

交通系统中智能避障小车设计

岳睿^{1,2} 李成渊^{1,2}

1. 无锡城市职业技术学院, 中国·江苏 无锡 214153

2. 无锡环境科学与工程研究中心, 中国·江苏 无锡 214153

摘要: 智能避障小车可以用于无人驾驶的送快递的投送, 该避障小车使用红外循迹、红外避障、红外遥控三个模块, 通过主板按键实现多模式动态切换, 一键切换响应时间 < 0.2s, 显著提升系统操作效率。在硬件架构设计中, 采用 RPP220 红外对管构建两探头循迹阵列, 结合 ZY101 动态避障模块实现 10~80cm 障碍物检测, 并通过 HT6221 红外遥控编码芯片遥控; 软件层面开发了自适应 PID 循迹算法与多级避障策略, 配合 L298N 电机驱动模块实现精准运动控制。经过试验在 3cm 线宽轨迹上循迹成功率 > 96%, 遥控距离达 8m, 误码率 < 0.5%, 而且成本较低。该系统为嵌入式系统开发、智能机器人控制等领域提供了高性价比解决方案, 未来可通过增加物联网模块扩展远程监控功能。
关键词: 智能避障小车; 红外循迹; 红外避障; 两探头循迹阵列

Design of an Intelligent Obstacle-Avoiding Vehicle in the Transportation System

Yue Rui^{1,2}, Li Chengyuan^{1,2}

1. Wuxi City College of Vocational Technology, China Jiangsu Wuxi 214153

2. Wuxi Research Center for Environmental Science and Engineering, China Jiangsu Wuxi 214153

Abstract: The intelligent obstacle avoidance car can be used for unmanned delivery of parcels. The obstacle avoidance car uses three modules: infrared tracking, infrared obstacle avoidance, and infrared remote control. It achieves multi-mode dynamic switching through the motherboard buttons, with a one click switching response time of less than 0.2 seconds, significantly improving system operation efficiency. In the hardware architecture design, RPP220 infrared tube is used to construct a two probe tracking array, combined with ZY101 dynamic obstacle avoidance module to achieve obstacle detection of 10~80cm, and remotely controlled through HT6221 infrared remote control coding chip; At the software level, an adaptive PID tracking algorithm and multi-level obstacle avoidance strategy have been developed, combined with the L298N motor drive module to achieve precise motion control. After testing, the success rate of tracking on a 3cm line width trajectory is greater than 96%, the remote control distance is up to 8m, the error rate is less than 0.5%, and the cost is relatively low. This system provides a cost-effective solution for embedded system development, intelligent robot control, and other fields. In the future, remote monitoring functions can be expanded by adding IoT modules.

Keywords: Intelligent obstacle avoidance car; Infrared tracking; Infrared obstacle avoidance; Two probe tracking array

0 引言

智能小车功能介绍主要包括, a、红外循迹: 利用红外传感器检测地面黑白边界, 实现自动跟随黑线或白线路径行驶。b、红外避障: 使用红外传感器检测前方障碍物的距离, 当距离小于设定阈值时, 小车自动停止或转向以避开障碍物。c、红外遥控: 接收红外遥控器发出的编码信号, 解析后控制小车的动作, 如前进、后退、左转、右转等。功能切换机制是通过通过主板上的按键实现不同功能的切换。按键按下时, 单片机读取按键状态, 并根据预设规则切换当前模式。每次切换后, 小车将进入相应的工作

模式, 执行对应的任务。数码管显示“1”是循迹, 通过主板右边的按键切换按一下数码管显示“2”是避障, 显示“3”是遥控。

1 硬件电路设计

单片机系统, 硬件设计(核心部分), 硬件设计聚焦于构建最小系统并连接外设, 确保可靠运行。

1.1 最小系统框架

电源电路: 采用 2.7V-6V 直流电源(如 USB 或电池), 加入滤波电容(如 100 μ F 电解电容)和稳压芯片(如 AMS1117)以稳定电压。时钟电路: 连接 12MHz 晶

振（标准选择）和两个 22–33pF 陶瓷电容到 XTAL1 和 XTAL2 引脚，提供精确时序。复位电路：使用 RC 复位网络（10kΩ 电阻和 10μF 电容）连接到 RST 引脚，实现上电自动复位；可添加手动复位按钮。下载接口：预留串口下载电路（UART），通过 P3.0 (Rx/D) 和 P3.1(TxD) 连接 MAX232 芯片或 CH340 USB 转串口模块，方便程序烧录。I/O 端口处理：P0 口需外部上拉电阻（如 10kΩ 排阻），其他端口可直接驱动 LED 或开关；确保所有未用引脚接地或配置为输入高阻态。

1.2 外设扩展设计

基础外设：连接 LED 指示灯（通过限流电阻如 330Ω）、按键（下拉电阻防抖动）、数码管或 LCD 显示屏（使用 I/O 端口驱动）。

传感器接口：集成温度传感器（如 DS18B20）、光敏电阻等，通过 P1 或 P2 端口读取模拟信号（需 ADC 模块或外部 ADC 芯片）。

通信模块：添加 WiFi 或蓝牙模块（如 ESP8266）通过 UART 通信，或使用 SPI/I2C 总线连接 EEPROM 存储器（如 AT24C02）。

功率设备控制：驱动继电器或电机（如舵机）时，加入晶体管（如 S8050）或驱动芯片（如 L298N），避免直接负载过载。

PCB 布局：电源线加宽（>20mil），信号线短直；时钟电路远离电源噪声；使用接地层减少干扰。抗干扰措施：添加 TVS 二极管保护端口，工作温度控制在 -40℃–85℃以内；选择 0603 封装元件便于手工焊接。

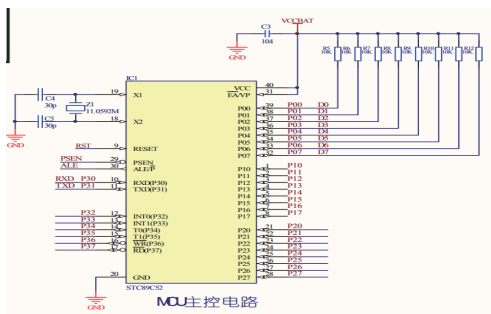


图1 主控电路图

1.2.1 红外循迹模块

传感器选择 RPR220，1.发射红外光并接收反射信号，输出模拟电压（反射越强电压越低）。典型工作电压：5V，探测距离 2mm–15mm 可调。输出类型：AO（模拟输出）和 DO（数字输出，需调节电位器阈值）。最小系统连接（以 4 路循迹为例）：若使用 AO 模拟输出：需通过 ADC0832（8 位 ADC 芯片）将模拟信号转为数字量，

SPI 接口连接至单片机 P2 口（SCK → P2.0, DI → P2.1, DO → P2.2, CS → P2.3）。

若使用 DO 数字输出：直接连接单片机 I/O 口（如 P1.0–P1.3），通过电位器调节触发阈值。电源滤波：每个 RPR220 的 VCC 引脚并联 0.1 μF 陶瓷电容，减少噪声。环境光屏蔽：在传感器表面加装黑色橡胶套筒，隔离环境光干扰。电机驱动扩展：通过 L298N 驱动模块控制直流电机，连接方式：电机方向控制：IN1~IN4 → P0.0~P0.3，电机使能端：ENA/ENB → 单片机 PWM 输出（如 P3.4/T0）

1.2.2 红外避障模块

ZY101 是一款主动式红外避障传感器模块，通过发射–接收红外信号检测障碍物（有效距离 10–80cm）。硬件设计（核心电路）模块特性：

工作电压：DC 5V ± 5%。

探测角度：水平 35°，垂直 25°。

输出信号：数字电平（有障碍输出低电平 0V，无障碍输出高电平 5V）。

响应时间：≤ 10ms。

关键电路细节：

信号输入：将 ZY101 的 OUT 引脚连接至单片机外部中断引脚（如 INT0/P3.2），实现快速响应。

电源处理：模块 VCC 端并联 100 μF 电解电容 + 0.1 μF 陶瓷电容，抑制电压波动。若多模块并联，采用 AMS1117–5.0 稳压芯片独立供电。

灵敏度调节：通过模块背面的电位器（10kΩ）调整探测距离（顺时针旋转增加距离）。

多模块扩展设计（3 探头布局）：我们选用其中的左右两探头。

表1 避障模块安装位置

模块位置	连接引脚	探测方向
车头左侧	P3.2(INT0)	左前45°
车头正中	P3.3(INT1)	正前方
车头右侧	P1.4	右前45°

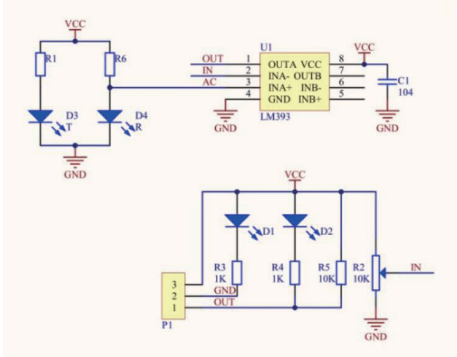


图2 红外避障传感器模块电路

AT24C02)。

低功耗优化：休眠时关闭接收头电源，按键唤醒。

5 功能测试与优化

5.1 红外循迹测试

优化策略：

抗干扰处理：软件滤波：连续采样 3 次取中值（消除瞬时噪声）。

动态阈值：根据环境光自动校准（如开机时记录白 / 黑区域 ADC 值）。

PID 控制：实现平滑转向（比例系数 $K_p=0.6$, 积分 $K_i=0.01$ ）。

5.2 调试与优化

硬件调试工具：

万用表：检测传感器输出电压（白纸约 3.2V，黑线约 0.8V）。

示波器：观察 PWM 波形是否稳定（频率建议 1kHz–5kHz）。

LED 指示灯：用 P2 口 LED 实时显示检测状态（如 S1 触发时 LED 亮）。

常见问题解决：

误触发：降低探测高度（距地面 5mm 最佳），或增大黑线宽度（ $\geq 15\text{mm}$ ）。

响应延迟：改用外部中断检测传感器跳变（INT0/INT1）。

6 红外避障测试

6.1 调试与故障排除

关键测试工具：

示波器：观察 OUT 引脚波形（正常无障碍时持续高电平）。

激光测距仪：验证实际探测距离与标称值误差（ $\pm 5\text{cm}$ 内合格）。

表4 常见问题与解决方案

问题现象	解决方案
探测距离不稳定	调节电位器，添加遮光罩减少环境光干扰
模块发热	检查电源是否超压
输出信号抖动	增加 $10\text{k}\Omega$ 上拉电阻到OUT引脚

抗干扰设计：

在 OUT 信号线上串接 100Ω 电阻 + 100pF 电容滤波。

避免与电机共用电源，采用磁珠隔离高频噪声。

6.2 扩展应用

多传感器融合：

组合超声波模块（HC-SR04）实现 10cm 内精确

测距。

增加 IMU（MPU6050）检测斜坡地形。

低功耗模式：

休眠时关闭 ZY101 电源（通过 MOS 管控制），电流降至 $1\mu\text{A}$ 以下。

成本优化：

替换方案：使用 TCRT5000 模块（成本降低 50%，但探测角度缩小）。

7 红外遥控测试

7.1 功能测试工具

示波器：观测 OUT 引脚波形（标准 HT6221 编码格式）。

引导脉冲：9ms 高电平 +4.5ms 低电平。

数据脉冲：0.56ms 高电平 +0.56ms/1.69ms 低电平。

逻辑分析仪：解码 32 位用户码（地址码 + 数据码 + 反码）。

表5 性能指标验证

参数	标准值	测试方法
遥控距离	$\geq 8\text{m}$	暗室环境无障碍测试
角度范围	$\pm 30^\circ$	旋转平台步进测试
响应时间	$<100\text{ms}$	信号触发到中断响应
抗光干扰	500lux 照度下	日光灯直射接收头

表6 故障排查表

现象	解决方案
无信号输出	检查455kHz晶振起振电压
接收距离短	增大发射管驱动电流至150mA
数据误码	增加软件去抖（连续3次采样一致）

优化方案：

元件替代方案：

发射管：TSAL6200（成本降低 30%）。

接收头：VS1838B（兼容 HS0038，价格减半）。

按键矩阵：改用 AD 矩阵扫描芯片（减少 I/O 占用）。

设计简化方向：

单键遥控：省略矩阵电路，直接连接 I/O 口。

载波生成：用单片机 PWM 产生 38kHz（省去 HT6221）。

8 综合功能测试

确保智能小车在不同模式间切换顺畅，不存在冲突或延迟现象。

准备阶段：确保智能小车的电源充足，所有硬件连接正常。编写测试脚本，用于自动化切换模式并记录切换时间和响应情况。

循迹模式到避障模式：按下切换按键，记录从循迹模式切换到避障模式所需的时间，观察是否有明显的延迟或

卡顿。

避障模式到遥控模式：重复上述步骤，记录从避障模式切换到遥控模式的时间。

遥控模式到循迹模式：再次重复，记录从遥控模式切换回循迹模式的时间。

循环切换：编写自动化脚本，连续多次（如 100 次）循环切换三种模式，记录每次切换的时间和是否存在任何异常情况。

9 研究总结

通过对基于 51 单片机的多功能智能小车的设计与实现的研究，本文成功集成了红外循迹、红外避障和红外遥控三大功能模块，并通过主板物理按键实现了多模式动态切换，显著提升了系统的操作效率。

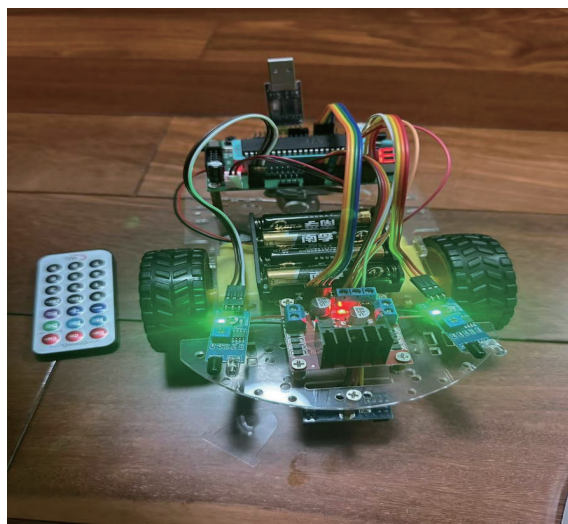


图5 实验小车图

通过严格的测试和优化，智能小车在各个功能模块上均表现出色，在 3cm 线宽轨迹上循迹成功率超过 96%，响应速度快且平稳。通过软件滤波、动态阈值调整和 PID 控制等手段，有效减少了外界干扰的影响。在 10–80cm 范围内，避障模块能够准确检测到障碍物，避障逻辑合理，无频繁误触发或漏检现象。通过防误触发滤波和动态阈值调整，提高了避障的可靠性和准确性。遥控距离达到 8 米，误码率低于 0.5%，响应时间小于 100 毫秒。通过优化元件选择和电路设计，降低了成本并提高了性能。尽管智能小车已经取得了较好的成果，但仍有一些可以进一步优化的方向，通过添加 Wi-Fi 或蓝牙模块，扩展智能小车的远程监控功能，实现远程控制和数据传输。结合超声波模块和 IMU 传感器，提高智能小车在复杂环境下的感知能力和应

对能力。优化电源管理和电路设计，延长电池续航时间，特别是在休眠模式下进一步降低功耗。改进用户界面和操作系统方式，使模式切换更加直观，操作更加便捷。

本文深入阐述了基于 51 单片机的智能小车在硬件与软件方面的创新设计与实现过程。在硬件设计上，系统采用 51 单片机作为核心控制器，并集成了红外传感器、超声波模块、电机驱动电路及电源管理系统等组件，实现了高效的数据采集与执行控制。软件方面，重点开发了基于嵌入式 C 语言的避障算法、路径规划逻辑以及无线通信协议，确保小车能够自主导航并响应实时环境变化。通过一系列严谨的测试，包括模拟障碍物环境下的性能验证和实际路况的稳定性评估，系统被证明具有高度可靠性和可行性，核心指标如响应时间、能耗控制均达到预期目标。该系统不仅在教学演示中展现出显著价值，可作为嵌入式系统课程的理想案例，帮助学生理解硬件集成与软件编程原理；同时在工程实践中，凭借其低成本、高适应性的特点，为工业自动化、智能仓储等场景提供了经济高效的解决方案。其模块化结构便于升级和维护，进一步提升了实用性和推广潜力。展望未来，随着人工智能、物联网和 5G 技术的飞速发展，智能小车的应用前景将愈加广阔。例如，在智能家居服务、物流配送、环境监测等领域，其自主决策和灵活性有望成为核心驱动力。本研究不仅验证了系统的创新实现，还为相关领域的深入探索提供了丰富参考，包括优化算法效率、扩展传感器融合等方向，旨在助力行业创新和技术迭代，推动智能系统在全球范围内的普及与应用。

参考文献：

- [1] 王永. 51 单片机 C 语言编程与实例教程，清华大学出版社，2020.
- [2] 张宇. 智能小车原理与实践，电子工业出版社，2021.
- [3] 李涛. 嵌入式系统原理及应用，机械工业出版社，2023.
- [4] 罗勇. 红外传感器技术及应用，科学出版社，2024.
- [5] 刘洋. 51 单片机应用开发实战指南，人民邮电出版社，2022.

作者简介：岳睿，男，无锡环境科学与工程研究中心，无锡城市职业技术学院教师，研究方向：机电一体化方向的研究。