

基于 STM32 的转盘式车位端辅助泊车设备多传感器闭环控制系统设计

王 柯¹ 丁 欣² 施牧含¹ 黄承妍¹ 田永军^{1*}

1.天津职业技术师范大学, 天津 300222

2.山东化工职业学院, 山东 潍坊 261108

[摘要]针对存量停车场中车位宽度受限、车辆转向空间不足以及驾驶员倒车入库操作难度较大等问题,设计了一种以STM32F401 控制器为核心的转盘式车位端辅助泊车设备控制系统。系统沿转盘圆周布设4路漫反射式红外光电传感器,分别采集车辆位置信号;同时采用SW-420 振动开关模块识别异常冲击与持续振动,为故障停机提供判断依据。提升系统在复杂环境下的运行可靠性。样机测试表明,系统可按预定顺序完成回零与目标对位,并在位置传感器异常、运行超时或振动持续超限时进入故障停机;该方案为存量停车场的轻量化改造提供了一种低成本的感知控制技术路径。

[关键词]STM32; 辅助泊车; 红外传感器; 振动传感器; 闭环控制

DOI: 10.33142/hst.v9i7.20243

中图分类号: TP391.44

文献标识码: A

Design of a Multi-sensor Closed-loop Control System for a Turntable-Type Parking-Space-Side Auxiliary Parking Device Based on STM32

WANG Ke¹, DING Xin², SHI Muhan¹, HUANG Chengyan¹, TIAN Yongjun^{1*}

1. Tianjin University of Technology and Education, Tianjin, 300222, China

2. Shandong Chemical Engineering & Vocational College, Weifang, Shandong, 261108, China

Abstract: To address the issues of limited parking space width, insufficient vehicle turning space, and the difficulty of reverse parking for drivers in existing parking lots, a control system for a turntable-type parking-space-end assisted parking device with an STM32F401 microcontroller as the core is designed. Four diffuse-reflective infrared photoelectric sensors are arranged along the circumference of the turntable to acquire vehicle position signals, while an SW-420 vibration switch module is adopted to identify abnormal shocks and sustained vibrations, providing a judgment basis for fault shutdown and thereby enhancing the operational reliability of the system in complex environments. Prototype tests show that the system can complete homing and target alignment according to a predetermined sequence, and enter fault shutdown in the event of position sensor anomalies, operation timeout, or sustained vibration exceeding the limit. This solution provides a low-cost sensing and control technology path for the lightweight retrofitting of existing parking lots.

Keywords: STM32; auxiliary parking; infrared sensor; vibration sensor; closed-loop control

引言

随着城市停车需求增加,停车场内狭窄车位、转弯空间不足以及相邻车辆间距较小等问题,使倒车入库成为影响停车效率和车辆安全的重要因素。现有辅助泊车技术主要包括车载自动泊车、停车位检测、自动代客泊车和停车场机械搬运等类型。车载自动泊车通常依赖超声波、摄像机、毫米波雷达及车辆线控执行机构^[1],其感知、规划和控制功能均需与整车系统深度集成;机械式或机器人式停车设备可以减少驾驶员操作,但通常涉及较复杂的机械结构、场地布置和安全控制系统^[2]。对于已经投入使用的停

车场,上述方案可能受到车辆兼容性、安装空间和改造条件的限制^[1]。

针对上述痛点,提出一种轻量化转盘式辅助泊车方案,驾驶员将车辆驶入转盘后,设备自动完成旋转对位,驾驶员即可直线倒车入库。与直接控制车辆转向、驱动与制动的自动泊车系统不同,本方案的控制对象是固定于车位端的旋转平台,无需读取车辆总线信息,也无需改装车辆本体。系统工作集中于转盘原点建立、运行阶段切换、目标位置停止、异常状态识别与机械运动安全控制。围绕该设备的硬件架构、信号处理逻辑、闭环控制算法与安全防护

机制展开设计与验证,在保障控制精度与安全性的前提下降低感知成本,适配存量车场的轻量化改造需求。

1 系统总体方案设计

1.1 系统功能定位

本系统是转盘式车位端辅助泊车设备的感知与控制核心,承担状态采集、逻辑运算与指令输出功能,可自动识别车辆到位状态,驱动转盘旋转至与车位平行的目标角度,并实时监测运行异常,保障泊车过程平稳、精准、安全。系统定位于低成本改造,未采用激光雷达、机器视觉等高成本感知器件,仅依托红外与振动两类传感器完成全流程控制。

1.2 系统整体架构

系统采用感知层、控制层、执行层三层架构。感知层由红外光电传感器与振动开关模块组成,前者完成转盘位置感知、后者监测设备运行状态;控制层以 STM32F401 单片机为核心,完成信号解析、逻辑运算与控制指令输出;执行层由功率驱动电路、步进电机及转盘等构成,接收控制层指令完成转盘的启停、调速与换向。

2 多传感器系统硬件设计

2.1 主控最小系统设计

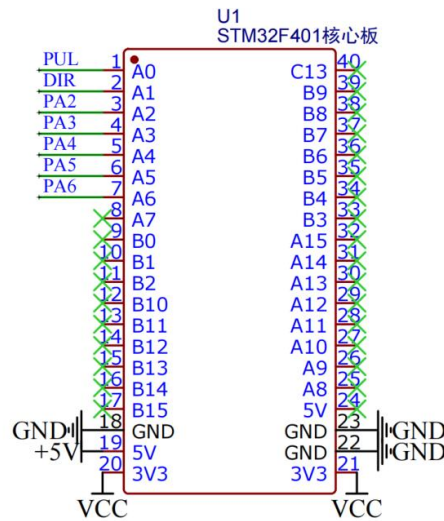
主控单元选用 STM32F401 系列 32 位 Cortex-M4 微控制器,其运算性能与外设资源可满足实时位置控制与多路信号并行采集需求^[3,4]。最小系统配套三类基础电路:由无源晶振与匹配电容组成的时钟电路、带手动按键的复位电路,以及布置于电源引脚旁的滤波电容,用以抑制电源纹波。

主控芯片通过 GPIO 引脚实现与传感器、执行单元的信号交互:4 路 GPIO 配置为带上拉的数字输入模式,接收红外传感器的位置触发信号;1 路 GPIO 配置为数字输入模式,接收振动传感器的异常告警信号;2 路 GPIO 配置为推挽输出模式,分别输出步进电机的脉冲信号(PUL)与方向信号(DIR),实现电机转速与转向的精准控制。

2.2 四路红外位置检测模块

2.2.1 模块组成与布设方案

位置检测模块由 4 组独立的数字输出型红外光电传感器单元组成(图 2),每组单元包含红外发射管、红外接收管与信号比较调理电路,可输出标准数字电平信号。4 路传感器沿泊车转盘的圆周方向依次布设,包括三个位置感知红外传感器以及一个控制停止的红外传感器,负责停止的红外传感器位于车库的正前方,其余三个红外传感器识别到车辆以最短路径旋转到停止点红外传感器的位置。



2.2.2 工作原理与节点功能

设计基于 STM32 单片机的位置闭环电机调速换向系统，通过四路红外传感器采集转盘的物理位置^[5]，单片机按预设逻辑输出控制信号，控制电机的转向与转速，最终

实现转盘按位置规则自动启停、换向。整套电路可划分为单片机时钟振荡电路、电机正转驱动支路、电机反转驱动支路、电机驱动转盘旋转、红外传感器模块等功能模块，各模块分工明确、信号链路清晰（图 3）。

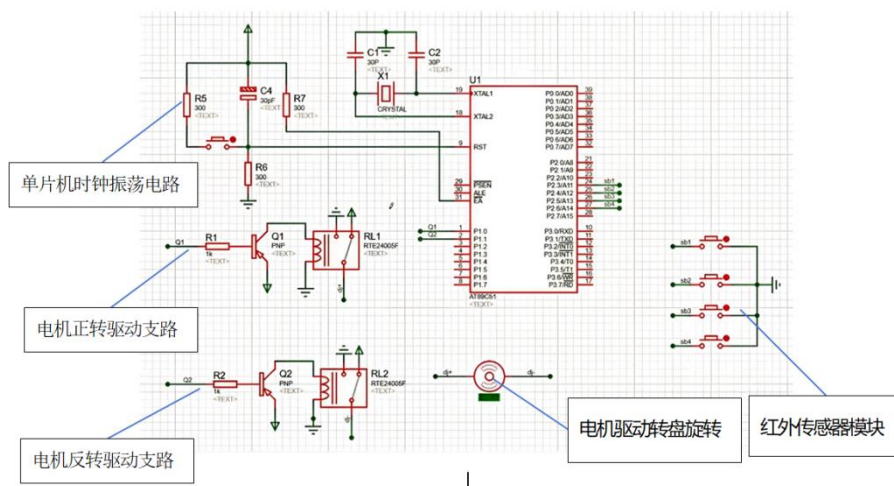


图 3 Proteus 仿真电路图

红外传感器是系统的位置感知核心，通过光电感应实现转盘物理位置到数字电信号的转换：当转盘上的挡片经过传感器检测区域时，接收管接收到的光强发生突变，经内部比较电路整形后输出电平跳变，为主控芯片提供精准的位置触发信号。各点位传感器承担不同功能，共同支撑分段控制逻辑 1 至 4 号红外传感器等距分布，1 至 3 号传感器在不同角度识别车辆位置信息，并以最短路径旋转到底 4 号传感器预设的停止点位，4 号停止点传感器触发后，主控切断电机输出，结合预设的惯性滑行补偿量实现转盘精准停在目标角度，保障旋转对位精度。

2.2.3 硬件抗干扰设计

针对地下车库环境光杂散、车辆车灯直射等干扰，传感器内置硬件比较调理电路，对接收光强信号设置固定阈值整形，过滤小幅光强波动带来的误触发；同时，硬件选型选用漫反射型红外器件，具备较强的环境光抑制能力，降低干扰影响。

2.3 振动安全监测模块

2.3.1 器件选型与特性

安全监测模块采用 SW-420 高灵敏度振动感应开关模块（图 4），是嵌入式系统常用的振动与碰撞检测器件，具备灵敏度可调、响应速度快、数字量输出的特点^[6]，输出电平可直接与单片机 GPIO 引脚匹配，无需额外调理电路。

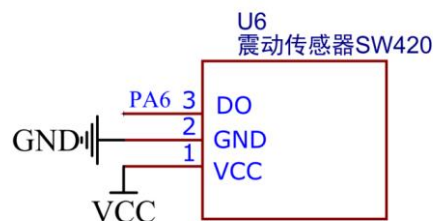


图 4 振动传感器模块

2.3.2 核心功能

振动传感器是系统的核心安全防护单元，负责监测设备运行过程中的异常状态^[6]。主要表现在：（1）碰撞与卡滞检测。转盘运行过程中，若出现车辆偏移、设备机械卡滞、异物侵入碰撞等情况，设备产生剧烈振动，传感器立即输出触发电平，主控收到信号后瞬间切断电机电源，实现紧急停机，避免设备损坏与车辆刮蹭；（2）故障预警。若机械结构松动、电机异响导致设备运行振动持续超标，传感器可稳定识别异常状态，在触发停机保护的同时，可联动指示灯、蜂鸣器发出告警信号，提醒运维人员检修。

2.4 驱动接口与 PCB 设计

2.4.1 电机驱动电路

采用 57 步进电机作为执行元件，配套驱动器实现功率驱动，主控芯片通过脉冲信号（PUL）与方向信号（DIR）模式完成电机运动控制。STM32 主控输出 3.3V 弱电控制

信号：PUL 脉冲信号控制电机转动角度与转速，每输入一个脉冲，步进电机转动一个固定步距角；DIR 电平信号控制电机正、反转方向^[7]（图5）。

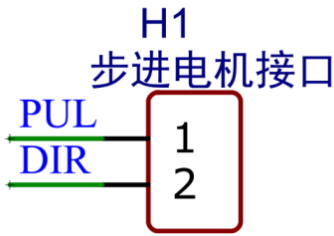


图5 步进电机控制接口端子

2.4.2 PCB 布局设计

PCB 板采用模块化分区域布局（图6），左侧集中布置4路红外传感器接口与振动传感器接口，右侧布置步进电机驱动接口，中间区域为主控核心电路。各接口均采用标准引脚定义：传感器接口从左到右依次为信号端、GND、VCC；电机接口包含脉冲、方向与电源引脚。分区布局可有效降低强弱电信号干扰，提升系统运行稳定性，同时便于现场接线与故障排查。

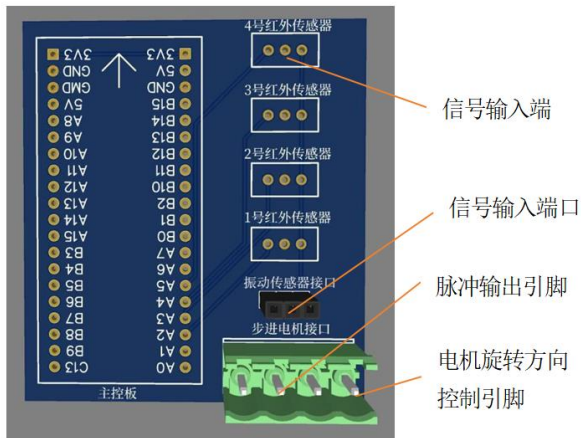


图6 PCB 设计图

3 系统控制算法与软件实现

3.1 全行程分段闭环调速算法

基于四路红外节点的位置信息，系统将单次旋转行程划分为启动、加速、匀速、减速、停止五段，对应不同转速参数，兼顾效率与停机平稳性。在两相邻传感器之间，主控依据已发出的脉冲数估算转盘转角，传感器则在节点处提供绝对位置基准，二者构成位置闭环；当估算位置与节点触发不一致时，以传感器为准进行校正^[8,9]。

系统单次旋转工作流程如下：（1）初始状态下，转盘停在原点位置，原点传感器保持触发状态；（2）检测到车

辆到位后，系统启动电机自动进行加速匀速减速全流程，当快接近停止点位时进行减速（3）到达停止点传感器时，主控切断电机输出，结合预设的滑行补偿量实现精准停机，完成一次旋转对位流程。

该分段调速避免了启停冲击，有效降低了设备运行振动并保障对位精度。

3.2 传感器信号抗干扰处理

针对红外传感器易受环境光、车灯闪烁干扰而误触发的问题，系统采用软件消抖做二次过滤：检测到电平跳变时不立即判定，而是启动定时器延时，在消抖窗口内持续检测电平状态，若保持稳定则判为有效触发，否则判为干扰并忽略。硬件整形与软件消抖结合，可大幅度降低环境干扰引起的误触发概率，提升系统运行可靠性。

3.3 振动异常保护逻辑

SW-420 为数字式振动开关，仅输出有无振动的触点信号，无法直接测量振幅，因此系统以振动持续时间区分正常与故障^[10]。一级阈值，对应设备正常运行、车辆平稳驶入的振动幅度，触发后仅记录运行数据，不执行停机操作；二级阈值，对应碰撞、卡滞等故障状态，触发后立即触发中断，执行紧急停机操作，同时点亮故障指示灯、触发蜂鸣器告警^[10]。阈值参数可通过外部调试按键进行现场标定，以适配不同场地、不同车型的运行场景，避免频繁误停机影响使用体验。

3.4 驱动死区保护机制

针对电机正反转切换时两路驱动可能同时导通的短路风险，软件设置死区延时：收到换向指令后先关闭当前导通回路，等待死区结束再开启反向回路，确保两路驱动不会同时导通。配合硬件续流二极管防护，提升驱动电路寿命与安全性。

3.5 主程序整体流程

系统软件采用模块化编程思路，主程序循环执行传感器信号采集、位置状态判定、电机控制输出、异常状态检测四大流程。上电后首先完成单片机外设、传感器接口与驱动接口的初始化，随后进入循环运行模式；若检测到振动异常信号，则立即进入中断保护流程，执行停机与告警操作。

4 系统测试与性能分析

4.1 测试方案

为验证多传感器系统的性能指标与运行可靠性，搭建测试平台开展实测试验，测试内容涵盖定位精度测试、运行效率测试、安全保护测试与抗干扰测试四个维度，全面验证系统的功能性、可靠性与稳定性。

4.2 测试结果与分析

(1) 定位精度测试

通过多次重复旋转测试,采集转盘停止后的位置偏差与角度偏差数据。结果显示,系统转盘定位误差 $\leq 5\text{cm}$,旋转角度误差 $\leq 2^\circ$,可满足车辆对位入库的精度要求,驾驶员无需额外调整方向即可直线倒车入库。

(2) 运行效率测试

对比同等场景下人工泊车与设备辅助泊车的单车位耗时,搭载该传感器控制系统的泊车设备可使单车位停车耗时较人工泊车缩短约一半,车位通行效率相应提高,可有效缓解车流高峰时段停车场出入口拥堵问题,提升商业停车场的车位周转率。

(3) 安全保护测试

模拟设备卡滞、车辆碰撞、异物侵入等异常场景,振动传感器可及时输出异常信号,系统响应迅速,能够实现快速紧急停机,有效避免故障扩大,安全防护机制可靠有效。

(4) 抗干扰测试

在模拟强光直射、车灯频闪等干扰环境下进行多次循环运行测试,红外传感器误触率低,系统可稳定完成全流程控制,具备较强的环境适应能力。

4.3 商用价值分析

相较于 AGV 泊车方案,本方案器件成本低、无需场地土建改造、运维简便,具备较好的工程推广前景;其适用场景覆盖社区、商业综合体与私人车库等多类存量停车场,可为停车场智慧化升级提供一种低成本的改造思路。

5 结论

本文设计了一套基于 STM32 的多传感器闭环控制系统,应用于转盘式车位端辅助泊车设备。以四路红外传感器构建全行程位置闭环,以振动开关构建安全防护,配合分段调速、软件消抖与死区保护,实现了精准、平稳、安全的对位控制。测试结果表明,系统定位精度高、运行稳定、安全可靠、成本低廉,可缓解新手泊车难题、提升停车场通行效率,为存量停车场智慧化升级提供可行的低成

本技术方案。

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目资助(编号:202610066001);天津市普通高等学校本科教学质量与教学改革研究计划项目“职业技能竞赛引领下的工程实践教学改革研究与实践”(编号:A251006603);天津职业技术师范大学第二批人工智能类课程专项建设项目(项目号 ZXY2025-15)。

[参考文献]

- [1]张成涛,覃立仁,杨航,等.自动泊车关键技术研究进展综述[J].汽车工程学报,2023,13(5):603-614.
 - [2]吴豪,王红宇,李枝强,等.基于 STM32 的全自动智能立体车库系统设计[J].高师理科学刊,2020,40(4):47-49.
 - [3]廖平,韩伟伟.基于 STM32 多步进电机驱动控制系统设计[J].仪表技术与传感器,2016(4):71-77.
 - [4]李传明,崔更申,尹鹏,等.基于 STM32F4 的电机控制系统设计[J].计算机测量与控制,2015,23(10):3370-3376.
 - [5]赖若麒,刘竹林,任帅,等.基于步进电机的位置随动系统的设计[J].信息技术,2012(2):82-84.
 - [6]张永芳,王霞,邢志国,等.面向机械装备健康监测的振动传感器研究现状[J].材料导报,2020,34(13):13121-13130.
 - [7]李德英,任婕灵.基于 PLC 和 MCGS 的步进电动机监控系统设计[J].自动化与仪表,2019,34(3):51-54.
 - [8]周文琳,钱俊璋,蒋平,等.基于反正切函数的步进电机位置闭环控制[J].西北工业大学学报,2024,42(5):912-919.
 - [9]陈祖霖,沈英,吴靖.结合 STM32 和 FPGA 的步进电机运动控制系统设计[J].福州大学学报(自然科学版),2020,48(1):27-33.
 - [10]汤汶聪,韩聪,寇子明,等.基于振动及声音监测的带式输送机旋转部件故障诊断[J].工矿自动化,2026,52(2):69-80.
- 作者简介:王柯(2004—),研究方向为机械设计制造及其自动化,结构与优化,天津职业技术师范大学在读学生;*通信作者:田永军(1988—),研究方向为机械设计优化理论,就职于天津职业技术师范大学。