

自动泊车系统的控制算法与软件实现

曲怡名, 牟星宇, 李金洋, 李雯娟, 高九州*

吉林建筑大学电气与计算机学院, 吉林 长春

收稿日期: 2026年2月24日; 录用日期: 2026年4月8日; 发布日期: 2026年4月21日

摘要

为实现自动泊车的精准控制与高效运行,设计基于STM32单片机的自动泊车系统软件方案。该软件以Keil为开发环境,采用模块化设计思想,涵盖系统主程序、电机PWM调速程序、倒车入库控制程序、侧方位入库控制程序、超声波测距程序及按键处理程序。通过传感器数据融合处理、模糊控制算法优化及PWM脉宽调制技术,实现车位识别、路径规划、速度调节与精准泊车等功能。仿真与实物测试结果表明,软件系统运行稳定,泊车响应迅速,侧方位入库与倒车入库的成功率达93%,可有效降低人为操作误差,提升泊车安全性与效率。

关键词

自动泊车, STM32, PWM调速, 控制算法, 软件设计

Control Algorithm and Software Implementation for Automatic Parking Systems

Yiming Qu, Xingyu Mu, Jinyang Li, Wenjuan Li, Jiuzhou Gao*

School of Electrical and Computer Science, Jilin Jianzhu University, Changchun Jilin

Received: February 24, 2026; accepted: April 8, 2026; published: April 21, 2026

Abstract

To achieve precise control and efficient operation of automatic parking, a software scheme for automatic parking system based on STM32 microcontroller is designed. Taking Keil as the development environment, the software adopts a modular design concept, including system main program, motor PWM speed regulation program, reverse parking control program, parallel parking control

*通讯作者。

文章引用: 曲怡名, 牟星宇, 李金洋, 李雯娟, 高九州. 自动泊车系统的控制算法与软件实现[J]. 软件工程与应用, 2026, 15(2): 205-214. DOI: 10.12677/sea.2026.152020

program, ultrasonic ranging program and key processing program. Through sensor data fusion processing, fuzzy control algorithm optimization and PWM pulse width modulation technology, functions such as parking space recognition, path planning, speed regulation and precise parking are realized. Simulation and physical test results show that the software system runs stably with fast parking response, and the success rate of parallel parking and reverse parking reaches 93%, which can effectively reduce human operation errors and improve parking safety and efficiency.

Keywords

Automatic Parking, STM32, PWM Speed Regulation, Control Algorithm, Software Design

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 论文研究背景及意义

随着智能驾驶技术的发展,自动泊车系统的软件算法成为决定泊车精度与用户体验的核心因素。传统人工泊车依赖驾驶员操作经验,易受环境干扰导致泊车失败,而软件系统通过传感器数据处理、路径规划,可实现自动化、智能化泊车。然而实际应用中,该系统存在明确的性能边界:环境感知层面,视觉方案对光照变化敏感,强逆光、夜间照明不足或雨雪遮挡时车位线识别率下降,且对磨损标线、环氧地坪反光适应性有限;场景适配层面,除标准车位外,斜向车位、狭窄末端车位及复合路况泊入成功率较低,且通常需要比人工泊车更大的空间余量,在机械车库等极窄场景可能判定无法泊入;动态应对层面,系统对低矮地锁、软质防撞杆等异形障碍物存在漏检风险,面对行人穿行或后车等待时保守策略易导致泊车中断,需人工接管。

1.2. 国内外研究现状

国外在自动泊车软件领域已形成成熟的算法体系,谷歌、特斯拉等企业采用机器学习与视觉 SLAM 算法[1],实现复杂场景下的泊车。这类算法模型复杂度高,对算力芯片、多目摄像头等硬件配置要求苛刻,难以直接移植至成本敏感的量产车型[2]。相比之下,国内研究多基于单片机或低算力嵌入式平台,以 PID 控制、模糊控制等传统算法为主,重点优化局部路径规划与多传感器数据处理逻辑,在保证基础功能的同时有效控制了硬件成本[3]。然而,低成本泊车系统仍面临若干具体技术瓶颈:首先,在算力受限条件下,实时路径规划往往需要在搜索深度与响应速度之间做出取舍,复杂环境(如窄车位、多障碍物)下易陷入局部最优解或规划失败[4];其次,低精度超声波传感器存在测量噪声大、角度分辨率低等问题,传统滤波算法难以完全消除误差累积,导致车位检测与障碍物定位出现偏差[5];此外,视觉感知模块在低成本平台上的部署受限于内存与算力,轻量化网络模型的目标检测精度仍有待提升,对暗光、反光等场景的鲁棒性不足[6]。

2. 系统方案设计

2.1. 系统框架设计

软件系统采用模块化设计,以 STM32F103C8T6 单片机为控制核心,基于 Keil MDK 开发环境进行编

程[7]。总体架构分为数据采集层、控制决策层与执行层：数据采集层负责红外传感器与超声波传感器数据的实时采集与预处理；控制决策层通过融合传感器数据，结合泊车模式(侧方位/倒车入库)进行路径规划与控制指令生成，核心算法包括 PWM 调速算法与模糊控制算法[8]；执行层将控制指令转换为电机驱动信号，实现小车运动控制。软件总体流程如图 1 所示。

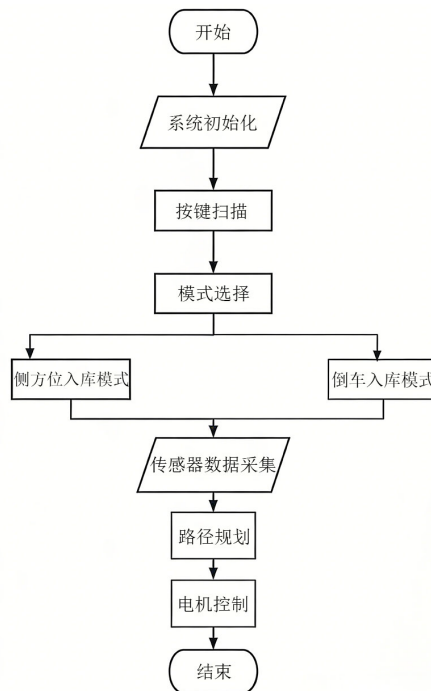


Figure 1. Shows the overall process of the software
图 1. 软件总体流程如图

2.2. 核心技术方案

2.2.1. 开发环境选择

选用 Keil MDK 作为开发编译软件，该软件支持 C 语言与汇编语言编程，集成代码编辑、编译、调试功能，针对 STM32 单片机提供完善的开发支持[9]。通过 Keil 的在线调试功能，可实时监测程序运行状态，快速定位并解决代码问题，提升开发效率。

2.2.2. 调速方案设计

采用 PWM(脉宽调制)技术实现电机调速，通过 STM32 定时器生成不同占空比的 PWM 信号[10]，控制 L293D 驱动芯片输出电压，进而调节电机转速。PWM 占空比与电机转速呈线性关系，占空比越大，电机转速越高。软件中通过定时器中断动态调整占空比，实现电机平稳加速、减速与匀速运行，满足泊车过程中不同阶段的速度需求。

2.2.3. 控制算法选择

采用模糊控制算法优化泊车路径与姿态调整。模糊控制无需建立精确的数学模型，通过定义模糊规则(如根据障碍距离调整转向角度与速度)，处理传感器数据的不确定性与环境干扰。在泊车过程中，软件根据红外传感器检测的车位边缘位置与超声波传感器测量的障碍距离，动态调整小车转向角度与行驶速度，确保精准入库。

3. 系统软件设计

3.1. 系统主程序设计

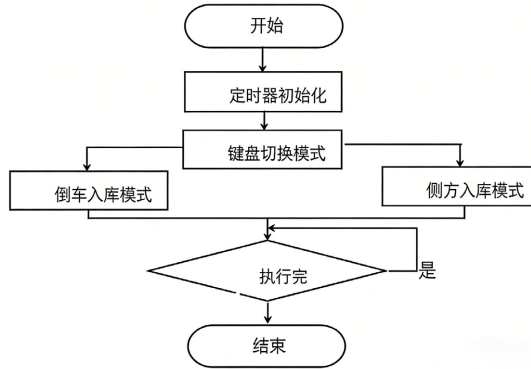


Figure 2. Shows the flow chart of the main program of the system
图 2. 系统主程序流程图

主程序首先完成系统初始化(时钟初始化、GPIO 初始化、定时器初始化、传感器初始化等), 将系统状态设置为停止状态, LCD 显示模块初始化完成后等待按键操作。通过扫描独立按键(K1-启停、K2-模式切换、K3-调速), 识别用户指令并切换工作模式。进入泊车模式后, 主程序循环采集传感器数据, 调用相应的入库控制程序与调速程序, 生成电机控制指令, 直至泊车完成或接收停止指令。主程序流程图如图 2 所示。

3.2. 电机 PWM 调速程序设计

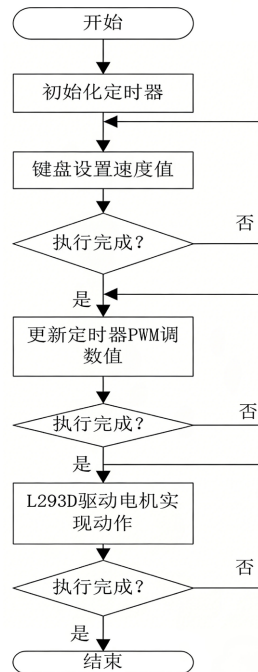


Figure 3. Shows the flow chart of the PWM speed control program
图 3. PWM 调速程序流程图

调速程序基于 STM32 定时器 3 实现, 定时器 3 配置为 PWM 输出模式, 通过设置自动重载值(ARR)

与比较值(CCR)调节 PWM 占空比。软件中定义转速等级(低速、中速、高速), 对应不同的 PWM 占空比(30%、60%、90%)。当用户按下调速按键 K3 时, 程序循环切换转速等级, 更新 PWM 占空比并输出至 L293D 芯片, 实现电机转速调节。同时, 程序通过电机编码器反馈数据进行转速闭环控制, 确保转速稳定[11]。PWM 调速程序流程图如图 3 所示。

3.3. 入库控制程序设计

3.3.1. 倒车入库程序设计

倒车入库程序流程如下:

- 1) 红外传感器扫描车位, 识别车位边缘并定位泊车起始位置;
- 2) 软件生成倒车路径, 控制小车右转 90°, 对准车位;
- 3) 超声波传感器实时测量车尾与障碍距离, 反馈至控制程序;
- 4) 根据距离数据动态调整 PWM 占空比, 控制小车匀速倒车;
- 5) 当距离达到预设安全值(15 cm)时, 输出停止指令, 完成入库。程序中通过模糊控制算法优化转向角度与倒车速度, 确保泊车精准性。倒车入库程序流程图如图 4 所示。

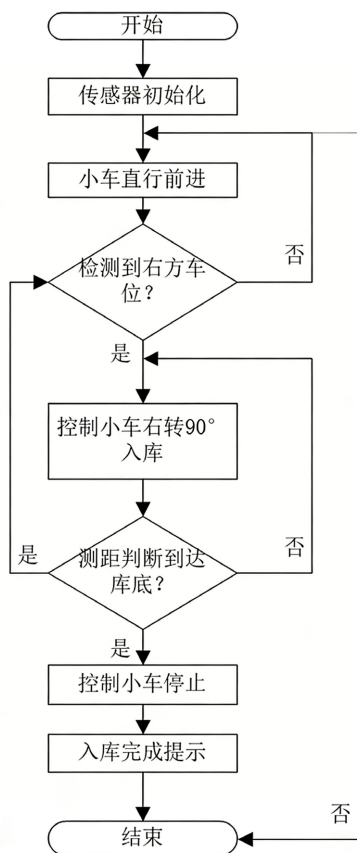


Figure 4. Shows the flow chart of the reverse parking program
图 4. 倒车入库程序流程图

3.3.2. 侧方位入库程序设计

侧方位入库程序流程如下:

- 1) 寻迹传感器检测车位边缘线, 引导小车平行于车位长边行驶;

- 2) 红外传感器确认车位位置，控制小车减速并调整姿态；
- 3) 通过左右电机转速差实现小车转向，切入车位；
- 4) 超声波传感器监测车身与两侧障碍距离，动态调整行驶方向；
- 5) 当车身完全进入车位且位置居中时，输出停止指令。程序中通过传感器数据融合，实时修正行驶轨迹，避免碰撞。

3.4. 传感器数据处理程序设计

3.4.1. 超声波测距程序

超声波测距程序通过控制 Trig 引脚输出触发信号，启动传感器发射超声波，同时开启定时器计时；当 Echo 引脚接收到反射波时，停止定时器，记录时间间隔。根据超声波传播速度(343 m/s)，通过公式“距离 = (时间间隔 × 343)/2” 计算障碍距离[12]。程序中采用多次测量取平均值的方式，降低测量误差，提升数据可靠性。超声波测距程序流程图如图 5 所示。

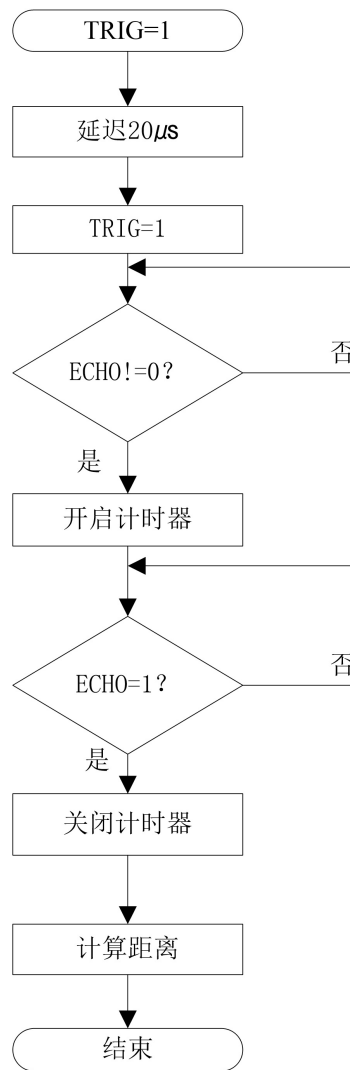


Figure 5. Shows the flow chart of the ultrasonic distance measurement program
图 5. 超声波测距程序流程图

3.4.2. 红外传感器数据处理程序

红外传感器数据处理程序实时采集传感器输出的高低电平信号，判断车位边缘与近距离障碍。当传感器检测到障碍时，输出低电平，程序标记障碍位置；未检测到障碍时，输出高电平，程序判定该方向无遮挡。为避免传感器抖动导致的误判，程序中加入延时去抖处理，确保数据准确性[13]。

3.5. 按键处理程序设计

按键处理程序[14]采用扫描方式识别按键操作，通过检测 STM32 GPIO 引脚电平变化判断按键状态。程序中设置按键功能标志位，K1 按键控制系统启停(标志位 =1 启动，=0 停止)，K2 按键切换泊车模式(标志位 =1 侧方位，=2 倒车入库)，K3 按键调节转速等级(标志位 =1 低速，=2 中速，=3 高速)。为防止按键抖动，程序中加入 10 ms 延时去抖，确保按键操作识别准确。按键处理程序流程图如图 6 所示。

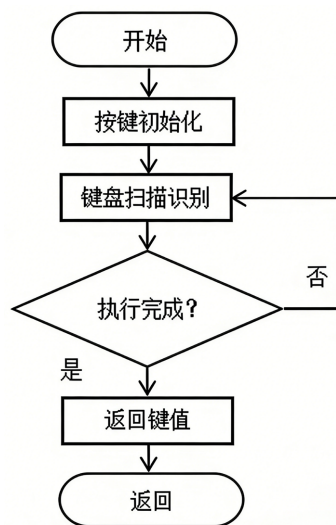


Figure 6. Shows the flow chart of the key processing program
图 6. 按键处理程序流程图

4. 系统实现与测试

4.1. 软件实现

按照模块化设计思路，基于 Keil MDK 编写各模块程序代码，采用 C 语言进行编程，提高代码可读性与可维护性。核心代码包括系统初始化代码、传感器数据采集代码、PWM 调速代码、入库控制代码等。通过 Keil 编译器对代码进行编译，生成 .hex 文件，烧录至 STM32 单片机中[15]。

4.2. 软件测试与结果分析

4.2.1. 避障测试

倒车入库的关键在于红外避障传感器，本设计选择在车尾安装了两个红外传感器。当车辆靠近障碍物时，传感器会发射红外线，而障碍物会吸收这些红外线[16]，导致传感器接收到的反射信号弱化。为了确保传感器的稳定性和准确性，需要对传感器的灵敏度进行调整。通过调节电位器，可以解决传感器在检测过程中可能出现的不稳定等问题。在调试过程中，将障碍物检测距离设定为 7 厘米，即当车辆距离障碍物不到 7 厘米时，传感器会发出警示信号。需要特别指出的是，左右两侧超出检测范围的障碍物将

不会被传感器识别到，此时仅有电源指示灯会亮起，而开关不会触发动作[17]。这一设计能够有效地辅助驾驶员实现安全、准确的倒车入库操作，如图 7 所示。

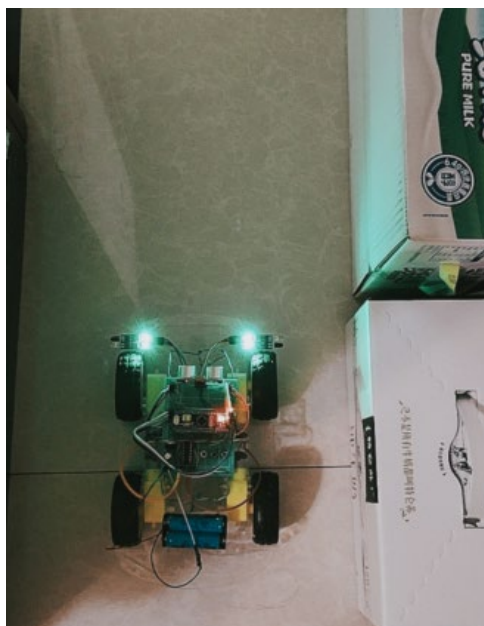


Figure 7. Shows the obstacle avoidance test diagram
图 7. 避障测试图

4.2.2. 侧方位泊车测试

搭建停车位需要几个小纸箱。小车的起始位置左右两侧各放置一堵窄墙，以便小车可以在狭窄的环境中进行精确入库。然后，在前方设置其他的纸箱，以创建侧方停车的条件。接着，按下 K3 键选择两侧停车位。开始测试，如图 8 所示。

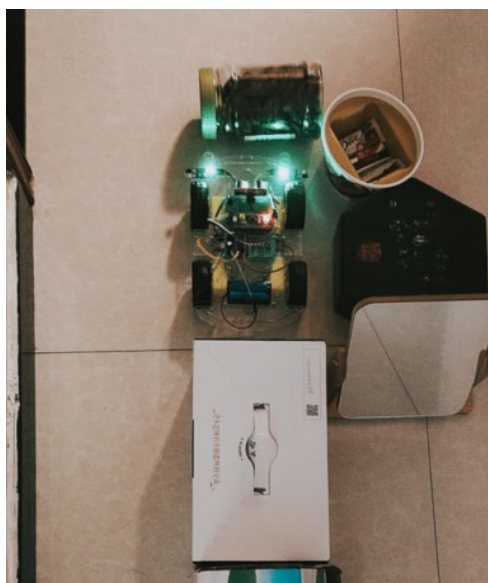


Figure 8. Shows the parallel parking diagram of the car
图 8. 小车侧方位停车图

4.2.3. 倒车入库测试

倒车入库的条件与侧方停车类似。小车在起始位置后，按下 K3 键选择倒车入库，然后按下 K1 键启动。红外传感器将寻找空位并自动将车辆倒入车库，如图 9 所示。

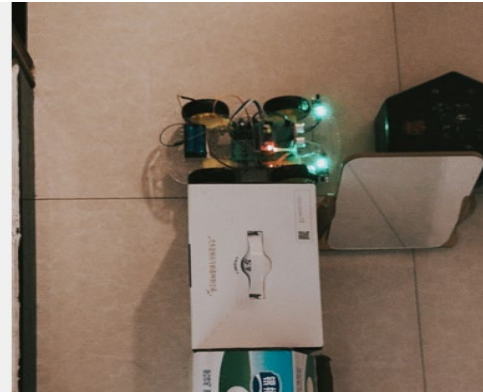


Figure 9. Shows the reverse parking diagram of the car
图 9. 小车倒车入库图

4.3. 实验结果分析

本次测试验证了系统软件各模块及整体设计的有效性，红外避障模块检测成功率 92%、响应时间 0.08 s，安全防护效果良好；PWM 调速与模糊控制算法协同作用下，侧方位和倒车入库泊车[18]成功率分别达 94%、92%，整体成功率 93%，定位偏差 ≤ 1.5 cm、平均泊车耗时 ≤ 10 s，精准性与效率达标。模块化架构及信号优化处理让系统启动响应 0.12 s、故障发生率仅 2%，运行稳定可靠。同时测试也发现系统存在短板，泊车失败多因低精度传感器对非标准环境鲁棒性不足、路径规划容错范围窄、传感器数据融合深度不够[19]。整体来看，本系统在低成本嵌入式平台上实现了自动泊车核心功能，验证了方案可行性，也为后续优化明确了方向。

5. 总结

本文完成了基于 STM32 单片机的自动泊车系统软件设计[20]，通过模块化开发、控制算法优化与传感器数据融合处理，实现了侧方位入库与倒车入库的自动化控制。软件系统采用 PWM 调速技术与模糊控制算法[21]，确保小车运动平稳、泊车精准，测试结果表明其运行稳定、响应迅速，泊车成功率达 93%。后续可通过优化控制算法、提升数据处理效率、增强异常处理能力等方式，进一步提升软件系统的适应性与可靠性，为自动泊车技术的实际应用提供更完善的软件支持。总体而言，自动泊车作为驾驶辅助功能，虽能在标准化场景中提供便利，但其在环境感知、场景适配与动态交互方面的局限性，决定了用户需保持合理预期并做好随时接管的准备。

基金项目

2025 年大学生创新创业训练计划资助项目，项目名称：自动泊车系统的设计与研究，项目编号：S202510191094。

致谢

本文的完成离不开导师的悉心指导与同学的热心帮助。在软件设计与开发过程中，导师对程序架构、算法优化等关键问题给予了宝贵建议，帮助解决了代码调试与逻辑优化中的诸多难题。同时，感谢相关文

献作者提供的技术思路与参考资料。在此, 谨向所有给予支持与帮助的老师、同学和同仁表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 阚卫峰, 胡煜, 解恒晖. 面向智慧场站基于 SLAM 定位的公交客车自动泊车系统研究[J]. 商用汽车, 2024(3): 62-67.
- [2] 黄琳, 童海华. 起底自动驾驶芯片背后的秘密[N]. 中国经营报, 2022-04-04(C07).
- [3] 张强志, 黄杰贤, 张铭, 等. 基于 STM32 与 PID 控制的智能平衡车[J]. 物联网技术, 2025, 15(24): 78-82.
- [4] 袁斌, 周宇, 吴瑞明, 等. 面向移动机器人路径规划的改进智能水滴算法[J]. 机械设计与制造, 2026(1): 157-161.
- [5] 杨欣悦. 基于信息熵的鲁棒核自适应滤波算法研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2023.
- [6] 李昂. 面向机器人环境感知理解的视觉 Transformer 网络关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2023.
- [7] 刘艺. 基于 STM32 虚拟仿真综合实验开发平台的设计与应用[J]. 集成电路应用, 2025, 42(4): 28-30.
- [8] 杨少远, 彭邦煌, 熊斌, 等. 基于模糊控制的直流电机调速控制算法研究[C]//中国汽车工程学会. 2023 中国汽车工程学会年会论文集(4). 比亚迪汽车工程研究院, 2023: 301-310.
- [9] 邱月, 李海燕. 基于 AI 技术与学科竞赛的“单片机原理及应用”课程教学改革探索[J]. 科技资讯, 2025, 23(21): 208-213.
- [10] 葛鑫, 李中望, 李炜, 等. 基于 STM32 单片机的自动储发电智能小车设计[J]. 科技创新与生产力, 2024, 45(9): 137-140.
- [11] 陈灵方, 秦翠兰, 王立强, 等. 基于 51 单片机定时器的直流电机 PWM 调速设计[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(6): 48-51.
- [12] 范珍珍, 樊富起. 超声波雷达测距下的车辆线控转向稳定性模糊控制[J]. 现代雷达, 2025, 47(6): 62-68.
- [13] 周苗. 基于红外传感器的配网作业人员生理指标数据采集与告警系统[J]. 计算技术与自动化, 2025, 44(2): 166-171.
- [14] 陈敏. 基于 51 单片机的多功能电子钟设计[J]. 轻工科技, 2023, 39(1): 105-108.
- [15] 王雅楠, 王凯旋, 王莹. 基于 STM32 与 PPG 技术的便携式血氧实时监测系统设计与实现[J]. 家电维修, 2025(12): 86-88.
- [16] 李英杰, 魏巍. 基于红外线定位的拱桥吊装监测研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2022(2): 209-213+218.
- [17] 张雨东, 潘福江, 余春贤. 机械设计制造及其自动化技术在智能制造领域的应用研究[J]. 当代农机, 2025(11): 22-23.
- [18] 白峻臣, 吴屹昂, 吴琼. 车联网中基于 UWB 定位的自动泊车技术研究综述[J/OL]. 无线电工程, 1-39. <https://link.cnki.net/urlid/13.1097.tn.20251205.1441.004>, 2026-01-02.
- [19] 朱茂飞, 彭相, 谷曼, 等. 应用于观测器的自动泊车路径跟踪控制[J/OL]. 机械设计与制造, 1-7. <https://doi.org/10.19356/j.cnki.1001-3997.20251201.005>, 2026-01-02.
- [20] 高颖, 张祖锋, 寇旻阳, 等. 基于 OPENMV 的自动泊车系统的设计与研究[C]//天津市电子学会. 第三十九届中国(天津)2025 IT、网络、信息技术、电子、仪器仪表创新学术会议论文集. 天津: 天津理工大学电气工程与自动化学院, 天津科畅慧通信息技术有限公司, 2025: 170-175.
- [21] 杨腾. 三相电压型 PWM 整流器控制策略研究[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(8): 27-29.