系统的功能需求，实现温湿度检测，氨气浓度和空气质量检测，水流量测速，判断是否有人员进出，检测厕所环境光线亮暗程度，以及进入厕所人员的体温。将人体红外传感器 HC-SR501 放置在智能公厕的合适位置上，当有人进入厕所时，

传感器就会收集到信息，通过蓝牙将采集到的信号传送到手机界面端，有人则显示占位，无人则显示不占位。通过人体红外传感器来检测当前坑位的使用状态，一是有人在里面，也就是正在被使用；二是里面没有人，也就是没有被使用。当没有被使用时就可以用来分配给需要的人。通过光敏电阻来检测环境里面的光线强度，通过毫伏值来显示情况。如未检测到光线，那么就显示无光线，如果有光线，那么判断里面的光线大小，并在 APP 界面上显示出来。

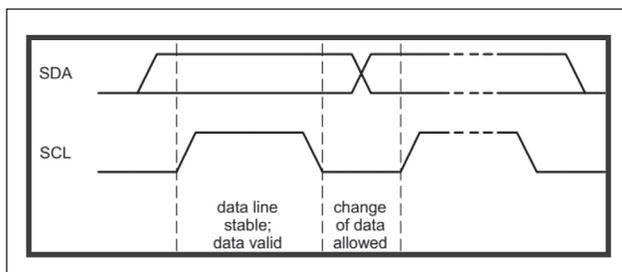


图 10 数据传输

## 4 结果

使用以上器件，将器件进行合理的连接，组合成智能公共厕所控制系统，该控制系统设计包括了所需要的所有传感器，蓝牙，仿真器，单片机核心板以及手机 APP 界面显示，对各个功能进行测试，结果实现了功能。

要想让智能公共厕所控制系统运行，需要对系统供电，选用的单片机型号可以是 5V 供电，也可以是 3.3V 供电，我们选择使用 5V 电压供电，有运行指示灯的传感器也可以正常点亮。

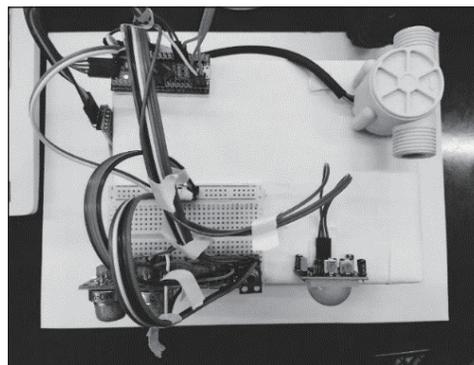


图 11 实物图

给系统供电后，DHT11 便检测公厕所处环境的温度和湿度，此检测过程是实时变化的，界面显示也是一直在更新。当前公厕的温度为 24°C，当前湿度为 49%。0.2mg/m<sup>3</sup> 为我国在室内环境中所能接受到的最高浓度，氨气是属于对人体有害的气体，该系统检测空气质量情况使用 MQ135 来进行检测，检测到的情况显示于手机界面上。

水流传感器检测水流的流速，也可计算出智能公厕的用水量，再传输到手机 APP 显示界面上。另外在 IDE 中编写水流程图时，使用了回调函数，当传感器检测到有水流流过时，就会有数据的记录，从零开始计数，记录了每一秒钟有多少流速，每感受到一次水流便加一。

选用人体红外传感器来检测有无人员使用，当有人进入厕所时，则传感器会感受到人体红外光谱变化，输出低电平，显示有人进入；如果此人离开感应范围（感应范围为 120 度锥角），便会输出高电平。

将采集到的信息进行打包发送，用蓝牙进行传送，传送到手机界面端，进行数据解析，将所有的传感器检测到的信号全部传送到手机端的页面，方便公厕管理人员及时了解公厕的信息。

本次设计完成了智能公共厕所控制系统的所有功能，所实现的功能有：检测氨气浓度，检测空气质量，实时检测空气湿度和温度，检测进出厕所人员的温度，检测水流流速，有无人员使用以及光照情况。可以看到，在图 12 上，有清楚地展示出当前公共厕所的情况，氨气浓度是 701.0mV，空气质量为 915.0mV，空气湿度为 49%，公共厕所当前温度是 24.0°C，所经过的人的体温是 26.2°C，当前无人使用该蹲位，光敏电阻阻值为 518.0mV，流体流速为 0.40L/min，此数值会根据公共厕所的情况变化而变化。



图 12 整体显示图

## 5 结束语

在本设计中,我们通过人体红外传感器来检测公共厕所里有无人员使用,采用温湿度传感器能够实时监测公厕内温湿度情况,水流传感器监测用水量情况,光敏电阻用于监测里面的光线强度,通过空气质量传感器监测空气颗粒物浓度,通过氨气传感器监测公厕内氨气的浓度大小,红外测温传感器用于监测进出厕所人员的体温。最后将所有传感器监测到的信息汇总通过蓝牙模块传输给手机端显示出来,以方

便公厕管理人员管理的目的。

在未来,厕所一定会越来越智能化,将更新的技术融入其中,本次设计利用传感器技术,红外技术,蓝牙技术,多线程技术,I<sup>2</sup>C 通信协议等完成了公共厕所的设计功能。

### 参考文献

- \* [1] 符史山. 单片机技术的应用及发展研究 [J]. 轻工科技, 2021,37(04):93-94+126.
- \* [2] 韦冬雪.《无线传感网络》之红外人体感应模块的教学设计 [J]. 大众科技,2021,23(02):83-85.
- \* [3] 朱金龙,刘桂玲,陶伟唯.基于单片机和无线蓝牙的温度监测系统的设计 [J]. 信息技术与信息化,2021(04):184-186.
- \* [4] 蒋力耀,崔勇,张耀阳.基于 STM32F103ZET6 单片机的地铁站环境监测系统设计 [J]. 电子测试,2021(09):33-34+17.
- \* [5] 马龙,邓素碧,何铭.基于物联网的实时空气质量智能闹钟系统 [J]. 物联网技术,2021,11(01):101-104.
- \* [6] 郭红英,林梅燕.基于 STM32 的智能马桶漏水检测仪设计 [J]. 绵阳师范学院学报,2020,39(11):32-36.
- \* [7] 晋成凤,查晓锐,张明艳.基于 I2C 总线扩展 LED 驱动的实现方法 [J]. 电子制作,2020(23):6-8+68.
- \* [8] 崔弘.基于 STM32 单片机的家用智能立体种植系统设计 [J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2021,37(04):22-26.

(上接第 62 页)

机械臂可以实现搬运,在机械臂上装载有摄像头,用以进行识别,实现了移动识别和搬运,是一种极大的提升。机器人上搭载树莓派<sup>[6]</sup>,通过网络可以远程调用摄像头,进行实时观察,并且通过串口,可以实现手动控制。

硬件上使用了 RT-1064 单片机,自主设计了 PCB。机械臂结构采用 3D 打印,其中与车模连接件采用自主设计和加装。使用九轴陀螺仪和摄像头等多种传感器,实现了多种传感器共同作用于一个系统的目标。使用航模电池供电,电源输出稳定。

软件编程上,使用自主上位机进行路径规划算法,对于搬运进行规划,减少搬运时耗。搭建深度学习模型,进行学习和识别,实现货物的自动化识别。对机械臂控制算法进行开发,可以实现轻易地准确拾取。通过树莓派连接网络,远程查看实时图像。串口连接下位机,进行控制信息的传输,实现手动控制。使用场外摄像头进行搬运物的定位,获取货物地址。使用了 RT-Thread 嵌入式系统,提高了单片机的

使用效率。

### 参考文献

- \* [1] 邓峰.基于 PID 算法的高速寻迹麦克纳姆轮底盘系统设计 [J]. 电子测试,2022,36(10):30-32+67.
- \* [2] 叶航.智能移动机器人(麦轮)[P].江苏省:CN30752112 0S,2022-08-30.
- \* [3] 杨朋帅,王琪,王维西,周靖喻,高进可.基于麦克纳姆轮的智能车寻迹控制策略研究 [J]. 工业控制计算机,2022,35(02):112-115.
- \* [4] 刘鑫,杨志祥,熊筠珂,程佳斌,余将其,皮辉,杨小涛,谈俊,郭朝霞,许雷,范俊甫,蔡焯彬,谢倩.一种基于全连接神经网络优化的图像识别方法 [P]. 湖北省:CN114912589B,2022-10-04.
- \* [5] Manzl Peter and Gerstmayr Johannes. An Improved Dynamic Model of the Mecanum Wheel for Multibody Simulations[C]. Virtual, Online, 2021.
- \* [6] 王雨凡,张雨好,黄旭,孙涛,林健平,张高远.基于树莓派的移动智能监控系统设计 [J]. 山西电子技术,2022(05):7-9.

# 基于麦克纳姆轮的智能搬运机器人

章扬, 周子尧, 杨皓斌

(杭州电子科技大学 电子信息学院, 浙江杭州, 310018)

**摘要:** 本项目以恩智浦的RT1064单片机作为主控, 使用RT-Thread嵌入式系统开发, 以麦克纳姆轮为框架, 自主搭建车模结构, 加装有刷电机和1024编码器, 搭载了树莓派和开源三周机械臂结构, 以及MT9V032总钻风摄像头还有openart mini等摄像头, 作为智能搬运机器人的硬件设备。搬运机器人主要有智能识别和远程控制两种方式。通过PID参数整定, 车体姿态解算, 机械臂姿态解算, 机器视觉图像处理, 深度学习和神经网络以及路径规划等多种学科知识, 实现了机器人自动化搬运任务。通过VNC远程连接设备, 远程串口通信等方式方法实现人工远程干预。通过场外摄像头识别出搬运物体的位置, 再由上位机进行路径规划[6]。通过PID参数整定和车体姿态解算控制搬运机器人移动, 到达搬运地点再由总钻风摄像头进行细致的位置调整。Openart mini识别搬运物种类, 通过机械臂姿态解算拾取放置在托盘上, 这时候可能存在一定偏差, 可以通过树莓派远程观察搬运情况, 远程人工操控来修正偏差。最后通过麦克纳姆轮来实现快速的全方向搬运, 将搬运物送到终点。本项目能够在固有的已知场地内也可以设定进行货物的识别搬运, 可以适应物流分拣等场景, 大大提高了生产效率, 解放了生产力。

**关键词:** 麦克纳姆轮; 自动搬运; 机器视觉; 深度学习; 远程人工控制

## 0 引言

随着科学技术的不断进步, 智能控制和神经网络应用正逐渐渗透到各个领域。传统行业, 如机械和电子制造, 也在不断向前发展, 成为当前的研究热点, 并已经逐步实现产品化。此外, 物流行业的崛起促使物流机器人的涌现和不断发展。

目前的物流机器人在高效地完成搬运任务方面表现出色, 然而, 它们尚未具备物品识别和分类的功能, 无法辨别贵重物品和普通物品, 需要人工干预进行分类, 这限制了其完全释放人力生产力的潜力。此外, 这类机器人缺乏远程监控和操作功能, 不能在应对突发问题时进行远程操控。鉴于上述两个问题, 我们提出了当前领域的挑战。

我们的项目具备在已知场地内执行货物识别和搬运任务的能力, 适用于各种物流分拣等场景, 极大提升了生产效率, 实现了生产力的最大释放。此外, 它还具备在未知或突发情况下进行远程控制和探索道路的能力, 使人能够应对突发情况, 并进行简单的搬运任务, 将潜在风险和损失降至最低。此外, 它还可以进行固有功能之外的操作, 实现更多的功能。

## 1 系统总体设计

本系统的整体框图如图1所示。它包括主控板、机械臂、舵机、摄像头、电机、电机驱动电路、编码器、电池、电源电路。

本系统的主要工作部件是机械臂、摄像头和电动机。为了控制这三个部件执行相应的动作, 我们采用舵机控制机械臂运动, 电机驱动电路、编码器控制电机转向和速度, 进一步操控车身运动轨迹。此外, 主控板负责处理摄像头传来的视频数据, 分析得到结果后将行动命令传递给电机和机械臂。整个系统的供电由电池和电源电路提供。

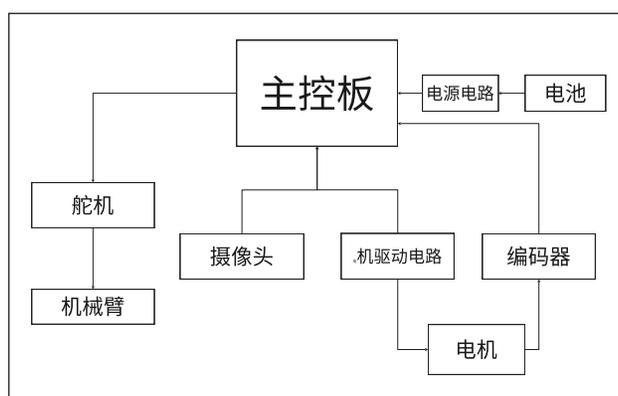


图1 系统框图

## 2 硬件电路设计

硬件是整个系统最基础的一部分, 良好的硬件设计是实现软件编程设计的基础, 才能保证智能车运行流畅稳定。根据车身结构来合理布局, 确定电路板的尺寸以及固定孔位置, 车模更加一体化。硬件电路设计的开始, 要进行主控芯片的选择, 主控芯片要考虑算力, 是否能够满足图像处理的要求, 芯片主频能否满足传输速率的要求等。整个硬件系统主要包括电源供电电路、电机驱动电路、运算放大电路等, 将各个电路设计到一起时, 需要考虑到供电的稳定性。

### 2.1 主控芯片选择

主控芯片使用的是 NXP 公司生产的 I.MX RT1064<sup>[5]</sup>, 此款芯片基于 Cortex-M7 内核, 主频高达 600MHz, CPU 运算速度快, 这意味着在对摄像头采集的图像做图像处理的时候会有很强的运算性能, 为大量复杂的运算提供了更大的算力, 增加了数据处理的速度, 增强了图像处理能力。同时, 此款芯片还有 1M 的片内 SRAM, 可以将一些较为复杂程序中的一些中间变量放入特殊的内存, 提高数据处理的速率。



图2 锂聚合物电池

## 2.2 电源电路的设计

### 2.2.1 电池的选择

电池选用锂聚合物电池，规格型号为 11.1V 2600mA。能够满足智能车中速运行大概半个多小时，续航时间长。并且该电池的尺寸很符合放置在车模底盘，不会影响车模运行情况 & 观感。

电路根据不同外设供电需要，需要从 11.1V 锂聚合物电池设计不同的稳压电路，用来提供 6V 舵机供电、3.3V 单片机供电、5V 编码器供电，另外电机的供电直接使用电池输出电压，无需做稳压处理。

### 2.2.2 5V 稳压电路的设计

TPS54540 是一款 42V, 5A 降压稳压器，此稳压器具有一个集成的高侧 MOSFET。按照 ISO 7637 标准，此器

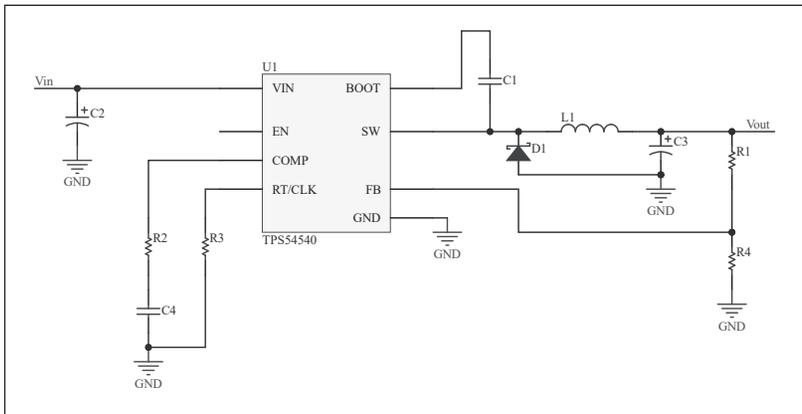


图3 TPS54540 简化电路图

表1 TPS545450 管脚功能表

管脚号	管脚名字	管脚功能
1	BOOT	接自举电容到SW脚
2	VIN	芯片供电脚
3	EN	欠压锁使能脚
4	CLK	接定时电阻，控制开关频率
5	FB	电压反馈引脚，调节输出电压
6	COMP	频率补偿引脚
7	GND	接地
8	SW	芯片输出端

表2 LM2596S管脚功能表

管脚号	管脚名字	管脚功能
1	VIN	正输入端，该管脚一般提供一个旁路电容减少暂态电压
2	Output	输出端，输出端一般接一个LC滤波器，滤除高频干扰
3	Ground	接地端
4	Feedback	反馈端，这个管脚把输出端的电压反馈到闭环反馈回路
5	ON/OFF	这个管脚可以使用逻辑电平把 LM2596 切断，低电平该芯片工作

件能够耐受高达 45V 的抛负载脉冲。电流模式控制提供了简单的外部补偿和灵活的组件选择。一个低纹波脉冲跳跃模式将无负载时的电源电流减小至 146μA。当启用引脚被拉至低电平时，关断电源电流被减少至 2μA。这块芯片不

仅体积小，输出稳定，输出电流更是可达 5A，极高的开关频率可以很好地为后方各种用电元件提供足够的功率。经过实测，输出端带载 1A 情况下纹波只有 50mV，精度可达 5%。用 TPS54540 稳压至 5V 后，使用简单而稳定的 AMS1117( LDO) 电源稳压至 3.3V 即可。

5V 稳压原理图电路设计如图 4 所示。

### 2.2.3 6V 稳压电路的设计

LM2596s 开关电压调节器是降压型电源管理单片集成电路，能够输出 3A 的驱

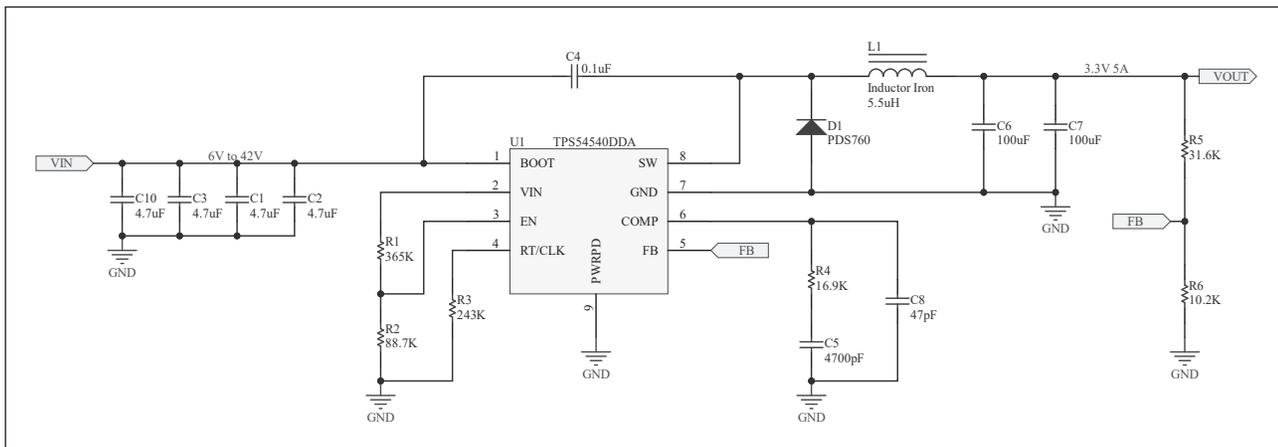


图4 TPS54540 设计原理图

动电流。相比于另外一款稳压芯片——AMS1117，能够带动更大的负载。

6V 稳压原理图电路设计如图 5 所示。

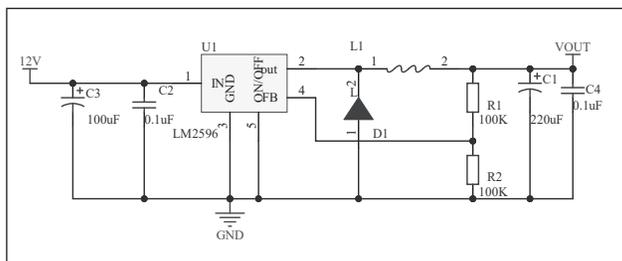


图 5 稳压原理图

### 2.2.4 3.3V 稳压电路的设计

3V3 稳压模块主要是用 AMS1117 在 5V 稳压基础上再做稳压，AMS1117 是一种固定输出调节器，是一种低压差线性稳压器，最大可输出 500mA 电流，可以给编码器，TFT 显示屏等供电，这种供电的方式使输出电源受干扰小，可以使传感器采集的信号更加稳定。原理图如图 6 所示。

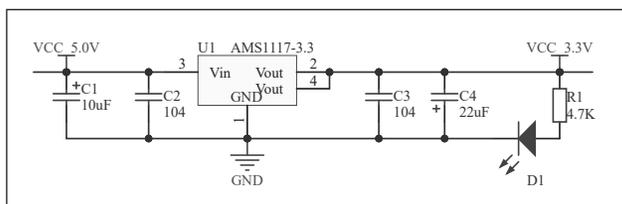


图 6 3V 稳压原理图设计

### 2.3 电机驱动电路的设计

电机驱动芯片选用 BTN7971B 驱动芯片，它具有逻辑电平输入、电流检测诊断、压摆率调整、死区时间产生以及过温、过压、欠压、过流和短路保护，便于进行控制和电路设计，且驱动能力满足智能车智能视觉组的使用要求。BTN7971B 与其他 BTN7971B 结合使用，可以形成 H 桥电机驱动。

电流采集使用 BTN 的引脚进行负载电流输出，IS 引脚与负载电流成比例（比例一般为 19.5K，具体见芯片数据手册）的电流源，在该引脚上配置检流电阻，可以通过 AD 接口采集到电压

得到相应的电流值。

对 BTN 的使能引脚进行单独控制，配合电流检测可以对 BTN 的使能状态进行控制，检测到过流时，切断 BTN 输出，对电机进行过流保护。

在 BTN 的电源和地之间接 470nf 的电容，进行滤波，减少电机造成的地抖动。图 7 是 BTN7971B 的封装。

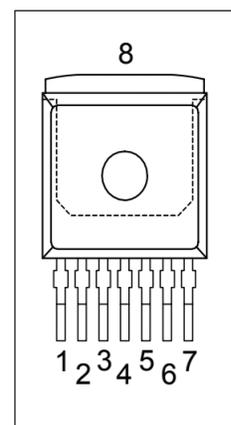


图 7 BTN7971B 封装图

关于 BTN7971B 的引脚定义如表 3 所示。

表 3 BTN7971B 引脚功能表

管脚号	管脚名字	管脚功能
1	GND	接地端
2	IN	I 输入，定义高端或低端开关被激活
3	INH	I 禁止端，当设置为低电压，芯片处于睡眠模式
4	OUT	O 半桥的电压输出
5	SR	I 功率开关的转换速率可以通过在 SR 和 GND 之间连接一个电阻来调节
6	IS	O 与输出电流成比例的电流源输出，电流检测和诊断
7	VS	电压供给

芯片手册建议的一种 H 桥设计方法如图 8 所示。

参考上面 H 桥设计电路，最终设计了该驱动电路原理

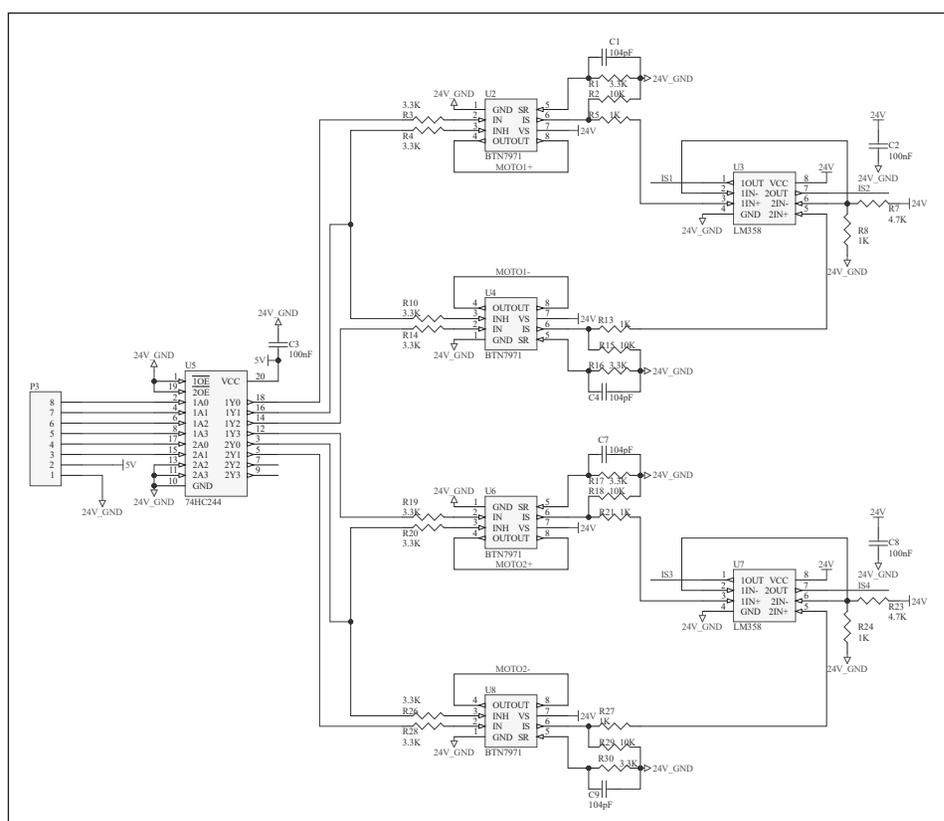


图 8 BTN7971B H 桥推荐电路

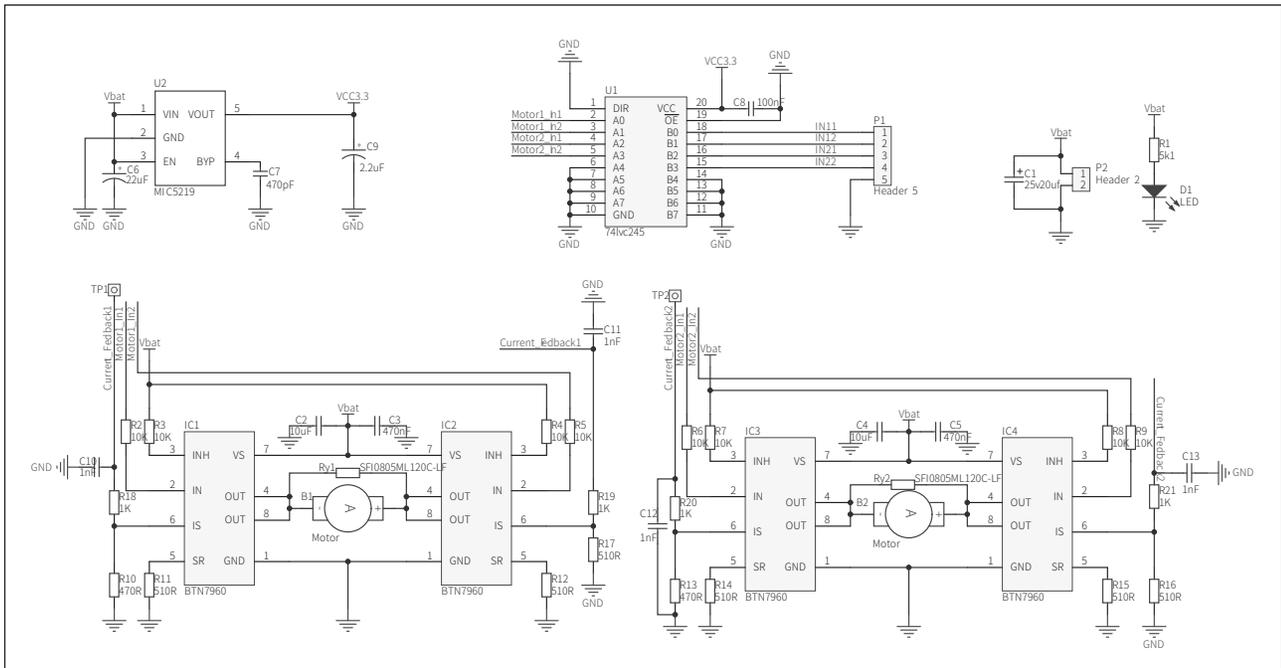


图9 电机驱动原理图

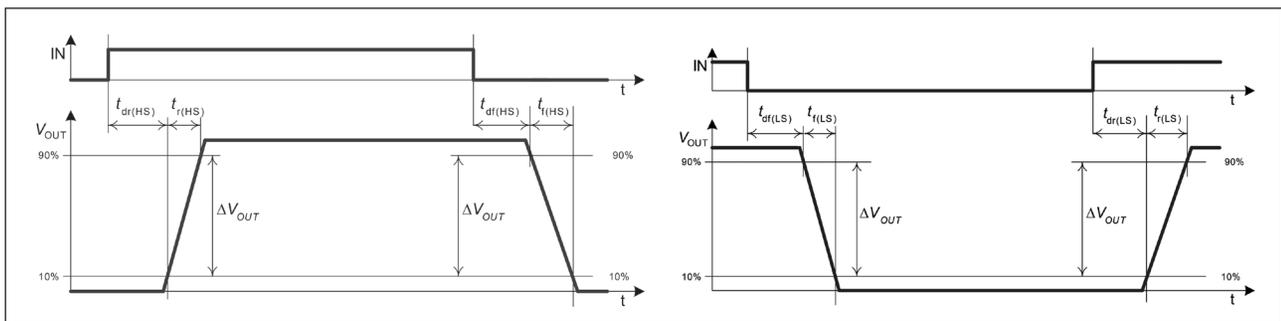


图10 IN 和 OUT 管脚时序图

图如图9所示。

使用两个H桥来控制两个电机，一个H桥由两路PWM组成，可以在IS端接一个ADC管脚，来检测电压，进行过流保护。

图10显示IN管脚和OUT管脚的时序问题，当IN由低变高，OUT会延时一段时间后，再有电压输出，当IN由高变低，OUT会有一段延时，然后由高变低。

### 2.4 主控板的设计

主控板除了包括核心板插针以外，还包括4个编码器接口，一个陀螺仪接口，3个舵机接口，一个电磁铁接口，4路电源接口，两个OpenArt通讯接口，裁判系统接口，PWM输出接口，以及为了调试时使用的LCD接口和一个五项开关两个独立按键。

主控电路原理图如图11所示。

### 2.5 PCB设计

#### 2.5.1 主控板PCB设计

主控板的接口和驱动板匹配，普遍使用XH2.54接口，

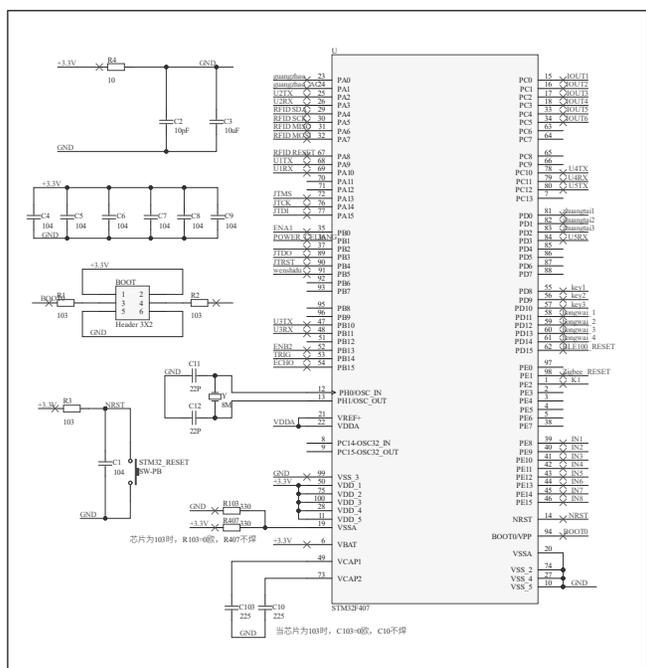


图11 主板原理图

比较牢靠的同时可提供充足的电流。同时为了缩小主控体积，采用了四层板设计，尽可能提高集成度。

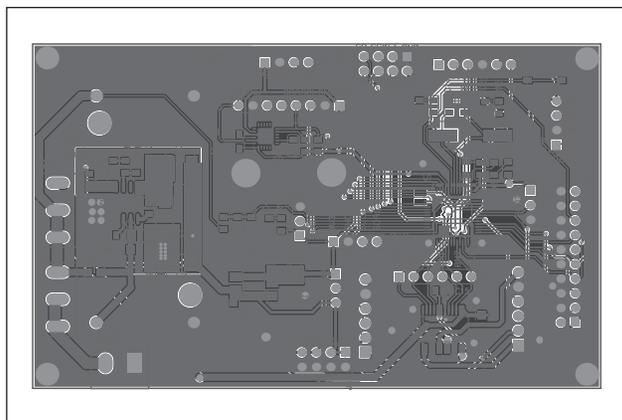


图 12 主控板 PCB 图

### 2.5.2 电机驱动 PCB 设计

驱动板采取了双面设计，在上下两面都安置有电子器件，这样可以节省空间，节约主控板的面积。由于驱动板过电流比较大，电源供电接口采用 XT30，最大过电流为 30A，完全满足要求。

## 3 系统软件设计

### 3.1 软件总体设计

在整个系统上电后，首先对所有传感器模块进行初始化(电机、陀螺仪、串口等)，结束后将会进入菜单栏目，在这里可以进行功能选项。当按键按下，我们可以选择进入我们的远程控制模式或是搬运模式，也可以进行参数测试与调整。若按键没有按下则持续显示。

在功能检测的子模块中，我们可以对已有的功能进行测试并实现参数的调试。我们可以测试电机、编码器以及各种其他传感器的基本功能，并与实际功能结合起来进行测试。

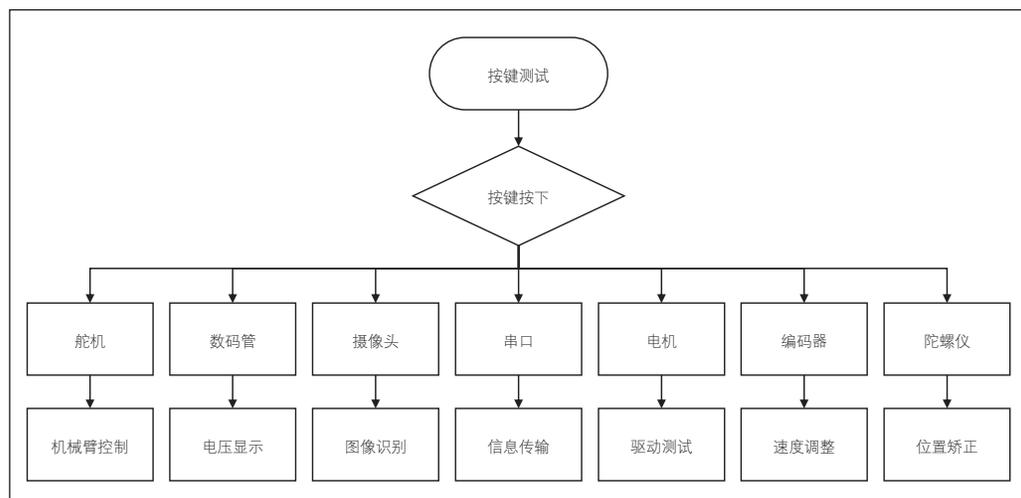


图 14 子程序流程图 1

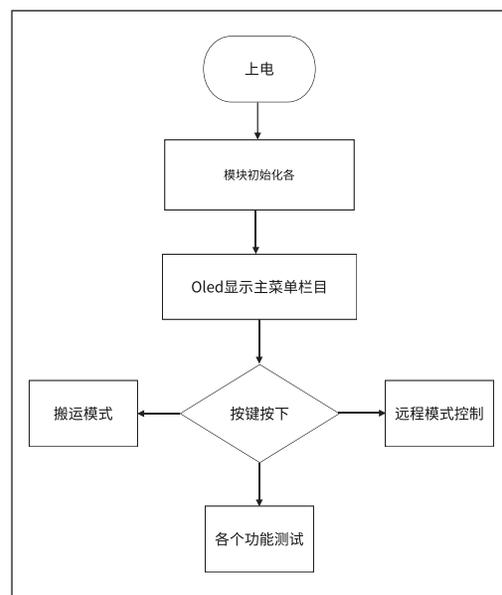


图 13 主程序流程图

例如，我们可以将陀螺仪与电机驱动结合，测试小车能否快速旋转到指定角度或者利用摄像头与串口功能测试下位机路径规划结果等。当结果与预期不符，我们可以进行 PID 参数整定并将参数存储到 SD 卡中，实现断电参数存取，以及线下调参等功能。

在远程控制模块，我们主要利用树莓派来实现远程控制的功能。利用树莓派摄像头，我们可以轻易做到摄像头图像的调取与远程显示，另外我们在远程发送串口指令来实现机器人动作。我们可以通过远程串口指令来控制机器人前、后、左、右运动或定距离行进一段路程，并能控制机械臂进行左右移动，这样除了能改变摄像头视野外还能进行人工控制搬运工作。

在搬运模式下，我们除了可以直接利用机器人内置的摄像头来实现目标的坐标点位提取，还可以通过树莓派来构

建场外摄像头，利用 OpenCV 来实现位置目标位置情况下，坐标点位的识别与计算。获得准确的坐标信息后，利用无线模块将信息传递给机器人，机器人开始工作，不断进行平移、目标识别、机械臂搬运分类这三个流程直至所有目标搬运完毕。然后机器人会

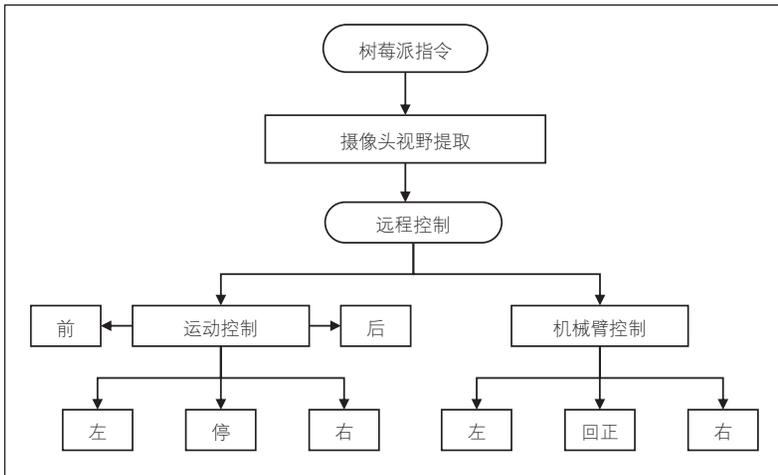


图 15 子程序流程图 2

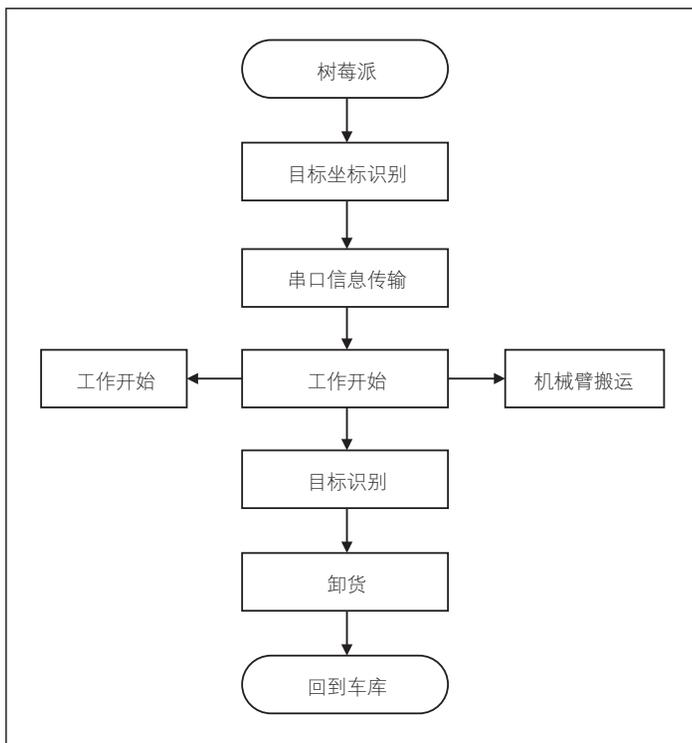


图 16 子程序流程图 3

将分类后的货物卸到目标区域内并自动回到车库。

### ■ 3.2 控制算法设计

由于我们使用的是麦轮车，所以想要控制好麦轮的行动还需了解麦轮的特点。

麦克纳姆轮（以下简称麦轮）<sup>[1-2]</sup>是由轮毂和围绕轮毂的辘子组成的，辘子是一种没有动力的从动小滚轮，麦克纳姆轮辘子轴线和轮毂轴线夹角是 45 度，并且有互为镜像关系的 A、B 轮两种，或者会被称为左旋轮和右旋轮。这一般会在轮毂上面有标识 A 和 B、L 和 R。前面提到麦轮分 AB 两种，如果 A 轮向前运动时同时向右运动，即斜向右前方运动，那么相反，A 轮向后运动的同时会向左运动，即斜向

左后方运动；相应 B 轮就可以斜向左前和右后方运动。这样的话只要安装正确，我们就可以使车体全向移动。

只需调节 x、y、z 三个方向的速度值即可完成全向移动，而为了使车能够更平滑地启动与停止，我们还编写了速度环及位置环等 PID 控制代码。

同时为了获得当前移动的距离和坐标<sup>[3]</sup>，我们需要利用编码器来计算小车移动的距离，同时，为了减小误差，我们固定了车头方向，由于我们车头是需要保持超前的，因此我们需要用到陀螺仪来实时校正车身的姿态，以防车头不正，产生距离上的误差。

在工业过程控制中<sup>[4-5]</sup>，按被控对象的实时数据采集的信息与给定值比较产生的误差的比例、积分和微分进行控制的控制系统，简称 PID (Proportional Integral Derivative) 控制系统。PID 控制具有原理简单，鲁棒性强和适用面广等优点，是一种技术成熟、应用最为广泛的控制系统。我们对电机的速度控制进行了 PID 闭环，每个轮子都有自己单独的 PID，并且在加减速和角度控制上也同样利用了 PID 来进行控制，我们将电机输出的限幅设置在了 40%，在满足速度要求时防止出现一些意外情况导致加减速过快或车失控。运用 PID 控制的关键是调整 KP、KI、KD 三个参数，即参数整定。PID 参数的整定方法有两大类：一是理论计算整定法。它主要是依据系统的数学模型，经过理论计算确定控制器参数；二是工程整定方法，它主要依赖工程经验，直接在控制系统的试验中进行，且方法简单、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。

由于我们需要让小车移动到图片面前并识别，单纯地只靠编码器获取的距离值来判断是否到达是很不精准的，因此在到达图片附近后，我们需要利用一个摄像头来帮助我校正车身的位置，通过摄像头获取到图片的位置信息反馈给主控从而来控制车身向图片面前移动。

## 4 总结

本作品为基于麦克纳姆轮的智能搬运机器人，除了智能搬运的要求之外，本作品还实现了远程网络连接查看和远程控制，将自动模式和手动模式相结合，拓宽了用途，探索了麦克纳姆轮的新应用。本作品使用可以全向行驶的麦克纳姆轮车模作为载体，使用四个电机，行驶速度快。车模装载有

(下转第 56 页)

# 基于 STM32 的智能化太阳能路灯装置设计

李德政, 王若钧, 唐群, 张骏风, 王叶南

(西北民族大学, 甘肃兰州, 730124)

**基金项目:** 2023年西北民族大学人才培养质量提升项目 (项目编号: 2023XJYBJG-63)。

**摘要:** 本项目以恩智浦的RT1064单片机作为主控, 使用RT-Thread嵌入式系统开发, 以麦克纳姆轮为框架, 自主搭建车模结构, 加装有刷电机和10传统路灯的工作模式一般为定时开关, 但是这种工作模式比较耗费能源; 而目前的新型智能路灯需要进行网络连接, 在偏远地区使用不便。为此笔者提出了一种基于STM32的智能化太阳能路灯装置来解决上述问题。该装置是利用电波和北斗卫星实现双授时, 结合GPS北斗双模定位得到路灯所在地的经纬度, 通过算法来获取当地的日出日落时间, 以此控制太阳能路灯的开关。该装置既解决了传统路灯过于耗费能源的问题, 又解决了新型智能路灯在偏远地区或者远离城市的山区、海边等网络状况不良的条件下使用不方便的问题, 对绿色能源太阳能进行了高效利用, 具有一定的实用价值。

**关键词:** 太阳能路灯; STM32; 智能控制; 自动照明

## 0 引言

随着城市化进程加速, 越来越多的人涌向城市, 路灯作为城市基础设施的一部分, 对于城市安全和发展至关重要。传统路灯的电能是通过铺设输电线给道路两侧的路灯提供, 但是这种方式具有一定的局限性。一方面, 传统输电线路的铺设、配电设备的安装、电能传输过程中的损耗等都是客观存在的难题; 另一方面传统单一的控制模式也无法满足人们对智慧交通的需求<sup>[1]</sup>。因此如何采取节能技术, 降低城市公共照明能耗, 成为目前

各大城市交通路灯急需解决的问题<sup>[2]</sup>。为此, 笔者提出了基于 STM32 的智能化太阳能路灯控制系统, 本方案选择以现阶段主流的嵌入式处理器 STM32F103C8T6 为控制核心, 以绿色能源太阳能作为电能, 采用电波接收、北斗卫星授时、GPS 北斗双模定位等模块对日出日落的信息进行采集, 从而对智能化太阳能路灯装置的开关灯时间进行改变。

## 1 系统结构与工作原理

基于 STM32 的智能化太阳能路灯控制系统的供电系统由太阳能电池、光伏逆变器、电池控制模块、蓄电池、电源模块、采集电路单元等组成; 控制系统由调光电路、电波接收模块、北斗卫星授时模块、GPS 北斗双模定位模块等构成, 系统框图如图 1 所示。

本系统的核心是解决如何在网络不良或者无法联网的环

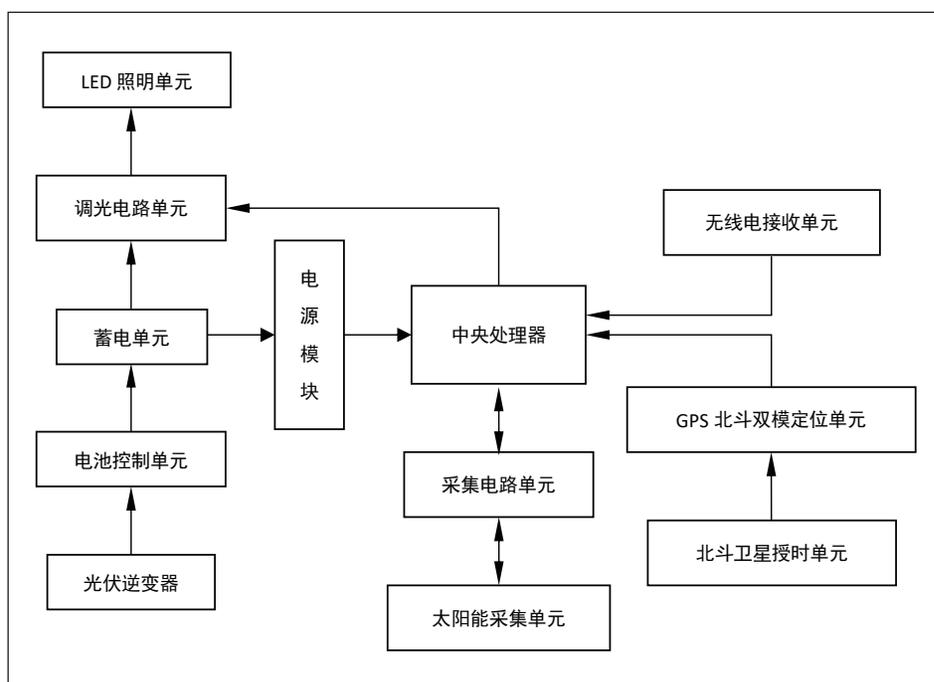


图1 系统框图

境下获得路灯所在地区的日出日落时间。为此我们采用了电波接收模块和北斗卫星授时模块实现双授时, 还通过 GPS 北斗双模定位模块获取路灯所在位置的经纬度信息。多种控制模块将实时采集到的数据信息发送给中央处理器, 进行对日出日落信息的采集。同时, 由于传统路灯采用统一控制, 且只有亮和灭两个状态, 导致资源浪费严重<sup>[3]</sup>, 本系统还采用调光电路对 LED 照明模块进行分时调光, 以适应不同时间段对于灯光照明的需求。通过这种软件层面的方式, 实现了对路灯的动态调节和控制, 以达到节能、环保、智能化的目的<sup>[4]</sup>。

## 2 硬件设计

### 2.1 STM32F103C8T6 模块

STM32F103RCT6 使用高性能的 ARM@CortexTM -

M3 32 位的 RISC 内核，工作频率为 72MHz，内置高速存储器（高达 128K 字节的闪存和 20K 字节的 SRAM），丰富地增强 I/O 端口和联接到 2 条 APB 总线的外设。所有型号的器件都包含 2 个 12 位的 ADC、3 个通用 16 位定时器和 1 个 PWM 定时器，还包含标准和先进的通信接口：多达 2 个 I<sup>2</sup>C 接口和 SPI 接口、3 个 USART 接口、1 个 USB 接口和 1 个 CAN 接口等<sup>[5]</sup>，这款微控制器完全满足系统开发的需要。

### ■ 2.2 电波接收模块

本系统选用的电波接收模块为 CME6005，该模块采用芯片 DL6005 接收国家授时中心发射的电波。DL6005 是一款高度集成的 BI-CMOS 低频接收解码芯片，具有高灵敏度、低功耗等特性。能解调多国电波信号。除此之外，电波接收模块使用中波磁棒绕制天线，使用直径为 10mm 空心线圈，使用高灵敏度天线。采用晶体管低频码接收电路接收 PBC 中国码电波，经选频放大，利用 AGC 电路提高信噪比，然后经单片机进行解码识别<sup>[6]</sup>。

### ■ 2.3 GPS 北斗双模定位模块

本系统选用 ATK-MO1218 模块是一款高性能的 GPS/北斗双模定位模块。该模块采用 S1216F8-BD 模组，具有体积小、性能优异等特点。该模块将获取路灯所在位置的经纬度等各种信息，并将所获取的信息发送到微处理器当中。

### ■ 2.4 北斗卫星授时模块

本系统选用 SKG123NT 作为北斗卫星授时模块。该模块能够同时支持 GPS、北斗、GLONASS、Galileo、QZSS 的卫星接收、支持 L1+L5 双频定位。本系统选用北斗卫星授时模块通过接收卫星发射的高精度和稳定性的时间信号来为中央处理器提供时间参考和时间同步，如果电波接收模块两次接收电波全部失败，会自动采用北斗卫星授时单元接收卫星时间。

### ■ 2.5 太阳能电池

正常光照情况下，太阳能路灯电池组件可以自动将太阳能的能量收集起来，将光能转化为电能，并自动存储进蓄电池内部<sup>[7]</sup>。在对太阳能路灯进行设计时，光源功率在很大程度上决定着道路照明的标准值，甚至对整个照明系统参数的稳定性都有一定影响<sup>[8]</sup>。

### ■ 2.6 LED 驱动芯片

本系统选用的 LED 驱动芯片是 LM3404，该芯片是由德州仪器 (TI) 公司研发设计的内部集成开关电源控制的芯片，主要应用在负载为恒定电流的大功率 LED 电路设计中<sup>[9]</sup>。通过调节 PWM 信号的占空比大小实现对大功率 LED 发光亮度的调节。系统选用 LM3404 为调光电路的驱动芯片，控

制 LED 照明单元的开关、亮度，通过减少过高的电流和电压对 LED 灯的损害。综合各种因素考虑，本系统选用的是单晶硅太阳能板。

## 3 软件设计

### ■ 3.1 电波接收模块

本系统具有电波接收的功能，无线电接收天线从空间感应接收由国家授时中心发射的实时授时信号，通过中央处理器来解析无线电波信号里的时间、星期、年月日、夏令时间等信息，以此来校准时间。电波接收模块第一次接收电波的时间在凌晨 1:00-3:00，如果第一次接收失败，第二次接收时间在凌晨 4:00。

### ■ 3.2 北斗卫星授时模块

本系统具有北斗卫星授时模块，北斗卫星授时模块通过接收卫星发射的高精度和稳定性的时间信号来为中央处理器提供时间参考和时间同步，如果电波接收模块两次接收电波全部失败，会由中央处理器采用北斗卫星授时单元接收卫星时间。

### ■ 3.3 模式控制程序

本系统具有模式控制程序，在微控制器内部设置两种模式来对智能化太阳能路灯进行控制，分别为手动模式和智能模式。智能模式是根据系统计算得到的日出日落时间进行开

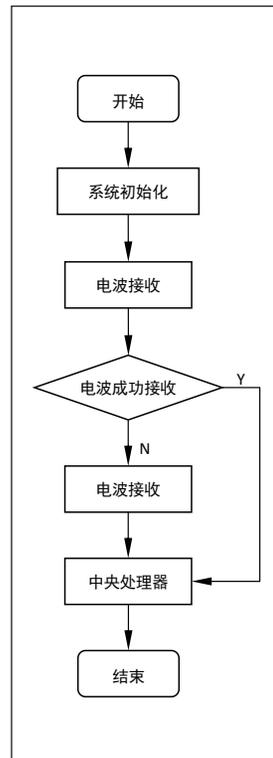


图2 电波接收模块流程图

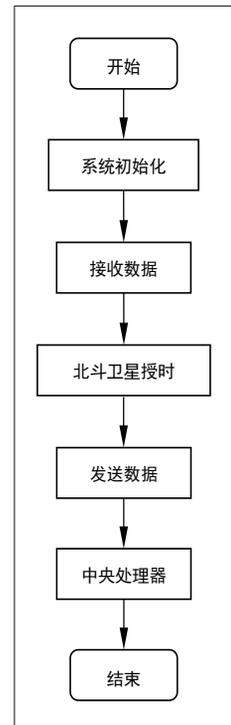


图3 北斗卫星授时流程图

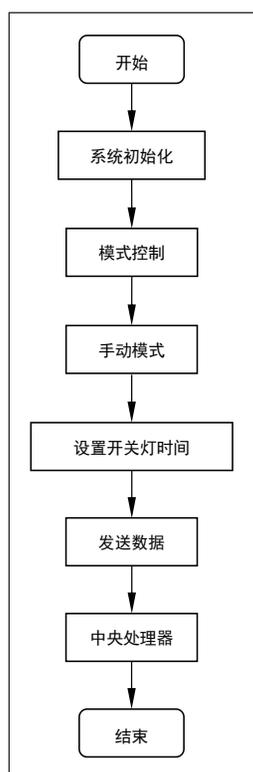


图4 模式控制流程图

关路灯的控制，手动模式是手动对路灯进行开关灯的控制，其预设的开关灯时间为晚上 8 点到次日凌晨 5 点。

### 3.4 日出日落时间计算程序

#### (1) 日出日落计算公式

系统具有日出日落计算公式，通过中央处理器解码无线电信号里的时间、星期、年月日、夏令时间等信息、由 GPS 北斗双模定位模块获取的路灯所在位置的经纬度信息，综合算法得出路灯所在地的日出日落时间。

$$h = 15 \cdot (t + (\Lambda - 120^\circ) / 15^\circ - 12)$$

$$\delta = -23.44^\circ \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (N + 10)\right)$$

$$\sin \theta = \cosh \cos \delta \cos \varphi + \sin \delta \sin \varphi$$

$$\cos \theta = -\tan \varphi \cdot \tan \delta = \arctan(\cos \theta) \cdot T$$

其中  $h$  为时角、 $t$  为北京时间、 $\Lambda$  为本地经度、 $\delta$  为赤纬、 $\varphi$  为本地纬度、 $N$  为从 1 月 1 日算起的第几天、 $\theta$  为太阳高度角、 $T$  为日出日落时间。

#### (2) 日出日落时间计算原理

地球以近似于 24 小时的周期自西向东自转，同时地球也绕着太阳公转。太阳相对于地球的位置会有所变化。在计算日出日落时间时，需要计算特定地点，在给定时间下太阳光线与该地表面法线的夹角。太阳高度角大小因地球的倾斜角度、经纬度和日期等参数而异。由于不同地区设定的时区标准不同，因此需要考虑给定地点（经纬度）所在的时区来

计算日出日落时间。基于以上关键因素，可以利用天文算法和数学计算来确定给定经纬度和具体时间下的太阳高度角，进而计算出日出和日落的时间。需要注意的是，现实中存在地球大气折射、地形和气候等多种因素的影响，因此计算结果可能与实际情况存在一定差别。

### 3.5 LED 照明程序

本系统通过 PWM 调光技术来实现 LED 照明亮度的精确控制。PWM 调光通过调节脉冲周期内 LED 灯具亮、暗时间占比的方法来控制输出亮度<sup>[10]</sup>。通过改变输入信号幅值的大小来改变脉冲宽度。当输入信号幅值较大时，脉冲宽度较宽；当输入信号幅值较小时，脉冲宽度较窄。而脉冲宽度越宽，光源被打开的时间越长，光源的亮度越高；脉冲宽度越窄，光源被关闭的时间越长，光源的亮度越低。由此，我们实现了对 LED 照明亮度的控制。在日落半小时至晚上 11 点时人流量较大，我们使输入信号幅值增大，LED 灯的亮度会拉高；而在晚上 11 点之后，我们会降低输入信号的幅值，LED 灯的亮度也会下降。通过这种方式我们实现了降低路灯功耗的目的。

## 4 测试与实验数据

针对本装置，我们设计了一套实验方案，选用 18V 70W 的太阳能电池板，选用 80W 的 LED 照明路灯，其实验地点定位为 36.044° N, 103.819° E。假设传统路灯的自动开关灯时间为晚上 7:00 到早上 7:00，其每个路灯平均耗电量约为 0.96kW，则一个路灯一年的耗电量约为 350kW。本装置路灯的功能是每天进行时间校准，调整开关灯时间，为了简化计算，我们选用二十四节气的日出日落时间为基准点，以两个节气之间的时间为持续时间，如表 1 所示。

表1 日出日落时间信息

节气	日落时间(T1)	日出时间(T2)	亮灯时间
春分	19:16	7:07	10时51分
夏至	20:24	5:47	8时23分
秋分	19:01	6:53	10时52分
冬至	17:54	8:11	13时17分

方案路灯的照明亮度会随时间进行调整，在日落半小时至晚上 11 点前为 80W 照明，在晚上 11 点至凌晨 1 点为 50W 照明，在凌晨 1 点至日出前半小时为 30W 照明。如表 2 所示。

表2 分时段耗电量信息

节气	T1-23:00 (80W)	23:00-1:00 (50W)	1:00-T2 (30W)	总电量(kW)
春分	19:16	7:07	10时51分	0.527
夏至	20:24	5:47	8时23分	0.396
秋分	19:01	6:53	10时52分	0.539
冬至	17:54	8:11	13时17分	0.669

设传统路灯一年的耗电量为 P1, P1=350(kW);  
本方案路灯装置一年的耗电量为 P2, P2=170(kW);  
其节约电能的效率:  $\eta=(P1-P2)/P1=51\%$ 。

## 5 结束语

基于 STM32 的智能化太阳能路灯系统采用通过无线电接收单元和北斗卫星授时单元实现双授时, 结合 GPS 北斗双模定位单元得到路灯所在地的经纬度, 通过算法与代码来获取当地的日出日落时间。同时, 太阳能路灯又具有节能环保、独立运行、易于安装、使用寿命长等优点, 具有极大的开发和应用空间。本系统既解决了传统路灯容易受到外界环境影响而导致的照明不良, 又解决了新型智能路灯在偏远地区或者远离城市的山区、海边等网络状况不良的条件下使用不便, 有效提高了对太阳能资源的利用率, 扩大了太阳能路灯的使用范围, 具有一定的创新性和实用价值。

### 参考文献

\* [1] 郑祥明, 陈夫进. 基于 STM32 的太阳能路灯控制系统设计 [J].

赤峰学院学报 (自然科学版),2019,35(11):107-109.  
\* [2] 杜娟. 基于 STC89C52 单片机的太阳能路灯智能控制系统设计与应用研究 [J]. 科技传播,2022,14(03):148-150.  
\* [3] 薛凯鑫, 薛沅锐. 多功能追光太阳能路灯设计探讨 [J]. 科教文汇 (上旬刊),2020(13):79-80+84.  
\* [4] 曾平红, 范芳东, 闫德鑫. 基于 STM32 的路灯智能监测控制系统设计 [J]. 光源与照明,2023(07):68-70.  
\* [5] 尹宗保, 葛玉丽, 姜洪杰等. 基于霍尔传感器的钻孔深度测量仪 [J]. 煤矿安全,2014,45(02):92-94.  
\* [6] 赵亚范, 王坤, 杨帆等. 基于 STM32 单片机的电波钟设计 [J]. 电子测量技术,2015,38(06):80-82.  
\* [7] 张雨玲. 太阳能路灯智能控制系统设计研究 [J]. 住宅与房地产,2017(06):150.  
\* [8] 李明. 太阳能路灯在城市照明中的应用模式分析 [J]. 黑龙江科学,2017,8(08):122-123.  
\* [9] 孔强强, 国建岭. 基于 LM3404 的车载 LED 调光电路设计 [J]. 中国照明电器,2020(02):31-34.  
\* [10] 林建勇. LED 调光技术及其在道路照明上的应用研究 [J]. 光源与照明,2021(10):34-36+76.

(上接第 72 页)

## 5 结论

本论文研究在江苏某钢铁集团实践证明是可行的, 项目已平稳运行半年, 累计运行次数超过 2800 次, 运行效果优良, 平均检测准确率达到 98%, 检测时间达到 15fps, 有效提高了库区无人化作业效率, 获得一致好评。

### 参考文献

\* [1] 周济. 智能制造——“中国制造 2025” 的主攻方向 [J]. 中国机械工程, 2015, 26(17):12.  
\* [2] Yu J, Lin Z, Yang J, et al. Free-Form Image Inpainting with Gated Convolution[J]. 2018.  
\* [3] Zoph B, Le Q V. Neural architecture search with reinforcement learning. Proceedings of the 5th International Conference on Learning Representations. Toulon: OpenReview. net, 2017. 116.  
\* [4] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2016.  
\* [5] Yun S, Han D, Oh S J, et al. Cutmix: Regularization strategy to train strong classifiers with localizable features[C]// Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2019: 6023-6032.

\* [6] 宋非洋, 吴黎明, 郑耿哲, 等. 基于 Mobilenetv3 的结构性剪枝优化 [J]. 自动化与信息工程, 2019, 40(06): 20-25.  
\* [7] Woo, S., Park, J., Lee, J., & Kweon, I. (2018). CBAM: Convolutional Block Attention Module. ArXiv, abs/1807.06521.  
\* [8] Redmon J, Divvala S, Girshick R, et al. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection[C]// Computer Vision & Pattern Recognition. IEEE, 2016.  
\* [9] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6):679-698.  
\* [10] Xie S, Tu Z. Holistically-nested edge detection[J]. International Journal of Computer Vision, 2015, 125(1-3):3-18.  
\* [11] Ramachandran P, Zoph B, Le Q V. Searching for Activation Functions. 2017[2024-01-07]. DOI:10.48550/arXiv.1710.05941.  
\* [12] Glorot X, Bordes A, Bengio Y. Deep Sparse Rectifier Neural Networks[J]. Journal of Machine Learning Research, 2011, 15:315-323.  
\* [13] 李克文, 李新宇. 基于 SENet 改进的 Faster r-cnn 行人检测模型 [J]. 计算机系统应用, 2020, 29(04): 266-27.

# 基于深度学习的钢坯编号识别系统的研究与开发

邱玥灏<sup>1</sup>, 王子佳<sup>2</sup>, 牛丹<sup>2</sup>, 刘铭皓<sup>3</sup>, 刘进波<sup>3</sup>, 丁军军<sup>4</sup>

(1. 江苏省产业技术研究院, 江苏南京, 210000; 2. 东南大学 自动化学院, 江苏南京, 210096;

3. 南京科远智慧科技集团股份有限公司, 江苏南京, 211102;

4. 东南大学 网络空间安全学院, 江苏南京, 211189 )

**摘要:** 随着深度学习和机器视觉技术的不断成熟, 传统的管理方式正面临着重大变革。机器视觉技术以其强大的适应能力和高稳定性, 在各行各业展现出卓越表现, 尤其在恶劣工况环境下具备显著优势。钢坯编号智能检测系统通过高清相机对钢坯喷码面进行图像采集, 实现自动检测与记录钢坯编号, 确保数据准确性。该系统采集的编号信息为后续加工环节提供实时指导, 优化生产调度。研究应用此技术, 有助于解决人工操作存在的识别错误、管理复杂性问题, 并填补了无法为连续生产过程提供可靠数据依据的空白, 有力推动钢铁行业向智能化、高效化方向发展。钢坯生产车间中的钢坯编号智能检测对于后续产线生产信息的跟踪和提供钢坯流程源头信息具有重要意义, 对于提升制造效率、管理效率以及推动行业发展和关键技术进步都具有积极作用。

**关键词:** 目标检测; 图像修复; 生成对抗网络; YOLO; MobileNet; 注意力机制; 边缘预测

## 0 引言

在全球范围内推动工业 4.0 战略的浪潮下, “中国制造 2025” 提出了以推进智能制造为主攻方向的重要举措, 旨在提升中国制造业的信息技术水平<sup>[1]</sup>。然而, 与其他国家相比, 中国制造业整体基础相对薄弱, 缺乏足够的竞争力。因此, 针对中国制造业当前的实际情况, 逐步进行智能化改造成为提升制造业水平的首选方案。在钢铁企业从个体装置的自动化到整个系统的自动化, 再到整个流程的智能化的逐步升级的过程中, 存在许多难点。比如, 钢坯生产线的钢坯物料跟踪。通过实现钢坯编号的自动化识别和跟踪, 提高生产效率和质量控制水平, 为钢铁行业的发展和运营提供了重要支持。在传统方式下, 只能依靠人眼获取钢坯的编号信息。钢坯编号在智能化改造研究中具有重要意义, 通过对钢坯进行编号, 可以实现对每根钢坯的唯一标识和追踪, 对于后续生产跟踪和出厂管理至关重要。

虽然人工记录仍然是主要的编号检测方式之一, 但它已经无法满足新时代复杂任务的需求。因此, 人们期望找到一种既能确保技术人员安全, 降低成本, 又能高效精确地进行钢坯编号检测的方法。

本文主要对钢坯编号的检测问题进行了研究分析, 针对钢坯编号检测图像破损以及检测速度和精度的要求, 提出了两点优化。首先, 提出了融合边缘预测和生成对抗网络的编号图像修复算法, 对钢坯编号图片中破损部位进行修复处理, 使得检测目标更加明确。然后, 提出了改进的 YOLOv5 网络, 该网络使用 MobileNetv3 取代了 YOLOv5 特征提取网络 Backbone, 减少了网络的参数量和计算量, 提高钢坯编号检测的速度。同时为了弥补 MobileNetv3 带来的小精度降低, 使用空间和通道注意力机制替换 MobileNetv3 的 SE 注意力模块, 并使用 SiLU 激活函数替代 ReLU 激活函数。

这弥补了钢坯编号检测精度的损失, 增强了算法的钢坯编号的特征的提取能力。最后, 利用改进后的 YOLOv5 网络对修复后的钢坯编号图片进行检测。

## 1 融合边缘预测和生成对抗网络的编号图像修复算法

### 1.1 模型结构

本文的图像修复网络如图 1 所示。网络采用对抗模型结构, 包括边缘生成器和平滑结构重构器。边缘生成器 Ge 预测图像的边缘结构 Epred, 并为下一阶段提供指导。平滑结构生成器 Gs 根据 Ge 生成的边缘结构 Epred 预测图像的平滑结构, 生成整体结构图像 Spred。生成器通过编码器和解码器实现, 利用扩张卷积在解码器的残差层进行特征图的上采样, 扩大感受野 (扩张因子为 8)。判别器在本模型中采用了 70×70 PatchGAN 结构设计, 这一独特架构使其具备精细的局部判别能力。通过这种方式, PatchGAN 能够聚焦于图像的局部纹理和细节, 实现对生成图像与真实图像间细微差别的敏锐捕捉。此外, 为了增强模型的泛化能力和训练稳定性, 判别器还运用了实例归一化技术 (Instance Normalization)。

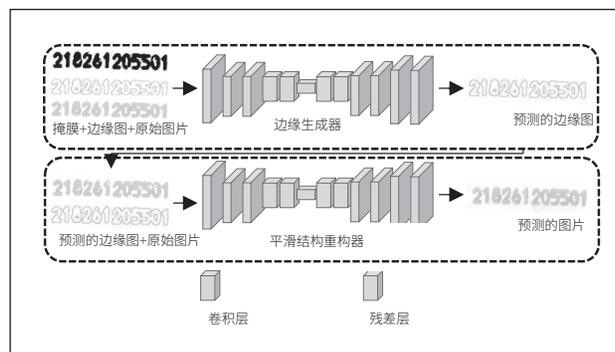


图 1 网络结构

## 1.2 频谱归一化马尔科夫鉴别器

Jiahui Yu<sup>[2]</sup> 及其团队提出了一种频谱归一化马尔科夫鉴别器 (SN-PatchGAN) 模型, 专用于处理具有复杂形状破损情况的图像修复问题。该模型具体结构细节如图 2 所示, 通过引入频谱归一化等技术强化了对图像局部特征的学习与重建能力, 有效提升了图像修复的质量和真实度。

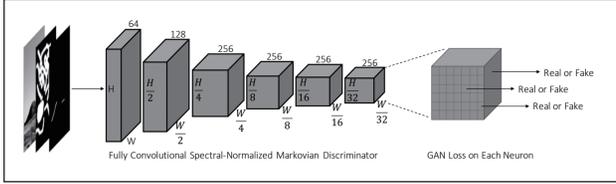


图 2 频谱归一化马尔科夫鉴别器

鉴别器的输入包括图像、掩膜和引导通道, 输出一个形状为  $R^{h \times w \times c}$  的 3D 特征图。鉴别器由 6 层卷积层组成, 每层使用大小为 5、步长为 2 的卷积核, 以捕捉 Markovian 块的特征信息。通过对生成的特征图应用对抗损失, 得到与特征图中元素数量相等的损失, 每个损失对应图像中不同区域和语义表示。使用 SN-PatchGAN 提高了图像修复网络的训练速度和稳定性。

## 1.3 边缘生成器

### (1) 图像边缘预测

边缘检测是图像处理与计算机视觉领域中的核心基础问题之一, 其主要任务在于精准识别并定位图像中因亮度突变而形成的边界点。这一过程旨在通过敏锐地捕捉到这些显著的强度变化来提取图像的关键结构特征, 从而在保留图像本质信息的同时, 有效地压缩数据量, 剔除冗余及无关细节内容, 实现对图像结构的精炼表达和高效理解。目前有多种边缘检测方法, 在本文中采用 Canny<sup>[9]</sup> 算子计算的边缘图来训练改进模型, 这充分考虑了 Canny 和 HED<sup>[10]</sup> 各自的优缺点。

### (2) 边缘结构生成器

边缘保留平滑方法旨在去除图像中的高频纹理, 同时保留不同对象的尖锐边缘和结构信息, 以获取整体结构。设真实图像为  $I_{gt}$ , 真实图像的边缘保留平滑结构图像为  $S_{gt}$ , 其中  $S_{gt}$  的边缘图为  $E_{gt}$ , 灰度图像为  $S_{gray}$ 。在边缘生成器中, 输入包括带孔的平滑结构图像的灰度图  $\hat{S}_{gray} = S_{gray} \odot M$ , 边缘图  $\hat{E}_{gt} = E_{gt} \odot M$  和图像掩膜  $M$  (其中 1 表示源区域, 0 表示缺失区域)。这里,  $\odot$  表示逐元素乘积操作。边缘生成器预测掩膜区域的边缘图  $E_{pred}$  :

$$E_{pred} = G_e(\hat{S}_{gray}, \hat{E}_{gt}, M)$$

在这个阶段, 我们使用真实边缘图  $E_{gt}$  和预测边缘图  $E_{pred}$  作为鉴别器的输入, 并通过鉴别器来判断输入边缘图真实性。该网络采用联合损失函数  $\mathcal{L}^e$ , 它是对抗损失  $\mathcal{L}_{adv}^e$  和特征匹配损失  $\mathcal{L}_{FM}$  的相加。该损失函数的计算公式如下:

$$\mathcal{L}^e = \lambda_{adv}^e \mathcal{L}_{adv}^e + \lambda_{FM} \mathcal{L}_{FM}$$

其中, 对抗损失和特征匹配损失的权重由参数  $\lambda_{adv}^e$  和  $\lambda_{FM}$  决定, 在本方法的实验中, 本章选  $\lambda_{adv}^e = 1$  和  $\lambda_{FM} = 10$ 。

$G_e$  的对抗损失  $\mathcal{L}_{adv}^e$  定义为:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{adv}^e = & \mathbb{E} [\log(1 - D_e(G_e(\hat{S}_{gray}, \hat{E}_{gt}, M)))] \\ & + \mathbb{E} [\log(D_e(E_{gt}))] \end{aligned}$$

判别器的特征表示为  $D_e$ 。特征匹配损失  $\mathcal{L}_{FM}$ 。虽然感知损失与特征匹配损失类似, 都比较了选定层的激活图, 但二者有所区别。感知损失是基于 VGG 网络的选定层来比较, 但由于 VGG 网络未经过边缘生成训练, 无法准确捕捉早期阶段的边缘信息。因此, 感知损失无法满足准确预测边缘信息的需求。为满足这一需求, 在本阶段采用特征匹配损失  $\mathcal{L}_{FM}$ , 其计算公式如下所示:

$$\mathcal{L}_{FM} = \sum_i \frac{1}{N_i} \|D_e^i(E_{gt}) - D_e^i(E_{pred})\|_1$$

$N_i$  被定义为第  $i$  个激活层中神经元的数量,  $D_e^i$  则特指鉴别器模型的第  $i$  层的激活。

谱归一化 (Spectral Normalization, SN) 通过计算并调整权重矩阵的谱范数以确保其最大奇异值恒定为 1, 从而达到稳定整个训练过程的目的, 并有效约束网络的 Lipschitz 连续性常数, 这是控制 GAN 等生成对抗网络训练不稳定性的重要手段。

谱归一化起初仅被应用于 GAN 的鉴别器部分, 用以克服训练中的梯度消失或爆炸问题。然而近期的研究发现 SN 同样能给生成器带来显著益处。

因此, 在该阶段, SN 不仅应用于鉴别器, 也应用于生成器。该阶段的边缘结构预测流程如图 3 所示。

## 1.4 平滑结构重构器

### (1) 边缘保留平滑方法

图像平滑需要突出低频成分、抑制高频成分, 并减少梯度的突变。传统的图像处理方法通常使用图像卷积平滑操作, 如高斯滤波和均值滤波, 以去除噪声。然而, 这些方法会模糊边缘信息。改进方法如双边滤波在边缘保留方面有进展, 但仍存在边缘信息丢失的问题。综上所述, 本部分旨在保持图像结构并消除纹理, 通过不同的方法来进行图像平滑操作。

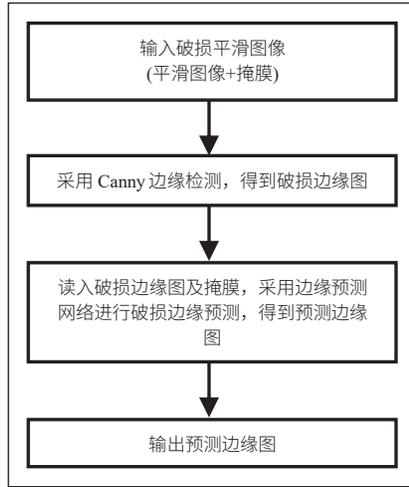


图3 边缘预测流程图

## (2) 平滑结构重构器

在图像修复流程中，为确保生成的修补内容具备连贯性、合理性及真实性，本章节引进了结构重构器  $G_s$ ，该模块旨在有效恢复受损图像的整体构造和细节连续性。该阶段的输入是部分破损的结构图像  $\hat{S}_{gr} = S_{gr} \odot M$ ，通过将其与合成的边缘图  $E_{comp} = E_{gr} \odot M + E_{pred} \odot (1 - M)$  进行组合来生成填充了破损区域的结构图像  $S_{pred}$ ：

$$S_{pred} = G_s(\hat{S}_{gr}, E_{comp}, M)$$

该阶段，使用了联合损失，包括  $\ell_1$  损失、对抗损失、感知损失和样式损失。 $\ell_1$  损失衡量了预测结构  $S_{pred}$  与真实结构  $S_{gr}$  之间的差异：

$$\mathcal{L}_{\ell_1} = \|S_{pred} - S_{gr}\|_1$$

为了模拟目标结构  $S_{gr}$  的分布，结构重构器还引入了对抗损失。 $G_s$  的对抗损失  $\mathcal{L}_{adv}^S$  写为：

$$\mathcal{L}_{adv}^S = \mathbb{E}[\log(1 - D_s(G_s(\hat{S}_{gr}, E_{comp}, M)))] + \mathbb{E}[\log(D_s(S_{gr}))]$$

其中鉴别器  $D_s$  用于区分真实结构和预测结构。感知损失  $\mathcal{L}_{perc}$  通过衡量预测图像和真实图像在预训练网络中对应激活图之间的差异来惩罚感知上不相似的结果：

$$\mathcal{L}_{perc} = \sum_i \frac{\|F_i(S_{pred}) - F_i(S_{gr})\|_1}{N_i}$$

感知损失使用了预训练网络的多个层（如 relu1\_1、relu2\_1 等），并通过计算它们的激活图之间的差异来量化感知损失。整体损失函数  $\mathcal{L}_{style}$  由  $\ell_1$  损失、对抗损失、感知损失和样式损失组成，各部分的权重可以调整以达到最佳效果。

$$\mathcal{L}_{style} = \sum_j \frac{\|K_j((\phi_j^{s_{pred}})^T(\phi_j^{s_{pred}}) - (\phi_j^{s_{gr}})^T(\phi_j^{s_{gr}}))\|_1}{C_j C_j}$$

样式损失用于消除感知损失中的棋盘伪影，它通过计算高阶特征的格拉姆矩阵之间的差异来衡量。该阶段的整体损失函数  $\mathcal{L}_s$  为：

$$\mathcal{L}^s = \lambda_{\ell_1}^s \mathcal{L}_{\ell_1}^s + \lambda_{adv}^s \mathcal{L}_{adv}^s + \lambda_{perc} \mathcal{L}_{perc} + \lambda_{style} \mathcal{L}_{style}$$

需要注意的是，在结构重构器中没有使用频谱归一化，因为它会增加网络训练的时间并限制网络的表达能力。该阶段的预测图像平滑结构的流程如图4所示。

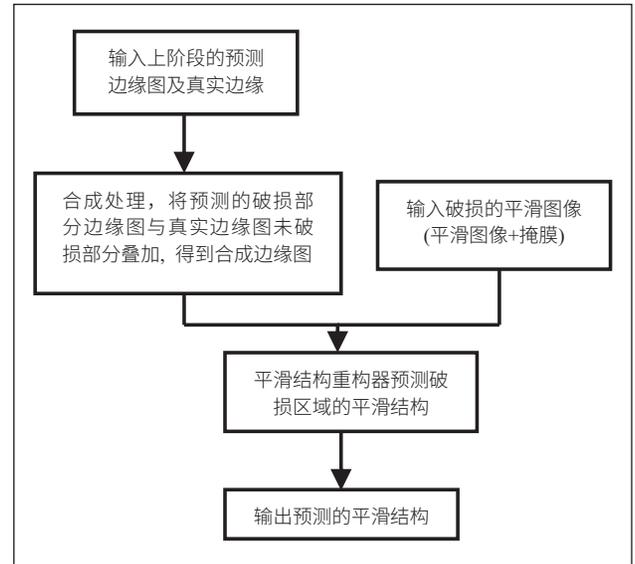


图4 平滑结构预测流程图

## 2 改进的 YOLOv5 算法结构

YOLOv5 相比于 YOLOv4，在网络的灵活性和检测速度方面有显著改进。它根据网络的宽度和深度分为四个版本：YOLOv5s、YOLOv5m、YOLOv5l 和 YOLOv5x。本文选择基于 YOLOv5s 进行改进，以在检测速度和精度之间取得平衡。

钢坯编号图像的模糊不清给检测带来了困难，导致准确度下降和漏检情况增多。因此，从实际需求来看，YOLOv5 模型无法完全满足要求。为了提高检测速度，本文使用 MobileNetv3 替换了 YOLOv5 的骨干结构，并引入了空间通道注意力模块（CBAM）来提高对钢坯编号的检测精度。此外，在骨干结构中使用 SiLU<sup>[11]</sup> 激活函数替代 ReLU<sup>[12]</sup> 可以加快模型收敛速度和训练效果，进一步提高模型的精度。

### 2.1 引入 MobileNetv3

本文选择了基于神经架构搜索（NAS）的 MobileNetv3<sup>[6]</sup> 网络作为替代的主干特征网络。MobileNetv3 网络包含 Large 和 Small 两种版本，其中 Large 版能在精度与速度

间取得平衡。该模型的 conv2d 模块结合了常规卷积、批量归一化以及 h-swish 激活函数以增强特征表达能力；bneck 模块则采用深度可分离卷积，有效降低模型参数量并提升运算效率，尤其适合移动端等资源受限环境。MobileNetV3 在 bneck 模块中具有多个优点和独特特性。(1) 引入 SE 注意力模块 (SENet<sup>[13]</sup>)，通过挤压和激励操作调整特征通道的重要程度。(2) 使用深度可分离卷积 (DWConv)，由深度卷积和逐点卷积组成，降低网络的计算和参数量。(3) 使用线性瓶颈的残差倒置结构扩展输入特征，通过 1×1 的 Conv 卷积进行通道升维，然后使用 3×3 的 DWConv 卷积，通道数量逐渐减少，与传统的残差结构方式不同，如 ResNet<sup>[4]</sup>。

### 2.2 引入通道和空间注意力模块

本文提出使用 CBAM<sup>[7]</sup> 模块代替 MobileNet 网络中的 SE 模块，以提高图像注意力处理的精确度。CBAM 模块在通道注意力机制基础上增加了空间注意力机制，解决了 SE 模块仅考虑通道权重的限制。通过 CBAM 模块，网络的特征提取能力得到增强，重要信息得到突出，无关信息得到抑制，从而提取更关键的特征。CBAM 模块由通道注意力模块 (CAM) 和空间注意力模块 (SAM) 组成，分别在通道和空间上进行特征提取。具体结构详见图 5。

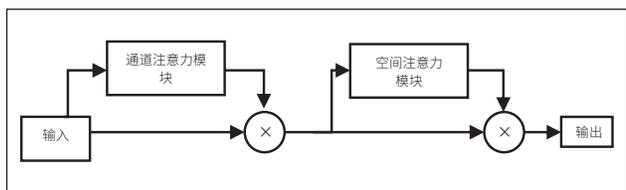


图5 CBAM 网络结构

### 2.3 使用 SiLU 替代 ReLU 激活函数

改进的 YOLOv5 模型将原本 MobileNetV3 部分中的 ReLU 激活函数替换为 SiLU 激活函数。这一改变是因为 SiLU 具有更好的稳定性，能够加速模型的收敛速度并提高训练效果。此外，SiLU 中引入的小量参数还能够有效地提升模型的精度。

### 2.4 数据增强

在改进版的 YOLOv5 算法中，我们采用了 Mosaic 数据增强方法。这种方法与 CutMix<sup>[5]</sup> 方法原理相似，都是通过组合多张图片来扩充数据集，提高模型泛化能力。区别在于：CutMix 需要两张图片，而 Mosaic 需要四张。

具体操作如下：Mosaic 从训练集中随机选择四张图片，按比例缩放裁剪至相同尺寸，然后拼接成一张虚拟图片作为新输入进行训练。

使用 Mosaic 方法可以在不增加训练时间的情况下有效

扩充数据集，提高模型性能。同时，由于使用了更多图片组合，能更好地捕捉目标信息，提高检测精度。

## 3 实验

### 3.1 消融实验

#### (1) 网络检测准确度

平均而言，加上 MobileNet 的 YOLOv5 的检测精度有所降低，但使用 CBAM 模块替换 SE 注意力模块后，改进后的 YOLOv5 的检测精度和 mAP(平均 AP) 比 YOLOv5 分别平均提高了 7.5% 和 3.47%。

表1 YOLOv5改进过程性能对比

Character	YOLOv5		改进的YOLOv5 (引入MobileNet)		改进的YOLOv5 (引入MobileNet和CBAM)	
	Precision(%)	AP(%)	Precision(%)	AP(%)	Precision(%)	AP(%)
0	93.21	60.00	90.54	52.75	98.64	66.87
1	90.71	69.65	93.46	65.41	97.31	67.94
2	93.83	59.40	90.64	58.44	99.42	68.65
3	90.52	66.42	85.12	62.38	98.62	63.54
4	92.68	61.55	90.10	65.14	99.87	66.70
5	91.83	55.40	85.44	63.19	95.64	65.46
6	93.83	60.76	92.90	57.73	99.58	60.12
7	92.54	57.53	86.48	61.06	99.06	64.48
8	90.45	64.44	85.73	63.95	97.79	65.45
9	89.72	59.98	92.69	57.26	98.25	60.54
Avg	90.93	61.51	89.31	60.73	98.42	64.98

#### (2) 检测速

为了更显著地比较算法之间的效果，我们比较了不同算法的检测能力。实验结果如表 2 所示。尽管 Resnet50-SSD 的检测速度高达 44.48fps，但其平均精度最低。YOLO 系列使用端到端方法直接返回对象的类、置信度和位置，这比两阶段方法更快。改进后的 YOLOv5 (引入 MobileNet) 的方法，准确率比 YOLOv5 下降了，但是检测速度得到了大幅提升。使用通道和空间注意力模块 (CBAM) 后，改进后的 YOLOv5 的检测速度略有降低，但是检测准确率得到了有效地提升。尽管本文提出的改进后的 YOLOv5 的检测速度比 Resnet50-SSD 慢约 4.13fps，但它的平均精度比 Resnet50-SSD 高 27.97%，仍然可以满足钢坯编号识别的需要。

表2 不同模型的检测能力

Models	Precisions (%)	DetectionSpeed(fps)
Resnet50-SSD	70.45	44.48
YOLOv4	80.20	30.65
YOLOv5	90.93	35.23
改进的YOLOv5 (引入 MobileNet)	89.31	45.04
改进的YOLOv5 (引入 MobileNet+CBAM)	98.42	40.35

### 3.2 综合实验

为了进一步提高编号检测的精度，将融合边缘预测和生成对抗网络的图像修复方法作为应用改进后的 YOLOv5 检测钢坯编号的前提。

如表 3 和表 4 所示，显示了系统应用融合边缘预测和生成对抗网络的图像修复技术前后的性能比较。平均而言，该实验中改进后的 YOLOv5 的检测精度和 mAP（平均 AP）分别提高了 1.17% 和 0.51%。

表3 改进的YOLOv5检测效果

Character	Precision(%)	AP(%)
0	98.64	66.87
1	97.31	67.94
2	99.42	68.65
3	98.62	63.54
4	99.87	66.70
5	95.64	65.46
6	99.58	60.12
7	99.06	64.48
8	97.79	65.45
9	98.25	60.54
Avg	98.42	64.98

表4 结合图像修复的改进后YOLOv5检测效果

Character	Precision(%)	AP(%)
0	99.61	67.45
1	99.48	68.01
2	99.55	68.15
3	99.12	65.04
4	99.15	65.08
5	99.48	65.86
6	99.62	61.76
7	99.24	65.47
8	98.92	65.50
9	98.79	62.59
Avg	99.29	65.49

表5 检测速度对比

Models	Precisions (%)	DetectionSpeed(fps)
改进后的YOLOv5	98.42	40.35
GAN+改进后的YOLOv5	99.29	20.42

但是我们也发现，系统整体的检测速度从 40.35fps 降低到 20.42fps，这是由于 GAN 的加入导致的。但降低的速度依旧可以满足检测需求，对于系统整体而言利大于弊。

## 4 钢坯编号智能检测系统的开发

钢坯编号智能检测系统设计流程图如图 6 所示，该钢坯编号智能检测系统是为了实时跟踪钢坯在生产线上的位置而开发的。系统通过轨道式平板行车将钢坯从生产线移动到堆放区，并使用三维扫描系统进行位置检测。相机位于轨道一侧，三维扫描系统对轨道式平板行车进行持续跟踪定位，相机固定不动。当满足触发条件时便发出触发信号给相机。系统会将采集到的图片存储在服务器的 FTP 文件夹

中，并按照时间命名。然后，系统会循环监听 FTP 文件夹，检测过去 15s 内的图片，并进行识别处理。整个过程持续 30s，根据现场相机位置与轨道式平板行车行进速度进行调节，时间约等于一辆轨道式平板行车完整地运行过相机前侧的所需时间。对采集到的钢坯图像进行定位、修复、检测，完成检测任务。最后将检测到的编号与连铸数据库进行二次验证，验证成功则证明本次检测正确，将检测结果存入数据库，失败则引入人工介入，查看和反馈问题。

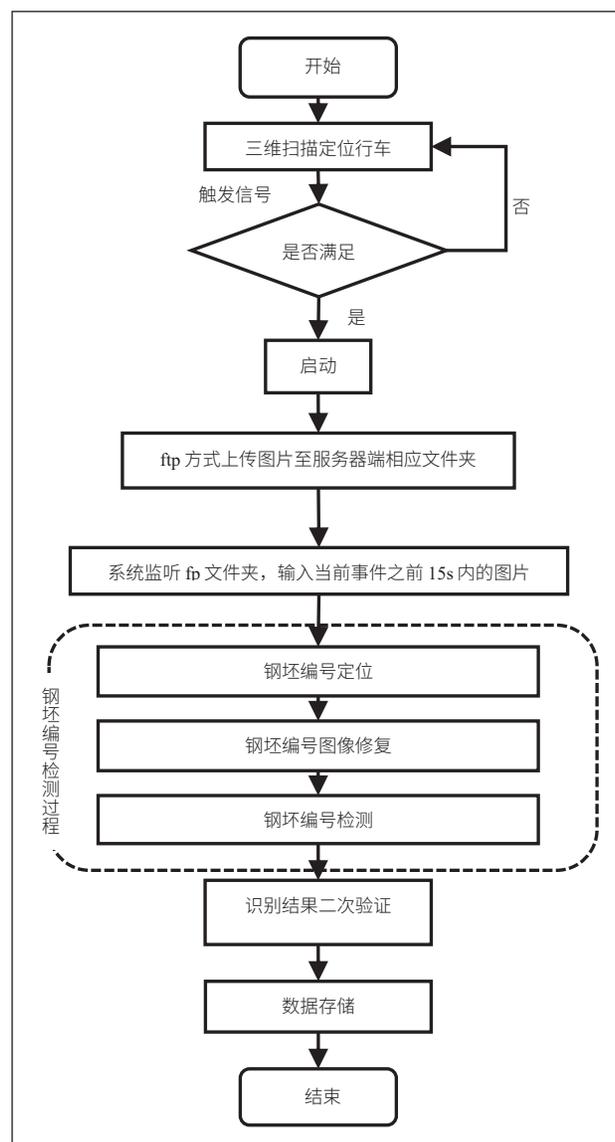


图6 系统设计流程图

### 4.1 二次验证模块

为验证识别结果，钢坯编号识别结果与连铸数据库进行比对，以提高编号识别准确率，对比流程如图 7 所示。如果连铸数据库中查不到板坯原 PDI 数据，则引入人工干预，人工录入钢坯编号，并将问题记录并反馈，有助于未来一步一步提高钢坯编号识别精度，进一步减少工人介入频率。

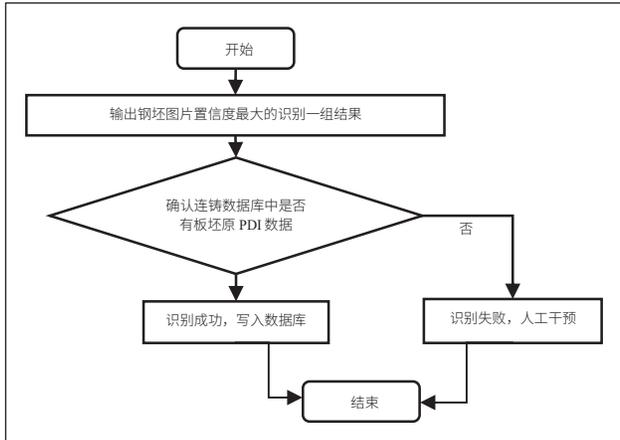


图 7 编号识别结果与数据库对比流程

系统使用 MySQL 数据库对出炉钢坯信息进行数据存储，这样做是基于数据采集频率和存储维护要求的考虑。具体而言，钢坯信息包括钢坯编号、出炉时间、图片存储路径、生产标准、生产规格等关键信息，均会被存储在 MySQL 数据库中。

#### 4.2 系统落地与实际运行

运行步骤如下：首先，对系统进行数据库配置，输入数据库端口号、密码等，如图 8 所示。



图 8 数据库配置

然后，装载有印着编号的钢坯的轨道式平板车进入三维扫描系统的扫描范围之内，三维扫描系统跟踪轨道式平板车的移动，当轨道式平板车运行到指定位置时，触发识



图 9 钢坯编号智能检测系统软件

别信号，相机采集钢坯照片，并上传服务器。钢坯编号智能检测系统开始对对应文件夹中的钢坯图像进行识别。如图 9 所示。



图 10 编号补录

二次验证失败的钢坯编号，说明编号检测失败，则需要人工介入，补录界面如图 10 所示。历史补录总结如图 11 所示。



图 11 编号历史补录总结

钢坯编号检测完成后，将在数据库呈现钢坯编号的相关信息，如检测时间、生产标准、跨区、存储位置、库区编号、车号、跨号和是否人工介入等。

23	2023-2-16 9:12	3	21829114804	ELE	D:\ftp\c112\2020010481708\2023-2-16\char\19_163_106_32[07].png	1	NO
24	2023-2-16 9:12	3	21829114800	ELE	D:\ftp\c112\2020010481708\2023-2-16\char\19_163_106_32[07].png	1	NO
25	2023-2-16 9:12	3	21829114803	ELE	D:\ftp\c112\2020010481708\2023-2-16\char\19_163_106_32[07].png	1	NO
26	2023-2-16 9:17	2	21829114804	ELE	D:\ftp\c112\2020010481708\2023-2-16\char\19_163_106_32[06].png	1	NO
27	2023-2-16 9:17	2	21829114804	ELE	D:\ftp\c112\2020010481708\2023-2-16\char\19_163_106_32[06].png	1	NO

图 12 编号识别后数据库钢坯编号相关信息

本论文研究在江苏某钢铁集团实践证明是可行的，项目已平稳运行半年，累计运行次数超过 2800 次，运行效果优良。表 6 展示了基于本文的钢坯编号智能检测系统在实际应用中与传统的人工识别方式相比，检测性能得到了一定的提升。

表6 基于本文的钢坯编号检测方式与其他检测方式性能对比

检测方式	检测速度(fps)	检测精度(%)
人工识别方式	<1fps	约100%
基于本文方式	15.37fps	98.60

钢坯编号字符的平均检测准确率达到 98.60%，检测速度达到 15fps，有效提高了库区无人化作业效率。

(下转第 66 页)

# EMD 算法的改进及在信号去噪中的应用

刘佳昕, 周风波

(邵阳学院, 湖南邵阳, 42200)

**基金项目:** 湖南省大学生创新创业训练计划项目资助, 项目号: S202310547053; 邵阳市科技局项目资助, 项目号: 2022GX4072。**摘要:** 噪声的干扰在生活中无处不在, 本文针对传统EMD算法在信号的非线性和非平稳特性条件下, 分解而得的本征模态函数 (IMF) 随时间尺度变化的振荡而造成的模态混叠和噪声干扰等问题进行改进。在此基础上, 引入人为添加的高斯白噪声, 并根据其均值为0的特点, 深入探索基于改进后的EMD算法在信号降噪中的应用。仿真实验对比分析表明, 改进后的EMD算法能清晰地判断有用信号和无用信号, 有效降低噪声对信号的干扰。**关键词:** EMD; 模态混叠; 信号去噪; 均值法算法

## 0 引言

近年来, EMD 信号分解算法已成为国内外众多学科关注的焦点, 在电气、化学、通信等领域获得了广泛的应用。信号是每个信息传递的载体, 其在传输的过程中极易受到外界的干扰, 在这种情况下, 要从原始信号中获取有用信号就必须综合利用各种手段。因此, 对非平稳信号的处理进行研究具有重要意义。在非平稳状态下, 常用的时域-频域分析技术包括短时傅里叶变换和小波变换等方法。

鉴于小波变换在信号局部上缺乏自适应能力, N.E Huang 在 1998 年首次针对非平稳和非线性的信号处理问题, 提出了一种利用振荡剧烈程度来反映极值点信息的经验模态分解方法, 在信号去噪处理中具有广泛应用; HHT 变换是一种新兴的时频分析技术, 专门用于处理非线性和非平稳信号。其基本原理是利用经验模态分解来对原始信号做进一步分解和重构, 从而获得所需的信息。该技术融合了小波变换的多分辨率的特点, 克服了小波变换过程中小波基函数选择困难的问题, 因此它也适用于非平稳信号的滤波和降噪处理<sup>[1]</sup>。

目前, 我国对信号降噪的研究已经进入了一个较为成熟的阶段。2005 年, 万建等对含噪语音信号进行了经验模态分解 (EMD) 的尺度滤波特征分析, 并采用软阈值法对具有宽频带随机噪声的语音信号进行阈值处理, 并设计了一种有效地抑制噪声的方法<sup>[2]</sup>。与此同时, 张维强等学者根据希尔伯特-黄变换理论, 提出了一种新的 HHT 变换去噪方法, 该方法通过对原始 IMF 的预处理来实现对语音信号的增强<sup>[3]</sup>。

本文提出改进的 EMD 信号去噪算法, 以加噪的脉冲正弦信号为研究对象, 以几何平均算法为突破口, 循序渐进, 先是设定由三个正弦波组成的复合信号, 对其进行传统的 EMD 算法分解和改进后的 EMD 算法分解得出相关结论; 在此基础上, 采用不断改变信噪比的方法, 获得有效信号的最佳分解方案, 并通过对本征模态函数和残差函数图像的分析, 研究其在信号降噪方面的应用。

## 1 改进 EMD 的去噪算法

### 1.1 本征模态函数 IMF

本征模态函数必须满足以下几项基本条件<sup>[4-5]</sup>:

- (1) 在数据的可接受范围内, 极值点数目相等或差别不超过 1;
- (2) 由局部极大和极小两个极值构成的包络线平均值应该是零;
- (3) 纯振荡函数的平均值为 0。

### 1.2 标准 EMD 的基本原理

EMD 是利用信号极值点信息, 将函数分解为若干个本征模态及单调的残差的过程。

$$x(t) = \sum_{i=1}^n C_i(t) + r_n(t) \quad \text{式 (1)}$$

具体的 EMD 算法过程<sup>[6]</sup>:

- (1) 针对原始函数  $x(t)$ , 找到极大值点和极小值点;
- (2) 分别用样条曲线连接极值点, 标记好极大值包络线  $x_{\max}(t)$  及极小值包络线  $x_{\min}(t)$ , 对两条包络线进行平均取值, 得到平均线函数:

$$m_1(t) = \frac{x_{\max}(t) + x_{\min}(t)}{2} \quad \text{式 (2)}$$

- (3) 将原始函数  $x(t)$  减去平均函数  $m_1(t)$ , 得到新的函数  $h_1(t)$ :

$$h_1(t) = x(t) - m_1(t) \quad \text{式 (3)}$$

- (4) 用新函数  $h_1(t)$  替换原始信号中的函数  $x(t)$ , 重复步骤 (3) 多次, 获得第  $K$  次筛选的数值:

$$h_k(t) = h_{1(k-1)}(t) - m_{1k}(t) = C_k(t) \quad \text{式 (4)}$$

注意: 判断  $h_k(t)$  是否为 IMF 分量的标准是通过比较连续两次筛选结果之间的 SD 值 (即标准差) 来确定的。

在实际使用中,  $h_k(t) = 0$  通常难以满足, 可用如下替代<sup>[7]</sup>:

$$SD = \sum_{t=0}^T \frac{|h_{1(k-1)}(t) - h_k(t)|^2}{h_{1(k-1)}^2(t)}, k = 1, 2, \dots$$

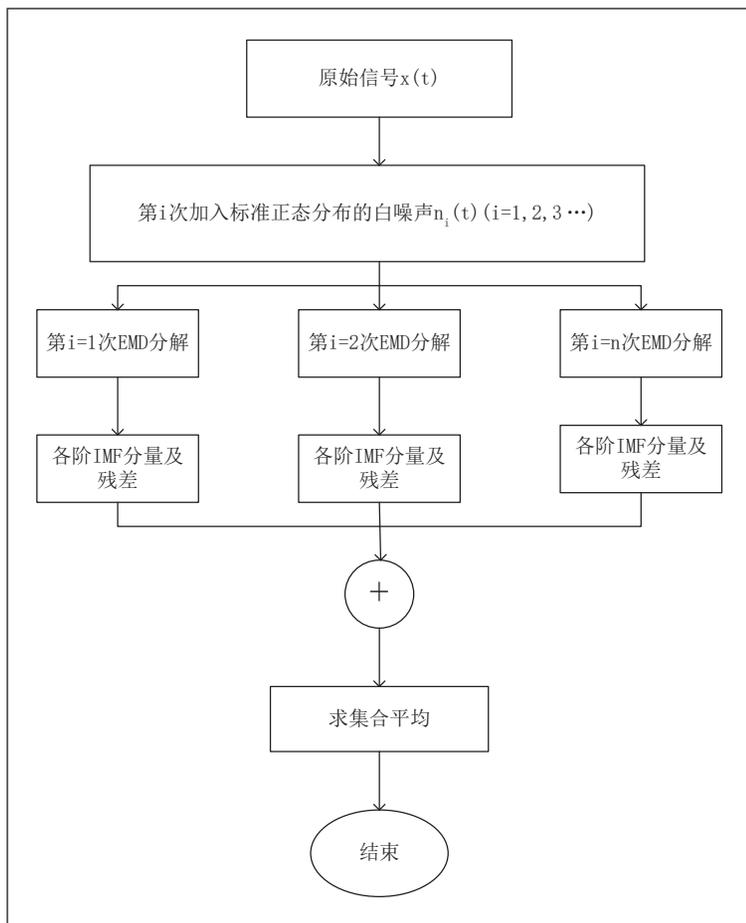


图1 改进的 EMD 算法流程图

满足范围：0.2~0.3

(5) 从原始函数  $x(t)$  中减去  $C_1(t)$ ，即残差  $r_1(t)$ ：

$$r_1(t) - C_2(t) = r_2(t), \dots, r_{n-1}(t) - C_n(t) = r_n(t) \quad \text{式 (5)}$$

至此完成整个分解过程。

### 1.3 改进 EMD 算法的基本原理

为了解决 EMD 分解中出现的模态混叠和噪声干扰等问题，我们提出了针对 EMD 的改进方法。该方法是在不改变原系统固有频率和阻尼的前提下对各固有模态函数做一次独立分量分析，并通过分离后得到新的本征模态函数。从相关文献中，我们可以明确这是一种基于高斯白噪声叠加的多次经验模态分解方法，它主要依赖于高斯白噪声在频率上均匀分布的统计属性<sup>[8]</sup>。本文在此基础上引入了一个新概念——“均值”概念。在进行算法分解等操作时，首要任务是将初始信号复制成若干部分，为了调整信号的极值点特性，我们在每一个信号里都加入了具有一致振幅的随机白噪声；同时，为提高算法的稳定性，引入了基于自适应滤波和小波包分析的方法。紧接着，对修改后的信号进行 EMD 处理，从而得到对应的 IMF；最后，通过对多次经验模态分解

(EMD) 产生的相关 IMF 进行整体平均处理，成功地消除了添加的白噪声，从而有效地抑制了模态混叠的发生。

改进后的 EMD 算法过程如下<sup>[9-10]</sup>：

(1) 设置分解次数  $N$ ；

(2) 将一个具有标准正态分布的白噪音  $n_i(t)$  融入原始资料  $x(t)$  中，产生一个新信号：

$$x_i(t) = x(t) + n_i(t)$$

(3) 对新信号  $x_i(t)$  进行 EMD 分解，得到本征模态函数  $IMF_{c_{i,j}}(t)$  和残差  $r_{c_{i,j}}(t)$ ；如此反复进行步骤 (2)、(3)  $N$  次，即可获得  $N$  个分解后的 IMF；

(4) 依据不相关序列的统计平均值为 0 的定理，对 EEMD 分解出来的本征模态函数 IMF 进行集合平均运算，可得到以下公式：

$$C_j(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_{i,j}(t) \quad \text{式 (6)}$$

改进后的 EMD 算法流程图如图 1 所示。

## 2 仿真分析与实验验证

### 2.1 基于改进 EMD 算法的信号降噪

为了验证改进的 EMD 算法的正弦信号去噪效果，采用了 MATLAB 软件对实验进行仿真处理，将不同算法分解情况下的噪声效果图进行对比，得出结论。设定原始信号是一个复合信号，由三个正弦波组成，频率分别为 10Hz、4Hz 和 20Hz，采样率为 60Hz，信号的时长为 1 分钟。显示其波形和频谱图对照，图 2 是未增加噪声时的图像。

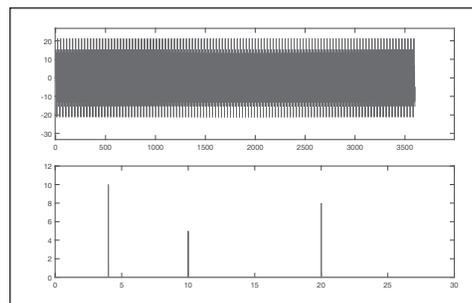


图2 正弦信号的波形及频谱图

通过对原始信号应用经验模态分解 (Empirical Mode Decomposition, EMD) 算法，利用极值点的特性进行分解，可以得出正弦信号整个本征模态函数 IMFs 和由 EMD 算法分解的部分和的图像 (见图 3)。最后对代码进行改进，我

们得到了一系列本征模态函数 (Intrinsic Mode Functions, IMF) 和一个残差信号 (见图 4)。另外我们发现, 每个 IMF 都充分表现了原始信号在不同时间尺度和频率上的局部变化。每个 IMF 的波形都是一种振荡信号, 其幅度随时间变化。残差信号是原始信号减去所有 IMF 的和得到的, 它代表了未被 IMF 捕捉到的信号成分。由图可知, 残差信号在零附近波动, 振幅比较小, 说明 IMF 能够较好地描述原始信号的大部分特征。

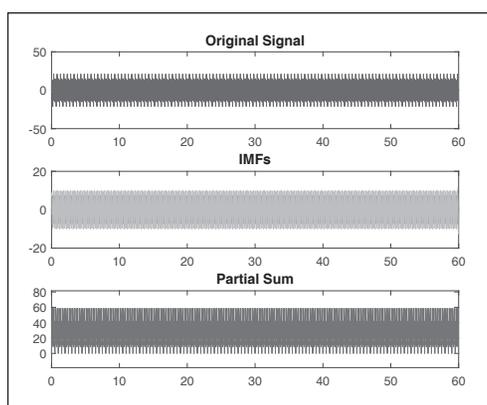


图 3 IMFs 和部分和的图像

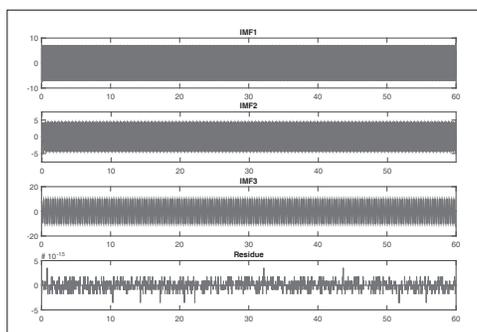


图 4 改进后的 EMD 对信号的分解

## 2.2 深入研究 EMD 的信号降噪效果

为了深入验证改进后的 EMD 算法的效果, 本文以正弦信号为例, 在时间为  $[0, 0.21]$ 、 $[0.62, 0.8]$  两个区间内添加高斯脉冲信号, 来模拟噪声信号对原始信号的干扰, 原始仿真信号见图 5。

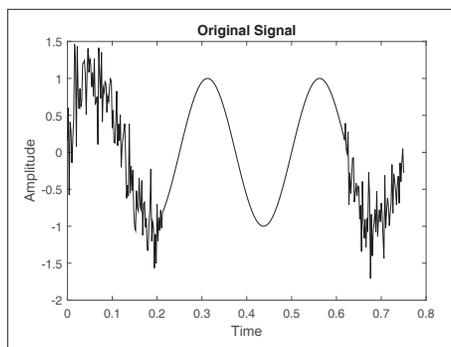


图 5 模拟噪声信号图

利用标准 EMD 算法对该信号进行分解, 如图 6 所示。

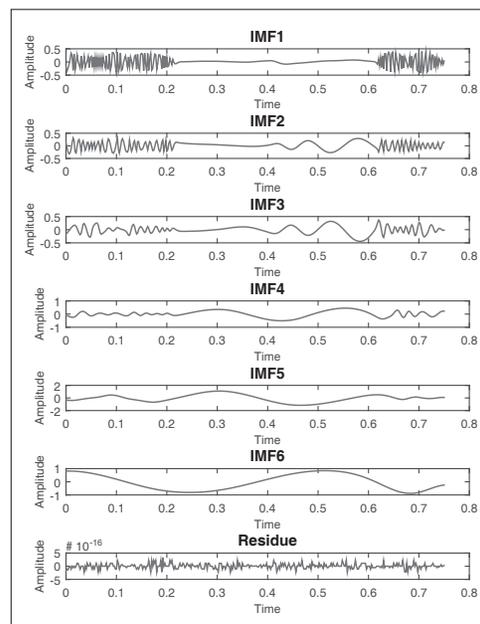


图 6 标准 EMD 算法对合成新信号的分解图

从图 6 可以看出 IMF1、IMF2、IMF3 是信号中的低频成分, 其中 IMF1 信号接近于原始信号, 具有一个周期大致在 0.25s 的正弦波形; IMF4 为中频成分; IMF5 是信号中的高频成分; 残差则代表了分解出 IMFS 信号之外无法解释的部分, 其中部分频段的干扰被消除。这些本征模态函数 IMFS 和残差表示了信号在不同频率和振幅上的分解, 后续获得的 IMF 的值都是依托于上一个 IMF 分解出的图像, 具有模态混叠效应, 所以, 该传统的 EMD 分解算法不再适用。

利用改进后的 EMD 算法对该信号进行分解, 可以看出原始信号是一个正弦波加高斯白噪声生成的混合信号, 信号在频率为 4kHz 的正弦波上具有周期变化, 但其受噪声的影响也比较大。残差信号包括未被分解为 IMFs 的部分, 根据图像 7 可看出残差信号中的高频成分和噪声部分。为了提高信号质量的明细度和噪声成分的分辨率, 我们在代码中首先采用将所有 IMFs 和残差进行求和, 进一步重构原始信号的方法; 然后, 使用重构信号和原始信号之间的差异计算其信噪比 (SNR) 和均方误差 (MSE)。

根据 MATLAB 仿真实验, 我们对其重构信号进行了计算, 得到了信噪比 (SNR) 为 -14.6385 dB 和均方误差 (MSE) 为 0.0017。这些数值揭示了重构后的信号与原始信号的不同之处。在实际应用过程中, 可以根据需要选择适当大小的误差范围来判断是否发生错误。负的信噪比值表明重构信号中的噪声水平高于原始信号, 而较小的均方误差值表明重构信号与原始信号之间的差异相对较小。由于在每一次的运行过程中加入的白噪声可能会引起结果的轻微变动, 因此每一

(下转第 27 页)

# 型号产品动态管理看板的设计与实现

李焕梅, 吴长安, 王志刚, 王晓哲

(河北汉光重工有限责任公司, 河北邯郸, 056017)

**摘要:** 目前, 各家企事业单位的批量型号产品在计划、转序、效率等环节上存在各种问题, 为此设计并具体实现了型号产品动态管理看板, 该系统采用MySQL数据库+MVC框架, 有效实现了可视化的看板信息滚动显示模块、报表自动生成模块、大数据存储等功能, 满足了型号产品动态管理的需求, 具有较高的实用价值, 为其他管理系统提供借鉴意义。

**关键词:** 型号产品; 看板; 管理系统

## 0 引言

随着批产工作的不断深入, 批产数量的不断加大, 批产周期的不断缩短, 在系列型号产品的组织、协调工作中, 部分管理问题逐渐凸显, 主要包括: (1) 产品转序拖拉问题; (2) 工作效率参差不齐问题 (形成所谓“派工不均”问题); (3) 细化产品动态管理问题; (4) 生产计划性不强问题 (各生产环节“推着干”) [1-4]。

针对实际工作中出现的上述问题及情况, 拟通过建立 A 系型号产品动态管理看板系统以解决实际问题。

## 1 系统总体设计

根据客户需求, 建立需求分析模型, 构建系统整体数据流, 获取的用户需求描述用系统数据流图表示, 如图 1 所示。

搭建的系统框架图如图 2 所示, 开发人员根据实际数据进行数据采集, 建立底层数据库, 并进行数据处理, 呈现给普通用户的只是安装在普通台式机上的系统友好可操作上层界面软件。用户前端操作的界面布局在前台客户端。系统数据库存储在后台服务器端, 服务器布局在普通用户不可见的物理位置, 以保证数据库的安全性及可维护性。与系统有关的用户包括开发人员、高级管理员、主管领导、生产组长、工序计划员、产品调度员及普通用户, 服务层对口操作界面, 不同用户因权限不同则呈现的服务层界面也不同。

## 2 系统功能模块设计

为提高系统的可靠性和可维护性, 系统在逻辑上采用模块化设计, 由功能相对独立的看板信息模块、用户及权限管理模块、报表自动生成模块、数据存储模块组成。

### 2.1 看板信息模块

该模块突破传统看板白纸黑字的显示方式, 采用电子化界面大屏幕滚动方式, 用于记录产品生产轨迹, 面向全体职工展示个人或小组的产品生产进度, 形成相互促进的局面。

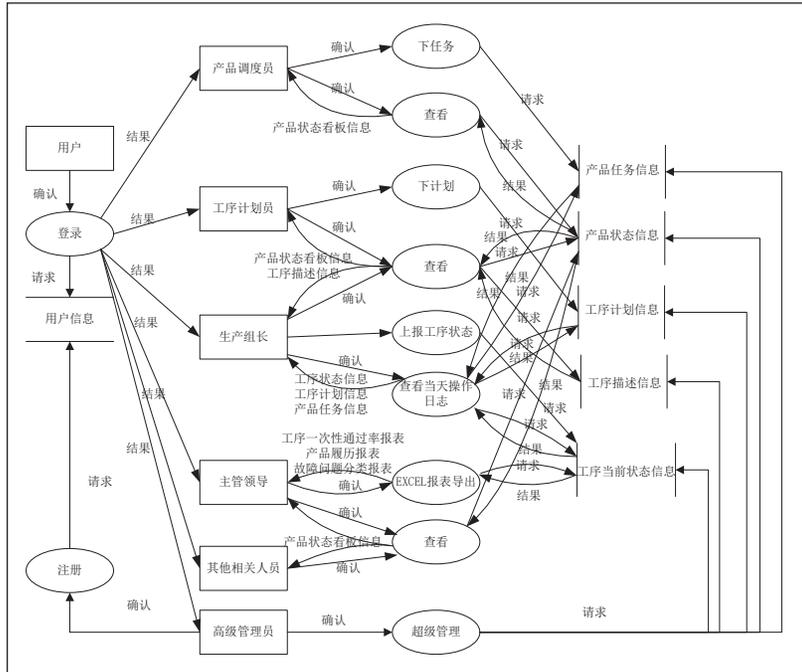


图 1 系统数据流示意图

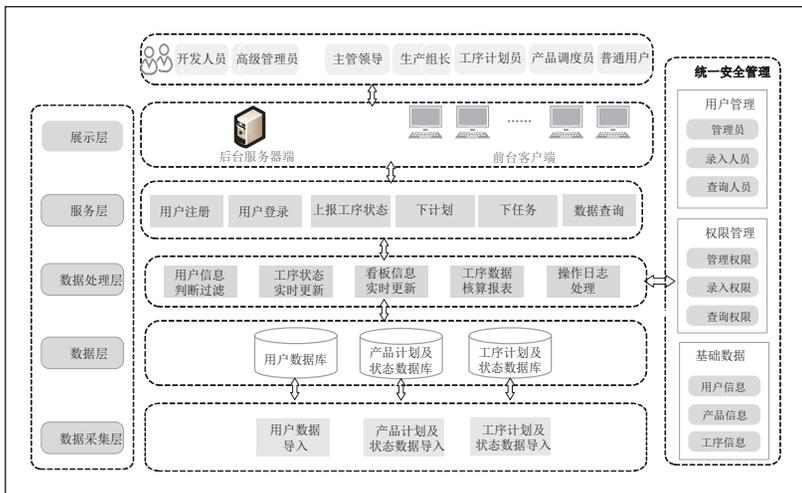


图 2 系统整体框架图

看板主要包括实时任务状态及工序状态。产品调度员依据总体要求，下达一定数量的产品投产任务，任务按照“新投、A船厂返厂、B研究所返厂”等任务状态进行任务编辑，完成下达及更新任务看板显示内容。工序状态由生产组长实施操作，任务一经下达，各车间即视为启动生产指令，首道工序绿色指示灯闪烁；生产组长线下完成任务部署并录入操作人员及启动时间后，该工序自动点亮绿色指示灯；生产完成后含有功

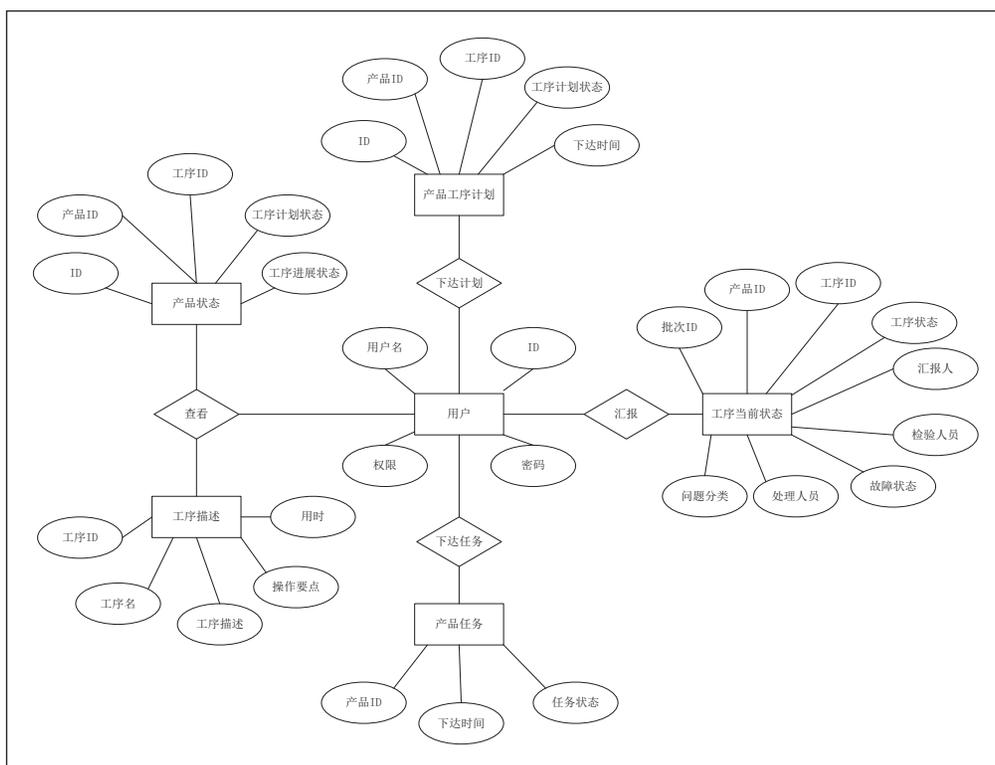


图3 数据库 E-R 图

能的工序，需要线下进行自检确认无问题后才能上报检验组，当处于故障状态时，需要填写故障汇报表单，选择填写故障状态及问题分类，安排技术人员进行现场解决，本工序红灯闪烁代表故障，红灯亮代表正在处理故障；若自检无问题，本工序进入待检验状态，该工序黄色指示灯闪烁。检验组线下开始检验时，生产组长录入检验人员和启动时间后，该工序黄色指示灯点亮；检验组完成检验任务后，本工序完成，灰色指示灯点亮；以此类推其他工序的进展情况看板展示。

## 2.2 用户及权限管理模块

该模块用于管理系统用户及其权限，是系统安全管理的重要组成部分。其中用户包括管理员、录入员及普通用户，分别对应管理权限、录入权限和查询权限，根据系统权限采用向下兼容原则，即管理权限最高，包含管理、录入和查询权限，录入权限次之，包含录入和查询权限，查询权限最低。录入员包括生产组长、工序计划员、产品调度员，根据职责范围录入员所能录入的内容也不同，界面相互隔离，例如生产组长只能操作“上报工序状态”界面，而无法看到其余录入界面；查询权限包括报表数据的查询及看板信息查询，看板信息实时显示工序进度及产品进度，是所有人员均关心的且可以看到的，主管领导需要不定时查看报表数据，而普通用户则无权限进行查看报表数据。

## 2.3 报表自动生成模块

该模块包含报表数据查询和 Excel 报表导出两部分，前

者通过对数据库中对应数据表进行查询操作实现故障问题分类报表、工序一次性通过率报表、产品履历报表等报表数据的查询，后者通过中间库实现将查询到的报表数据自动生成 Excel 格式的报表数据且支持直接打印，极大减少了用户手动制作报表的工作量，同时也提高了报表生成效率和数据准确率。考虑到系统的便捷性和安全性，该模块只支持核心人员进行操作，对其他人员透明隐藏，只有管理员及主管领导才能查询和导出所有报表数据。

## 2.4 数据存储及备份模块

主流数据库有 MySQL、Oracle、SQLServer、SQLite 等，由于型号产品动态管理看板的数据量适中且需要布局公司内部多台电脑联网访问同一软件，因此本文选取 MySQL 数据库进行数据存储。开发人员配合管理员一起进行后台服务器端模块数据维护工作。该模块主要包括产品状态信息、工序描述信息、产品工序计划信息、用户信息、产品任务信息、工序状态信息等，设计的 E-R 图如图 3 所示。

对应的系统主要设计了用户信息表、产品工序表、产品状态表、工序描述表、产品任务表、工序状态表等。表中字段描述、字段名、数据类型、是否为空、是否为主键可以根据实际应用进行设置并导入实际数据，在此不再陈述。

## 3 软件设计与实现

型号产品动态管理看板软件包含用户登录、看板信息展

示、数据录入、数据查询、EXCEL 数据导出和数据库管理等部分。

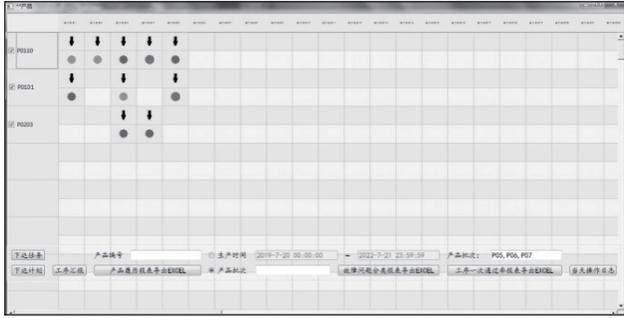


图 4 产品动态管理看板主界面

主界面缩略看板信息展示如图 4 所示，产品编号选中状态代表是否已下达任务，每个产品的所有工序具有是否下达计划和工序执行情况的对比分析图示，下箭头表示已下达计划，工序执行情况指示灯分 7 种情况：绿灯闪代表开始、绿灯代表进行、黄灯闪代表待检验、黄灯代表正在检验、红灯闪代表故障、红灯代表处理故障、灰灯代表结束或暂停。

数据录入包括下达任务、下达计划、工序汇报。

点击“工序汇报”弹出“工序汇报表”，如图 5 所示，工序状态分为“开始、进行、待检验、正在检验、故障、处理故障、结束”7 种状态，当处于正在检验时填写检验人员，当处于故障状态时，需要填写故障汇报表单，故障状态分为“上报故障、启动排故、汇报完成”3 种状态，问题分类分为“漂移问题、空回问题、抖动问题、热像仪问题、跟踪问题、操作问题”6 种问题。



图 5 工序汇报窗口

点击“下达任务”按钮，出现任务弹窗，如图 6 所示，输入产品编号及验证码进行下任务。



图 6 下达任务窗口

点击“下达计划”弹出计划窗口，如图 7 所示，输入产品编号、工序号、验证码，点击“下计划”按钮即可下达计划。

数据查询包括生产工序描述、当天操作日志查询。

点击主界面上的生产工序 1，弹出此工序的具体描述如图 8 所示。

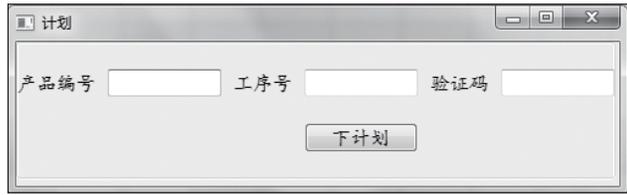


图 7 下达计划窗口



图 8 生产工序表

点击主界面看板上的“当天操作日志”按钮，弹出如图 9 所示内容。

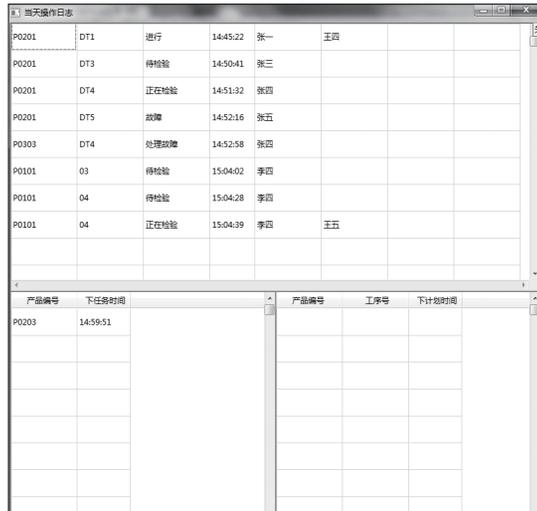


图 9 操作日志报表

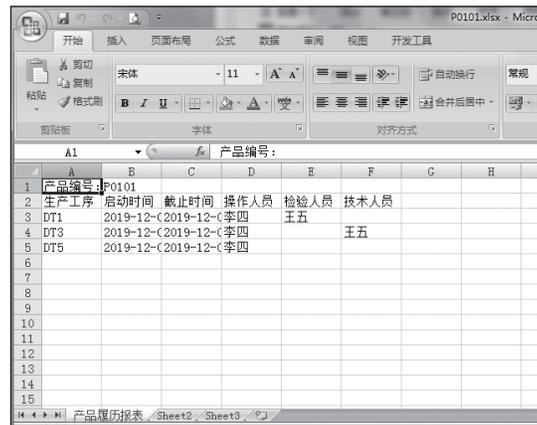


图 10 产品履历报表

通过本软件进行 EXCEL 数据导出，EXCEL 数据导出包括产品履历报表导出（如图 10 所示）、故障问题分类报表导出（如图 11 所示）、工序一次性通过率报表导出（如图 12 所示）。主要解决的问题效果对比展示如表 1 所示。

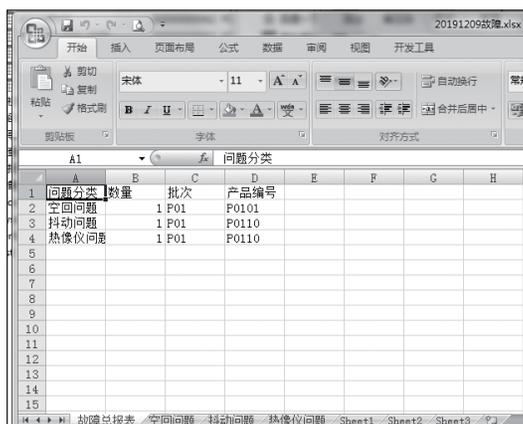


图 11 故障问题分类报表

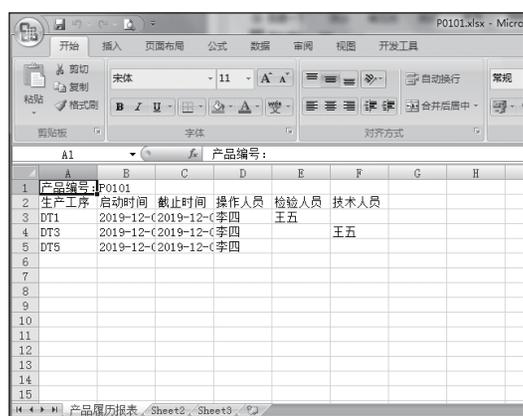


图 12 工序一次性通过率报表

表1 本软件解决的问题分类

事项	问题或现状	本软件投入使用后
转序问题	转序不及时,工作推诿	记录产品出入各工序的操作时间,按阶段、员工统计产品操作时间,进行类比分析,直至解决该问题。
解决所谓“派工不均”问题	部分职工反馈“派工不均”	通过统计记录产品出入工序操作工时,对比员工之间实际操作工时,确定“派工不均”问题是由员工操作熟练度产生。
数据统计	调档生产记录,工作繁琐	快速导出单套产生的生产日志及履历;快速返查产品在某生产工序的人员、时间、是否出现故障等信息;统计某工序的一次成品合格率。

过程,强化了本公司 A 系列型号产品批产管理,提升了生产效率,加快了交付进度,切实保证了本公司按期完成交付任务,对企业健康发展具有重要意义。

参考文献

- \* [1] 杜婷婷,蔡琛媛. ADM 看板生产管理系统在航天器研制领域的应用 [J]. 新技术新工艺, 2012(7):7-9.
- \* [2] 王伟. A 产品的生产计划与控制应用实践 [D]. 上海交通大学, 2016.
- \* [3] 黄成. 基于精益思想的 H 公司生产流程优化研究 [D]. 天津财经大学, 2021.
- \* [4] 曹硕. 某通用飞机生产管理系统的看板技术研究与应用 [D]. 沈阳航空航天大学, 2013.

4 结论

本文提供了型号产品动态管理看板系统的设计与实现

(上接第 88 页)

类别的元器件具有较为独特的特征,使得系统能够在不同环境下都能准确识别。而 Rstp10D 类别的准确率略低,可能是因为该类别的元器件特征与其他类别相似,导致系统在识别时容易产生误差。因此,可以推测系统在识别具有独特特征的元器件时具有较高的稳定性,而在识别特征相似的元器件时可能存在一定的稳定性问题。结合上述分析可得出,基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统在运行效率和稳定性方面表现良好,系统对不同类别的电子元器件识别准确率相对较高,最低的准确率也达到了 95.6%。尽管在某些类别中存在一定的误差,但整体性能仍然可靠。

4 结语

基于 5G 技术的电子元器件智能检测研究,文章深入探讨了在 5G 通信技术的支持下,实现对电子元器件检测的智能化和高效化,通过探究基于 5G 的智能检测框架,借助其

超高速传输、低延迟通信和大连接数等特点,实现对电子元器件生产过程实时监测、数据分析和远程控制,不仅提升了电子元器件的生产效率,还可以精准地实现对其质量问题的控制,减少了人为干预的可能性。未来,研究人员将不断完善升级系统,探索如何进一步将类似的智能化思想应用于其他领域,为技术创新和产业发展贡献更多可能性。

参考文献

- \* [1] 浦敏晓. 基于 5G 技术的电子元器件智能检测技术分析 [J]. 电子技术, 2023,52(03):16-18.
- \* [2] 刘竞,邱宝军,吕宏峰. 基于计算机视觉的电子元器件表面缺陷检测 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2023,41(03):91-96.
- \* [3] 张志杰,顾寄南,李静等. 基于深度学习的电子元器件快速检测算法研究 [J]. 电子测量技术, 2022,45(10):93-101.

# 基于机器人视觉自动压铆控制系统设计

陈辉煌<sup>1</sup>, 翁伟<sup>2</sup>

(1. 湄洲湾职业技术学院, 福建莆田, 351119; 2. 福建信息职业技术学院, 福建福州, 350108)

**基金项目:** 2020年莆田市科技项目《基于视觉机器人自动压铆控制系统》(2020GM004)。**摘要:** 为了实现对压铆一致性的需求, 提出了一种基于机器人视觉自动压铆控制系统, 通过工控机控制机器人和压铆机, 实现自动对位压铆的系统设计方案, 并完成系统的软硬件设计。该系统采用工业机器人和工业相机结合方式, 运用面向对象.NET技术, 完成人机交互编程, 实现生产过程参数和状态的监控及控制。调试结果表明, 该系统具有操作简便、测试准确的特点, 达到了设计要求。**关键词:** 机器人; 视觉; 压铆; .NET; 人机交互

目前钣金压铆生产过程中, 铆接机其功能一般只具有压铆, 其他为人工压铆操作, 人工压铆存在耗费时间长、工作效率低、劳动强度大、操作安全隐患大等问题; 而且, 传统压铆由人工凭借经验控制压铆设备进行操作, 铆接质量不稳定, 采用简单的控制难以保证铆接的质量与效率<sup>[1-2]</sup>。近几年, 压铆控制系统朝着机器人和机器视觉、自动压铆设备和坐标丈量机组成自动化装配系统方向发展<sup>[2-4]</sup>。自动压铆装配系统压铆的难点是如何精准判断铆接的目标点, 一般系统将钣金件放置于精定位板, 由机器人抓取后进行压铆, 板件前道位置信息会造成误差, 位置信息难以实时准确地定位<sup>[5-8]</sup>。针对这些, 提供一种基于视觉机器人的钣金压铆控制方法, 不仅能够实现各部件的自动定位, 同时还能一次性完成压铆, 有效提升压铆精度, 提高生产效率。

## 1 总体设计

以钣金压铆工件为加工对象, 开发设计一套基于机器人视觉自动压铆控制系统, 该系统结构图如图 1 所示, 其主要包含数控压铆机器、压铆电气控制柜、工业相机、工控机、机器人、末端抓手等硬件。机器人视觉自动压铆控制系统结构如图 1 所示。在功能设计上, 末端抓手和机器人负责钣金工件的抓取、移动和码垛; 压铆电气控制柜中的 S71200 为下位机控制器, 通过以太网协调上位工控机和数控压铆机器的工作; 上位工控机基于 .NET 技术开发人机交互系统, 负责规划机器人动作执行的路径及钣金孔位检测、显示监控系统状态及记录设备数据; 工业相机视觉模块用 CMOS 工业相机, 将其安装在压铆机旁的视觉定位台上方, 通过以太网将铆接工件位置信息图像发送到工控机, 并由上位机计算压铆位置偏差值, 将调整偏差值的数据发送至机器人进行位置坐标的调整。

## 2 系统关键模块设计

本系统主要由三个模块组成: 机器人自动抓取系统设计、压铆位置视觉检测和校正系统设计、自动压铆工作流程

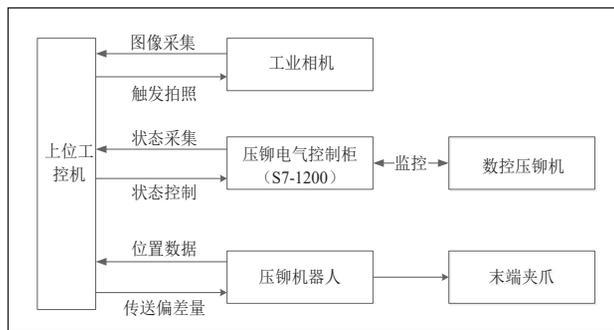


图 1 机器人视觉自动压铆控制系统结构设计。

### 2.1 机器人自动抓取系统设计

自动抓取系统主要由工业机器人、支撑部分、精准抓取定位三部分组成, 自动抓取系统结构如图 2 所示。工业机器人根据预设的程序和指令, 规划路径出从取料台到压铆机的运动路径; 支撑部分确保机器人在运动过程中的稳定性和安全性; 抓取定位部分则负责在起点精确地抓取钣金件, 并在运输过程中保持其稳定, 直到终点将其准确地放置在压铆机上。

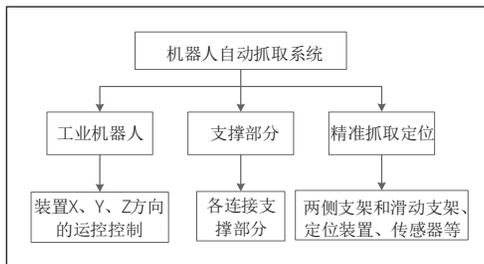


图 2 机器人自动抓取系统结构

工业机器人系统由机械臂、电气控制柜、示教器组成, 选型综合考虑钣金工件的重量、尺寸、压铆工艺要求及机器人机械臂活动范围与作业区间尺寸的匹配性。机器人采用示教器和电控制柜, 控制本体 X、Y、Z 三个方向进行运动, 同时控制器提供以太网等接口, 使工控机能够远程与机器人进行通讯, 以控制机械臂运动。

支撑部分由连接杆、可调吸盘、联接法兰和底安装座组成。法兰是机器人手臂与支撑部分连接的关键组件, 能够确

保机器人在操作过程中不会因为连接部分的松动或移位而产生误差。吸盘能够固定底安装座，防止其移动或变形。连接杆是保证底安装座与两侧支架之间的稳固连接。底安装座作为整个装置的主体承载重量部分，增加多个吸盘，分散底安装座的承载重量，增加装置稳定性；在两侧的支架和底安装座联接之间加装连接杆保证底座装置稳定性。

精准抓取定位部分主要由抓手机构、精定位机构、传感器、电磁铁等组成。

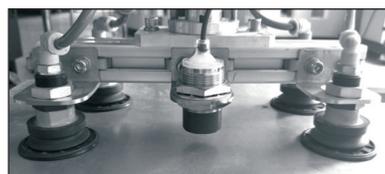


图3 抓手机构

主要由两侧铝型材支架、法兰、可调吸盘机构组成。两侧支架提供稳定的支撑；法兰连接抓手机构与机器人手臂，保证抓手机构与其他部分的准确对齐和稳定连接；可调吸盘机构能够抓取不同尺寸和形状的物体。精定位机构通过工件自身重量下滑到定位位置，实现工件精定位。传感器安装在抓手机构上，检测工件与抓手的距离，保证每次取工件的正确性。抓手机构如图3所示，精定位机构如图4所示。

### 2.2 压铆位置视觉检测和校正设计

压铆位置视觉检测和校正系统主要由工业相机模块、通信模块、工控机压铆编程系统模块组成，结构如图5所示。工业相机模块硬件主要由工业相机、镜头、光源、视觉控制器组成，该模块对压铆钣金拍照，图像处理后，将位置信息通过以太网通信模块

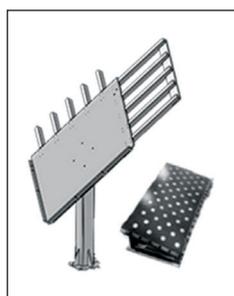


图4 精定位机构

传送到工控机。工控机压铆编程系统模块由基于 .NET 技术，并运用面向对象技术，构造的一套集成了监控、分析、计算和控制的信息系统，该软件对工业相机上传的压铆位置信息进行计算，在得出位置误差后，生成机器人程序，通过通信模块发送机器人驱动器，进行机器人坐标补偿，完成位置校正。具体压铆位置校正步骤如图6所示。

### 2.3 自动压铆工作流程设计

系统上电后，设备进行初始化，工控机导入压铆图纸，编辑机器人程序下发至机器人，机器人移动到取料区，抓取钣金件放置于精定位板，初定位后再抓取钣金件送至视觉检测位，工业相机对钣金件进行拍照后，上传图像至上位机，由工控机进行偏差值计算，计算当前位置与首次人工示教压铆参考位置的偏差值，并将压铆位置偏差值发送给机器人，

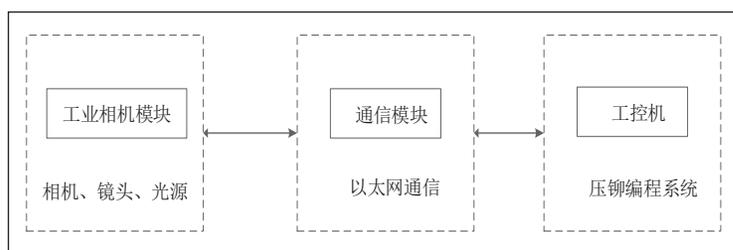


图5 位置视觉检测和校正系统结构

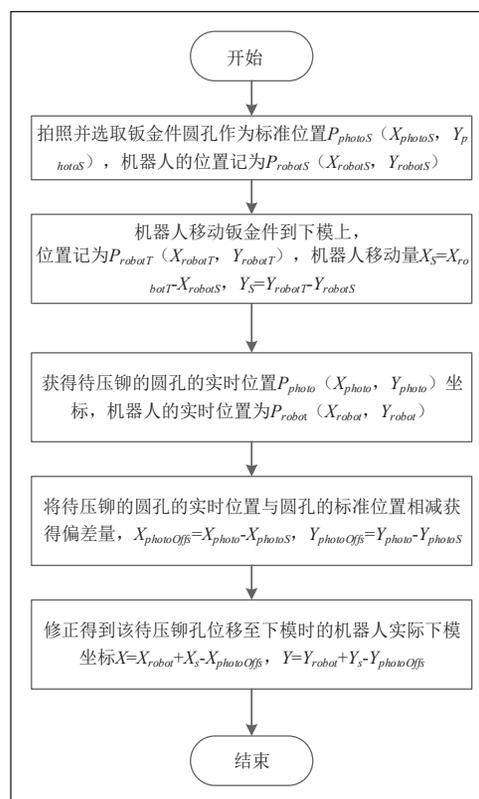


图6 压铆位置校正步骤

机器人进行位置补偿后，然后移动至压铆机进行压铆，压铆完毕后移动到下料区进行产品码垛，实现铆接过程全自动。自动压铆工艺流程如图7所示。

## 3 实验分析

该自动压铆控制系统用于某钣金企业的压铆测试。在进行测试时，首先运行自动压铆系统专用离线编程软件，软件界面如图8所示。

初始化相关设备后，通过完成工业相机、机器人设置和通信配置等相关设置后，选择规格不同的钣金件进行压铆实验，分别选择合适的夹头，对压铆产品展开图按照系统定义的规则对图纸进行二次处理，将生产图纸导入编程软件里，然后对压铆作业文件中的基本参数、读取图纸、取料设置、定位设置、压铆设置、换向设置、路径设置、码垛设置等参数进行设置。作业文件中基本参数设置界面主要是对压铆机

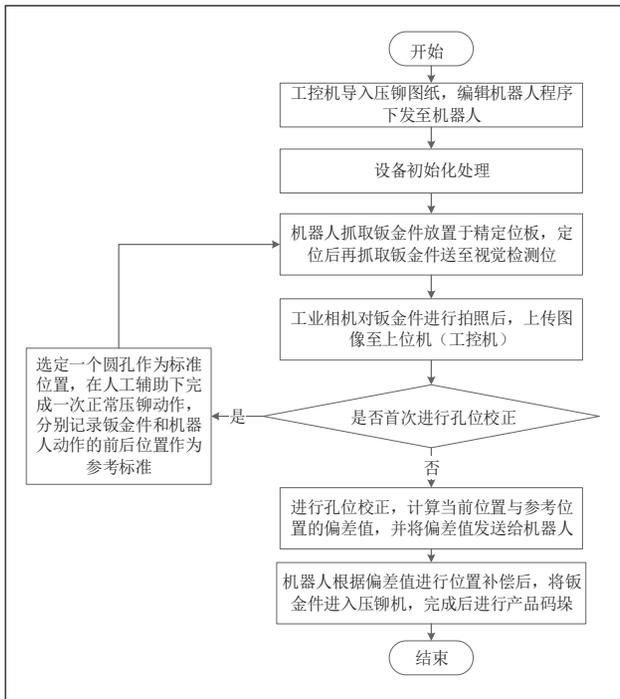


图7 自动压铆工艺流程



图8 自动压铆系统专用离线编程软件

生产产品时实际所用规格尺寸等参数进行输入设置; 读取图纸界面主要对事先制作完毕的图纸 (文件格式为 .dxf) 进行读取, 以便系统对产品工艺进行分析、计算以及处理显示; 取料设置界面主要是对自动化压铆系统在取料过程中的取料方式、抓取位置等相关参数设置; 定位设置界面主要是对精定位过程中的取料与放料位置的相关参数设置; 压铆设置界面主要是对自动化压铆系统在压铆过程中的相关参数设置; 换向设置界面主要是对自动化压铆系统在换向过程中的路径、换向方式以及换向模式等相关参数设置; 路径设置界面主要是对自动化压铆系统过程中压铆路径的设置, 查看压铆坐标、压铆路径; 码垛设置界面主要是对自动化压铆系统码垛过程中的码垛方式、码垛数量以及摆放等相关参数设置。压铆作业文件设置界面如图9所示。

在完成压铆作业文件设置后, 工控机上位机自动压铆系统专用离线编程软件生成机器人程序下载至机器人控制中, 机器人通过程序指令完成取料、定位、压铆、码垛作业。在不同尺寸的钣金件各进行 100 次铆接, 系统能够可靠无误

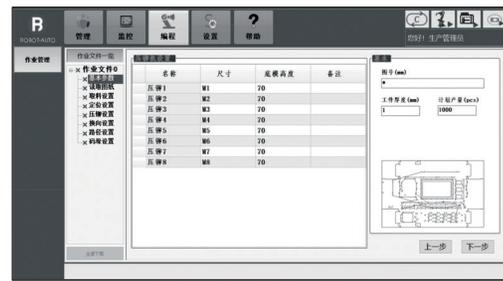


图9 压铆作业文件设置界面

进行压铆作业。系统各模块运行稳定, 对多个产品铆接位置测量, 其误差都在允许的范围, 压铆成功率达到 96% 以上, 自动压铆时间远低于人工手动压铆, 其效率远远高于人工。不同尺寸压铆情况统计表如表 1 所示。通过应用发现, 该自动压铆控制系统测试结果压铆准确、设备运行稳定可靠。

表1 不同尺寸压铆情况统计

尺寸/mm	成功率/%	自动压铆时间/min	手动压铆时间/min
φ4.2	97	29	91
φ4.5	96	29	88
φ4.8	97	29	93
φ5.0	98	29	86
φ5.5	99	29	90

## 4 结论

该压铆控制系统采用工业相机和工业机器人相结合的硬件平台, 软件设计采用 .NET4 技术设计, 提高了系统的准确性、稳定可靠性和维护性。应用表明该系统具有铆接精度高、人机界面友好等特点, 可代替人工铆接作业, 设计达到要求。

## 参考文献

- \* [1] 薛其伟. 自动钻铆机床精确制孔控制技术研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2019.
- \* [2] 连志强, 柯跃前, 刘伟斌. 基于卷积神经网络的自动压铆对位系统 [J]. 南京: 南京航空航天大学, 2019.
- \* [3] 韦溟, 张丽艳. 机器人自动钻铆系统的现场快速自定位方法 [J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(6): 66-75.
- \* [4] 关立文, 陈志雄, 刘春, 等. 钻铆机器人静刚度建模及优化 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2021, 61(9): 965-971.
- \* [5] 杜兆才, 姚艳彬, 王健. 机器人钻铆系统研究现状及发展趋势 [J]. 航空制造技术, 2015, 58(4): 26-31.
- \* [6] 王帅, 徐方, 陈亮, 等. 视觉技术在机器人零部件装配中的应用研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(8): 107-110.
- \* [7] 袁冬冬, 应俊, 解利军, 等. 基于机器视觉的轴承防尘盖检测算法 [J]. 计算机系统应用, 2019, 28(1): 212-215.
- \* [8] 袁清珂, 张振亚, 吴晖辉, 等. 基于机器视觉系统的自动检测系统设计及开发 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014(11): 119-121.

# 一种用于 HTCC 封装的 DC ~ 20GHz 频段垂直互联结构设计

王晟

(中国电子科技集团公司第十三研究所, 河北石家庄, 050000)

**摘要:** 在微波器件封装中HTCC封装多层布线结构具有加工精度高、可靠性高等特点, 基于HTCC工艺的封装产品在电子设备上广泛应用。本文设计完成了微带到带状线的垂直传输互联结构, 并将该结构应用在HTCC管壳封装中, 通过和PCB的联合仿真, 该结构在DC~20GHz频段内插入损耗小于0.5dB, 回波损耗大于15dB。

**关键词:** 垂直互联; DC~20GHz频段; HTCC; 管壳

## 0 引言

随着现代通信技术的飞速发展, 对通讯电子设备小型化和高集成度要求日益提高, 微波、射频电路的系统功能也日益复杂, 这种要求下, 对微波器件封装中传输线的结构要求更加精细、布局更加紧凑。随着高温共烧陶瓷 (High Temperature Cofired Ceramics, 以下简称 HTCC) 技术的不断成熟, HTCC 封装的多层布线结构具有加工精度高、可靠性高等特点, 基于 HTCC 工艺的封装产品在电子设备上广泛应用。但传输线的变化导致在微波频段内损耗较大, 目前应用在封装内的 HTCC 互联结构在高频时传输性能不理想。

本文采用 HTCC 多层布线技术, 使用介电常数 9.0 的氧化铝陶瓷作为基材, 通过电磁场三维仿真, 设计了微带到带状线的垂直传输互联结构, 并应用在 HTCC 管壳封装中, 同时和 PCB 联合仿真, 实际测试结果满足符合设计要求。

## 1 微带到带状线传输原理

根据微带传输线的模型, 微带线传输的主要模型是准 TEM 模。运用导波模型传输的奇偶规则进行传输原理, 该原理特性为偶模式不能对奇模式起激励, 奇模式不能对偶模式起激励, 奇偶形式的波不能互相传递, 如果对信号进行传输, 一定是同样模式的波才可完成传递。而垂直的通孔以及周围屏蔽的地孔形成同轴线结构, 同轴线及带状线其传输主要模型均是 TEM 波, 根据 TEM 波传输的原理, 该垂直通孔形成类同轴线结构, 微带线与下层间带状线可以进行信号传播<sup>[1]</sup>。

## 2 垂直互联结构设计仿真

该垂直互联结构设计目的是射频信号在多层陶瓷基材间传输, 正面引脚焊盘与背面引脚焊盘之间的过渡段包含用于传递信号的内层带状线、用于传递信号的侧面垂直过渡半孔。内层带状线一端连接正面引脚焊盘, 另一端与侧

面垂直过渡半孔连接, 侧面垂直过渡半孔的另一端与背面引脚焊盘连接, 并形成陶瓷基板外侧向背面引脚焊盘延伸出的半圆形豁口。陶瓷基板中间的接地孔均匀分布在内层带状线周围, 实现不同层的地平面连接, 用来降低平行板之间寄生效应, 较好的防止能量的辐射损失, 还可以增加不同传输路之间的隔离度, 带状线结构如图 1 所示。该接地孔与信号孔共同形成类同轴线结构, 改善从微带线转为带状线阻抗匹配问题<sup>[2-3]</sup>。

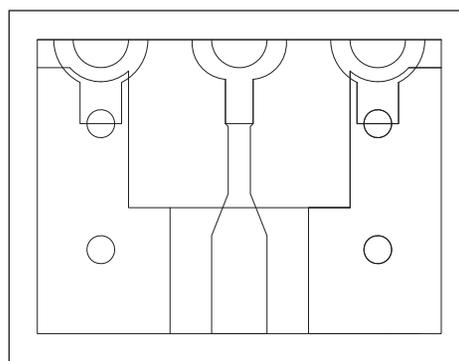


图1 带状线结构图

信号传输路径为: 陶瓷基板正面引脚焊盘→内层带状线→侧面垂直过渡半孔→陶瓷基板背面引脚焊盘, 整体互联结构如图 2 所示。这样的多处过渡会造成微波信号的不连续, 要实现微波信号的频率在 DC~20GHz 范围内匹配, 保证信号在规定频率范围内的完整传输, 首先需要较完备的机理分析, 还要通过电磁场仿真的调整对其进行阻抗匹配, 通过优化, 确保阻抗的连续。

信号传输的通孔需按工艺规范进行仿真设计, 有可能会偏离 50Ω 的阻抗, 该垂直过渡结构可能会存在阻抗的不连续, 为了将最大的功率传输到后级的射频电路, 必须使整体传输线与输入信号源的阻抗相匹配, 过渡结构的输出端也必须采取类似的匹配阻抗。

可以使用带线模拟电抗元件进行这种阻抗的匹配。因此, 可以用带线模拟串联或并联电抗元件到电路中来实现阻抗变换。串联元件可以让阻抗沿着史密斯圆图上的电阻圆转

动，并联元件可以让导纳沿着电导圆转动。理论上来说，通过带线实现电抗元件的阻抗变换，任意阻抗都可以到史密斯圆图上的预期阻抗匹配点。

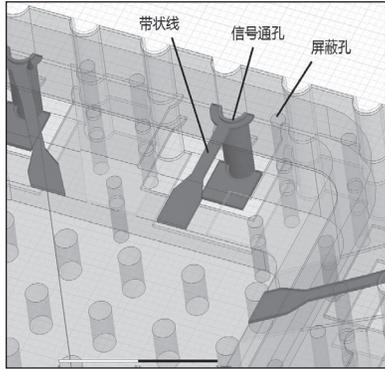


图2 垂直互联结构图

按传输路径，保持特征阻抗恒定，内层带状线是以HTCC陶瓷基板内层印制线为导带、以内层印制线导带上下两层接地层为接地面的带状线。其特性阻抗为：

$$Z_0 = \frac{60}{\epsilon_r} \ln \left[ \frac{5.98h}{\pi(0.8\omega + t)} \right]$$

内层带状线是以HTCC陶瓷基板内层印制线为导带、以内层印制线导带上下两层接地层为接地面的带状线， $\epsilon_r$ 是内层带状线介质的相对介电常数， $h$ 为内层带状线介质厚度， $\omega$ 为内层印制线导带宽度， $t$ 为内层印制线导带厚度。

同时为实现信号在广域频率范围内的稳定传输，传输路径上都要满足阻抗匹配要求，特别是信号在水平传输线与垂直传输线的交界处。为缓解结构突变引起的阻抗失配，通过仿真优化陶瓷基板正面引脚焊盘、内层带状线与陶瓷基板背面引脚焊盘的长度与宽度，减小水平引脚焊盘与垂直过渡半孔间的阻抗差异。

对该垂直互联结构采用电磁场仿真软件进行仿真，经仿真验证，该结构信号传输的插入损耗和回波损耗如图3所示，在DC~20GHz频段内插入损耗小于0.5dB，回波损耗大于15dB，信号传输过程中的能量损失较小，满足设计指标要求。

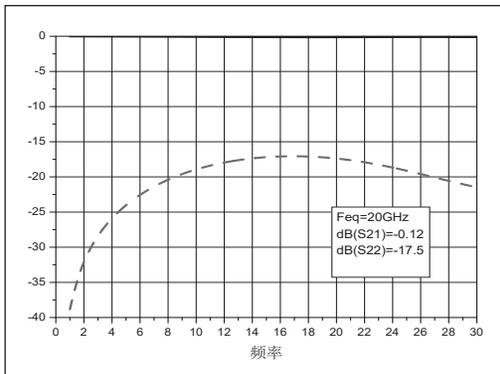


图3 垂直互联电磁场仿真结果图

### 3 垂直互联结构在 HTCC 封装中的应用

通过以上理论分析及仿真验证，将该垂直互联结构应用于HTCC管壳封装中，选用介电常数9.0的氧化铝陶瓷材料，材料参数如表1所示。

表1 HTCC氧化铝材料

参数项目	HTCC材料参数
氧化铝含量	90%
T.C.E.	7.5
Thermal Conductivity [W/mK, R.T.]	21
Yung's Modulus[GPa]	280
Bending Strength [MPa]	400
Dielectric Constant 1MHz R.T.	10.0
10GHz R.T.	8.9
Dielectric Loss 1MHz R.T.	$3 \times 10^{-4}$
10GHz R.T.	$1 \times 10^{-3}$

在电磁场仿真软件中对应用该互联结构的管壳进行三维仿真。HTCC陶瓷基板为三层阶梯形状，正面引脚焊盘位于第二层陶瓷阶梯上，包含键合焊盘、键合焊盘与内层带状线的过渡段，且为上窄下宽的“凸”字型构件，正面引脚焊盘和背面引脚采用该垂直互联结构相连，完成微波射频信号的传输，背面引脚焊盘为正方形构件，且基板外侧向背面引脚焊盘延伸出半圆形豁口。

通过仿真优化，射频传输焊盘与射频地焊盘的距离会对射频信号的传输特性形成损耗较大、阻抗失配等影响。所以将板间垂直互连等效为类同轴模式，第一层陶瓷阶梯厚度为0.2mm，第二层陶瓷阶梯厚度为0.2mm，第三层陶瓷阶梯厚度为0.5mm。陶瓷基板正面引脚焊盘的键合焊盘为长度0.15mm、宽度0.2mm的长方形构件，键合焊盘与内层带状线的过渡段为窄边宽度0.15mm、宽边宽度0.2mm的梯形构件。陶瓷基板背面引脚焊盘为长度0.3mm的正方形构件，且其半圆形豁口半径为0.1mm，介质相对介电常数9.0。侧面接地垂直过渡半孔及用于传递信号的侧面垂直过渡半孔孔径均为0.2mm，侧面接地垂直过渡板孔高度为0.8mm。

为结合实际应用，在管壳中放置直通带线进行仿真，管壳下面为印刷电路板，是表贴封装的载板，电路板走线采用共面波导，微波信号由外部共面波导传输通过该垂直互联结

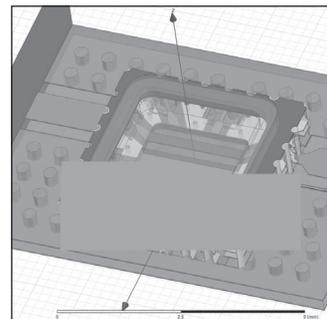


图4 HTCC封装仿真模型

构传输到腔体中的键合指上,从而通过金丝键合连接器件及电路。管壳和 PCB 相结合进行仿真,更贴近实际使用,仿真模型如图 4 所示,经仿真后,仿真曲线如图 5 所示,射频信号在封装内经垂直互联传输后,在 DC~20GHz 频段内插入损耗小于 0.3dB,回波损耗大于 13dB,频率特性满足使用要求。

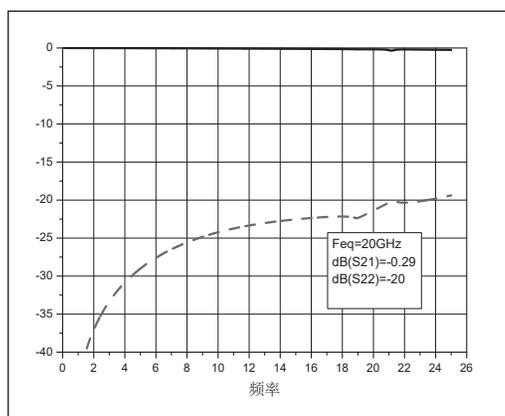


图 5 HTCC 封装仿真曲线

## 4 垂直互联管壳加工

基于上述设计与仿真,加工出该垂直互联结构的 HTCC 管壳,高温共烧陶瓷 (High Temperature Co-fired Ceramics, HTCC) 技术当前相对成熟,在汽车电子、移动通信、各种电子装备等领域存在广泛应用。其通过数量较多层陶瓷基片通过叠层压制,陶瓷基片上可印制加工带状线、微带线、共面波导线等微波集成传输线,层间通过过孔互联传输,可以大幅提高封装密度,且生产规模较大、非常适合批量生产。

HTCC 陶瓷基板烧结温度约为 1400°C~1500°C,具有较高的化学稳定性,较高的热导率;较高的集成度,可进行高密度的布线;烧结过程稳定,在烧结过程中使用钨 (W)、锰 (Mn) 和钼 (Mu) 等金属,但这类金属导电性较差,需要在该金属表面镀镍 (Ni)、金 (Au) 以起到降低传输损耗、保护金属层、使用时可焊接等作用。

高温共烧陶瓷加工技术主要工艺包括:

(1) 原材料的生产,主要是陶瓷粉与烧结助剂等的配比结合,添加有机溶剂或水基溶剂共同形成陶瓷浆料,接着使用流延工艺产生瓷带,经过裁切形成尺寸均匀的陶瓷片。

(2) 流延工艺,该工艺为陶瓷粉和非水基粘合剂按照相应比例结合形成均匀的陶瓷浆料,然后通过流延工艺形成致密均匀的生瓷带。

(3) 生瓷件生产环节,该环节是多层共烧陶瓷生产的主要环节,首先按照设计的结构方案对每层陶瓷基片冲孔,

接着是在每层陶瓷基片上印刷图形走线以及填充相应的过孔,每层陶瓷基片进行了印刷填孔工艺就可以把已加工的基片根据设计堆叠在一起,在固定好的压力参数下层压在一起,此时已形成生瓷阶段的瓷件雏形。通过热切工艺将瓷件阵列分割成单个瓷件,可以得到一个完整的生瓷件产品,经过检验合格后就可以进行烧结,烧结后得到样品需要进行检验检测等工序,烧结好样件经过检验检测后,送到下一步工序,进行镀镍和镀金。合格的产品根据方案设计还需要添加引线、密封环、盖板、球栅阵列、热沉等其他的工序来形成一个密闭的三维陶瓷封装结构。

此种垂直互联结构应用的装配工艺简便,管壳陶瓷基板正面引脚焊盘采用金丝键合线与内部射频芯片通过键合进行连接,连接时采用 GSG 结构,保证信号屏蔽效果。陶瓷基板背面引脚焊盘与 PCB 采用标准 SMT 工艺流程进行装配即可,装配时选择与仿真相同的 PCB 材料及厚度,保证实测接近仿真结果。

## 5 实际测试

图 6 为实物照片,经测试,实物在 DC~20GHz 频段内插入损耗小于 0.5dB,回波损耗大于 15dB,能够很好满足工程需要。

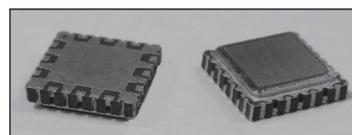


图 6 实物照片

## 6 结论

本文通过理论分析和电磁场仿真,采用 HTCC 多层布线技术,设计完成了微带到带状线的垂直传输互联结构,并将该结构应用在 HTCC 管壳封装中,同时和 PCB 联合仿真,对加工后的实物进行测试,该垂直传输互联结构封装在 DC~20GHz 频段内插入损耗小于 0.5dB,回波损耗大于 15dB,满足符合设计要求和工程应用。

### 参考文献

- \* [1] 金雁冰,刘建勇.KU 波段 LTCC 基板微带到带状线垂直互联设计[J].信息通信,2016,(02):43-45.
- \* [2] 王露莹,刘卫强,郭超等.Ku 波段微带到带状线垂直互联结构的研究与应用[C]//中国电子学会.2021 年全国微波毫米波会议论文集(下册).西安导航技术研究所,2021:3.
- \* [3] 勃婧涵.毫米波多波束 T/R 组件关键技术研究[D].电子科技大学,2020.

# 基于 5G 技术的电子元器件智能检测研究

马肖肖, 李根

(陕西恒太电子科技有限公司, 陕西西安, 710100)

**摘要:** 随着5G技术的快速发展和广泛应用, 各行各业都在探索如何将其应用于更多领域以提高效率和性能。本文将5G技术应用于电子元器件的智能检测领域, 设计了基于5G技术的电子元器件智能检测系统, 首先对系统所需的硬件设备进行配选; 其次进行了相关软件设计, 包括数据采集模块、智能检测算法模块、通讯模块、故障排除模块四个模块, 通过实验分析, 基于5G技术的电子元器件智能检测系统, 可以有效提高检测的效率和准确性, 实现了电子元器件检测的自动化和智能化。

**关键词:** 5G技术; 电子元器件; 智能检测

## 0 引言

5G 技术作为第五代移动通信技术的代表, 具备高速数据传输、低延迟通信和大连接数等特点, 为各行各业带来了全新的机遇和挑战<sup>[1]</sup>。在诸多应用领域中, 电子元器件作为现代社会中不可或缺的基础构成部分, 其质量、性能和可靠性直接影响着各种电子设备的性能和稳定性。然而, 传统的电子元器件检测方法依赖于人工目视检查和简单的测试设备, 存在效率低下、易出错等问题, 已经难以满足日益增长的生产和质量要求。基于此将 5G 技术应用于电子元器件的智能检测领域成为大众备受关注的研究方向。通过充分发挥 5G 技术在高速数据传输、低延迟通信和大连接数等方面的优势, 可以实现电子元器件检测的自动化和智能化, 从而提高检测的准确性和效率, 降低检测的生产成本和人为错误率。

## 1 基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统框架设计方案

基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统的硬件设计的具体框架图如图 1 所示。

基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统硬件设计通过 ARM9 核的嵌入式处理器控制、存储以及处理所检测到电子元器件的数据; 采用 SIN-6000 风差压传感器检测与采集所测电子元器件的数据; 此外, 硬件设计还包括可编程控制器 (PLC) 为串口或者网口的信号输出设备; 借助键盘、触摸屏、条码阅读器输入设备进行数据输入; 以上硬件设备为电子元器件的监测提供了稳定可靠的硬件支持。

## 2 基于 5G 技术的电子元器件智能检测软件设计

### 2.1 数据采集模块

数据采集模块作为电子元器件智能检测系统的基础感知层, 承担着从电子元器件表面捕获高质量图像数据的关键任务。这一模块的核心是使用高分辨率摄像设备, 比如工业相机或扫描仪, 来获取图像数据。这些图像数据是后续分析

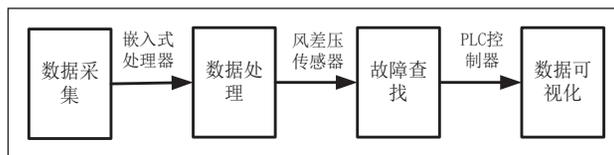


图 1 基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统框架

和识别过程的基础, 因此数据采集的质量直接关系到整个系统的效率和分析结果的准确性<sup>[2]</sup>。然而, 数据采集并不仅仅局限于图像的捕获, 还涉及对采集环境的控制, 包括光照条件和环境的整体稳定性, 以及图像预处理步骤, 如去噪和对比度增强, 确保所采集数据的质量和准确性。同时, 借助 5G 技术, 将采集到的图像数据实时传输至智能检测算法模块。这种高速度和低延迟的网络连接是自动识别元器件缺陷、污染或损伤的关键。有了 5G 的支持, 监测系统能够快速响应, 及时检测和分析元器件的状态。监测系统的具体数据采集流程如图 2 所示。

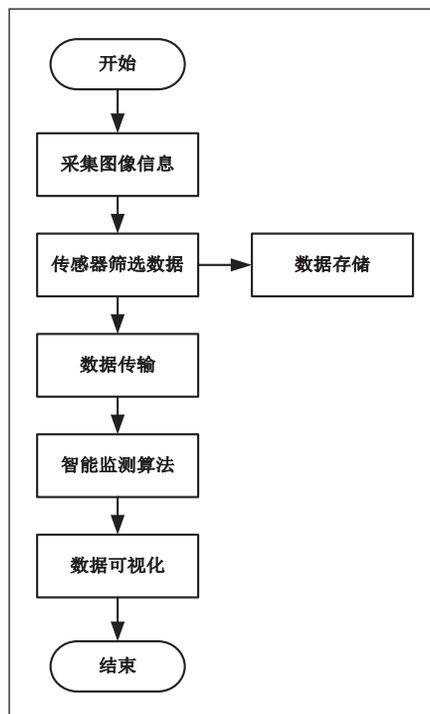


图 2 数据采集流程

如图 2 所示, 数据采集过程中通过图像采集整合所测电

子元器件数据，通过风差传感器对以上数据进行筛选检查，将筛选后的数据进行存储之后传输至智能监测算法模块，通过该模块的监测确定所测元器件外观以及性能的正常与否，最后将以上监测到所有的数据详细精确地存储至数据库中。

## ■ 2.2 智能检测算法模块

在智能检测算法模块中，根据元器件的性质选择适当的深度学习模型，会使用卷积神经网络 (CNN)、循环神经网络 (RNN)、支持向量机 (SVM) 等不同的模型<sup>[3]</sup>。模型的选择需要综合考虑采集到数据的特点、算法的复杂度以及实时性等因素，通过大量标注的数据对所选模型进行训练，其过程包括输入图像数据和对应标签，模型通过不断优化权重和参数，逐步提高对电子元器件状态的判定能力。其中，前向传播计算用于将采集到的图像数据输入到深度学习模型中，以获取对应的预测结果。在前向传播中，对于每一层神经网络，输入通过权重矩阵相乘并添加偏置，然后通过激活函数得到输出结果。激活函数的具体由计算公式组 (1) 所示：

$$\begin{aligned} z &= Wx + b \\ a &= \text{activation}(z) \end{aligned} \quad \text{式 (1)}$$

式中， $z$  是未经激活函数的输出， $W$  是权重矩阵， $x$  是输入向量， $b$  是偏置向量。 $a$  是特定的激活函数， $\text{activation}$  是激活函数的输出， $z$  是加权和加偏置的结果。反向传播用于计算损失函数相对于模型参数 (权重和偏置) 的梯度，以便在优化过程中更新参数。链式法则用于计算梯度传播。设  $\nabla L$  为损失函数关于输出的梯度，参数的具体如公式 (2) 所示：

$$\frac{\partial L}{\partial W} = \frac{\partial L}{\partial a} \cdot \frac{\partial a}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial W} \quad \text{式 (2)}$$

式中， $\partial L / \partial W$  是梯度传播， $\partial L / \partial a$  是损失函数关于激活函数输出的梯度， $\partial L / \partial z$  是激活函数关于加权输入的导数， $\partial z / \partial W$  是加权输入关于权重的导数。反向传播计算用于更新模型参数，使得损失函数减小，从而提高模型的预测准确性。优化算法、损失函数的选择以及数据增强等步骤都会影响模型的性能。损失函数用于衡量模型的预测输出与真实标签之间的差异。常见的损失函数包括均方误差 (Mean Squared Error, MSE)、交叉熵 (Cross-Entropy) 等。损失函数计算由公式 (3) 所示：

$$L = \text{loss}(y_{\text{true}}, y_{\text{pred}}) \quad \text{式 (3)}$$

式中， $L$  是损失值， $\text{loss}$  是具体的损失函数， $y_{\text{true}}$  是真实的目标值， $y_{\text{pred}}$  是模型预测的值。损失函数计算用于衡量模型对电子元器件状态的预测与真实状态之间的误差。

## ■ 2.3 5G 通讯模块

5G 通讯模块主要负责高速数据的传输和通信，将采集到的图像数据从数据采集模块传输到智能检测算法模块，实现数据传输的实时性和准确性。5G 通讯模块主要分为以下几部分：

(1) 数据传输速率：5G 通讯模块具备 5G 网络的高速数据传输能力，可以以极高的速率传输大量数据。这对于图像数据的传输尤其重要，因为高分辨率的图像可能会占用较大的数据量，而 5G 的高速率确保了图像能够在短时间内完成传输过程，实现实时性的要求。

(2) 低延迟通信：5G 技术以其低延迟的特点为通讯模块提供了优势。在电子元器件智能检测系统中，图像数据的传输需要尽量降低延迟，以确保采集到的数据能够在短时间内被智能检测算法模块处理，方便系统做出快速响应和及时决策。

(3) 大连接数：5G 网络具有大连接数的特性，可以同时连接大量的设备和模块。在电子元器件智能检测系统中，需要连接摄像设备、智能检测算法模块、远程操作控制等多个部分，5G 通讯模块的大连接数能力确保了系统各部分之间的高效协同工作。

(4) 实时性保障：5G 通讯模块的高速率和低延迟通信特性，确保了图像数据能够在短时间内传输到智能检测算法模块。促使模型可以在实时对电子元器件的状态进行分析和判定，使得系统能够快速做出决策和反应。

(5) 数据安全和隐私保护：在数据传输过程中，5G 通讯模块需要保障数据的安全和隐私，特别是在涉及生产工艺、设备参数等敏感信息的情况下，5G 通讯模块采用加密技术和安全协议，确保数据不会被未经授权的人员获取。

(6) 远程操作和控制：5G 通讯模块可用于实现远程操作和控制功能。当智能检测算法模块发现元器件存在问题时，通讯模块可以通过 5G 网络远程控制机械臂或移动平台，针对有问题的元器件进行取样、处理或移动，实现问题的修复和解决。

通过 5G 通讯模块，基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统能够实现高速、低延迟、实时的数据传输和通信，为智能检测算法模块提供及时的图像数据，实现对电子元器件状态的快速准确分析。

## ■ 2.4 故障排除模块

故障排除模块负责在检测到电子元器件问题时，通过 5G 网络远程控制机械臂或移动平台，实现对问题元器件的取样、处理或移动操作，最终实现问题的修复和解决。具体

操作流程如图 3 所示。

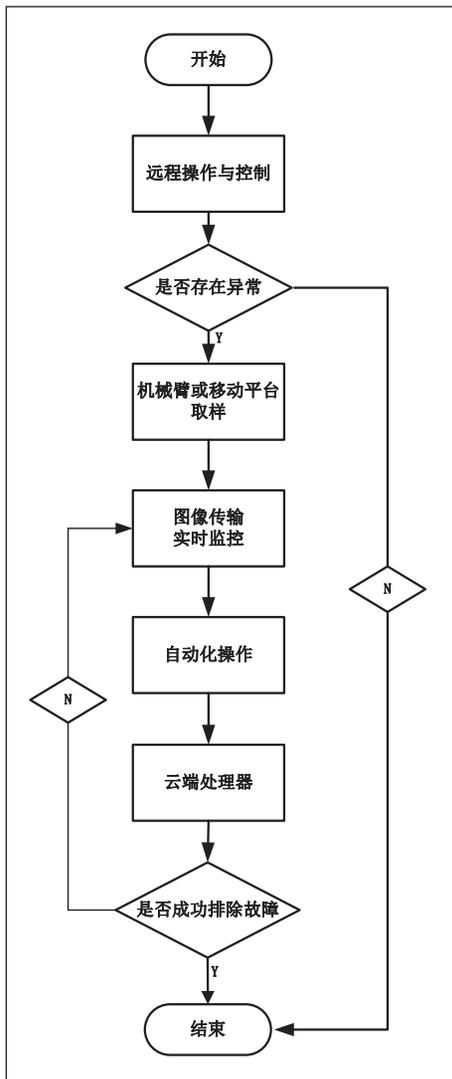


图 3 故障排除流程

如图 3 所示，故障排除模块首先利用 5G 网络的高带宽和低延迟特性，实时接收来自检测模块的电子元件状态信息。如果检测结果显示电子元件正常，故障排除模块将直接跳过故障诊断模块，继续监控系统的运行状态。然而，一旦检测到电子元件存在异常，故障排除模块立即发挥作用，通过 5G 网络远程连接到问题区域，并控制机械臂或移动平台等自动化设备，对电子元件进行细致的取样、处理或移动操作。在这个过程中，操作人员可以通过 5G 网络实时传输的图像，清晰地观察到电子元件表面的情况，这为远程操控提供了直观的视觉辅助。故障排除模块还集成了先进的自动化决策流程，能够根据实时数据和预设的算法，为操作人员提供实时的建议或提示，帮助操作人员选择最合适的操作方法。完成操作后，处理结果会被传输至云端处理器进行判断，以确认故障是否成功排除。如果故障未被成功排除，系

统将自动返回至图像传输流程，继续进行故障的排除，直至故障被完全解决。这种闭环的操作模式，确保了故障排除的高效性和连续性，极大地提升了电子元器件生产和维护的自动化水平。

### 3 实验分析

#### 3.1 实验准备

为保障基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统运行的稳定性与可靠性，通过模拟实验测试系统的性能。实验测试需准备 AMD Ryzen Threadripper（第三代）中央处理器；采用 Basler acA1300-30gm 系列高分辨率图像传感器、Quectel RM500Q 系列嵌入式模块以及 Samsung 970 EVO 系列固态硬盘 (SSD) 等设备，为电子元器件的监测提供支持。

#### 3.2 实验结果

结合以上采集的数据对基于 5G 技术的电子元器件智能检测系统进行详细分析，并生成详细的实验报告，实现对该系统的运行效率、稳定性的评估，通过实验中出现的的问题以及需改进之处。实验数据如表 1 所示。

表 1 实验数据结果

电子元器件类别	实际个数	正确识别个数	准确率
Cap470 $\mu$ F	1410	1270	97.9
Cap22 $\mu$ F	1067	986	96.1
Capvred	1157	1150	98.7
Rstht	1385	1289	97.8
Rstp10D	1459	1347	95.6

由表 1 实验数据可知，在不同电子元器件类别中，识别准确率存在一定的差异。其中，Capvred 类别的准确率最高，为 98.7%，Rstp10D 类别次之，为 95.6%。其他类别的准确率分别为 97.9% (Cap470 $\mu$ F)、92.1% (Cap22 $\mu$ F)、97.8% (Rstht)。因此，系统对电子元器件的识别准确率相对较高，最低的也达到了 95.6%。表明本系统在不同类别的元器件识别方面具备一定的稳定性和可靠性，适用于电子元器件的智能检测。为进一步分析系统的性能，可对比表 1 中实际个数和正确识别个数之间的差距，其中，Cap470 $\mu$ F、Cap22 $\mu$ F 和 Rstht 类别的实际个数与正确识别个数之间的差距较小，分别为 1410-1270=140 个、1067-986=81 个和 1385-1289=96 个。这表明在这三个类别中，系统的识别准确率较高，误差较小。然而，对于 Capvred 和 Rstp10D 类别，实际个数与正确识别个数之间的差距较大，分别为 1157-1150=7 个和 1459-1347=112 个。尽管如此，这两个类别的准确率仍然较高，说明系统在识别这两个类别时可能存在一些小误差，但整体性能仍然可靠。此外，从表 1 中可以看出，Capvred 类别的准确率最高，可能是因为该

(下转第 79 页)

# 利用虚拟仪器开展电子器件低频噪声测试分析的系统设计

王洁, 肖鑫磊

(陕西恒太电子科技有限公司, 陕西西安, 710100)

**摘要:** 本文提出了一种利用虚拟仪器进行电子器件低频噪声测试分析的系统设计。文中通过系统总框架设计、硬件设计和软件设计, 实现了从信号源产生信号到数据分析和显示的完整流程。在硬件设计中, 选择适当的信号源、差分放大电路和ADC, 确保信号的准确采集。在软件设计中, 设计用户界面、数据采集、预处理、分析和显示模块, 帮助用户能够方便地进行实验、观察数据、进行分析, 获取关键的实验结果。本文通过实验验证和结果分析, 证明了系统运行性能的有效性和可靠性。

**关键词:** 虚拟仪器; 电子器件; 低频噪声; 系统设计

## 0 引言

在电子器件的研究和开发领域, 低频噪声测试被认为是一个至关重要的环节, 对于评估器件在不同频率下的性能和稳定性具有重要作用。然而, 传统的低频噪声测试方法却面临着一系列挑战, 其中包括需要复杂的仪器设备以及繁琐的测试流程。这些问题不仅限制了测试的效率, 还可能影响到测试结果的准确性。为了克服这些问题, 本文提出了一种创新性的解决方案, 即基于虚拟仪器的低频噪声测试分析系统设计。该系统的核心思想在于将虚拟仪器技术应用于低频噪声测试领域, 以实现更高效和准确的测试过程。

## 1 虚拟仪器系统框架设计

虚拟仪器系统框架设计是整个系统构建的基础, 其描述了系统各个组成部分之间的关系以及数据流动的方式。系统框架设计包括用户界面、控制模块、硬件模块、软件模块。其中, 硬件模块包括信号源、采集电路、放大电路、模数转换器(ADC)等。软件模块是虚拟仪器系统的核心部分, 包括数据采集、预处理、分析和显示等功能。具体的虚拟仪器系统框架如图1所示。

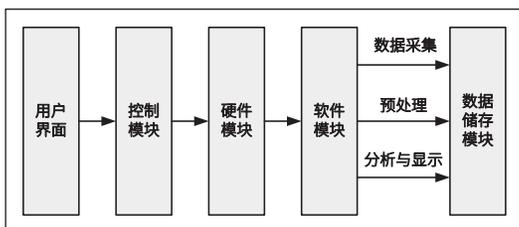


图1 虚拟仪器系统整体框架设计图

图1呈现了虚拟仪器系统各个模块之间的数据流动和关联。用户界面与控制模块交互, 控制模块调度硬件模块的操作并处理数据的流动。软件模块实现了数据的采集、预处理、分析和显示, 数据存储模块负责保存数据方便后续的查看和分析。

## 2 虚拟仪器系统设计

### 2.1 硬件设计

#### 2.1.1 信号源选择与配置

信号源选择函数发生器, 能够产生不同频率、幅度和波形的信号。低频噪声测试通常关注几百赫兹以下的频率范围, 配置频率范围为10 Hz~100 Hz的信号源, 以覆盖目标测试频率范围。在设置信号源的幅度时, 需要确保被测信号能够在被测器件的工作范围内进行测试, 并且避免过大的幅度引起非线性效应。被测器件的工作范围为0.1 V~1 V, 设置信号源的幅度为0.5 V, 以保持在工作范围内进行测试。在低频噪声测试中, 选择频率为20 Hz的正弦波作为测试信号, 因为其在频域分析中具有较好的性质。

#### 2.1.2 信号采集与放大电路设计

信号采集与放大电路的设计是确保准确采集低频噪声信号的关键。该系统采用低噪声、高共模抑制比的差分放大器, 放大差分信号, 同时抑制共模信号。差分放大器电路示意图, 如图2所示。

差分电路具有抵消共模噪声的能力, 能够提高系统的抗干扰性。根据被测器件的特性和预期的信号幅度范围, 将差分放大电路的增益设置为10倍, 以充分放大信号方便后续处理。在差分放大电路之后, 添加低通滤波器, 以去除高频噪声。滤波器应根据信号频率范围进行选择, 确保只保留感兴趣的低频成分。为了适应不同的被测器件和信号水平, 设置可调放大电路, 根据具体需要调整放大倍数, 以适应不同的被测器件和信号水平。同时, 使用Texas Instruments阻抗变换器, 提供操作放大器(OP-AMP)和仪器放大器(INA), 并配置Murata匹配网络, 用于帮助阻抗匹配, 以确保信号从一个电路或组件传输到另一个电路或组件时的最佳性能, 最大限度地传递信号并减少反射。

#### 2.1.3 数据转换与数字化设计

采集到的模拟信号需要进行数据转换和数字化处理, 涉及模数转换器(ADC)的选择和配置。配置ADC的采样率

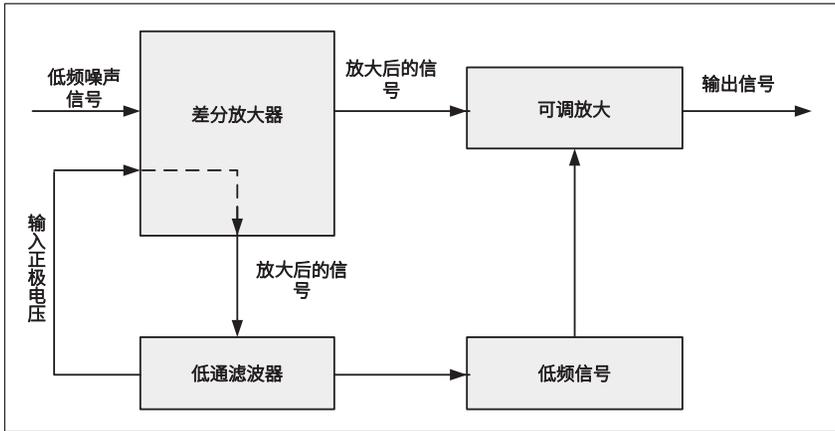


图2 差分放大器电路示意图

足够高，捕捉低频信号的细微变化。因此，选择16位分辨率的ADC，以保留信号的细节。ADC将连续的模拟信号转换为离散的数字信号。硬件设计部分，展示信号源、差分放大电路和ADC之间的连接，如图3所示。

图3展示了信号从信号源经过差分放大电路放大后，进入ADC进行数字化处理。这些硬件模块的设计确保了从模拟信号到数字数据的平稳转换，为后续的软件处理提供了可靠

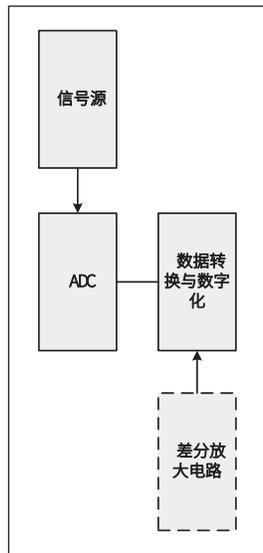


图3 硬件部分关系图

的数据源。数字化后的信号进行进一步的数字处理，包括数字滤波以去除可能存在的数字化噪声或高频噪声。将数字化的数据存储在适当的数据结构中，以备后续分析。

## 2.2 软件设计

### 2.2.1 用户界面设计

用户界面设计是关键，直接影响用户的体验。系统中的不同界面应直观易用，提供必要的控制和信息展示。

用户界面设计包括以下内容：(1) 实验设置界面。用户开始实验的地方，以清晰方式展示参数选项，如测试频率和信号源幅度。用户可以在此设置实验参数。(2) 实时数据展示界面。动态监测数据的变化，通过曲线图等展示采集的信号数据。(3) 数据分析界面。提供深入信噪比计算和频谱数据分析等工具，方便用户从中获取更多信息。(4) 结果显示界面。直观呈现实验结果，使用表格、图表等方式展示实验数据和分析结果，帮助用户得出结论。

### 2.2.2 数据采集与处理流程

在数据采集与处理流程中，确保从硬件获取的模拟信号

经过适当的处理和转换，以便进行后续分析和显示。设计软件模块以从硬件模块中获取模拟信号数据，根据设置的参数，以1000 Hz（即每秒采集1000个样本）采样率进行数据采集。获取的数据可以存储在内存中或临时文件中。之后，对采集到的模拟信号进行预处理，去除直流分量、降噪。去除直流分量操作如式(1)所示。

$$\bar{x}[n] = x[n] - DC \quad \text{式(1)}$$

式(1)中， $x[n]$ 表示离散时间信号，

$\bar{x}[n]$ 表示去除其直流分量后的信号，DC表示信号 $x_q[n]$ 的直流分量。随后，将处理后的信号送入差分放大电路进行放大。经过差分放大后的信号经过ADC转换为数字信号。确保转换过程的精确性，以准确地反映信号特性。ADC转换操作如式(2)、式(3)所示。

$$x[n] = x(t)|_{t=nT_s} \quad \text{式(2)}$$

$$x_q[n] = Q(x[n]) \quad \text{式(3)}$$

其中， $x[n]$ 是第n个采样值， $x(t)$ 是模拟信号， $T_s$ 是采样时间间隔。 $x(t)$ 是量化后的值，Q是量化函数，其将连续的采样值映射到离散的数字值。

对数字化的信号应用数字低通滤波器，去除高频噪声，保留低频信号成分，以便后续分析。低通滤波器的操作通过差分方程表示，具体如式(4)所示。

$$\sum_{k=0}^N a_k \cdot y[n-k] = \sum_{k=0}^M b_k \cdot x[n-k] \quad \text{式(4)}$$

式(4)中 $y[n]$ 是输出信号在时刻n的值， $x[n]$ 是输入信号在时刻n的值，N是输出信号的历史时刻数，M是输入信号的历史时刻数。 $a_k$ 和 $b_k$ 是差分方程中的系数。此方程描述了输出信号 $y[n]$ 是如何受到输入信号 $x[n]$ 和前几个输出信号 $y[n-1], y[n-2], \dots$ 的影响。系数 $b_k$ 和 $a_k$ 决定了滤波器的特性。在进行信号处理的过程中，为避免引入不必要的失真或误差，始终保留原始数据的备份，并应用信噪比(SNR)评估信号的质量和效果，如式(5)所示。

$$S = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_s}{P_n} \right) \quad \text{式(5)}$$

其中，S表示信噪比，以分贝(dB)为单位。 $P_s$ 表示信号的功率， $P_n$ 表示噪声的功率。在这个公式中，S的值越高，表示信号与噪声之间的功率比例越大，代表信噪比越好。如果处理后的数据的S值高于处理前的数据，则可以认

为处理效果较好。通过量化 SNR，更准确地评估信号处理效果，支持后续的分析流程。

### 2.2.3 数据分析与显示模块设计

数据分析与显示模块在虚拟仪器系统中起着核心作用，其能够使用户理解实验结果并从中获取有价值的信息。使用傅立叶变换算法将时间域数据转换为频率域，以获取噪声的频谱信息。对于连续的时间域信号  $x(u)$ ，其傅立叶变换  $X(f)$  的计算公式如式 (6) 所示。

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(u) \cdot e^{-j2\pi fu} du \quad \text{式 (6)}$$

其中， $X(f)$  是频域中的复数函数，表示信号在频率  $f$  处的复数幅度和相位信息。 $x(u)$  是时域中的信号，表示要分析的原始信号。 $f$  表示特定频率， $j$  表示虚数单位。而对于离散时间信号  $x[n]$ ，通过离散傅立叶变换 (DFT) 来计算，如式 (7) 所示。

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-j2\pi \frac{kn}{N}} \quad \text{式 (7)}$$

其中， $X[k]$  是频域中的复数函数，表示信号在离散频率  $f_k$  处的复数幅度和相位信息。 $k$  表示离散频率的索引， $N$  表示信号的采样点数。通过将时域数据转换为频域数据，获取有关信号的频率、幅度和相位信息，将信号在频域上进行分析，以识别不同频率成分的强度和分布，提供频谱分析的功能。并将实验结果、信号特性、信噪比和频谱分析结果以表格、曲线图、柱状图等形式呈现。最后，提供生成实验报告的选项，将实验设置、数据分析和结果一并整理成报告，方便用户保存和分享。

## 3 实验验证与结果分析

### 3.1 实验步骤与参数设置

实验步骤：连接信号源、采集电路和放大电路等硬件模块，确保信号路径正确连接。然后，打开虚拟仪器软件，进入用户界面。接着，在用户界面中，设置测试频率范围为 10 Hz~100 Hz，信号源幅度为 0.5 V，差分放大电路增益为 10 倍，采样率为 500 Hz。最后，点击开始测试按钮，开始采集数据。采集足够的数据点，以确保后续分析的准确性。

参数设置：(1) 测试频率范围为 10 Hz~100 Hz；(2) 信号源幅度为 0.5 V；(3) 差分放大电路增益为 10 倍；(4) 采样率为 500 Hz；(5) 采集数据点数为 1000。

### 3.2 实验结果分析

实验测试了不同频率下的信号，然后通过虚拟仪器系统

进行了数据采集和分析。实验结果如表 1 所示。

表1 虚拟仪器系统数据表

频率 (Hz)	原始信号幅度 (V)	放大后信号幅度 (V)	信噪比 (dB)
10	0.5	4.8	20.79
20	0.5	4.6	20.09
30	0.5	4.7	20.37
50	0.5	4.9	20.95
70	0.5	5.0	21.19
100	0.5	5.2	21.76

由上述表 1 的实验数据结果可知，原始信号幅度保持不变 (0.5 V)，经过放大后，信号幅度有所增加，表明放大电路的正常工作以及信号放大的成功。随着频率增加，放大后的信号幅度逐渐提升，伴随着信噪比的增加。这种现象是由于随着频率升高，信号在放大电路中的增益增加，但同时噪声也会增强，导致信噪比的提升。在高频率下，信号增幅更高，而噪声的增长也影响了信噪比的变化。

由上述实验结果分析可以得出以下结论：差分放大电路在实验中有效地将原始信号放大，确保信号的准确采集和分析；信噪比的增长趋势不是线性的，随着频率的增加，信号增幅相对于噪声的增幅更明显，但仍需平衡信号和噪声。

## 4 结论

本文提出的虚拟仪器系统设计为电子器件低频噪声测试分析提供了一种有效的解决方案。系统框架清晰，硬件模块和软件模块相互配合，实现了从信号产生到数据分析的全过程。文中通过实验数据分析，证明了系统的可靠性和稳定性，能够准确地采集、放大和分析低频噪声信号。该系统设计为电子器件的性能评估和优化提供了有力的工具，具有广泛的应用前景。

### 参考文献

- \* [1] 杨冬晓, 林时胜, 余辉. 电子信息类非器件专业的“信息电子学物理基础”课程调研与建设 [J]. 工业和信息化教育, 2023(07):7-12+17.
- \* [2] 赵加斌, 田佳禾. 基于虚拟仪器技术的综合测试系统研究 [J]. 中国设备工程, 2023(12):205-206.
- \* [3] 王臣. 电子器件现场验收与二次筛选的质保分析 [J]. 电子技术, 2023,52(06):310-312.
- \* [4] 陈迎庆, 邢星, 张毅超等. 高速铁路低频噪声影响特性初探 [J]. 铁路节能环保与安全卫生, 2023,13(01):11-16+31.
- \* [5] 夏元轶, 符士侃, 杜钰等. 基于大数据的虚拟仪器关联数据库信息分析方法 [J]. 自动化与仪器仪表, 2022(05):232-235.
- \* [6] 许绍华, 张宏斌, 吴志东等. 基于虚拟仪器的机械振动测试系统设计 [J]. 齐齐哈尔大学学报 (自然科学版), 2022,38(03):16-20.

# 基于机器视觉的磨砂注塑杯缺陷检测设计

罗瑞, 何为, 郑雪枚, 卢小海

(武昌首义学院 机电与自动化学院, 湖北武汉, 430064)

**基金项目:** 2021年湖北省教育厅科技指导项目 (B2021352)。

**摘要:** 我国饮料产量规模世界第一, 市面上的饮料包装材料种类十分多。注塑杯具有密封性好, 造价低廉等优点。但是注塑杯瓶身脆弱, 并且在制造过程中有很多不可控因素, 或许会造成生产线障碍, 影响生产效率, 以至于危害消费者的生命健康。因此, 在利用注塑杯包装生产前, 需对注塑杯进行质量检测。本文的研究结果表明, 本设计对于注塑杯的表面缺陷检测有高效, 准确的优点, 可以大大减少人工成本, 对相关研究有参考作用。

**关键词:** 注塑杯; 机器视觉; 缺陷检测

国外机器视觉技术发展迅猛, 在工业生产中得到了广泛地应用。基于计算机视觉的表面检测技术可以概括为: PCB 印刷电路检测、SMT 表面贴装检测、产品尺寸检测、生物医学检测等, 从而使产品检测的准确度和生产效率得到了极大的提升<sup>[1-2]</sup>。

在国外, 日本川崎公司于 1974 年开发了用于镀锡薄板表面缺陷的在线机器视觉测试设备<sup>[3]</sup>。1983 年, 霍尼韦尔公司利用线阵 CCD 摄像机和图像处理技术, 开发出一套用于精密检测铸件表面缺陷的设备<sup>[4]</sup>。1993 年, Liao K. 等对完整的玉米种子和破碎的种子进行了检测; 2002 年, N. Alexios 等人开发了一种基于计算机视觉的柑橘分类方法。在这方面, 目前比较成功公司的有 PROIMAGE, NI, BOBST, VMT, Hexasight, Cognex, DAC, TOKIMEC, Keyence。

随着目标检测技术的快速发展, 传统的机器视觉方法被应用于工业中缺陷检测。如王淑青等利用基于 YOLOv5 的瓷砖表面缺陷检测法<sup>[5]</sup>, 以瓷砖为研究对象, 针对瓷砖表面缺陷检测基于 YOLOv5 的瓷砖表面缺陷检测法。实验结果表明: 该方法适用于不同类型的缺陷检测, 并且该方法在准确度和速度上均比传统的缺陷检测优秀。由此可得 YOLOv5 网络是十分适用于不同类型的缺陷检测, 并且速度、内存、大小都得到了很完美的提升。

## 1 系统整体设计

基于机器视觉的注塑杯表面缺陷检测系统总共分为两个部分组成, 分别是硬件和软件。硬件部分主要包括: 电脑、相机、光源、支架、传输带、图像采集设备。软件部分则是由图像采集系统和电脑端软件程序构成的图像处理、缺陷识别系统。注塑杯表面缺陷系统检测的总体模型如图 1 所示。

由图 1 可知, 当传输带进行物品传输工作时, 注塑杯经传感器检测信号通过 PLC 传输到电脑, 电脑通过相机对物品进行抓拍, 获取的图像通过图像采集卡再次传输到电脑上, 同时对物品进行缺陷分析处理, 得到直观的结果反馈在显示器上, 以此达到对注塑杯表面缺陷检测的实际数据。最

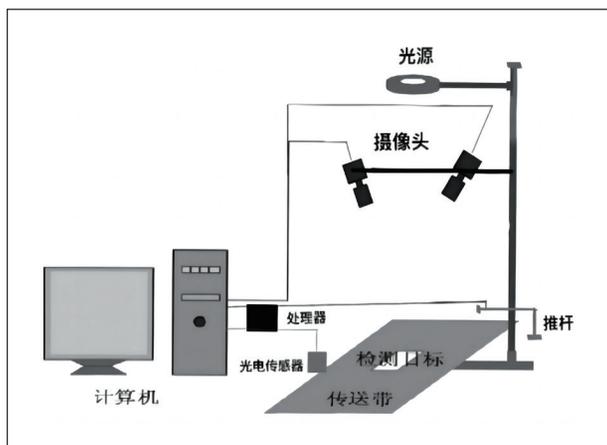


图 1 图像采集模块模型图

后通过电机驱动推杆, 将产品进行分拣, 检测出的残次品将进行回收处理。图 2 中的流程完成注塑杯的智能识别和分类功能。

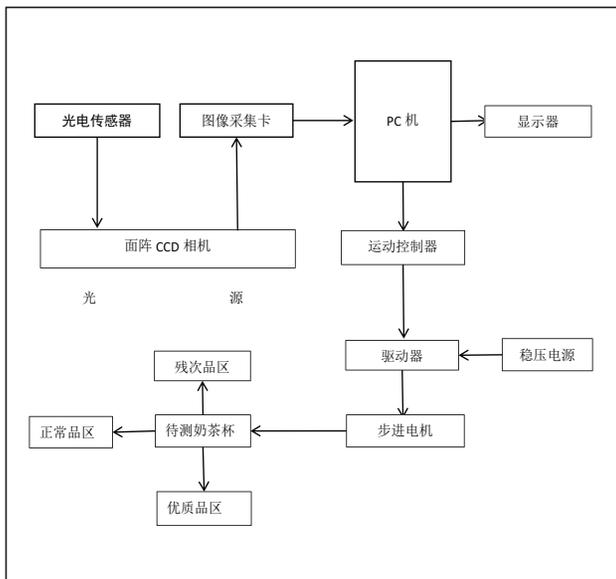


图 2 项目整体流程图

综上所述, 硬件是实验的基础, 合适的硬件有助于减小实验中外界因素对缺陷检测的影响。软件则是实验的核心, 选择合适的软件可以使检测工作更快速更准确。

## 2 系统软硬件的选择

### 2.1 相机, 镜头, 光源的选择

本实验是以机器视觉为基础的检测系统, 同时电脑处理的图片信息就是通过相机获取的图像进行分析。因此相机的选择十分重要, 目前工业用相机主要基于 CCD 或者 CMOS 芯片的相机。在图像处理速度和帧率, CMOS 高于 CCD, 避免了拖尾和模糊现象<sup>[6]</sup>, 并且相比较, CMOS 的成本都比 CCD 要低, 兼容性、可靠性都优于 CCD。并且 CMOS 在低灵敏度、低电流、低填充等方面进行了大量的技术研究和攻关<sup>[7-8]</sup>。

在图像采集过程中, 光学镜头在机器视觉系统中也是不可或缺的组成部分, 它的好坏将对图像的质量产生重要的影响。因此在选择光学镜头时要考虑镜头是否能增强图像的效果, 同时能否适配所选相机。

光源的选择同样重要, 合适的光源可以使相机清晰获取注塑杯的细节与轮廓, 配合相机能清晰展示出检测项目的缺陷类型, 还可以有效降低噪点; 因此应多方面考虑光源的面积、亮度以及稳定性。

### 2.2 图像采集和处理软件的选择

本次本人所选择的图像处理软件是 Labellmg 软件, 该软件是我们常用的十分简单的标注工具, 可以帮助我们进行目标检测项目的标注工作, 它的操作简单易上手。

## 3 注塑杯表面图像处理

缺陷检测的具体流程如图 3 所示, 数值图像处理的目的

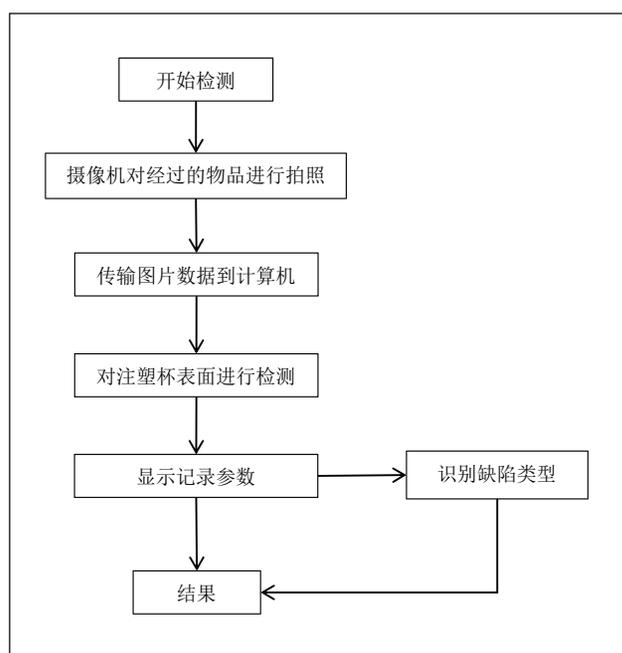


图 3 缺陷检测流程图

的是从图像中提取有用信息数据, 随后对图像进行分析处理, 以此得到我们需要的一个结果。同时图像与图像之间是紧密连接的, 只要我们针对其分析出来了必要信息, 后续的工作也可以事半功倍。

### 3.1 图像采集

Labellmg 软件对目标图像进行标注需要人工进行标注, 于是在采集完图像后对目标缺陷类型先进行了分类区分。总共分为 5 个类型: 发白、黑点、进胶点高凸、毛边、缺胶, 随后在软件中对目标进行缺陷类型标注。本次采用 YOLOv5 检测法, 根据 YOLOv5 官方发布的数据代码可知, 该监测网络共有四个版本, 依次为 YOLOv5x、YOLOv5l、YOLOv5s。其中 YOLOv5s 是深度和特征图宽度最小的网络。

### 3.2 实验环境设计

#### 3.2.1 实验环境搭建

在 Anaconda 软件的命令方块中, 创建一个以 Python3.8 为基础的 YOLO 环境, 然后键入“activate YOLO”的命令, 启动 YOLO 环境。使用 Pycharm 来开启 YOLOv5 模式, 并在之前创建的 YOLO 环境下安装依赖库文件。环境搭配流程图如图 4 所示。

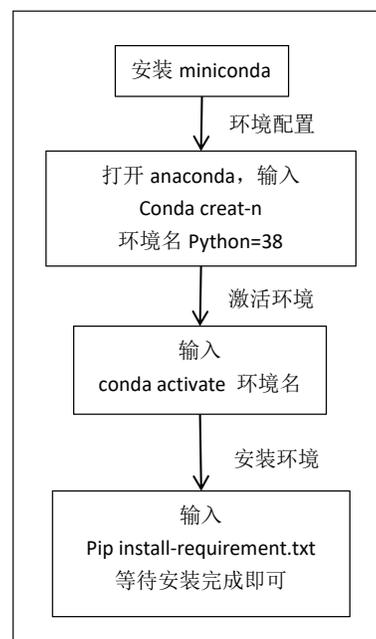


图 4 环境搭配流程图

#### 3.2.2 建立训练集

首先准备自己的带有图像和标签的数据集。对于标记图像, 可以使用 Labelme 或 CVAT 等工具。然后, 应该编写相应的 Dataset 类, 该类可以通过 `__getitem__` 方法加载图像和标签。YOLOX 支持 COCO 格式和 VOC 格式。而 YOLOv5 和 YOLOv4 只支持 YOLO 形式。目标检测标注形式, 目前主流的目标检测的标注形式主要有 COCO 形式, VOC

形式，和 YOLO 形式。为了更好地在不同网络上进行训练，需要建立一个数据格式转换的程序。

### 3.3 网络训练

神经网络训练是一个非常复杂的过程，在这过程中，许多变量之间相互影响。在神经网络训练过程中，更加简单方便地加速训练网络有许多的技巧。我们需要反复迭代以调整最好的参数，以求在最快的时间训练出最好的网络。

#### 3.3.1 模型微调

由于手工标注的数据量非常有限，对于一些稍大的网络，难以满足其数据量的需求，所以使用预训练模型进行微调是非常有必要的。大的学习率可能会导致网络的灾难性遗忘。因此通常使用较小的学习率进行 warm up，让网络逐渐适应新的数据集。这既可以加速网络收敛，也可以让网络保留在超大数据量的预训练中学习到的经验。

#### 3.3.2 超参数设置

(1) learning rate: 由于预训练通常是在超大量图片上进行的。为了让原模型学到的知识尽可能地保留，在模型微调过程当中，我们的学习率通常是正常训练学习率的 1/10。

(2) batch size, 可承受范围内尽量大，主要是为了迭代速度更快。

(3) warm up steps, lr schedule, epochs 数量, dropout rate 等，都是对照网络训练时候的数据，按照经验和观察调整。

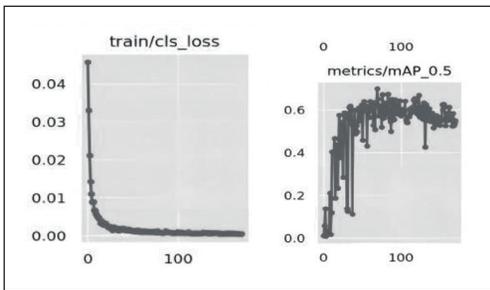


图5 训练结果

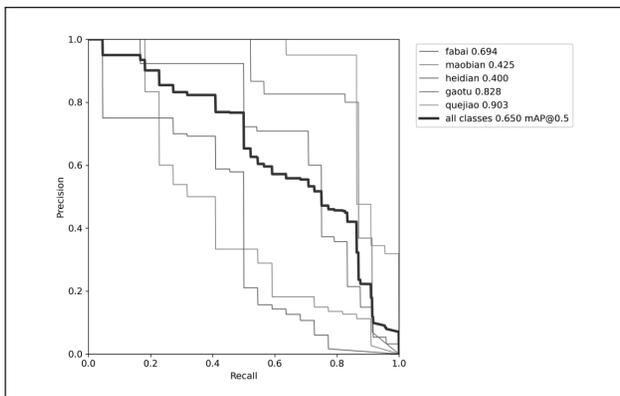


图6 R-P 曲线关系图

#### 3.3.3 P-R 曲线

选定的阈值不同分类的结果也是不同的。Recall 和 Presion 的值也不同。画出两者阈值变化的曲线图，如图 6 所示。可以看到两者之间有一定的反比关系。

#### 3.3.4 测试结果

从图 7 可以看出缺陷精准度有了一定的提升，但是有些细小方面的问题仍无法检测出来或者是检测精准度不高。



图7 检测结果

## 4 结论

本文聚焦于目标检测任务，介绍了深度学习的研究背景以及目标检测任务的发展现状。基于深度学习的目标检测算法目前可以分为一阶段算法以及二阶段算法。本文主要介绍了特征金字塔网络 (FPN)、路径聚合网络 (PANet) 和双向特征融合网络 (BiFPN)。此外，由于 YOLOv5 算法是目前比较好的目标及检测算法，所以本文从数据增强、网络结构、损失函数等方面对 YOLOv5 算法进行了具体的阐述。

基于 YOLOv5 网络，本文提出了 YOLOv5 网络的两种网络，并且对其进行对比分析。并且实验部分采用了 COCO 数据集，并且与其他同类检测算法进行比较。实验数据证明。YOLOv5s 网络为基准，YOLOv5l 网络为改进后网络，

(下转第 99 页)

# 基于单片机的电子测量系统仿真设计

文浩, 宋世宇

(成都理工大学 机电工程学院, 四川成都, 610000)

**摘要:** 随着科技的进步, 在日常生活以及工业运用上, 对电子秤的要求越来越高。常规的测试仪器仪表和控制装置被更先进的智能仪器所取代, 使得传统的电子测量仪器在功能、精度及自动化水平方面发生了巨大变化, 并出现了各种各样的智能仪器控制系统, 使得科学实验和应用工程的自动化程度得以显著提高。影响其精度的因素主要有: 机械结构、传感器和数显仪表。在机械结构方面, 因材料结构强度和刚度的限制, 会使力的传递出现误差, 而传感器输出特性存在非线性, 加上信号放大、模数转换等环节存在的非线性, 使得整个系统的非线性误差变得不容忽视。基于电子秤的现状, 本文通过半差动电桥电路模拟应变式传感器工作、仪用仪表放大电路、ADC0832数模转换电路、AT89C51为主控的控制部分、LCD1602为显示屏的显示部分和键盘输入部分构成完整电子秤测量系统, 设计出了一种简单实用并且有较高精度的智能电子秤。通过运用高精度集成电路, 使测量精度得到了大大提高, 使稳态测量的稳定性和动态测量的跟随性都得以大幅提高。

**关键词:** 电子测量; 仪用仪表放大电路; ADC0832数模转换; AT89C51; LCD1602

## 1 设计要求

### 1.1 设计题目

通过电桥电路、放大电路、数模转换电路、控制部分、显示部分和键盘输入部分构成完整电子秤测量系统, 并完成电子秤的硬件设计调试和程序调试仿真。具体要求如下所列:

(1) 利用 Proteus 构建相应的测量系统硬件, 主要包括: 电桥电路(半差动)、放大电路(TL082 构成仪用仪表放大器结构)、模数转换电路(ADC0832)、单片机控制部分(AT89C51)、显示部分(LCD1602)和键盘部分(矩阵键盘)。按照一定的器件搭建硬件仿真电路, 并完成硬件电路的调试。

(2) 利用 keil 单片机仿真软件对单片机进行程序仿真, 完成控制、计算、AD 采样、键盘输入、显示部分的相应程序编写并调试。

(3) 利用 proteus 和 keil 联合调试仿真, 完成整体系统的集成调试。

(4) 根据输入电阻的变化和显示输出情况, 完成静态标定, 完成对系统灵敏度、线性度等指标的测量。

### 1.2 设计方案及框图

根据要求, 作者拟采用差动电桥来模拟应变式电阻传感器的工作<sup>[1]</sup>, 模拟有待称量的物体放在传感器上方, 传感器感受应变后产生电阻变化后转为电压变化, 由于变化非常微小, 所以又采用仪表放大电路将微小的变化放大, 将放大信号送入 AD 采样芯片, 采样后送入 MCU 中, 通过 LCD1602 显示出重量。通过矩阵键盘输入物品的价格, 可以直接在 LCD1602 中显示商品的单价, 重量以及总价, 通过此方案画出的设计框图如图 1 所示。

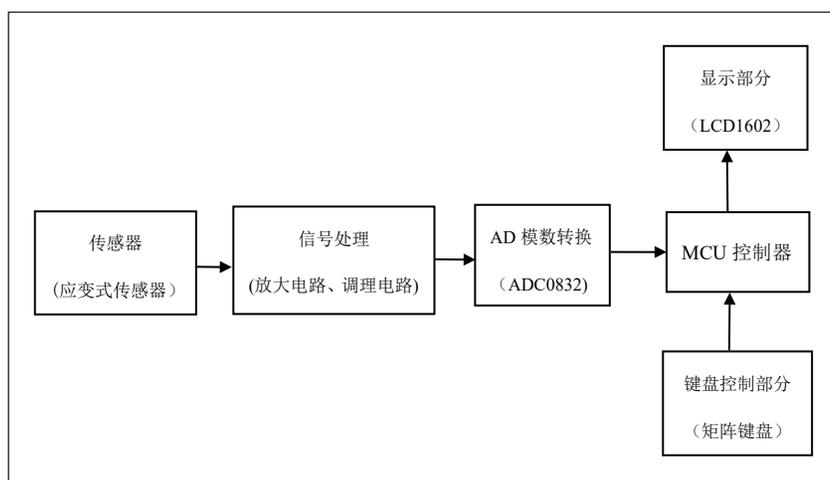


图1 电子测量系统设计框图

## 2 硬件设计

### 2.1 电桥电路

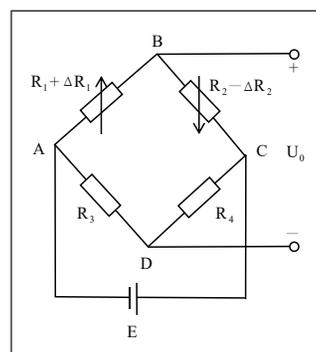


图2 半桥差动电路

如图 2 所示, 即为半桥差动电路, 如果让  $R_1$  和  $R_2$  为工作电阻应变片, 那么他们两个电阻值分别“一增一减”, 实现变化互补达到差动, 可以消除线性误差, 改善测量结果的质量。半桥差动电桥比单臂电桥测量结果的质量更好。若将电桥四臂都接入电阻应变片, 则可以构成全桥差动电桥。这两种都可以提高电桥的灵敏度。但本次设计只采用半桥差动

电桥。

### ■ 2.2 仪用仪表放大电路

仪用仪表放大器电路如图 3 所示。两个同相输入接法的运放 A1、A2 组成第一级差分放大电路，运放 A3 组成第二级差分放大电路。在第一级电路中  $v_1$ 、 $v_2$  分别加到 A1 和 A2 的同相端，R1 和两个 R2 组成的反馈网络，引入了负反馈，两理想运放 A1、A2 的两输入端形成虚短： $v_p - v_n = 0$ ，因

而有  $v_{R1} = v_1 - v_2, i_{R1} = i_{R2} = \frac{v_{R1}}{R_1}$  和  $\frac{v_{R1}}{R_1} = \frac{(v_3 - v_4)}{(2R_2 + R_1)}$ ，故得：

$$v_3 - v_4 = \frac{2R_2 + R_1}{R_1} v_{R1} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) (v_1 - v_2)$$

于是我们可以计算出电路的电压增益为：

$$A_v = \frac{v_o}{v_1 - v_2} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)$$

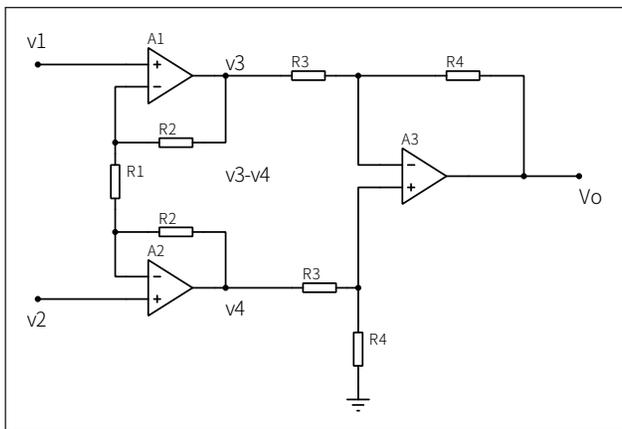


图 3 仪用仪表放大器电路图

因为在前级电桥电路所产生的变化非常微小，所以本文采用了 TL082 构成了仪用仪表放大电路来将其放大。以便于后面的观察，此外增加了一个电压表在输出端，可以方便观察后面 AD 采样后的输出是否正确。电路的连接如图 3 所示。

### ■ 2.3 ADC0832 模数转换电路

ADC0832 是美国国家半导体公司生产的一种 8 位分辨率、双通道 A/D 转换芯片。由于它体积小，兼容性，性价比高而深受单片机爱好者及企业欢迎，已经有很高的普及率<sup>[2]</sup>。

芯片各个接口说明：

- ①：CS<sub>片选</sub>使能，低电平芯片使能。
- ②：CH0 模拟输入通道 0，或作为 IN<sub>+/-</sub> 使用。
- ③：CH1 模拟输入通道 1，或作为 IN<sub>+/-</sub> 使用。
- ④：GND 芯片参考 0 电位（地）。

- ⑤：DI 数据信号输入，选择通道控制。
- ⑥：DO 数据信号输出，转换数据输出。
- ⑦：CLK 芯片时钟输入。
- ⑧：VCC/REF 电源输入及参考电压输入（复用）。

作者采用 CH1 为模拟输入端，将前面电路放大后的模拟信号送入 ADC0832 芯片，输出送入 AT89C51 主控芯片中去。电路连接如图 4 所示。

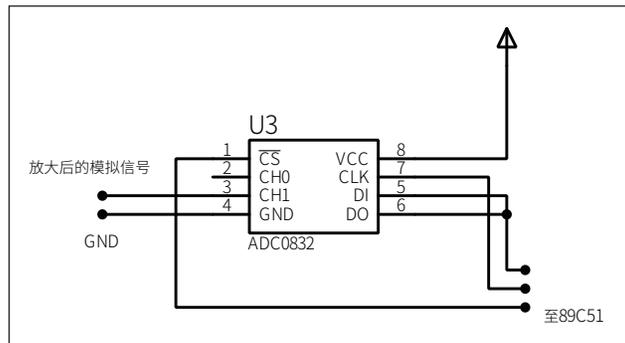


图 ADC0832 模块转换电路

正常情况下 ADC0832 与单片机的接口应为 4 条数据线，分别是 CS、CLK、DO、DI，但由于 DO 端与 DI 端在通信时并未同时有效，并与单片机的接口是双向的，所以电路设计时可以将 DO 和 DI 并联在一根数据线上使用。当 ADC0832 未工作时其 CS 输入端应为高电平，此时芯片禁用，CLK 和 DO/DI 的电平可任意。当要进行 A/D 转换时，须先将 CS 使能端置于低电平并且保持低电平直到转换完全结束。此时芯片开始转换工作，同时由处理器向芯片时钟输入端 CLK 输入时钟脉冲，DO/DI 端则使用 DI 端输入通道功能选择的数据信号。在第 1 个时钟脉冲的下沉之前 DI 端必须是高电平，表示起始信号。在第 2、3 个脉冲下沉之前 DI 端应输入 2 位数据用于选择通道功能，其功能项见表 1。

表 1

MUX Addressing :ADC0832-N Single-Ended MUX Mode			
MUX Address		Channel#	
$\overline{DI}$	ODD/SIGN	0	1
1	0	+	
1	1		+
MUX Addressing :ADC0832-N Differential MUX Mode			
MUX Address		Channel#	
$\overline{DI}$	ODD/SIGN	0	1
0	0	+	-
0	1	-	+

如表 1 所示，当此 2 位数据为“1”“0”时，只对 CH0 进行单通道转换。当 2 位数据为“1”、“1”时，只对 CH1 进行单通道转换。当 2 位数据为“0”“0”时，将 CH0 作为正输入端 IN<sub>+</sub>，CH1 作为负输入端 IN<sub>-</sub> 进行输入。

当 2 位数据为“0”“1”时，将 CH0 作为负输入端 IN-，CH1 作为正输入端 IN+ 进行输入。

到第 3 个脉冲的下沉之后 DI 端的输入电平就失去输入作用，此后 DO/DI 端则开始利用数据输出 DO 进行转换数据的读取。从第 4 个脉冲下沉开始由 DO 端输出转换数据最高位 DATA7，随后每一个脉冲下沉 DO 端输出下一位数据。直到第 11 个脉冲时发出最低位数据 DATA0，一个字节的的数据输出完成。也正是从此位开始输出下一个相反字节的数据，即从第 11 个字节的下沉输出 DATD0。随后输出 8 位数据，到第 19 个脉冲时数据输出完成，也标志着一次 A/D 转换的结束。最后将 CS 置高电平禁用芯片，直接将转换后的数据进行处理就可以了。更详细的时序说明可见图 5。

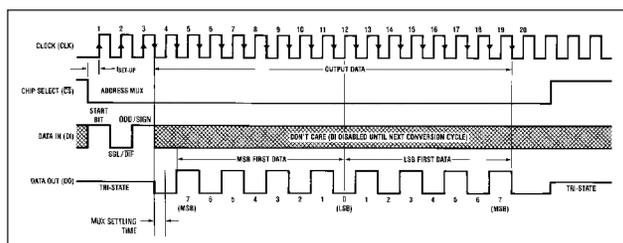


图 5 时序图

## 2.4 LCD1602 显示部分

LCD1602 是字符型液晶显示器，它的主控芯片是 HD44780 或者其他兼容芯片。能够同时显示 16x2 即 32 个字符。LCD1602 液晶显示的原理是利用液晶的物理特性，通过电压对其显示区域进行控制，即可以显示出图形。

芯片各个接口说明：

- ①：GND 为电源地。②：VCC 接 5V 电源正极。
- ③：LCD 驱动电源，也叫偏压信号。
- ④：RS 为寄存器选择，高电平 1 时选择数据寄存器、低电平 0 时选择指令寄存器。
- ⑤：RW 为读写信号线，高电平 1 时进行读操作，低电平 0 时进行写操作。
- ⑥：EN 端为使能 (ENABLE) 端，高电平 1 时读取信息，负跳变时执行指令。
- ⑦~⑭：D0~D7 为 8 位双向数据端。

DDRAM (Display Data RAM) 就是显示数据 RAM，用来寄存待显示的字符代码，共 80 个字节，其地址和屏幕的对应关系如图 6 所示。

DDRAM 相当于计算机的显存，为了在屏幕上显示字符，就把字符代码送入显存，这样该字符就可以显示在屏幕上了。同样 LCD1602 共有 80 个字节的显存，即 DDRAM。但 LCD1602 的显示屏幕只有 16x2 大小，因此，并不是所有写入 DDRAM 的字符代码都能在屏幕上显示出来，只有写在

范围内的字符才可以显示出来，写在范围外的字符不能显示出来。这样，在程序中可以利用下面的“光标或显示移动指令”使字符慢慢移动到可见的显示范围内，看到字符的移动效果。前面说了，为了在液晶屏幕上显示字符，就把字符代码送入 DDRAM。例如，如果想在屏幕左上角显示字符“A”，那么就把字符“A”的字符代码 41H 写入 DDRAM 的 00H 地址处即可。LCD1602 和 AT89C51 连接如图 7 所示。

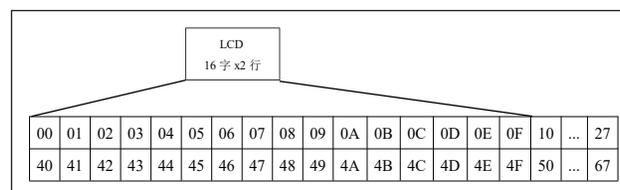


图 6 地址和屏幕对应关系图

## 2.5 矩阵键盘部分

作者采用了 MM74C922 键盘解码器，这个解码器能够自己独立地进行键盘检测、消抖，可以直接将键盘键值以四位 BCD 码输出，节省 MCU 的 IO 口。而且能自动消除按键抖动，非常方便我们使用矩阵键盘。它还能给出按键是否按下的标志，其数据线还具有三态输出的功能，便于进行总线连接。具体电路可见图 7。

## 2.6 主控部分

主控部分采用了 AT89C51 芯片，AT89C51 是一种带 4K 字节 FLASH 存储器，256 字节片内数据存储器 (00H~7FH 为片内 RAM，80H~FFH 为特殊功能寄存器 SFR)，32 个 I/O 口线，两个 16 位定时 / 计数器，5 个中断源，一个全双工串行通信口，片内振荡器及时钟电路的单片机。

P1.0~P1.2 口分别接 ADC0832 的片选使能端 CS、时钟信号端 CLK、数据输出端 DI/DO；P1.6 接 MM74C922 的输入提示端 DA；P1.7 接蜂鸣器；P0 端口接上拉电阻作 LCD0832 的 D0~D7 的数据输入端；P2.4~P2.7 依次接 MM74C922 的四位数据传输端口 A、B、C、D；P3.4~P3.7 依次接 LCD0832 的 EN、RS、RW 端。

具体连接图见图 7 所示。

## 2.7 整体电路仿真图

整个电路模型由以上几个部分共同组成，将它们连接好后如图 7 所示。

## 3 软件调试及实验效果

### 3.1 Proteus 仿真调试

在 Proteus 中选择需要的元器件，按照原理画出电路图，将各个元件放置在合适的位置，利用总线可以简化电路图，调整位置后可以得到如图 7 所示仿真电路图。

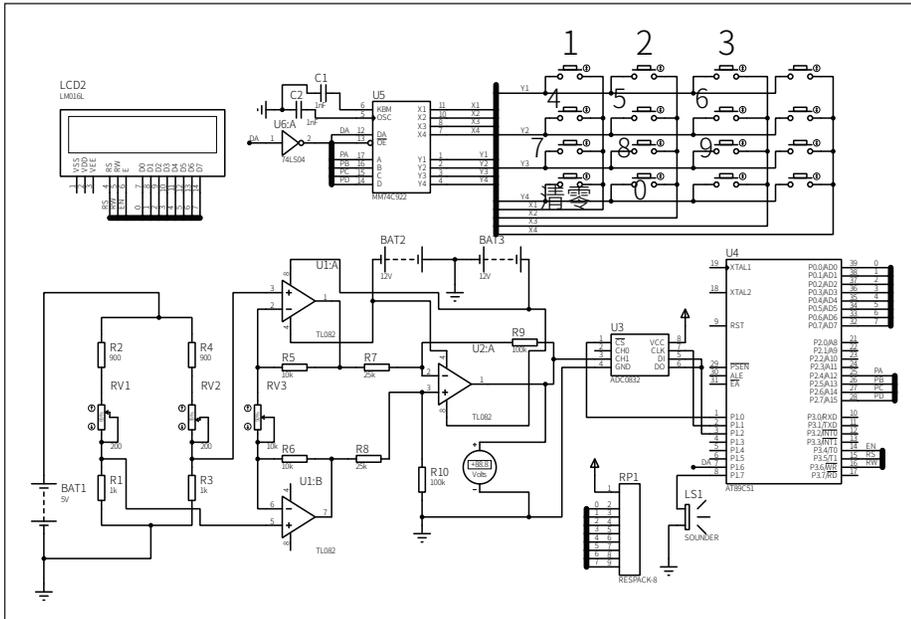


图7 系统整体电路图

### 3.2 Keil 程序编写

利用 Keil 编写程序，分别编写 LCD1602.h、ADC1602.h、MM74C922.h、delay.h 等程序，最后在 main.c 中调用函数即可。编写完成函数后，通过编译后，将会生成一个 .hex 文件，在 Proteus 中双击 AT89C51 就可以选择生成的 .hex 文件下载进单片机内，可以实现联合调试。下面为 Keil 中编写的部分主函数程序代码。

```
while(1){
    //show_Weight
    v = 5.0 * read0832() / 256 * 100;
    write1602_com(0x80 + 0x07 + 3);
    write1602_dat('0' + v/100);
    write1602_dat('.');
    write1602_dat('0' + v/10%10);
    write1602_dat('0' + v%10);
    //show_Price
    write1602_com(0x80 + 2);
    write1602_dat('0' + p[0]);
    write1602_dat('0' + p[1]);
    price=p[0]*10+p[1];
}
.....}
```

### 3.3 实验效果

在 Proteus 中，通过改变滑动变阻器的接入阻值大小，可以模拟不同重量的物品。当没有放置物品，即滑片在正中间的时候，电桥电路此时处于平衡状态，输出电压为 0；故显示为 0。此时 LCD1602 显示如图 8 所示。

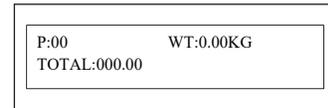


图8 LCD1602 显示图（未放置物品）

当改变左边滑动变阻器滑片位置时，例如改变至 65%，相应的右边滑动变阻器应该调至 45%，将会显示 WT: 1.50KG；再输入单价为 06（注意输入应从低位输入，此时先按 6 再按 0），通过程序计算后，总价将会在 TOTAL: 后方显示。此时 LCD1602 显示如图 9 所示。

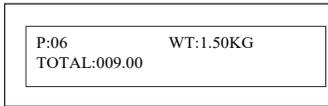


图9 LCD1602 显示图（放置物品）

称量结束后，可以通过清零按钮将输入数据清零，做好了下一次称量的准备。按下清零后回到初始状态。

### 3.4 指标情况

#### 3.4.1 灵敏度

测量电桥的输入输出特性（含放大电路），调节输入端滑动变阻器每次变化 5% 即 10Ω，得到多组数据。导入 Matlab 后画出的图像如图 10 所示。

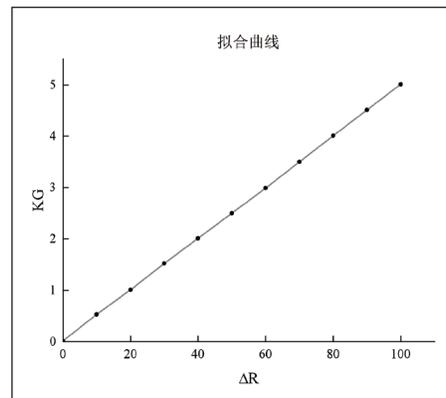


图10 特性曲线

$$\text{灵敏度约为: } K = \frac{dy}{dx} = 0.05$$

#### 3.4.2 线性度

通过拟合直线的值，如表 2 所示，再根据测得值 Y，可以计算出来它的最大偏差为： $\Delta L_{MAX} = 0.178$ 。由此还可以知道满量程  $Y_{FS} = 5$ ，所以可以计算出线性度  $\gamma_L$  为：

表 2

y1=										
0.155	0.5142	1.0129	1.5116	2.0104	2.5091	3.0078	3.5065	4.0053	4.5040	5.0027

表 3

y1-Y=										
0.0055	-0.0158	0.0029	-0.0084	0.0004	0.0091	0.0178	0.0065	-0.0047	-0.0060	-0.0073

表 4

Y-y3=										
0.0100	0.0500	0	-0.0100	0	-0.0300	-0.0700	-0.0700	-0.0500	-0.0400	0.0100

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{MAX}}{Y_{FS}} = \frac{0.178}{5} \times 100\% = 3.56\%$$

**3.4.3 回程误差**

通过正反行程测量，得到反行程数据，输入 Matlab 中可得正反行程最大误差为： $\Delta H_{MAX} = 0.0700$ 。

所以可以计算出回程误差  $\gamma_H$  为：

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{MAX}}{Y_{FS}} = \frac{0.0700}{5} \times 100\% = 1.4\%$$

**3.5 结语**

在电桥电路设计过程中，总是无法得到需要放大倍数的电压值，只修改一个参数无法满足，可以通过修改两个值共同作用从而得到需要的放大倍数；在 LCD1602 显示部分，在值的显示部分无法让其完全显示出来时，需要合理安排显

示字符的位置，让其完全显示；在总价计算的过程中，10 以内单价计算没有问题，超过 10 后，就会出现计算错误，输入 12 计算，结果却是 21 的计算结果，此时是因为输入的值存放的数组中，顺序搞错，才会出现这样的情况，更正后即可正常计算结果并显示出来；整个设计达到了电子秤的基本要求，之后还可以根据需要加上一些其他功能，例如去皮功能，存储功能等，以方便使用。

**参考文献**

\* [1] 彭茗, 王凌志, 时慧慧. 基于 STC89C52 单片机的智能电子称设计 [J]. 电子制作, 2021, No.421(11):74-75+100.  
 \* [2] 梁美丽, 王爱国, 陈立杰. 基于 Protues 仿真平台的电子称电路设计 [J]. 山西电子技术, 2019(03):6-7+16.

(上接第 94 页)

可以做到提升检测的精准速度以及速度，对中小型目标的检测精度提升效果较好。

本文后续的研究方面可以分为以下两个方面：一方面。虽然现有的小目标检测算法已经取得了一些成果，但是检测的精准度仍不够高，小目标检测和旋转目标检测方面仍是本次实验的难点；另一方面，随着实力工程的应用，模型是否能做到更好地适配硬件也变得尤为重要，也需要进一步的考虑，在考虑如何使模型具有良好检测性能的同时，降低算法的复杂程度，提高检测的效率。因此，得到更适合实际应用的新型网络是我们未来的目标。

**参考文献**

\* [1] 黄杰贤, 李迪, 叶峰等. 挠性印制电路板焊盘表面缺陷的检测 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(11): 2443-2453  
 \* [2] Rousseeuw P J, Leroy A M. Robust Regression and Outlier

Detection [M]. Wiley Press, 2003. Cs. L7: Wiley Press 2003.

\* [3] 刘建强等, 子弹表面缺陷在线检测关键技术的研究 [D]. 四川: 电子科技大学, 2013.  
 \* [4] 崔洪岩等, 基于机器视觉的弹体轮廓在线检测技术的研究 [D]. 长春: 长春理工大学, 2011.  
 \* [5] 王淑青等, 基于 YOLOv5 的瓷砖表面缺陷检测 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2021.  
 \* [6] M. Hillebrand, N. Stevanovic, B. J. Hosticka et al. High speed camera system using a CMOS image sensor[J]. Proceedings of the IEEE, 2000, Intelligent vehicles Symposium, 656-661.  
 \* [7] 曾德贤, 赵继光. CMOS 图像传感器的三种新技术 [J]. 光机电信息, 2004 (11) :14.  
 \* [8] Mendis S K, Kemeny S E, Gee RC, et al. Cmos active pixel image sensors for highly integrated image systems[J]. IEEE J. Solid-State Circuits, 1997, 32 (2) : 187-197.

# 利用筛选装置进行电子元器件检测装置设计

奚望, 周加耀

(陕西恒太电子科技有限公司, 陕西西安, 710100)

**摘要:** 通过对电子元器件进行筛选和检测, 可有效剔除不合格的电子元器件, 确保所使用的电子元器件符合质量标准, 从而提高产品的可靠性和稳定性。本文涵盖了筛选装置的结构设计、硬件设计、软件设计等方面。在筛选装置的结构设计中, 设计了装置的组成模块。在硬件设计方面, 考虑到功能需求, 对电路板和连接器中电压控制、电路放大、电路滤波和故障诊断与报警等功能做进一步设计实现。最后, 通过集成测试验证了装置设计的有效性和准确性。通过该设计, 旨在提供一个可靠的电子元器件检测装置, 提高产品质量和生产效率。

**关键词:** 电子元器件; 装置检测; 装置筛选

## 0 引言

电子元器件作为现代电子产品的核心组成部分, 其质量和性能对产品的可靠性和稳定性至关重要<sup>[1]</sup>。然而, 在电子元器件制造过程中, 由于生产工艺、材料差异以及制造设备的变化等因素, 不可避免地存在一定数量的不合格元器件。此类不合格元器件, 容易导致产品故障、性能下降等问题, 甚至会危害到用户的安全。为解决上述问题, 利用筛选装置进行电子元器件的检测和筛选, 可保障产品质量和性能。通过对电子元器件进行分拣和筛选, 剔除不合格的元器件, 并筛选出符合要求的元器件, 能够保障产品的可靠性和稳定性<sup>[2]</sup>。本文通过设计利用筛选装置进行电子元器件检测的装置, 探索了利用现代技术方法提高元器件检测精度和筛选效率的有效途径。从筛选装置的结构设计入手, 设计合理的组成模块和连接方式, 使得整个装置具有良好的稳定性和可靠性。同时, 通过集成测试的验证, 评估了该装置的性能和有效性, 以为电子制造企业提供一种可靠的元器件检测解决方案。

## 1 筛选装置结构设计

利用筛选装置进行电子元器件检测装置由输入层、控制层和输出层等多个部分构成。筛选装置设计总结构见图 1。

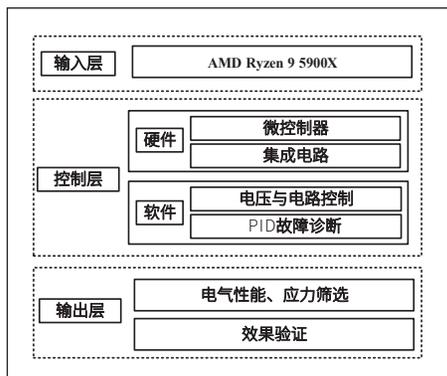


图1 筛选装置设计结构图

输入层是与检测装置进行交互的数据界面, 通过该界面用户可以输入检测要求、参数设置等, 并获取检测结果。

控制层是实际执行电子元器件检测的核心部分, 主要包括传感器、控制器和执行器等设备。传感器用于检测元器件的物理特性或电气特性, 如尺寸、电阻、电容等<sup>[3]</sup>。控制器用于控制筛选装置的动作和参数。执行器根据控制信号移动、旋转或操作对装置进行筛选。输出层可以显示检测结果、报警信息或其他相关信息。各层级通过与其他部分的接口进行通信, 获取传感器数据、发送控制指令并处理检测结果。输入层计算机选用AMD Ryzen 9 5900X, 其具备高性能的处理器、足够的存储容量和丰富的输入输出接口。控制层包括硬件和软件两个部分。硬件控制部分由微控制器、集成电路芯片等组成, 负责连接服务器与其他部分, 并执行各种操作和控制指令。软件控制部分则通过控制电压电路并使用PID控制算法实现设备的自动化控制和监控故障问题。供电系统提供电源给整个检测装置, 以确保各个部分正常工作, 稳定输出所需的电压和电流, 为检测装置提供过载保护功能。

## 2 硬件设计

利用筛选装置进行元器件检测的装置设计组成见图 2。

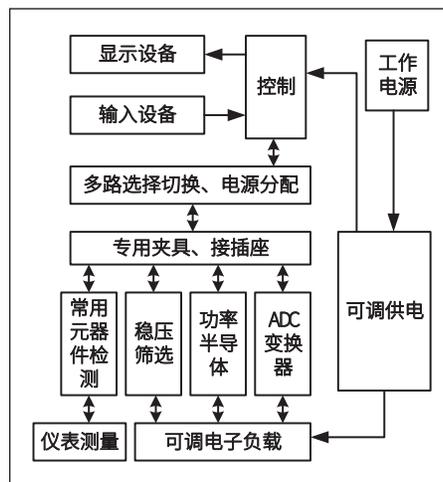


图2 元器件筛选装置组成图

主处理器 Intel Core i7-10700K 是筛选装置进行元器件检测的核心, 负责执行指令和处理数据, Intel Core i7-10700K 拥有 16 线程, 可以同时执行多个任务。对于元器

件检测装置而言,意味着可以并行处理多路输入信号、数据分析和故障判断等任务,提高系统效率和响应速度。存储器采用 DDR4-3200,用于存储程序代码、数据和临时变量。I/O 接口用于与外部设备进行数据交互,包括 GPIO、ADC/DAC 和通信接口。计数器 74LS193 用于计时、延时和频率测量等功能。74LS193 计数器具有多种工作模式,可以实现不同的计数方式和功能。它可以作为二进制、BCD 和十进制计数器,可编程预置计数器以及频率分频器等。其在使用期间非常灵活,能够适应不同需求的计时、延时和频率测量应用。中断控制器 8259A 处理外部中断信号,实现对外部事件的响应。集成电路中,电源管理单元负责管理电源供应和控制低功耗模式。装置采用 MPU-6050 传感器作为外部设备,并将其连接到微控制器,MPU-6050 集成了三轴加速度计和三轴陀螺仪。它能够同时测量装置的加速度、角速度和倾斜角度等运动参数,为筛选装置提供全面的运动监测功能。以上部分相互协作,构成了一个完整的微控制器系统。根据装置应用需求和功能要求,设计选择了 ATmega328P 微控制器芯片,并在结构设计图中进行布局 and 连接,以实现装置检测电子元器件所需的功能和性能。

### 3 软件设计

#### 3.1 电压控制

根据待检测的电子元器件的规格和特性,设计电池的低电压阈值为 3.5V,此时,使用一个电压分压电路将电池电压降低到可测量范围,再通过 ADC 将电压转换为数字信号。电压分压公式见式 (1)。

$$V_{out} = V_{in} \cdot \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad \text{式 (1)}$$

式中,  $V_{in}$  为输入电压 (电池电压),  $V_{out}$  为输出电压 (用于 ADC 输入的测量电压),  $R_1$  为上方电阻的阻值,  $R_2$  为下方电阻的阻值。ADC 转换公式见式 (2)。

$$D_V = V_{in} \cdot \frac{ADC_{MV}}{V_{ref}} \quad \text{式 (2)}$$

式中,  $V_{in}$  为输入电压 (经过电压分压电路得到的测量电压),  $D_V$  为 ADC 转换后的数字值,  $ADC_{MV}$  为 ADC 的最大可表示值,  $V_{ref}$  为 ADC 的参考电压。得出电压值后,将采样得到的数字电压信号与设定的电压阈值进行比较。如果电压小于等于 3.5V,则认为电池电压正常;否则,认为电池电压低于阈值,当检测到电池电压低于设定阈值时,触发报警机制。

#### 3.2 电路放大

在设计利用筛选装置进行电子元器件检测装置的过程

中,设计电路放大是为了增强信号的强度或者去除不需要的频率成分,以便更好地进行后续的信号处理和判断<sup>[4]</sup>。电路放大公式见式 (3)。

$$V_{out} = V_{in} \cdot A \quad \text{式 (3)}$$

式中,  $V_{out}$  为输出电压,  $V_{in}$  为输入电压,  $A$  为放大器的增益。假设在利用筛选装置对电子元器件进行检测期间,输入信号需放大 2 倍,则增益  $A$  为 2,放大器的输出电压则是输入电压的两倍。

#### 3.3 电路滤波

设计电路滤波的目的是去除或减少信号中的不需要的频率成分,使得输出信号更加纯净、稳定和符合需求,并保留需要的信号成分<sup>[5]</sup>。滤波器传递函数计算公式见式 (4)。

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{1}{(1 + j\omega / \omega_c)} \quad \text{式 (4)}$$

式中,  $V_{out}$  为输出电压,  $V_{in}$  为输入电压,  $\omega$  为频率,  $\omega_c$  为滤波器的截止角频率。通过选择合适的截止频率,可以控制滤波器的频率响应,只保留低于截止频率的信号成分,从而实现对高频信号的滤除。在滤波器设计中,通过调整截止频率的大小,可以决定滤波器的通带和阻带范围。对于低通滤波器,信号的幅度降低到滤波器增益的一半比例,低于截止频率的信号将通过滤波器被保留,而高于截止频率的信号则将被滤除。

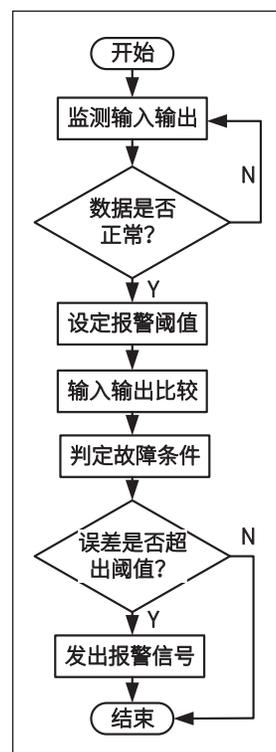


图3 PID故障与诊断报警的实现流程图

### ■ 3.4 PID 故障诊断与报警

在 PID 控制中,故障诊断和报警是其主要功能,在筛选装置出现异常或故障时,利用 PID 故障检测法,能够及时检测、诊断并提供相应的报警信号。PID 故障诊断与报警的实现流程见图 3。

开始节点表示开始执行 PID 故障诊断与报警的流程。随后,开始监测 PID 控制器的输入和输出信号,通过设定报警阈值,可比较输入和输出信号之间的差异。报警阈值的具体数值,则根据控制对象的特性、目标设定和安全性要求等进行确定。接下来,将输入信号与输出信号进行比较,通过计算误差检查两者之间的差异。误差可以是输入信号与输出信号之间的偏差,通过判断误差是否超过预设的报警阈值,可以确定是否存在故障或异常情况。如果误差超过阈值,则说明存在故障,并进入发出报警信号的步骤。如果误差未超过阈值,则说明系统正常,直接结束流程。

## 4 集成测试

### ■ 4.1 测试准备

通过利用筛选装置对 ECAP1C0G331 电容器进行检测,在确定 ECAP1C0G331 电容器的外观、型号和标识等内容均未发现问题后,对其进行电气性能和应力筛选,以确保其质量和可靠性。针对电气性能问题,采用容量测量的方法进行测试。首先,使用电容测试仪或对 ECAP1C0G331 电容器的实际容量进行测量,并与规定容量值进行比较。随后,通过将 ECAP1C0G331 电容器连接到电压源和负载电阻,并施加规定的额定电压,观察电容器是否能够正常承受并稳定工作。应力筛选测试的目的在于研究电容器在特定应力环境下的可靠性和稳定性。通过将电容器置于温度循环测试设备中,在规定的温度范围内进行循环变化。设置温度变化周期为  $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ,在每个温度点上,观察电容器的电气性能,如容量和损耗因素,以评估其性能表现。

### ■ 4.2 测试结果

利用筛选装置对 ECAP1C0G331 电容器进行容量测量的结果为  $328\mu\text{F}$ ,与规定容量值  $330\mu\text{F}$  有轻微差异。在电压耐受测试中,测试结果显示通过,表明电容器能够正常承受规定的额定电压。在应力筛选测试中,其温度变化周期见表 1。

表1 温度周期变化测试数据

测试温度( $^{\circ}\text{C}$ )	测试数值( $\mu\text{F}$ )	一致性(%)
-40	325	99.08%
-10	330	99.39%
25	329	99.69%
60	327	99.69%
85	326	99.39%

由表 1 测试数据可知,随着温度的升高,电容器的电容值逐渐减小。反映出电容器的温度特性即随着温度的变化,电容器的电容值也会相应变化。在  $-40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  的温度范围内,电容值变化不是非常显著。从  $325\mu\text{F} \sim 327\mu\text{F}$  的变化范围相对较小,说明电容器在该温度范围区间的电容值变化较小,具有较好的稳定性。综合来看,在整个温度测试范围内,电容器的一致性都相对较高,均超过 99%。意味着在不同温度下进行循环测试过程中,电容器的测试数值变化较小,该筛选装置具有较好的稳定性。

## 5 结束语

该筛选装置考虑了不同类型的电子元器件、筛选标准和测试需求,装置能够根据预设的筛选标准,对电子元器件进行分拣和筛选,剔除不合格的元器件,并保留符合要求的元器件。此外,筛选装置在执行筛选过程中,能够保持稳定的性能和准确的判别能力,一定程度上能够为电子制造企业提供可靠的元器件检测解决方案。通过对该筛选装置进行集成测试,验证了该装置的稳定性和有效性。装置能够准确判断电子元器件的质量及性能,并及时报警识别故障,有助于提高产品质量、降低故障率。

### 参考文献

- \* [1] 刘冬喜,陈宽勇.面向电子元器件老化筛选设备的设计[J].电子工业专用设备,2022,51(03):69-72.
- \* [2] 杨恒,李静.军用电子元器件检测筛选中可视化技术的应用[J].电子测试,2022,36(06):31-33+7.
- \* [3] 彭雨,谈莉斌,余晓流.基于机器视觉的细长产品表面缺陷检测设备研究[J].机械制造与自动化,2021,50(04):166-169+173.
- \* [4] 张洛瑞,严志华.电子元器件检测中的问题及其解决方式研究[J].电子制作,2021(10):52-54.
- \* [5] 郝桂青,李健飞.智能化霍尔开关传感器高温筛选检测装置的设计[J].石油管材与仪器,2020,6(01):15-18.

# 基于单片机的纸张检测设计

徐昊, 何远纲

(重庆电力高等专科学校, 重庆, 400053)

**基金项目:** 重庆电力高等专科学校校级科研项目; 项目编号: D-KY202306。

**摘要:** 在纸张相关行业的实际生产环境中, 为了实现对大量纸张的快速、实时验证, 印刷相关企业往往需要在短时间内准确地实时检测大量纸张数量。传统的人工检测消耗时间长, 速度也会随着时间流逝逐渐慢下来, 长时间工作还会出现视觉疲劳无法保证测量的准确性。我们利用STM32单片机系统作为主要核心测量控制元件, 振荡器由NE555芯片组成作为检测模块, 连接两块板以感受纸张的变化量。将采集到的电容值录入STM32单片机中通过程序对数据信息进行处理并进行相应计算, 就可以获得纸张的数量, 并通过OLED显示模块显示纸张量。该检测装置噪音低, 误差小, 自动化方便。

**关键词:** STM32; NE555; OLED显示

## 0 引言

随着现代社会科技的不断发展, 印刷业和造纸业衍生出许多的行业。出版、包装作为加工服务行业, 具有一定的文化产业属性, 在现代文化的建设中发挥着重要作用, 是经济组成的重要部分。无论是包装用纸、印刷用纸、文化用纸还是生活用纸都需要

经过工厂加工然后才能进入市场被人们所购买使用。由此可见随着各种纸张用量的增长, 纸张测量的重要性也随之体现。纸张数量的检测跟企业经济效益密切相关。我们都知道采用人工检测会出现很多问题比如为了确保工作量的完成需要花费大量的时间检测, 同时也使长时间从事这一工作的员工出现视觉疲劳、检测速度下降等问题。那么准确性就必然会受到影响。这种速度慢、效率低的检测方式会让生产厂家流失许多订单经济效益就会下降。为了在实现自动化需求的同时降低纸张检测过程中的噪声。因此设计出噪声小、误差小、方便快捷的自动化纸张检测装置。

## 1 系统设计

本仪器设计主要由等效电容电路、控制电路、显示电路和单片机组成。其中等效电容电路利用了两块极板之间电容值会随着放入的纸张数量的不同而相应发生的变化。该测量的装置是用STM32单片机系统作为主要核心测量控制元件, 由NE555芯片构成振荡器作为检测模块, 连接两个极板来感应纸张数量变化。NE555振荡器输出一个矩形波, 该输出波形会随着极板内纸张数量的改变而改变。由纸张数量发生改变后(极板中间的介质发生改变)而引起产生的极板电容参数变化信号通过按键将电容参数变化录入STM32单片机中通过程序运算处理后并根据此计算得到纸张数量, 通过显示模块显示测量出的纸张数量。系统的设

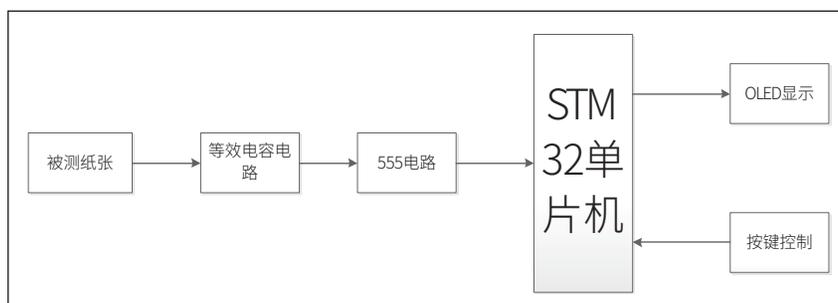


图1 系统设计框图

计总框图如图1所示。

## 2 硬件设计

### 2.1 主控模块

本纸张测量装置需要能准确测量出纸张数量, 这就对于运算能力有一定的要求, 主要控制芯片采用低成本、高精度、微型化的STM32F103C6T6单片机。这个单片机处理器的最大工作频率可达72MHz, 运算能力比较好。主控模块使用普通的USB接口供电, 由于数据线一般都是5V电源, 但是一般单片机都是3.3V供电所以主控模块采用STM32F103C6T6单片机自带降压电路可以将5V电源输入转变为3.3V稳定电压, 不会因为电压过高烧坏芯片。

### 2.2 NE555 检测模块

在此次设计中, 使用NE555定时器和外部元件两个电阻器(R1和R2)、一个二极管(R3)和一个电容器(C1)组成一个振荡电路, 用于产生脉冲波形。由于该电路没有稳定状态, 只有两个瞬态恒定状态, 因此电路不需要外部连接其他触发信号。平行板的一个极板接NE555定时器的2脚和6脚, 另一个极板接地; NE555的7脚和6之间接200k的电阻和二极管1N5817; 8脚和4脚连在一起; 8脚(4脚)经200k电阻和7脚相连; 1脚接地、5脚通过0.01 $\mu$ F的电容接地; 3脚输出矩形波<sup>[2]</sup>, 该检测模块会根据不同的纸张数量从而产生不同的波形。

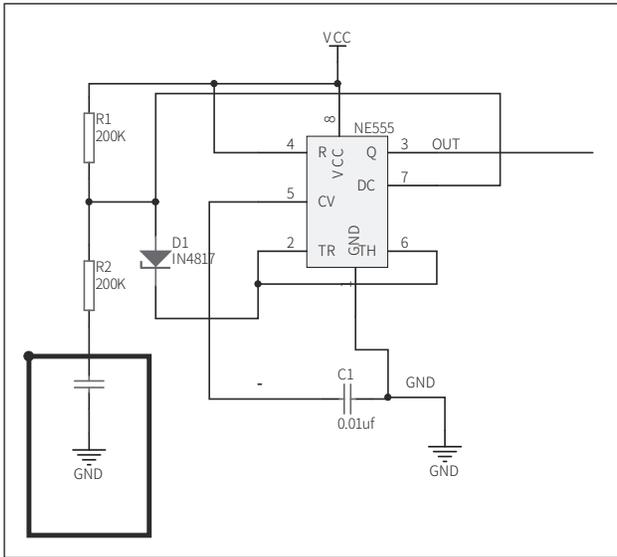


图2 NE555 模块电路

### 2.3 显示模块

我们使用的显示模块是一个由 SSD1306 芯片驱动的 0.96 英寸 OLED 屏幕。我们所用的显示模块是四线的 OLED 模块。四根导线包括 VCC 电源输入引脚、GND 接地引脚、SCL 时钟输入引脚和 SDA 数据输入 / 响应输出引脚，SCL 连接单片机的 PB6 脚，SDA 连接单片机的 PB7 脚。四线 OLED 用的是 I<sup>2</sup>C 协议。

I<sup>2</sup>C 是串行同步通讯总线协议。I<sup>2</sup>C 串行总线含 2 根信号线：串行数据线 SDA 和串行时钟线 SCL，两根线都是双向的，输出电路用于将数据传输到总线，输入电路用于从总线接收数据。执行数据传输时主机和从机的关系不恒定。主机用于启动总线传输数据，产生 START 起始条件和 STOP 停止条件，发送设备地址并产生时钟信号<sup>[2]</sup>。当 SCL 稳定在高电平时，SDA 从高变低生成起始位，而从低变高生成停止位。启动位和停止位均由主设备 I<sup>2</sup>C 生成。选择从设备时，如果从设备使用 7 位地址，则传输过程开始之前，主设备必须发送 1 字节地址信息。前 7 位是设备地址，最后 1 位是读写标志。之后从 MSB 开始传输数据每次都是 1 字节。每个字节传完后，在 SCL 第 9 个上升沿到来之前，接收方应该发出 1 个 ACK 位。SCL 时钟脉冲由 I<sup>2</sup>C 主控方发出，在第 8 个时钟周期后，主控方会释放 SDA。时序图如图 3 所示。

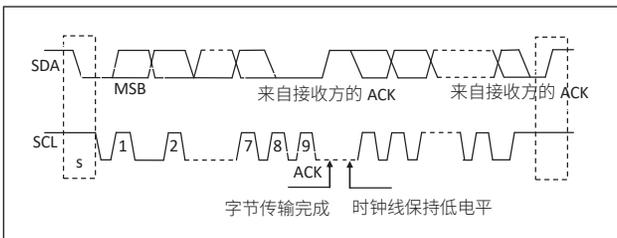


图3 I<sup>2</sup>C 协议时序图

## 3 程序设计

由 NE555 定时器和电阻、金属极板及纸张构成的电容组成一个多谐振荡器输出矩形波，单片机通过测量矩形波周期得到频率，通过公式的计算进而得到电容值参数，计算出最终的纸张数目。电容计算公式如下：

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi k d} \quad \text{式 (1)}$$

其中  $C$  为电容值、 $\epsilon$  为极板间的介电常数、 $k$  为静电力常数、 $d$  为极板间的距离<sup>[5]</sup>。纸张的变化改变了  $d$ （极板间的距离）因为放的纸张数量的不同，造成了极板间距离的变动。连接电源后，首先需要进行校准，按下按键 1 进入校准模式，把 A4 纸放进检测装置里面，获取电容并且录入每增加一张纸而产生的数据，数据录入完成后，按下按键 2 开始测量程序，通过查表得到当前纸张数量，再通过屏幕显示纸张数量。程序设计采用了 C 语言编写，便于修改和扩充，而且 C 语言编译可以自动完成变量的存储单元分配。编译软件采用了 Keil  $\mu$ Vision5 创建 HEX 文件。

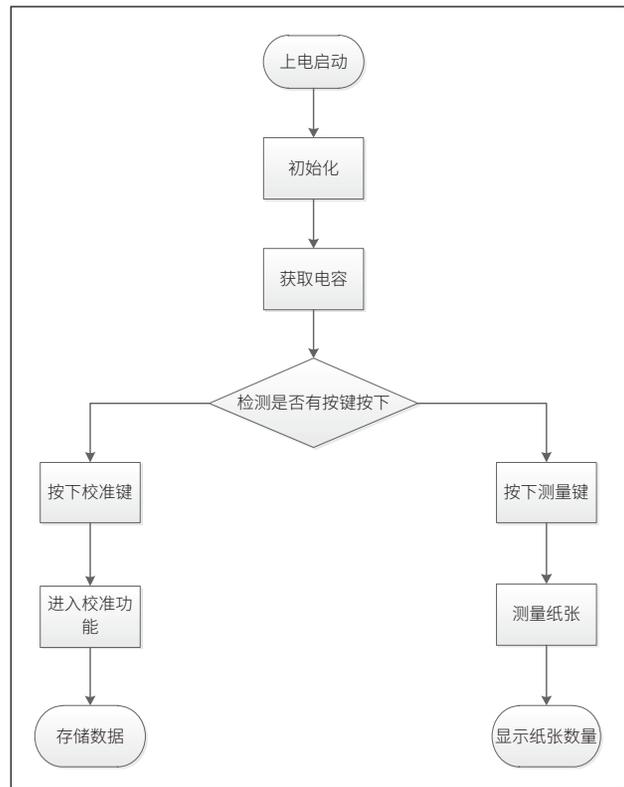


图4 程序流程图

## 4 系统调试

在本套设计方案整个过程调试中，需要不断地重复测试进行大量数据的采样运算以及各种精确数值计算，才能始终确保所计算出纸张数量结果的绝对正确性。最开始所用的测

量模型是木板做成的木盒进行测量,当发现测量不准确时,想到的办法是在电容模型上放置重物,使模型可以将纸张压得更准确。但是因为录入数据的时候,每次放置重物的位置不一样,而重物并不好固定在模型上,造成了每一次测量出来的数据都不准确,不能更好地测量出具体的纸张数目。后来认为是模型中的两根导线突出,使两块木板不能很好地闭合,想到了在木板上挖出可以放置导线的沟渠,但是在测量过程中木板还是存在不能完全闭合这个问题,测量不准纸张数目。进而改变测量模型,采用了塑料盒模型,利用塑料盒的上下盖子,来使极板闭合在上方盖子上放一块木板重物使模型固定住,经过了多次的模型改进与搭建,最终可以具体地检测出纸张的数目。



图5 系统调试实物图

## 5 误差分析

表1 测量结果表

实际纸张 (单位:张)	第一次测量 (单位:张)	误差	第二次测量 (单位:张)	误差
1	1	0	1	0
2	3	1	2	0
3	3	0	3	0
4	4-5	1	4	0
5	5	0	5	0
6	5-6	1	6	0
7	6-8	1	7	0
8	8	0	8	0
9	8-10	0	9	0
10	9-10	1	10	0

由表1可以看出第一次测量不是很准确无法达到理想效果,这是因为第一次测量的时候采用木板做成的木盒进行测量,由于两块木板之间始终存在缝隙,导致两块极板始终不能完全严丝合缝。而且因为始终存在间隙,极板之间所夹带的空气也随着纸张数量增加逐渐变得越来越多,所以在

每一次录入数据的时候,都会选择在上面加重物尽量将里面纸张的空气排出,但试过很多不同的重物,由于在挤压纸后纸张压力增加对纸张介电常数值的影响的相对较大,都不能准确地测量具体数值。显示屏上显示的数量始终都在两个数值之间跳动,变化非常明显,并不能达到很好的效果。后面老师又给我们建议,在木板上修沟渠放导线减小导线对测量的影响,还是始终无法达到我们想要的效果,所以我们认为应该把导线放置在电容模型外,这样测量的时候导线是在极板外面的不会因为纸张放下而导致测量不准,产生误差。第二次测量我们就使用了塑料盒模型,把极板的一半的都放置在塑料盒外面,看看会不会使纸张测量得更加精确,因为有了之前失败的案例,加上误差分析,第二次塑料盒模型果然并没有出现之前无法完全闭合的问题,所以我们就测量出来了具体的纸张测量数目。

## 6 总结

对于印刷、造纸、包装等许多行业同样需要进行大量准确的自动清算点的纸张,而鉴于人工检测为了确保工作量的完成需要花费大量的时间检测,同时也使长期从事这一工作的员工出现视觉疲劳、检测速度下降等问题。在此基础上我们设计制作出了一种高效且准确可靠的自动化的纸张测量装置,该测量装置也是完全基于STM32单片机,该测量装置是可以快速而且准确地实时显示计算出装置当前自动放置的纸张数量。测试实验结果均表明,本系列纸张计数检测装置能够快速准确地测量纸张,解决人工检测存在的问题,提高检测效率。该检测装置具有结构简单、生产方便、价格便宜等优点。该装置不足之处在于断电后会自动复位下次再次使用需要重新录入数据。

### 参考文献

- \* [1] 安晓莉. 基于单片机的纸张计数装置的设计[J]. 微型电脑应用, 2021,37(05):168-169+173.
- \* [2] 王芬芬, 冯海英, 丁柯. 一种兼容SMBus协议的I2C总线控制器的设计[J]. 电子与封装, 2018,18(09):20-25+32.
- \* [3] 马庆修, 冯泰淇, 陈春有, 韦全生, 常亚玲. 基于STM32单片机的纸张计数装置设计[J]. 玉林师范学院学报, 2020,41(03):32-35.
- \* [4] 李红. 基于STC89C52单片机的纸张计数显示装置设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2019,31(22):39-41.
- \* [5] 陈蕊. 基于STM32F103的纸张计数显示装置的设计[J]. 普洱学院学报, 2019,35(06):42-44.

# 电子元器件老炼二次筛选质量控制方法探究

詹家强

(天津七一二通信广播股份有限公司, 天津, 300000)

**摘要:** 随着我国经济发展的速度不断加快, 电子产品的使用范围越来越广, 已经成为人们日常生活中不可缺少的一个重要部分。电子元器件是电子产品中最主要的一部分, 它的好坏直接关系到它的使用寿命与服务品质。为了提高产品的合格率, 应当重视对其质量的提升。通常, 所有的电子元器件在投入使用之前都需要进行二次筛选, 以保证其质量得到有效地控制, 从而提升产品使用的可行性。鉴于此, 本研究将以电子元器件为研究对象, 结合实际的实验, 从筛选试验方法、目的、原则三个方面探讨电子元器件老炼二次筛选质量控制的内涵, 并从电功率老炼、电参数测试以及失效防止三个方面提出针对性的二次筛选质量控制方法, 实验结果显示, 将上述几种质量控制方式应用于电子元器件筛选中具有较好的效果, 可以提升质量控制的效果, 提升电子元器件的使用寿命。

**关键词:** 电子元器件; 老炼; 二次筛选; 质量控制; 方法

## 0 引言

二次筛选主要是指在一次筛选中, 当一次筛选的内容与用户的实际使用发生了矛盾时由元件使用者为主, 并根据顾客的实际使用需要对其进行检查, 然后再对其进行筛选。二次筛可有效地剔除因材料和工艺等原因引起的不合格产品; 按使用应力、使用环境条件排除不合格产品; 发现并防止批次内不合格的电子元件混入样板产品中。排除早期失效的零件可确保所购零件的品质一致性及其可靠性<sup>[1]</sup>。电子元器件采用“一次筛选”“二次筛选”其作用与测试法基本一致, 不同之处在于“二次筛选”为“一次筛选”的再精简。“二次筛选”仅能改善电子元器件的使用可靠性, 而不能改善元件的内在可靠性, 所以, 在选用元件时仍应以整机和设备的品质和可靠性为依据选择针对性的质量控制方法, 选择出高品质的电子元器件, 满足使用者的实际使用需求。

## 1 电子元器件二次筛选的应用范围

电子元器件在加工和生产后生产单位需要综合元器件的实际使用需求对其进行初步的筛选, 减少不合格产品的流入。电子元器件二次筛选实质上是一种对元件品质和性能的筛选测试, 在这个阶段中可以对早期故障的电气元件进行有效地筛选, 从而保证整体工作的可靠性。总体而言, 二次筛选具有更广泛的适用范围, 主要表现为以下几个方面。第一, 电子元器件通过第一轮筛选后, 如果用户希望对其品质有更高的保证, 则会进行第二次筛选。第二, 有些零件制造商在制造出来后并没有对零件的性能进行检查, 这种情况下必须强化第二遍的检查, 才能确保零件的使用性能。第三, 如果使用者对筛查结果有疑问, 可以在加强监管的情况下重新进行筛查。二次筛选的测试工作一般都是由整机研发方或者其授权的生产单位和电子元器件厂来进行, 具体的工作就是根据一次筛选的标准对早期失效的

器件进行更高的品质检查, 减少不合格的产品流入市场, 提升产品使用的整体质量<sup>[2]</sup>。

## 2 电子元器件二次筛选方法及目的的设计

### 2.1 电子元器件二次筛选方法

二次筛选可分为常规筛查和特定环境筛查(如耐辐照、盐雾等), 其中常规筛查方式包括: 第一, 筛查。筛查按照检查方式的不同可以采用镜检、红外筛查、X射线筛查等, 红外筛查可排除体内或表层存在较大热损伤的元件, 而X射线则可检测外壳内部是否存在异物及装片、焊接或封装时产生的质量问题和晶片的裂缝。第二, 严格筛选。用于解决管道、壳体及密封工艺中出现的裂纹、微小漏孔、气孔及密封不良等问题。第三, 对外部压力进行甄别。例如: 振动加速、撞击加速、离心加速、温度循环和温度冲击。第四, 筛选寿命。常用的有高温贮存、低温贮存、陈化筛选等。第五, 电气性能的筛选<sup>[3]</sup>。

### 2.2 电子元器件二次筛选的目的

在进行电子元器件二次筛选前, 供方与需方要依据相关的国家标准、军工等相关标准等确定二次筛选的条件及技术要求, 并依据产品总体规格的规定选取测试项目。本研究介绍了GJB360A-96《电子及电气元件试验方法<sup>[4]</sup>》中有关电阻、电容、电感、连接器、开关、继电器、变压器等电子和电子元件的测试方法和适用范围。GJB128-98《半导体分立器件试验方法》主要是用于军事领域的各类离散器件; GJB128-97《微电子器件试验方法和程序》主要是用于微电子相关设备的检测。在电子元器件二次筛选过程中不得随意变更筛选测试标准, 对于静电敏感元件在选用和试验时, 必须按照相关的规范做好对应的防静电处理。

### 2.3 电子元器件二次筛选应力确定的原则

电子元器件二次筛选实验所需的应力是非破坏性的, 也就是说, 筛选过程中不会对制品的质量和可靠性造成影响, 但是, 测试应力也不能太小, 盈利太小可能导致筛选的质量

不达标<sup>[5]</sup>。原则上,要根据相关规范确定筛查项目及应力条件。在选取筛选力时,应遵循以下几个原则。第一,选用能够诱发早期破坏的应力,依据各设备所掌握的资料和破坏机制确定最优应力。第二,筛查应力的目标是能够诱发早期故障,以便尽早发现设备中的各类隐患和缺陷。第三,屏蔽应力不应该导致普通设备故障。第四,消除筛分应力后不能在装置中留有残留应力,也不能对装置的寿命产生影响。第五,应力甄别测试的期限应当以能够充分地暴露出较小的缺陷为原则。综合当前我国电子元器件二次筛选应力确定中 IC 中的主要筛选项目与缺陷之间的关联,具体见表 1。

表1 主要筛选项目与缺陷之间的关联

常见缺陷	镜检	非破坏性键合拉力	检漏	恒定加速度	进行冲击	变频振动	振动疲劳	温度循环	湿热试验	高温老炼
可动电荷										√
反型层沟道通道										√
键合松动或键合断开	√	√		√	√	√	√	√		√
键合强度不能达到标准要求		√								
键合位置不当	√	√		√	√	√	√	√		√
芯片与管座连接不好	√	√		√	√	√	√	√		√
布线缺陷	√			√	√	√	√	√		
金属化缺陷	√									√
氧化层缺陷	√									√
芯片裂纹	√			√	√	√	√	√	√	√
装配缺陷	√			√	√	√	√	√		√
内部残存可动多余物	√							√	√	
管壳缺陷			√	√	√	√	√	√		

### 3 电子元器件老炼二次筛选中工艺质量的控制方法

#### 3.1 电功率老炼过程的质量控制方法

所谓电功率老炼就是在一定的温度下对元件施加一定的电应力,从而使元件中存在的一些潜在的缺陷得以提早曝光。通常情况下,分立元件在室温下成熟,集成电路在高温下成熟,再经过高温成熟即高温成熟,该过程是一种加速筛选,可以将早期故障排除在外。功率老化方法更接近于设备的真实工作状况,因此被公认为最高效的筛选方法。在电功率老炼工艺中主要包括:电压、电流、温度、时间等因素在内。在质量控制过程中如果出现操作不当,如:过高的电流、过高的电压应力等都会给电子元器件带来不必要的损坏,还会带来新的故障因素,造成很大的安全隐患;若电流或电压应力太低,则不能有效地反映出元件的可靠性,因而不能有效

地排除有潜在缺陷的元件,同时其筛查结果也将大打折扣<sup>[6]</sup>。所以,对电子元器件功率老炼过程中的工艺参数进行合理的选取和控制具有十分重要的意义。

关于电子元器件老化的问题,当前整个半导体行业都持有不同的观点。与其他产品类似,部件也会因各种原因发生故障,老化过程中,通过超载运行来启动缺陷,从而加快缺陷的曝光速度,加快了早期失效事件的发生。图 1 表示的是一条关于电子元器件的生命周期的浴盆曲线图。若全部按室温、额定功率 1000 小时进行测试,则不可能也很难完成。通过实验结果表明,升高时效温度可以加快器件的过早失效。图 2 为电子元器件故障活化能量、故障时间、温度以及故障活化能之间的关系。

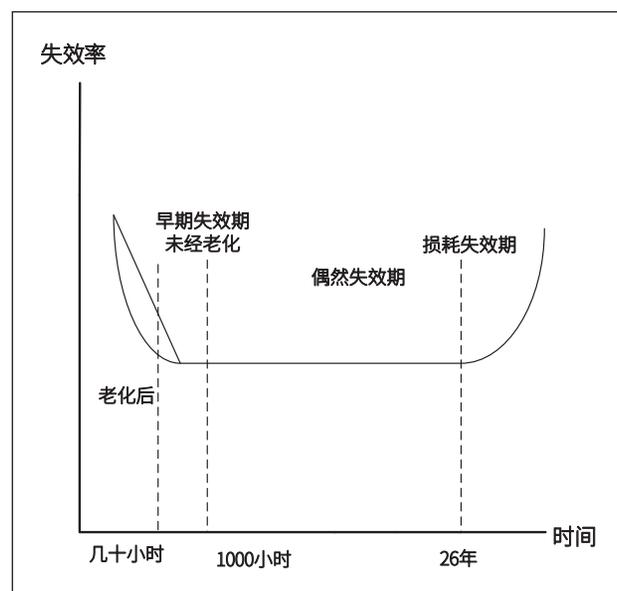


图1 电子元器件生命周期的浴盆曲线图

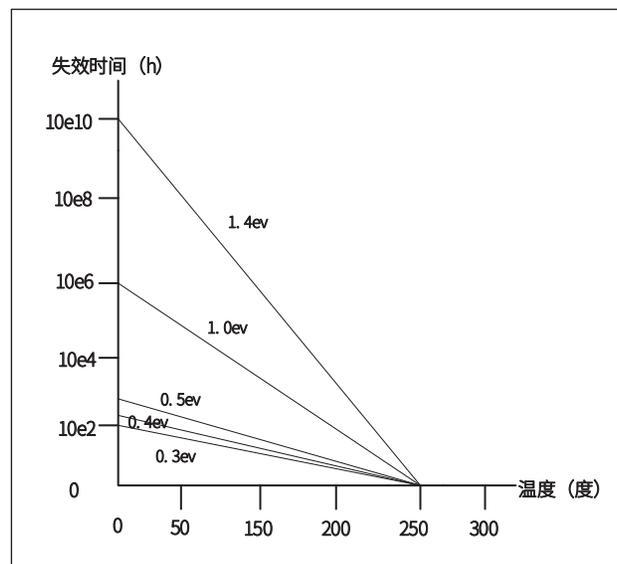


图2 失效活化能关系图

通过图 2 曲线参数的走向可以看出,当温度为 0.5 eV,温度为 50°C 时需要 1000 小时,而当温度为 125°C 时仅需要 30 小时,则会导致“早期失效”,而对于故障活化能为 0.5 eV 的缺陷器件则会出现“早期失效”。该曲线走向为半导体元件进行高温时效筛选提供了理论基础。

在对元件的老化试验中发现,一些通过老化试验的装置在产品的调试中仍然会出现故障,这些装置的早期故障在筛查时不会显现,老的离散装置要按额定功率老炼,出现问题后经过多次的分析和试验,比如,通过延长老化时间、增大老化功率等方法使其达到额定功率 1.2 倍,从而更好地将早期失效的器件剔除,从而减少后续装置的故障发生率。因此,针对电功率老炼过程的质量控制方法具体可以从以下几个方面进行。第一,老炼二次筛查之前必须对技术条件进行严格的控制,并对测试电压和电流等有关参数进行科学设计。第二,全面检查老炼所需要的设备和条件,并严格按照测试的操作规程进行。第三,检查有无接地、短路等问题,特别是要确认接线夹等的安装有没有松动,有没有安装极性,如有这种情况不仅会影响筛条的品质,也会有设备报废的危险。第四,为了防止外界因素对设备的外观质量产生影响,测试时要小心,不要使用太大的力,否则会对设备产生机械损坏。

### ■ 3.2 电参数测试的质量控制方法

第一,电气参数的检测要求在苛刻的环境条件下进行,尽量控制其温度在 22°C~28°C 之间,湿度在 50%~70% 之间,大气压为 90kPa~106 kPa。在保证上述条件的前提下,严格按照实验参数和规程进行筛选。第二,在对电气参数进行测试之前必须对仪器进行校验,确定仪器符合测试的精度要求后方可进行测试。第三,在测试期间通过的电压和电流绝对不能超过设备的等级。首先进行样品的测试,没有任何问题之后才可以进行电气参数的测试<sup>[7]</sup>。

### ■ 3.3 失效防止

在对电子元件进行测试时应重点防范由下列因素引起的故障:程序设定不合理导致电子元件测试失败;极性接反导致元件故障;错误的信号导致元件故障;电气应力过度导致元件故障;使用不当会导致电子元件故障;不适当的拔插方法会导致机械应力破坏;在储存时不小心把一些有极性的元件放错了位置,储存湿度太大,很可能导致引脚的表面被腐蚀或者电气性能变差。

### ■ 3.4 完善老炼二次筛选的质量控制

老炼测试是指元件在特定的电应力状态下,在特定的温度范围内工作一段时间减少元件的潜在缺陷提前出现。尽管

这种测试方法可以有效地筛选出一些损坏的设备,但是有些设备经过老炼二次筛选后仍然会产生故障。在这种情况下,可以通过提高老化试验时间,增大电压和功率等方法对试验结果进行严密的筛选。具体可以从以下几个方面进行控制。第一,在老炼之前应根据技术文件中所列的电流、电压等情况,仔细检查老化情况。第二,在用旧设备之前需检查其状态是否良好,是否按照规定进行周期性的检验。第三,对设备的老化问题要仔细研究,并严格按照操作规程进行操作。第四,在上电之前必须先确认有无接地,断开或短路。在设备安装完毕后要仔细检查其安装极性;检查接线夹、接线片等的固定是否牢固,不得有任何松动、脱落,否则将导致设备报废。第五,在使用电子元器件过程中通常应轻拿轻放,不然会引起形状的扭曲和尺寸的改变。在装夹、拔夹的过程中切勿强行将其插入或取出,以免因外力过大而引起机械损坏或机械应力疲劳;在确保接触良好的条件下,应尽可能地减小对设备引脚的作用。

## 4 结语

电子元件的老炼二次筛是保障装备正常工作的重要前提,而二次筛查若不能有效地对其进行质量控制,则可能导致产品的品质与性能存在安全隐患。所以,在筛选的过程中应从环境、操作规范和设备质量三个方面严格把关,保证所有的质量控制方法能够达到提升元器件质量的目的,提升电子元器件的应用水平。

### 参考文献

- \* [1] 陈文帅,任志刚,吴宗泽等.基于深度学习的极性电子元器件目标检测与方向识别方法[J].自动化学报,2021,47(7):1701-1709.
- \* [2] 张玲玲,张宇娥,杜丽等.基础研究与技术创新协同方向及特征研究——以新型电子元器件领域为例[J].图书情报工作,2021,65(13):55-65.
- \* [3] 吴沐羿,李先允,王书征.基于改进模拟退火算法的 PCB 电子元器件热优化布置研究[J].电子设计工程,2022,30(5):28-32.
- \* [4] 吴栋梁,刘知贵.基于轻量化 YOLOX 的电子元器件缺陷检测方法研究[J].计算机工程与科学,2023,45(8):1463-1471.
- \* [5] 李振宝,王晓,谢星华等.GO/[AMIM]Cl 导电墨水在纤维素基材印刷电子元器件的应用[J].大连工业大学学报,2021,40(3):175-178.
- \* [6] 刘东君,夏俊,冯靖悦.中美贸易战背景下企业电子元器件卡脖子问题应对策略分析——以深圳市龙华区企业为例[J].现代信息科技,2023,7(16):71-73.
- \* [7] 路传艳,刘颖,孙靖尧等.基于 SCFNA 法制备 PDMS/SCF/BN-无纺布筛网导热绝缘复合材料[J].塑料,2022,51(6):1-9.

# 高温老化工艺在电子元器件老化测试工作中的应用

张琦, 白升旺

(陕西恒太电子科技有限公司, 陕西西安, 710100)

**摘要:** 在现代电子产品的制造和设计过程中, 元器件的可靠性和使用寿命是至关重要的因素。为了评估元器件在极端条件下的表现, 高温老化工艺成为一种重要的测试手段。因此, 本文探讨了高温老化工艺在电子元器件老化测试工作中的应用。旨在通过对电子元器件在高温环境中的性能变化以及可靠性退化进行模拟, 帮助制造商评估产品的寿命、性能和适应性。在文章中, 实验测试记录了性能参数的变化、失效率分析、老化曲线和性能稳定性评估的实验结果, 以展示高温老化工艺在测试中的重要作用。

**关键词:** 高温老化工艺; 电子元器件; 老化测试

## 0 引言

进行电子元器件的老化测试是为了模拟元器件在实际使用中可能遇到的环境和条件, 以评估其性能、可靠性和使用寿命<sup>[1]</sup>。这种测试是电子产品开发和制造过程中的关键步骤之一, 有助于识别潜在的问题, 对元器件进行改进设计, 并确保产品在长期使用中能够稳定工作。高温老化工艺是一种用于模拟电子元器件在高温环境下长时间运行和暴露的测试方法<sup>[2-3]</sup>。在实际应用中, 电子设备和元器件往往会在高温环境下运行, 例如汽车引擎室内、工业控制系统中或户外的炎热环境中<sup>[4-5]</sup>。因此, 高温老化工艺可以帮助制造商发现元器件在高温环境下可能出现的问题, 如性能退化、故障等, 可以为改进产品设计、制造工艺和材料选择提供重要指导<sup>[6]</sup>。因此, 本文提出了高温老化工艺在电子元器件老化测试工作中的应用, 旨在通过评估元器件在极端条件下的各项表现, 帮助制造商评估产品的寿命、性能和适应性。

## 1 实验准备

### 1.1 样品准备

实验以集成电路(ICs)作为电子元器件样品, 选择型号为LM317T的电压稳压器(上海乘圣电气有限公司)。LM317T可以提供1.2V~37V的电压输出范围, 这使得它非常灵活, 适用于各种不同的电子应用。LM317T支持最大1.5A的负载电流, 可以为相对高功率的负载提供稳定的电源; 具有0.1%的线路和负载调节, 可以在不同负载条件下维持非常稳定的输出电压。LM317T支持浮动操作, 可以在输入电压和输出电压之间具有一定的差异, 使其更加适用于不同的电源设计。

### 1.2 温度控制和监测

确定高温老化工艺的实验条件, 需要综合考虑产品的预期使用环境、规范要求以及制造商的经验。要选择一个工业控制系统中的高温环境, 在机柜内部温度较高, 目标温度为85°C。老化时间要能够涵盖产品的预期使用寿命, 选择500h作为老化时间。对于集成电路, 循环温度更接

近实际使用情况, 比如日夜温差, 因此实验选择每天进行2个温度循环, 500h内共计实现1000个循环。

进行高温老化测试过程中, 使用MAG91 1280\*1024非接触式红外温度计(上海巨哥科技股份有限公司), 实时测量样品表面的温度, 用于测量不同位置的温度, 并快速显示数据。热电偶是一种常见的温度传感器, 能够提供高精度的温度测量。实验通过将K型WRNK-191热电偶(上海晶帆仪器仪表有限公司)置于样品附近, 测量样品表面的温度。使用TK55温度数据记录器(科威勒(中国)自动化有限公司), 实时记录温度的变化, 并生成温度变化曲线, 需要将设备连接到计算机, 以便进行数据分析和报告生成<sup>[7]</sup>。实验需要严格控制温度, 使用瑞士Leister温度控制系统(莱丹塑料焊接技术(上海)有限公司), 自动调节加热和冷却设备, 以确保设备保持恒定的温度。

### 1.3 老化设备及样品放置

老化房间型号为Model XYZ-1000 High-Temperature Aging Chamber, 最大温度范围室温+20°C~200°C, 温度控制精度为±1°C, 冷却方式为强制风冷。老化测试设备型号为Model ABC-200 Aging Oven, 最大温度范围在室温+10°C~180°C, 温度均匀性为±2°C, 控制方式采用PID温度控制器, 通风系统选择内部风扇。老化测试箱型号为Model DEF-300 Aging Chamber, 最大温度范围在室温+5°C~250°C, 温度控制精度为±0.5°C, 分布式温度传感器为多点温度监测。样品放置时要确保样品的摆放位置均匀分布, 并避免样品之间的遮挡, 以确保温度分布的均匀性, 样品的放置密度和位置布局应根据测试设备的特性、样品的大小和测试要求进行调整。

### 1.4 数据采集和分析

在进行高温老化测试过程中, 使用各种数据采集和监测工具来获取样品的性能数据。使用NI LabVIEW National Instruments用来实现多种数据采集, HOBO数据记录器可用于监测温度、湿度等参数, 使用Excel表格进行数据记录, 将从LabVIEW和HOBO数据记录器获取的数据导入到

Excel 中，以进行进一步的分析和生成图表和报告。

## 2 实验结果

### 2.1 性能参数变化

在高温老化过程中，元器件的性能参数（如电压、电流、频率等）可能会发生变化，这些变化可以代表元器件的性能退化情况<sup>[8]</sup>。实验测试元器件在高温环境中的性能变化，表格列出了不同时间点下的输入电压、输出电压、输出电流、频率和老化温度，电子元器件性能参数变化实验结果如表 1 所示。

表1 电子元器件性能参数变化实验结果

时间 (h)	输入电压 (V)	输出电压 (V)	输出电流 (mA)	频率 (Hz)	老化温度 (°C)
0	10.00	5.00	100	1000	85
100	9.98	4.98	98	999	85
200	9.95	4.96	95	998	85
300	9.92	4.94	92	997	85
400	9.90	4.92	90	996	85
500	9.88	4.90	88	995	85

根据表 1 结果，可以关注到元器件的不同性能参数随时间发生变化的情况，以了解其在高温老化环境中的性能退化趋势。输入电压在整个老化过程中保持了相对稳定的状态，变化幅度较小，仅有微小的下降。这表明元器件的电源稳定性相对较好，输入电压的变化对性能影响有限。输出电压在元器件老化过程中逐渐下降，虽然变化幅度较小，但随着时间的推移，会对元器件的功能产生一定影响，下降原因包括内部电子元素的性能变化和温度对电子元器件特性的影响。输出电流在老化过程中也逐渐下降，变化幅度与输出电压类

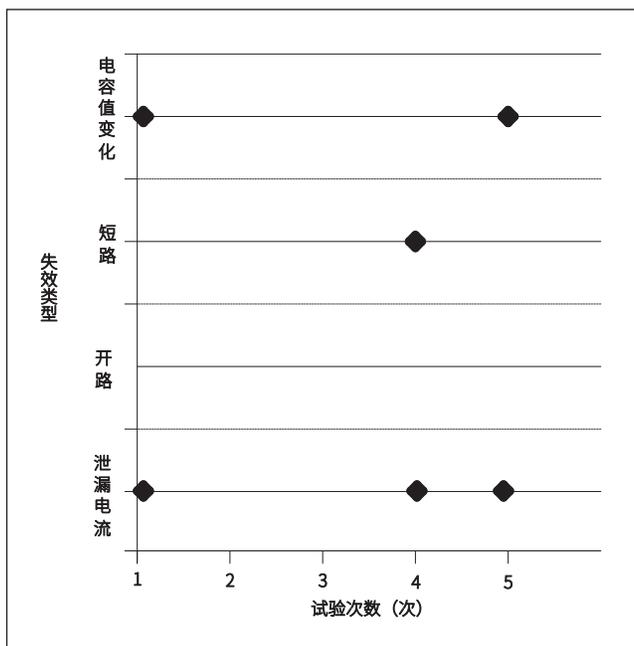


图 1 测试期间失效情况

似，与元器件内部电子元素的性能变化以及温度效应有关。频率在老化过程中逐渐下降，变化幅度相对较小，表明元器件的频率稳定性在高温环境下有轻微变化，与内部电子元素的特性变化相关。老化温度维持在 85°C，表明测试条件的稳定性得到了保持，体现了测试的可靠性。

分析上述变化，可以获得对元器件在特定条件下的性能退化趋势的初步认识。在实际应用中，此种类型的数据分析可以帮助制造商评估元器件的可靠性、寿命和适应性，从而进行有关产品设计、制造和改进的决策。需要注意的是，实际分析应更加综合和详细，涉及更多的测试参数和统计分析。

### 2.2 失效率分析

在进行高温老化工艺的电子元器件老化测试时，记录测试期间发生的元器件失效情况，以评估元器件的可靠性，图 1 为测试期间的具体失效情况。

由图 1 可知，电解电容器的电容值在高温环境下发生变化，是由于电解液的性能退化以及电介质的损坏引起的；出现 2 次相同类型的失效，则提示这一问题在测试中是相对常见的。1 次短路失效可能是由于电容器内部的材料老化引起电极间短路，这种失效会导致电容器无法正常工作，对电路产生不良影响。在本次测试中未出现开路失效，表明电解电容器此方面的性能在高温环境下的可靠性较高。发生泄漏电流失效的情况可能是由于电容器内部结构变化导致的，图片显示出现 3 次相同类型的失效情况，意味着这一问题在测试中出现的频率相对频繁。

基于对元器件特性和失效机制的深入了解分析元器件失效率可以了解不同失效类型的频率和机制，从而评估元器件的可靠性。根据分析结果，可以采取相应的措施来改进产品设计、制造过程或材料选择，以提高元器件的性能和寿命。

### 2.3 老化曲线

在高温老化工艺的电子元器件老化测试中，绘制元器件的老化曲线以观察性能参数随时间的变化。实验测试集成电路 (IC)，以评估其在高温环境下的性能退化趋势。图 2 记录了不同时间点的输出电压性能参数曲线图。

由图 2 可知，在测试开始时，IC 的输出电压处于初始值，表明它的性能在测试开始时是良好的。这个阶段通常称为初始稳定性期，IC 工作正常，输出符合规格。随着时间的推移，IC 的输出电压逐渐下降，这表明在高温环境下，IC 的性能开始出现退化，可能是由于元器件内部材料的老化、电子迁移效应或其他因素引起的。此时，老化曲线的斜率可能很陡峭，表明 IC 的性能正在快速下降。在一段时间后，IC 的输出电压趋于稳定，尽管仍在下降，但下降速度变缓。这是由于元器件内部结构的逐渐变化，导致性能稳定性下降。这个

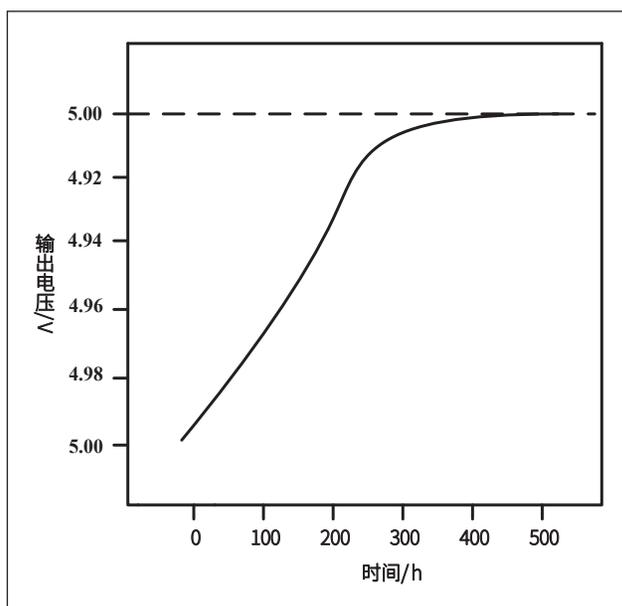


图2 集成电路老化曲线

稳定下降阶段被视为可靠性老化测试的持续部分，它展示了元器件在高温环境下的稳定性损失。

老化曲线的绘制和分析提供了关于 IC 性能随时间的变化趋势的直观信息，有助于识别元器件可能出现问题的时间点以及性能参数的变化程度。分析可以用来预测元器件在未来使用中的寿命，帮助制造商和设计师确定何时需要维护或更换元器件。

在实际应用中，此类老化曲线图表对于产品设计和制造的决策非常重要，可以帮助相关人员更好地了解元器件在不同环境条件下的可靠性，并为产品寿命测试和改进提供关键数据。此外，老化测试结果可以用来确定产品的质量基准，以确保产品在实际使用中的性能稳定性。

#### 2.4 性能稳定性评估

开展性能稳定性评估可以了解元器件的性能是否在一段时间内保持稳定，或者是否存在明显的波动和不稳定性。温度传感器在高温老化环境中的不同时间点的输出温度数据如表 2 所示。

表2 输出温度数据记录

时间 (h)	输出温度 (°C)
0	25.0
100	25.5
200	26.2
300	26.8
400	26.7
500	26.5

由表 2 可知，在测试开始时，温度传感器的输出温度为初始值为 25.0° C。随着时间的推移，温度传感器的输出

温度逐渐上升，从初始的 25.0° C 上升到 26.8° C。可以注意到测试时间在 400h 的时候，输出温度略有下降，而在 500h 时又略有上升，此种波动表示温度传感器在这个时间范围内存在某种程度的不稳定性。

综合来看，温度传感器法在高温老化环境中不同时间段的记录情况，反映了温度传感器在高温老化环境中的性能稳定性情况。通过分析表格中的温度数据，可以观察到温度传感器输出温度的变化趋势，以及是否存在不稳定性或波动。有助于相关人员了解元器件在一段时间内的性能表现，并评估其是否满足产品要求。需要注意，为更全面地了解元器件的性能稳定性情况，实际的性能稳定性评估可能会涉及更多的参数和统计分析。

### 3 结束语

高温老化工艺在电子元器件老化测试工作中的应用不仅仅是一项技术手段，更是保障产品质量和可靠性的重要工具。模拟实际使用中可能遇到的高温环境，可以深入了解元器件的性能变化和可靠性退化情况。开展失效率分析、老化曲线绘制以及性能稳定性评估等实验结果分析工作，能够提供宝贵的数据，用于评估元器件的可靠性和预测其寿命。未来，随着电子技术的不断发展，高温老化工艺将继续在电子元器件制造领域发挥重要作用，为产品质量和性能提供更可靠的保障。

#### 参考文献

- \* [1] 刘冬喜, 陈宽勇. 面向电子元器件老化筛选设备的设计 [J]. 电子工业专用设备, 2022, 51(03): 69-72.
- \* [2] 李斌, 彭勇. 电子元器件的老化测试及最新设备研究 [J]. 科技资讯, 2022, 20(13): 19-21.
- \* [3] 陆晓峰, 陶知, 林凡森等. 一种高温动态老化测试的信号驱动板设计与实现 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(12): 44-45.
- \* [4] 柳思泉. 浅议电子元器件的筛选与电子元器件质量控制 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(12): 46-47.
- \* [5] 杨磊. 电子元器件入厂检验过程中的质量控制措施 [J]. 产业创新研究, 2021(22): 123-125.
- \* [6] 杨阳, 林英豪, 王元伍等. 高温持续老化对车用粘接接头静态特性的影响研究 [J]. 中国胶粘剂, 2023, 32(10): 29-35.
- \* [7] 陈晨, 邓蕾, 陈建发等. 高温老化条件下的 AP/Al/PBT 推进剂填料-基体界面粘接特性 [J/OL]. 固体火箭技术: 1-9 [2023-11-08].
- \* [8] 王延浩, 邓二平, 严雨行等. 功率器件高温可靠性测试加速老化模型及其测试条件综述 [J]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 2023, 50(05): 68-77+86.

# 直升机交流电源系统电压跳动故障分析

裴翔<sup>1</sup>, 李铮<sup>2</sup>

(1. 中国直升机设计研究所, 江西景德镇, 333000; 2. 中国人民解放军91548部队, 辽宁兴城, 125100)

**摘要:** 交流电源系统作为直升机主电源系统的一种, 其重要性毋庸置疑。本文针对直升机交流电源系统飞行过程中电压跳动故障, 使用故障树的方法对故障进行定位, 并进行故障机理分析找出电压跳动原因, 提出有效改进措施, 规避后续飞行过程中出现类似问题。

**关键词:** 交流电源系统; 电压跳动; 故障分析

## 0 引言

直升机交流电源系统一般由三部分组成: 交流发电机、交流发电机控制器和电流互感器<sup>[1-2]</sup>。交流发电机一般由主减或APU驱动, 由交流发电机控制器控制向机上提供三相交流电; 交流发电机控制器用于交流电源系统电压调节与故障保护, 控制交流发电机的并网, 并将交流电源系统相关数据、状态通过总线上报给上位机进行显示和记录; 电流互感器与交流发电机、交流发电机控制器配套使用, 作为交流电源系统主馈线差动保护检测部件, 并检测交流发电机输出电流<sup>[3-4]</sup>。本文通过对直升机交流电源系统飞行过程中电压跳变进行故障分析, 通过故障树的方法进行故障定位, 提出有效改进措施, 避免后续出现同类型故障。

## 1 概述

直升机在地面起动过程中, 拨动交流发电机开关, 交流发电机正常发电并网; 直升机飞行一段时间后, 机上上报交流电源系统故障。后续从飞参记录数据上查询, 交流

发电机电压跳动后在某段时间内掉为零, 同时上报交流电源系统故障。

## 2 故障定位分析

根据故障现象分析, 直升机交流电源系统电压跳动故障可能由交流发电机控制器导致, 依据油冷交流发电机控制器的工作原理, 建立产品电压跳动原因故障树见图1所示。

由故障树可知, 导致产品电压跳动的原因有:

(1) 控制器线路故障; (2) 调压点采样电路故障; (3) 调压芯片故障; (4) 励磁继电器故障; (5) 发电机开关抖动; (6) 控制器软件复位。

对上述故障原因进行逐一分析:

(1) 控制器线路故障

在放大镜下检查故障件, 故障件无虚焊焊点, 线路没有烧灼和损伤迹象。给故障件通+28V电与115V调压点电压做开环测试, 通信中发送800个数据, 通过串口通信测得接收3200个数据, 过压、欠压、过频、欠频性能测试均正常。

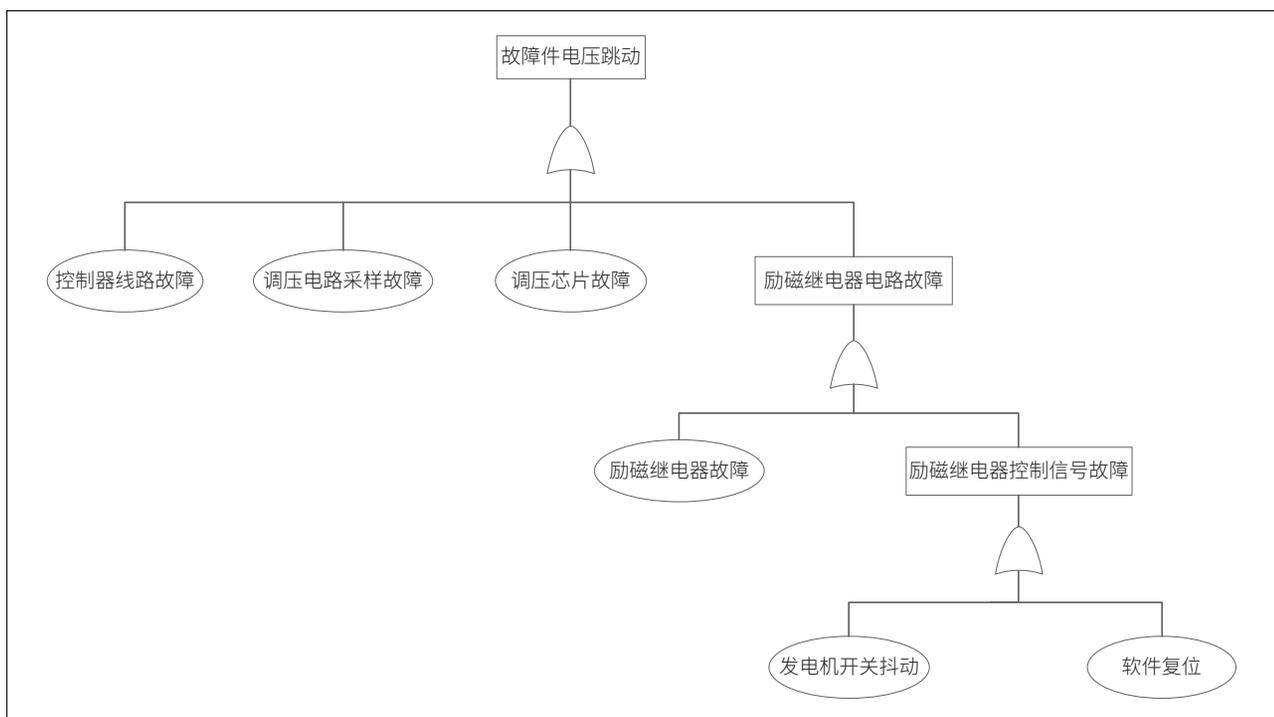


图1 电压跳动故障树

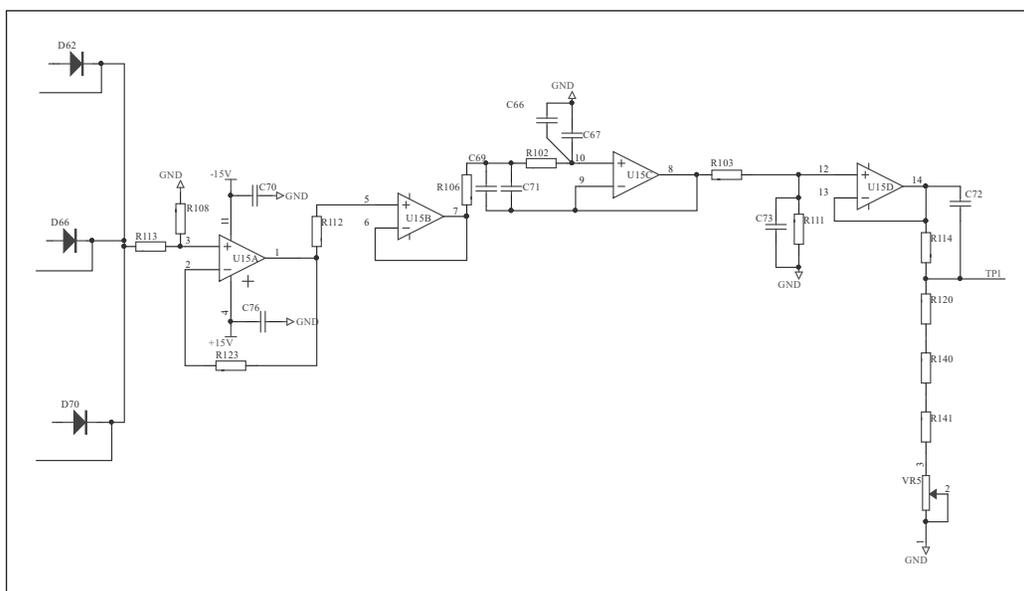


图2 调压采样电路

给故障件通28VDC工作电压，调压点施加三相100VAC、105VAC、110VAC、115VAC电压，用万用表测得TP1点电压值分别为4.437VDC、4.650VDC、4.868VDC、5.084VDC，符合设计要求，用记录仪观测115VAC时TP1点电压波形如图3所示，可见调压采样电压没有波动，因此产品调压点采样电

可确定控制器线路无故障，因此控制器线路故障的因素可以排除。

(2) 调压点采样电路故障

调压电路采样是将调压点电压（三相交流电压）经过整流、滤波、分压后的电压（图2中的TP1电压信号）采集到脉宽调制芯片，若调压电路采样故障会引起TP1点电压变化，从而影响发电电压值。



图3 115VAC时TP1电压波形

路故障的因素可以排除。

(3) 调压芯片故障

调压芯片（图4中的U10）是将通过输出PWM波（U10的11脚和14脚）控制励磁功率管（图4中的Q6）的开关从而控制励磁电流，从而实现电压的调节，其原理如图4所示。若调压芯片故障则使故障件失去电压调节功能。

给故障件通28VDC工作电压，调压点施加三相115VAC电压，用示波器测试脉宽调制芯片的各个引脚电压与波形均正常。调节交流电源输出115.5VAC电压通过记录仪观测到输出PWM波周期为91.5μs，如图5所示，高电平导通时间为82μs，如图6所示，占空比为89.6%，改变三相电源的输出电压，占空比逐步变化，如图7所示，符合设计要求。可确定调压芯片无故障，因此调压芯片故障可以排除。

(4) 励磁继电器故障

电机的PMG电压通过励磁继电器（图8中的K3）到

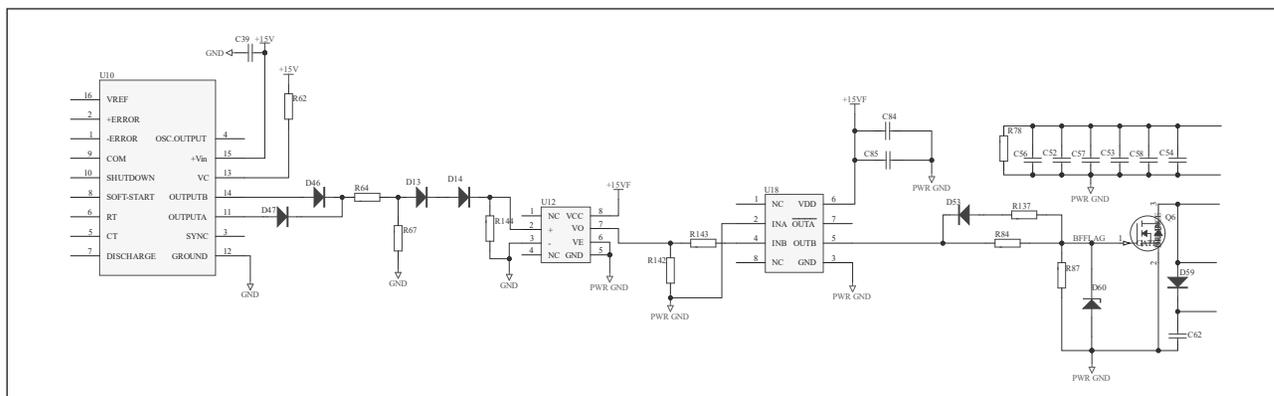


图4 调压电路

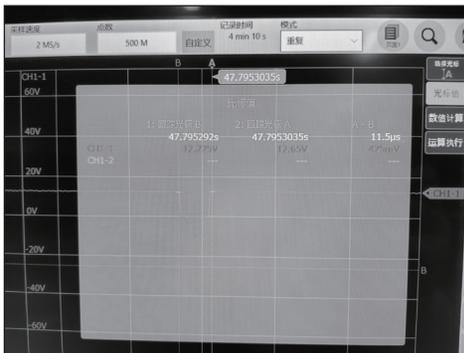


图 5 调压芯片周期值



图 6 调压芯片 PWM 波高电平导通时间



图 7 调压芯片占空比变化图

故障件内部后整流成励磁电压。若励磁继电器因故障跳动，故障件内部励磁电压也将不连续，电机的发电电压跳动。对控制器开环测试，用三相交流电源模拟 PMG 电压，直流电

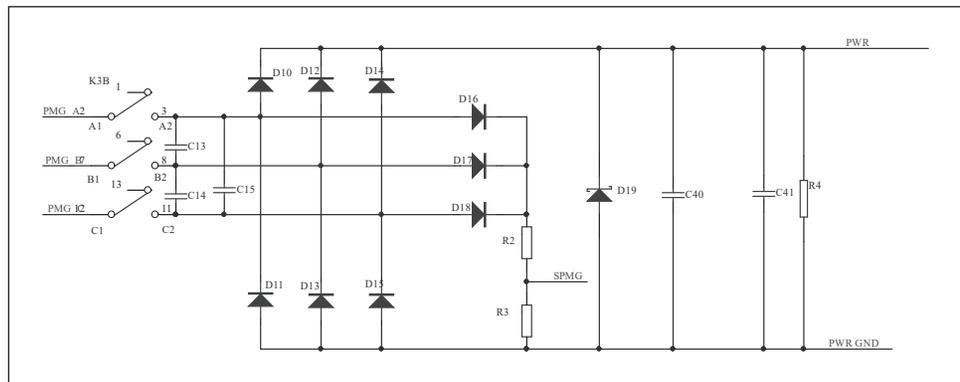


图 8 PMG 电压整流成励磁电压

源给出励磁继电器的控制器信号，使励磁继电器接通，记录仪监测 PWR 与 PWR GND 之间的电压波形均正常，如图 9 所示。可确定励磁继电器无故障，因此励磁继电器故障可以排除。

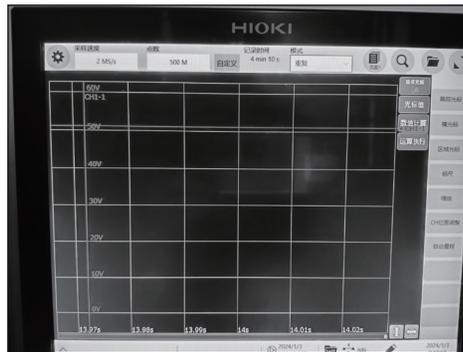


图 9 PWR 与 PWR GND 之间的电压波形

### (5) 发电机开关抖动

若发电机开关抖动，则会导致励磁继电器控制信号抖动，使励磁继电器跳动，导致发电电压跳动。故障件闭环做发电测试，用记录仪检测发电机开关信号正常，未出现跳动如图 10 所示，且软件中已进行防抖处理。可确定发电机开关无故障，因此发电机开关抖动可以排除。



图 10 发电开关电压波形

### (6) 控制器软件复位

故障件正常做发电测试，拨发电开关，励磁继电器出现跳动，用示波器监测励磁继电器控制信号和励磁电压信号，

如图 11 所示。从图上看，信号具有 60ms 周期性，软件中使励磁控制信号为高的时间也约为 60ms，因此可以判断是软件复位导致励磁控制信号跳动，使发电电压跳动。

在电压跳动过程中，系统刚发电时监测到系统地线上的尖峰信号较多，

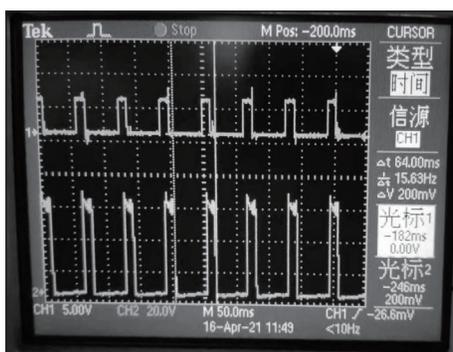


图 11 励磁控制信号与励磁电压信号

且只有励磁电流接通瞬间，尖峰信号会很大，用示波器检测系统地线与励磁地线 PWR GND 上的电压差，如图 12 所示。

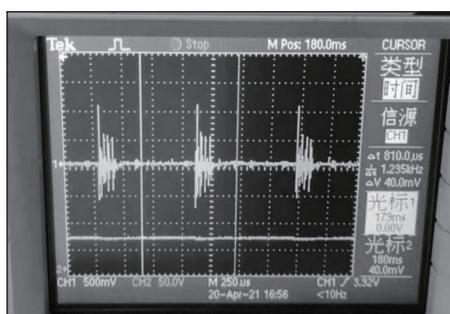


图 12 系统地线与励磁地线电压差

综上所述，导致产品电压跳动的原因为系统地线与励磁地线 PWR GND 在励磁接通过程与系统地有很大压差，导致 DSP 的信号地受到干扰，使 DSP 重启。DSP 重启复位初始化过程中，励磁继电器将断开，发电电压变低；DSP 正常工作后判断满足发电条件，励磁继电器会吸合，又重新发电，上述循环不断往复，使发电电压电压跳动，故障定位。

### 3 机理分析

在产品内部，地信号有 28VGND、DGND、GND 与 PWR GND，其功能如表 1 所示，交联关系如图 13 所示。

表 1 地线功能表

标号	信号名称	功能
28VGND	28V地信号	控制电路中的地信号
DGND	数字地信号	
GND	系统地	励磁回路中的地信号
PWR GND	励磁地信号	

根据问题定位分析，导致电压跳动的机理为：调压芯片通过输出不同占空比的脉冲控制 MOS 管的通断来控制励磁电流的大小。在发电过程中，励磁功率管快速开关，在功率管导通瞬间在励磁地上产生较大的尖峰电流，尖峰电流通过地线回路，尖峰电流会抬高地线电压至 1V 左右（见图 12），此电压的存在会使作用在 DSP 芯片上的 5V 电压出现 4V 左右的尖峰电压。电源监控芯片用的是 MAX1232，

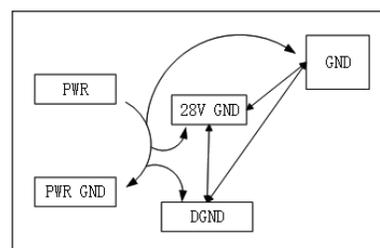


图 13 地线交联关系图

按照图 13 的接线方式，最大允许电源的误差为 5% 即 (4.75~5.25) V，在遇到 4V 的尖峰电压时，电源监控芯片会触发复位指令，使 DSP 复位重启。DSP 复位重启初始化过程中，励磁继电器将断开，发电电压变低；DSP 正常工作后判断满足发电条件，励磁继电器会吸合，又重新发电，上述循环不断往复，使发电电压电压跳动，故障定位。

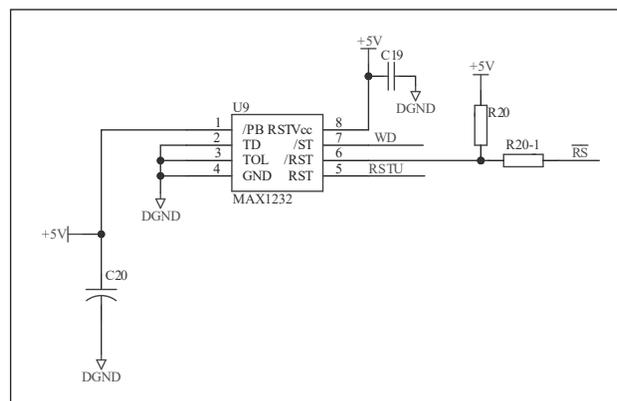


图 14 电源监控电路

### 4 故障复现

对故障件故障复现测试，先将该产品的 PWR GND 与 GND、DGND、28VGND 隔离开来，闭环发电试验，控制台将电机的转速设为 12000rpm，接通发电开关，产品发电并网均正常。多次试验后，发电并网也正常。将该产品的 PWR GND 与 GND、DGND、28VGND 短接起来，进行发电试验，接通发电开关，多次试验后，励磁继电器控制信号出现高低电平变化，使励磁电压不停跳动，不能并网，与机上现象一致，问题复现。用示波器监测的励磁继电器控制信号与励磁电压信号波形如图 15 所示。

### 5 改进措施

根据问题定位及机理分析，采取的主要措施如下：

(1) 取消产品内部 PWR GND 的地线回路，即 PWR GND 不与任何地线相连。对于 GND、28VGND、DGND 仅在各自独立电源回路的末端连接即在母板上相连后经滤波器接到飞机壳体上。各自电源闭环走完回到各自电源的地线

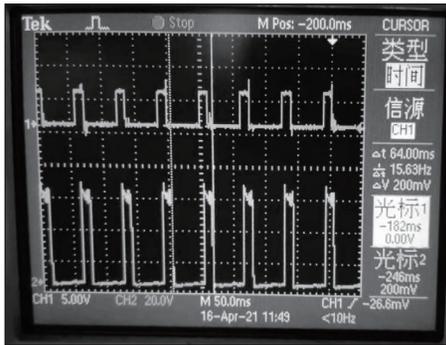


图 15 励磁继电器控制信号与励磁电压信号

上,在各独立电源末端端口处连接,这样就不会出现不同类型的电流信号在信号板上共用相同回路的情况,从而降低不同类型的电流信号彼此之间的干扰。改进后的地线如图 16 所示。

(2) 为防止因干扰引起 DSP 复位,致使发电故障,增加锁存电路如图 17 所示。基本原理如下:在正常发电过程中,锁存器 U66 的 11 脚为高电平,可以将 DT1 调压芯片的使能信号、DCR TRIP 励磁继电器断开信号、DCR CLOSE 励磁继电器闭合信号、DGB RELAY 接触控制器信号进行实时传输,保持信号的时效性。若遇到干扰使 DSP 复位,锁存器 U66 的 11 脚为低电平,进入锁存状态,使 DT1、DCR TRIP、DCR CLOSE、DGB RELAY 维持干扰前的状态,干扰不会影响信号变化,待干扰过去后,U66 的 11 脚变为高电平,又能实时传输信号。

锁存原理如表 2 所示。

当上电完成后,接通发电机开关,DSP 给发电并网信号相应电平,准备发电的状态。当锁存器打开后,信号通过锁存器后发电。当 DSP 复位时,CLKEN 为低电平,芯片被锁住,信号不能传递,维持之前的发电状态。当 DSP 复

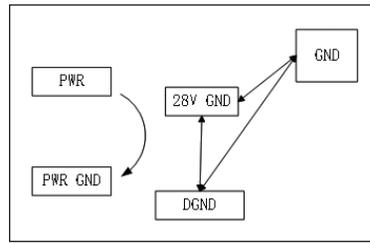


图 17 锁存原理图

表 2 锁存电路工作表

工作情况	CLKEN	$\overline{CLKEN}$	信号流向
正常工作时	低	高	可以实时传递
出现复位时	高	低	芯片被锁住,信号不能传递
刚上电瞬间	高	低	DPOWERUP在+5V有电后为低,信号可以传递过来

位完成后,准备发电状态,将芯片解锁,发电状态仍然保持。根据上述原理,对软件进行相应更改。相比上一版的程序,增加了在进入主程序前,进行频率采集与接通励磁操作。当上述操作准备好后,打开锁存器,进行状态锁存。

## 6 结论

综上所述,交流电源系统电压跳变由于交流发电机控制器在励磁接通过程中,励磁电流较大,在励磁地上有较大的脉动电流,脉动电流通过地线回路,使地线之间不平衡,导致软件重启。软件重启后,励磁继电器将重新吸合,励磁重新接通,不断循环往复,使发电电压跳动。

交流电源系统作为直升机的主电源系统,可靠性对直升机飞行安全极其重要。上述改进措施落实后,通过后期试飞验证,交流电源系统工作正常。综上所述,该改进措施有效解决交流电源系统电压跳变故障,避免后续此类故障的发生。

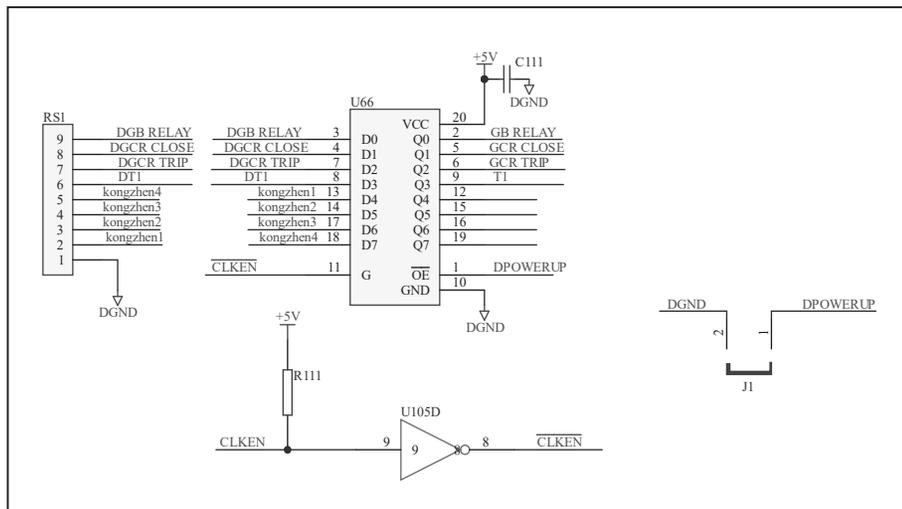


图 16 改进后地线图

## 参考文献

- \* [1] 王浩. 直升机电源系统技术发展概况 [J]. 科技资讯, 2011, (22): 1.
- \* [2] 刘红亮. 浅谈直升机电源系统发展 [J]. 电子制作, 2018(11): 82-83.
- \* [3] 曹晨媛, 董晓宇, 赖耀祖. 直升机交流发电系统掉电不并网故障分析 [J]. 电子技术与软件工程, 2021, (04): 213-214.
- \* [4] 骆彬, 刘震霆, 杨圣平. 某型飞机交流电源系统故障分析 [J]. 科技信息, 2009, (09): 415+423.

# 利用编程控制系统开展多路功率电子元器件老炼控制探究

谷元元, 贾兆旭

(陕西恒太电子科技有限公司, 陕西西安, 710100)

**摘要:** 随着能源需求的不断增长, 功率电子元器件在能源转换和分配中的应用变得愈发重要。因此, 本文利用编程控制系统对多路功率电子元器件老炼控制进行了深入探究。通过研究现有的老炼控制方法和算法, 结合最新的编程技术, 设计了一种新的控制系统。该系统能够实时监测多路功率电子元器件的状态, 并根据实时数据进行精确控制, 实现对老炼过程的优化控制。通过模拟老炼过程中的不同工作条件, 对比了传统控制方法和新的编程控制系统的性能差异。实验结果表明, 新的编程控制系统在稳定性、准确性和灵活性方面均优于传统控制方法。

**关键词:** 编程控制系统; 多路功率; 电子元器件; 老炼控制

## 0 引言

多路功率电子元器件老炼控制是现代工业中一个重要的控制技术<sup>[1]</sup>。它涉及到实时监测和控制多个功率电子元器件的状态, 以达到稳定工作和延长使用寿命的目的。传统的老炼控制方法存在控制精度不高、稳定性差等问题<sup>[2-3]</sup>。因此, 开展对多路功率电子元器件老炼控制的深入研究和改进具有重要意义。本文基于现有的老炼控制方法和算法, 结合最新的编程技术, 设计了一种新的编程控制系统。该系统可以实时监测多路功率电子元器件的工作状态、电流、温度等参数, 并根据实时数据进行快速精确地控制。与传统控制方法相比, 该系统具有更高的控制精度和稳定性, 可以提高功率电子元器件的老炼效果, 延长使用寿命。本文将介绍编程控制系统的设计原理和实现过程, 并通过实验验证其在多路功率电子元器件老炼控制中的优势, 进一步完善系统设计, 扩展适用范围, 为工业生产提供更加可靠、高效的老炼控制技术。

## 1 系统总框架设计

利用编程控制系统开展多路功率电子元器件老炼控制,

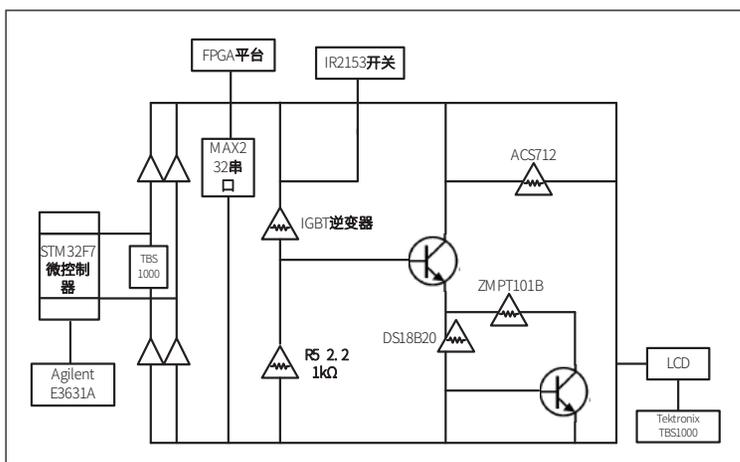


图2 电路拓扑图

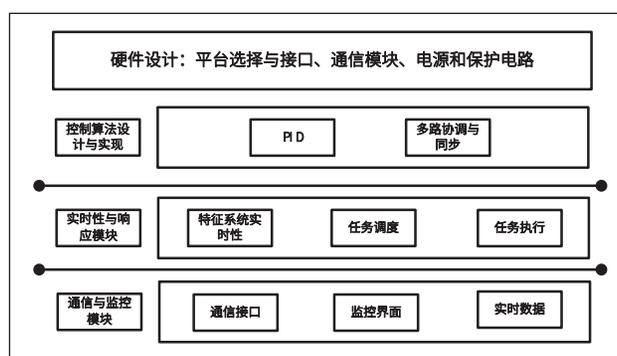


图1 系统总框架设计

旨在实现对多个功率电子元器件的精确控制和协调运行, 以提高系统性能、效率和稳定性, 系统总框架如图1所示。

硬件设计部分需要考虑和选择适当的微控制器、FPGA等硬件平台, 设计元器件接口电路, 包括控制信号输入和反馈信号采集。设计通信模块实现与其他系统的数据交换, 设计电源电路确保元器件供电稳定, 实现电路的过流保护、过温保护。

软件设计部分, 则根据PID控制算法设计控制逻辑, 考虑多路之间的协调与同步, 避免互相干扰。实时性与响应

模块使用中断或多线程编程技术, 确保控制系统的实时性, 设计任务调度, 确保不同任务按时执行。通信与监控模块实现与外部系统的通信接口, 如串口通信、以太网通信等; 设计监控界面, 用于显示元器件状态、实时数据和故障信息。

## 2 系统硬件设计

在基于多路功率电子元器件老炼控制的编程控制系统硬件设计部分, 采用STM32F7微控制器, 以及Xilinx Artix-7FPGA(现场可编程门阵列)平台, 具体情况如图2所示。

功率电子元器件会用到 IR2153 开关电源控制芯片以及 IGBT 逆变器，串口型号为 MAX232，使用 ENC28J60 以太网，与 STM32F7 微控制器连接，以实现数据的网络传输。ACS712 电流传感器、ZMPT101B 电压传感器以及 DS18B20 数字温度传感器用来传递实时数据，监测电子元器件老炼控制情况。LM7805 电源稳压芯片用于 5V 稳压，16x2 字符 LCD 显示，以及 Resistive Touch Screen 触摸屏用于监控设备的显示。电源供应中，采用 Agilent E3631A 直流电源，Tektronix TBS1000 系列示波器，外壳需要做到保护电路免受外界环境影响，散热器用于功率较大的逆变器元器件，以防止高温导致的各种问题。

### 3 系统软件设计

#### 3.1 PID 控制与协调模块

在基于多路功率电子元器件老炼控制的编程控制系统中，PID 控制与协调模块的主要功能是实现对多个功率电子元件的精确控制和协调运行，以提高系统的性能、效率和稳定性，具体的运行流程如图 3 所示。

设置目标值和反馈信号，首先需要确定被控制目标值（设定点），采集传感器给予的实际反馈电流、电压和温度信号。之后计算误差，以目标值与反馈信号的差为具体的误差情况，以此推算 PID 输出。

PID 输出主要由比例项 (P 项)、积分项 (I 项)、微分项 (D 项) 三部分组成，在计算比例项 P 时，具体的计算公式如式 (1) 所示：

$$P = K_p \times O \quad \text{式 (1)}$$

其中， $K_p$  是比例系数，O 是误差。积分项 I 项的计算公式如式 (2) 所示：

$$I = K_i \times \int O dt \quad \text{式 (2)}$$

其中， $K_i$  是积分增益， $\int O$  代表对误差的积分，dt 表示积分的变量是时间。微分项 D 的计算公式如式 (3) 所示：

$$D = K_d \times \frac{O}{dt} \quad \text{式 (3)}$$

其中， $K_d$  是微分系数。PID 输出则由比例项 (P 项)、积分项 (I 项)、微分项 (D 项) 的总和构成，根据 PID 输出生成控制信号，以此控制功率电子元件。如果存在多个功率电子元件，便需要执行协调控制策略，确保多路之间的协调和同步。系统通过 CAN 通信协议让各个元件相互通信、共享信息，以此来传递状态和控制情况，让各元件可以协调操作，确保不会产生冲突。以便使用实时编程技术，确保控制模块的实时性和快速响应。

#### 3.2 实时性与响应模块

实时编程技术的有效使用是确保控制模块实时性和快速响应的关键，特别是在多路功率电子元器件的老炼控制系统中<sup>[4]</sup>。在该模块中首先需要确定系统的实时性需求，包括任务的响应时间、任务优先级、最大允许的延迟等，根据需求分析，将系统功能划分为不同的任务，为每个任务分配合适的优先级，具体划分情况如表 1 所示。

表1 任务的响应时间和最大允许的延迟

任务优先级	任务的响应时间范围 (ms)	最大允许的延迟范围 (ms)
高优先级	1~10	1~5
中优先级	10~50	5~20
低优先级	50~100	20~50

设计并实现中断服务程序 (ISR) 处理紧急事件，如高优先级任务、硬件故障等，设置中断优先级，确保高优先级中断能够快速响应。根据任务的优先级和时序要求，合理安排任务的执行顺序，使用实时操作系统 (RTOS) 来管理任务调度<sup>[5]</sup>。在调度前编写任务的代码，确保代码逻辑简洁、高效，具体如下操作：

- (1) 将任务分解为较小的子任务。
- (2) 对每个子任务估算所需的执行时间，确保能够在规定的时间内完成。
- (3) 避免使用长时间的延时操作，特别是在高优先级任务中，需使用短延时或定时器中断来实现定时操作。
- (4) 避免在任务中使用无限循环，除非在任务的设计中确实需要。
- (5) 将耗时的操作设计为异步操作，使任务在等待操作完成时继续执行其他操作。
- (6) 使用非阻塞的方式执行操作，确保任务在执行期间能够进行上下文切换，而不会被阻塞。

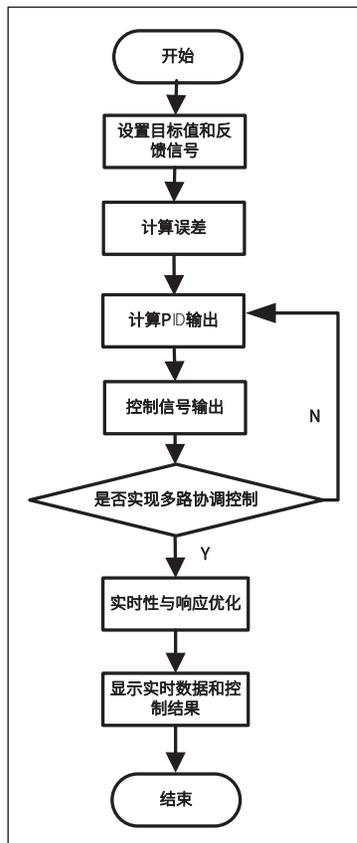


图3 PID 控制与协调运行流程

(7) 根据任务的紧急程度和重要性,为任务分配合适的优先级,确保高优先级任务能够及时响应。

(8) 使用硬件定时器来触发任务的执行,以确保任务按照预定的时间进行。

(9) 如果任务的执行时间超过了可接受的范围,将任务分为多个步骤,在不同的时间段内执行。

使用信号量同步机制,确保多个任务之间的数据共享是安全和有序的<sup>[6]</sup>。实时性监测任务的执行时间、延迟等参数,找出性能瓶颈和改进空间,根据监测结果进行优化,调整任务的执行逻辑和调度策略。

### 3.3 通信与监控模块

通信与监控模块在系统软件设计中起到了关键作用,用于与外部设备通信、采集数据以及监控系统状态。通信接口设置为串口以及以太网接口,通信接口的硬件参数配置 IP 地址,选择 Modbus 通信协议,根据通信协议规范进行数据交换和通信,通过传感器采集电流、电压、温度等数据,对采集到的数据进行模数转换以及数据处理,模数转换公式如式(4)所示:

$$Digital_{Value} = \left( \frac{Analog_{Value}}{V_{ref}} \right) \cdot (2^{Resolution} - 1) \quad \text{式(4)}$$

其中,  $Analog_{Value}$  是模拟信号值,  $V_{ref}$  是参考电压,  $Resolution$  是 ADC (模数转换器) 的分辨率。将采集到的数据封装成通信协议规定的格式,发送给外部设备或主机;接收来自外部设备或主机的命令或数据,进行解析并处理。系统要监控各个关键参数,根据监控数据,判断系统是否正常运行,是否存在异常情况。如果系统状态异常,触发报警机制,发送报警信息给相关人员或设备;反馈系统状态信息给外部设备或主机,以实现远程监控和控制。

## 4 对比实验

### 4.1 实验准备

为对比传统控制方法和新的编程控制系统在电子元器件老炼过程中的性能差异,实验以温度控制为例,挑选某电炉进行测试,DS18B20 数字温度传感器用于测量炉内温度,串口型号为 MAX232,以太网型号为 ENC28J60,电源稳压芯片选择 LM7805 型号,电源供应采用 Agilent E3631A 直流电源, Tektronix TBS1000 系列示波器。分别选择传统 PID 控制器和自编程控制系统,在相同的工作条件下进行一系列试验,记录系统性能。

### 4.2 实验结果

实验结果记录中,稳定性评价为记录温度波动情况;控

制精度评价是指记录实际温度与目标温度之间的偏差;响应时间评价是记录系统对温度变化的响应时间,具体数据记录如表 2 所示。

表2 实验结果表

实验条件	控制方法	稳定性(%)	控制精度(°C)	响应时间(s)
工况1	传统PID	85.2%	5.5°C	2.9s
	编程控制	98.7%	1.0°C	1.3s
工况2	传统PID	90.2%	4.8°C	2.5s
	编程控制	98.9%	0.9°C	1.0s
工况3	传统PID	89.7%	3.9°C	1.2s
	编程控制	99.1%	1.1°C	0.8s

综合分析表 2 中的数据,编程控制系统在所有工况下都表现出更高的稳定性、更好的控制精度和更快的响应时间,最快可达 0.8s。传统 PID 控制方法在某些情况下也能够实现较好的性能,但在多数工况下,编程控制系统的性能更为优越,控制精度误差在 0.9°C,准确率最高为 99.1%,系统运行顺畅,表明编程控制系统对于多路功率电子元器件老炼控制具有重要的应用价值。

## 5 结束语

综上所述,本文针对多路功率电子元器件老炼控制问题,利用编程控制系统进行了深入探究,进行 PID 控制与协调,建立系统实时性与响应模块以及通信与监控模块。通过实验验证,新的编程控制系统在控制精度、稳定性和灵活性方面均优于传统控制方法。未来,可以进一步完善编程控制系统的设计和算法,以提升系统的性能和稳定性。同时,研究中结合新的技术和方法,拓展控制系统的适用范围,可以为多路功率电子元器件老炼控制提供更加可靠、高效的解决方案。

### 参考文献

- \* [1] 王岩. 基于电子元器件的电动机温度自动控制[J]. 电器工业,2023(07):58-61.
- \* [2] 魏开利, 果仕达, 徐立立等. 基于研发特性的电子元器件试验与可靠性研究[J]. 机电工程技术,2023,52(06):91-93+201.
- \* [3] 江可扬. 基于国产电子元器件的电池管理系统设计与实现[J]. 电子制作,2023,31(12):11-14.
- \* [4] 马储林. “互联网+”背景下 5G 技术的电子元器件智能检测分析[J]. 现代工业经济和信息化,2023,13(05):65-67.
- \* [5] 王云辉. 电子元器件的可靠性筛选方案研究[J]. 电子元器件与信息技术,2023,7(05):18-21.
- \* [6] 罗俊杰. 典型存储器动态老炼试验方法研究与实现[J]. 电子世界,2021(02):137-139+143.

# 《电子制作》杂志征稿启事

《电子制作》杂志创刊于 1993 年，是经中国新闻出版总署批准，北京市工商局备案，国内外公开发行的国家级科技类优秀期刊。本刊主管单位为中国商业联合会、主办单位为中国家用电器服务维修协会。2016 年《电子制作》杂志内容把电子技术专业领域与基础电子相结合，主要关注高校科研项目、科研院所，文章要求更加专业，技术性更强，成为一本专业性、权威性的科技期刊。

## 栏目设置：

电子电路设计与方案、智能应用、信息工程、软件开发、电子测量、自动化技术、电子技术、实验研究。

## 来稿要求：

1. 来稿要求论点明确、数据可靠、逻辑严密、文字精炼，每篇文章必须包括题目、作者姓名、作者单位、摘要和关键词、正文、参考文献和第一作者及通讯作者。
2. 文中量和单位的使用请参照中华人民共和国法定计量单位最新标准。外文字符必须分清大、小写，正、斜体，黑、白体，上下角标应区别明显。
3. 文中的图表要清晰，不能低于 300dpi。图片不能插入文中，要单独在一个文件夹。表格不能为图片格式，必须是文字格式。否则需要重新录入。
4. 参考文献的著录格式采用顺序编码制，请按文中出现的先后顺序编号。所引文献必须是作者直接阅读参考过的、最主要的、公开出版的文献。未公开发表的、且很有必要引用的，请采用脚注方式标明，参考文献不少于 3 条。
5. 来稿勿一稿多投。收到稿件之后，7 个工作日内审稿，电子邮件回复作者。重点稿件将送同行专家审阅。如果 10 日内没有收到拟用稿通知（特别需要者可寄送纸质录用通知），则请与本部联系确认。
6. 来稿文责自负。所有作者应对稿件内容和署名无异议，稿件内容不得抄袭或重复发表。对于来稿，编辑部有权作技术性和文字性修改。
7. 请作者自留备份稿，本部不退稿。
8. 请在文稿后面注明稿件联系人的姓名、工作单位、详细联系地址、电话（包括手机）、邮编等信息，以便联系有关事宜。

请认准《电子制作》杂志社唯一联系方式：

官方网站：[www.ele169.com](http://www.ele169.com)

联系电话：010-62410551

投稿邮箱：[ed@ele169.com](mailto:ed@ele169.com)

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