

基于 STM32 单片机的履带小车自动控制系统设计

姚铠洋¹, 刘元林^{1*}, 张文熙¹, 梁俊涛¹, 麦卓荣¹, 刘泽宇¹, 陈科尹¹, 金扬印²

1. 嘉应学院物理与电子工程学院, 广东 梅州 514015

2. 梅州市鑫农机械制造有限公司, 广东 梅州 514015

DOI: 10.61369/SSSD.2026090034

摘 要 : 针对复杂地面环境下移动载体的自主行走需求, 设计一款基于 STM32F103C8T6 单片机的履带小车自动控制系统。系统以 STM32 为主控制器, 搭配 L298N 电机驱动模块、HC-SR04 超声波避障模块、TCRT5000 红外循迹模块及电源模块, 实现小车自主循迹、自动避障、直线调速等功能。硬件部分采用模块化设计, 简化电路布线与后期维护; 软件部分采用 Keil MDK 开发环境, 基于 HAL 库编写控制程序, 通过中断采集传感器数据, 结合逻辑判断实现小车自主决策。经实物测试, 小车可平稳完成循迹行驶、障碍规避动作, 运行稳定可靠, 适用于巡检、探测等简易自动化场景。

关 键 词 : STM32 单片机; 履带小车; 自动控制; 循迹避障; 电机驱动

Design of an Automatic Control System for a Tracked Vehicle Based on STM32 Microcontroller

Yao Kaiyang¹, Liu Yuanlin^{1*}, Zhang Wenxi¹, Liang Juntao¹, Mai Zhuorong¹, Liu Zeyu¹, Chen Keyin¹, Jin Yangyin²

1.School of Physics and Electronic Engineering, Jia Ying University, Meizhou, Guangdong 514015

2.Meizhou Xinnong Machinery Manufacturing Co., Ltd., Meizhou, Guangdong 514015

Abstract : To address the autonomous locomotion requirements of mobile carriers in complex ground environments, this paper presents an automatic control system for a tracked vehicle based on the STM32F103C8T6 microcontroller. The system employs the STM32 as the main controller and integrates an L298N motor drive module, an HC-SR04 ultrasonic obstacle avoidance module, a TCRT5000 infrared line-tracking module, and a power supply module, enabling autonomous line tracking, automatic obstacle avoidance, and linear speed regulation. The hardware adopts a modular design to simplify circuit wiring and facilitate maintenance; the software is developed in the Keil MDK environment using the HAL library. Sensor data are acquired via interrupts, and autonomous decision-making is achieved through logical judgment. Physical test results demonstrate that the vehicle can stably perform line-tracking and obstacle avoidance tasks, making it suitable for simple automated scenarios such as inspection and detection.

Keywords : STM32F103C8T6; tracked mobile robot; embedded control system; line tracking and obstacle avoidance; motor drive control

引言

我国国土辽阔、地形地貌复杂多样, 丘陵、高原、盆地等复杂地貌在我国分布较广, 相比于轮式的小车, 履带车可以适应上述复杂多变的地形, 解决轮式车不能在复杂地形中安全快速行驶的问题^[1]。

本文设计的履带小车自动控制系统, 以 STM32F103C8T6 为核心, 整合传感器检测、电机驱动、自主决策功能, 实现小车无人工干预的自动行走。为履带式移动平台的智能化设计提供参考方案。

项目信息:

2025 年嘉应学院大学生创新训练计划国家级项目《柑橘采摘先锋——轻量化设计智能采摘机器人》(202510582004);

2021 年广东省线下一流本科课程——精密机械与仪器设计 (422A1002);

2022 年度广东省课程思政改革示范项目——精密机械与仪器设计 (423A0202);

2023 年度广东省教育科学规划课题 (高等教育专项: 2023GXJK490);

2023 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目 (424A1603);

2024 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目 (425A3201);

2024 年度广东省本科高校教学质量与教学改革工程项目 (425A3203);

嘉应学院人才科研启动项目 (2024RC18); 2024 年度校企合作共建课程 (424A2816)。

作者简介: 姚铠洋 (2005—), 男, 嘉应学院物理与电子工程学院本科生, 主要研究方向为测控技术与仪器研究。

通信作者: 刘元林 (1970—), 男, 硕士, 教授, 研究方向为机械结构无损检测技术、机械设计及理论。

一、系统总体设计

国内的果园机械化水平较低，大部分的作业环节还主要是采用人工作业为主，仅有少数规模大些的果园在部分生产环节配备了一些半机械化的辅助机械，不适宜果园生产机械化的快速发展。因此，探究适合我国果园种植模式的机械化设备迫在眉睫^[2]。

所以本系统采用模块化分层设计，分为主控制器模块、电源模块、传感器检测模块、电机驱动模块、执行机构五大核心部分，整体架构如图1所示。

主控制器模块作为系统核心，负责接收传感器采集信息，经运算处理后输出控制指令；传感器模块负责实时采集路面轨迹与前方障碍距离数据；电机驱动模块接收控制器指令，实现小车运动动作。

系统核心功能：①红外循迹：沿地面黑色轨迹自动行驶；②超声波避障：检测到障碍物时自主转向规避；③调速控制：通过PWM波调节电机转速，保证行驶平稳性；④状态指示：通过LED灯显示小车运行状态。

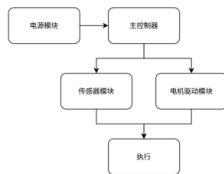


图1 系统总体架构框图

二、硬件电路设计

动力机械及作业机械因地形起伏、机体重心高等问题，导致作业稳定性差，作业效率低，严重影响作业质量、阻碍农业机械化和现代化发展^[3]。

因此，本项目硬件设计遵循低成本、易实现、高可靠性原则，选用通用元器件搭建电路，各模块独立布线，便于故障排查与功能扩展。

（一）主控制器模块

系统主控制器采用 STM32F103C8T6 嵌入式处理器，作为 32 位微控制器，其接口丰富、易于使用，为系统提供了可靠的控制核心^[4]。

该系统采用 STM32F103C8T6 最小系统板。最小系统包含复位电路、时钟电路、下载接口，保障单片机正常启动与程序烧录。最小系统板原理图如图2所示。

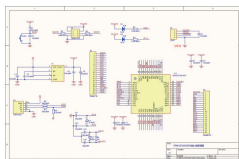


图2 系统硬件原理图

（二）电源模块

常见的供电系统典型异常故障表现为：蓄电池存在电量不足或损坏的情况、线路出现破损现象、继电器发生故障等导致电压

输出不稳定或完全无输出^[5]。因此系统采用双电源供电方案：7.4V 锂电池组为电机驱动模块供电，经 AMS1117-5V 稳压芯片转换为 5V 电压供电。AMS1117-5V 稳压芯片电路图如图3所示。

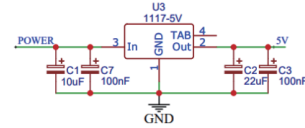


图3 AMS1117-5V 稳压芯片电路图

（三）传感器模块

1. 红外循迹模块：选用 4 路 TCRT5000 红外反射传感器，安装于小车底盘下方。循迹功能基于不同颜色表面对红外光反射率差异的原理实现^[6]。传感器发射红外线，地面黑色轨迹吸收率高、反射率低，白色地面反射率高，通过 LM393 比较器输出高低电平信号，传输至 STM32 的 GPIO 口，判断小车偏离轨迹状态。TCRT5000 红外反射传感器原理图如图4所示。

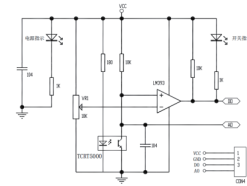


图4 TCRT5000 红外反射传感器原理图

2. 超声波避障模块：选用 HC-SR04 模块能很好的满足本设计要求。回响信号的脉冲宽度与所测的距离成正比，通过发射信号至收到回响信号时间间隔可以计算出距离^[7]。通过引脚发送触发信号，接收反射信号，再通过定时器计算时间，换算障碍物距离，设定安全阈值，低于阈值则触发避障程序。超声波模块原理图如图5所示。

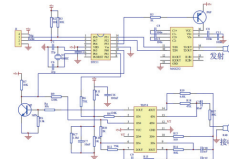


图5 超声波模块原理图

（四）电机驱动模块

在电源和电池模块系统构建完成后，还需要依靠高性能的电机驱动系统来促进小车更好地运行^[8]。电源系统为整车提供了稳定的能量供给基础，而电机驱动系统则是将电能转化为机械动能的核心执行单元。

因此系统采用 L298N 电机驱动芯片，可同时驱动两路直流减速电机，支持电机正反转、PWM 调速。STM32 控制电机方向与转速，驱动左右履带电机独立运转，实现小车运动。电机驱动模块原理图如图6所示。

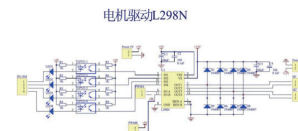


图6 电机驱动模块原理图

三、软件程序设计

随着“中国制造2025”计划的提出，必将促进智能车相关领域的投入和发展，为智能车带来更广阔的应用前景^[9]。软件整体采用主循环+中断的双层架构设计：在主循环中实现小车核心任务；通过不同机制实时采集超声波、红外循迹等传感器数据，确保系统能够快速响应外部环境变化，实现高实时性、高可靠性的自主控制。

（一）主程序流程

系统上电后，首先执行初始化操作：GPIO 端口、定时器、中断配置、传感器与电机驱动模块初始化。初始化完成后，进入主循环，依次读取红外循迹信号、超声波距离信号，判断小车行驶状态，调用对应的控制函数（循迹、避障、调速），循环执行直至断电。核心程序流程如图7所示。

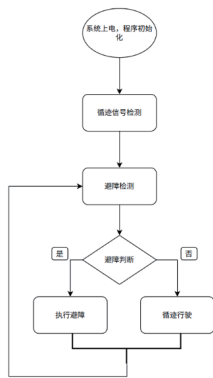


图7 核心程序流程图

（二）功能子程序设计

1. 循迹控制子程序：读取4路红外传感器电平，若中间两路传感器检测到黑线，小车直行；若左侧传感器偏离黑线，控制右侧减速、左侧全速，实现左转；若右侧传感器偏离黑线，控制左侧减速、右侧全速，实现右转，修正行驶轨迹。
2. 避障控制子程序：超声波模块定时采集障碍距离，当距离小于20cm时，小车立即停止，延时后执行后退动作，随后检测左右侧障碍，选择无障碍方向转向，转向完成后恢复循迹行驶。
3. PWM 调速子程序：通过定时器输出占空比可调的 PWM

波，占空比越大电机转速越快，系统设定默认占空比保证小车平稳行驶，转向时适当降低转速，提升动作精准度。

四、系统测试与结果分析

（一）测试环境与方案

搭建实物测试平台：小车底盘采用金属履带结构，搭载设计的硬件电路；测试路面铺设黑色循迹轨迹，设置障碍物；通过USB 线连接电脑调试串口，观测传感器数据与小车运行状态。测试项目：①循迹行驶稳定性；②避障响应速度；③电机调速平稳性；④连续运行可靠性。

（二）测试结果

经多次实物测试，系统各项功能均达标：小车可沿预设轨迹平稳行驶，偏离轨迹时修正响应迅速；超声波模块检测障碍精准，避障动作流畅无卡顿；电机调速无抖动，履带行走无打滑；连续运行30分钟，系统无死机、断电故障，整体可靠性满足设计要求。测试数据如表1所示。

表1 系统测试数据

测试项目	测试指标	实测结果
循迹偏差	$\leq 5\text{mm}$	3mm
避障响应时间	$\leq 200\text{ms}$	150ms
电机调速范围	0~100% 占空比	正常可调
连续运行时长	$\geq 30\text{min}$	45min 稳定运行

五、结论与展望

本文设计了一套基于 STM32 单片机的履带小车自动控制系统，实现了自主循迹、自动避障与无级调速行驶等核心功能。系统采用模块化硬件与分层软件架构，具备良好的可扩展性，后续可通过扩展更多模块，进一步提升平台的智能化与工程应用能力。随着工业 4.0 和智能制造的深入推进，智能循迹机器人的研究与应用将进一步拓展和深化 [10]。由于该方案结构简单、实用性强，因此适用于校园巡检、室内探测、工程实训等场景，为嵌入式系统及智能移动机器人控制技术的实践应用提供了一套简便可行的参考方案。

参考文献

- [1] 邢鸿成, 温文祥, 苑钧泉, 等. 智能手机遥控定位履带车的设计 [J]. 电脑与电信, 2021, (04): 23-26.
- [2] 梅松, 夏先飞, 何静, 等. 果园高效机械化生产装备现状与发展重点 [J]. 中国农学通报, 2025, 41(26): 117-129.
- [3] 孙景彬, 曾令坤, 应婧, 等. 农业履带底盘关键技术研究现状与展望 [J]. 农业机械学报, 2024, 55(11): 202-220.
- [4] 方帆, 许雪艳. 基于 STM32 的便携式室内空气质量检测系统设计 [J]. 蚌埠学院学报, 2022, 11(02): 51-54.
- [5] 姚乐乐, 匡凯, 康涛, 等. 车用电源系统供电稳定性优化策略 [J]. 汽车与新动力, 2026, 9(01): 5-7.
- [6] 韩强, 杨晓华, 于如兴. 基于 STM32 单片机的智能小车设计 [J]. 汽车实用技术, 2026, 51(02): 21-26.
- [7] 苏岩, 张宇翔, 王策, 等. 基于 51 单片机的循迹避障智能小车设计 [J]. 农机使用与维修, 2025, (01): 35-38+42.
- [8] 邱映杰. 基于单片机的路径识别智能小车控制系统的设计与开发 [J]. 科学技术创新, 2023, (14): 195-198
- [9] 余致立, 王玥, 刘江珊. 基于 GD32 单片机的智能循迹小车的设计 [J]. 机械工程与自动化, 2024, (01): 149-150+154.
- [10] 相群群, 胡晓霞. 循迹机器人软硬件设计及虚拟调试研究 [J]. 信息记录材料, 2026, 27(02): 42-44+75.