

# 小车跟随行驶系统（C 题）

## 摘要

本系统采用 MSP432P401R 开发板作为主控，使用 OLED 显示屏和开发板板载按键作为人机交互模块，设计了两辆智能小车。小车均使用灰度传感器，通过处理不同反射光的强弱对比以识别路径，实现巡线功能。使用超声波传感器以测量领头小车与跟随小车的距离，同时采用 PID 算法，调节电机 PWM 占空比，完成闭环控制，加快动态响应，使两车保持一定的间距。通过无线通讯模块，保持两车间的通讯，实现超车与反超车，同时结合鲁棒控制算法，实现高速运动状态下的停车功能。

**关键字：**MSP432；PID 算法；灰度传感器；超声波测距；无线通讯；鲁棒控制算法

# 一、引言

随着汽车工业和电子技术的发展，人们对汽车智能化的要求越来越高，研究也越加深入。智能化汽车提高了汽车的安全性和经济性，满足了特殊环境的特殊需求。智能小车集计算机、传感、通讯、自动控制等技术于一体，在一定环境中，收集环境信息，通过预置的模式，在没有人为干预的情况下自行规划判断。本次设计的智能小车实现了循迹、急停、双车跟随及超车等功能。

# 二、系统方案

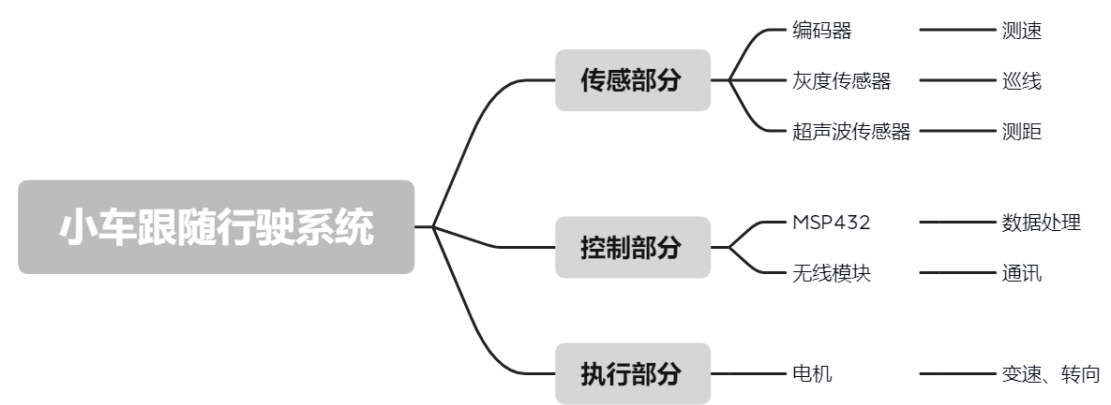


图 2.1 智能小车硬件结构

分析题目需求，小车跟随系统应该包括一辆领头小车和一辆跟随小车，两车应具备循迹、变速、姿态调节等基础功能。根据不同任务要求，智能小车还应具备任务选择交互、路径选择、距离检测、车间通讯等功能，以实现超车和反超车、停车。

本小车跟随行驶系统硬件以 MSP432P401R 单片机为控制核心，由驱动模块、灰度检测模块、超声波测距模块、无线通讯模块、显示等功能模块组成。使用 3S 锂电池供电，利用同步整流电路和 LD0 稳压电路将锂电池所提供的 12V 电压分别处理为 5V 和 3.3V，为测控系统和驱动系统供电；使用电平转换芯片，将灰度传感器返回的 5V 高电平转换为 3.3V 高电平，以能够与 MSP432P401R 单片机的 IO 口连接。

智能小车使用左右各两个直流减速电机驱动，以编码器采集数据，采用 PID 算法，调节电机 PWM 控制小车行进速度，使小车以合适的速度行驶。考虑到行驶

场地黑色引导线为 1cm，若使用红外传感器进行检测，精度较低，于是选取得科技术第一代灰度传感器以识别引导线，结合灰度传感器输出的数据，利用左右两电机的差速控制小车行驶方向。领头小车装有有来有去超声波模块的发送模块和接收模块，分别与跟随小车的接收模块和发送模块相对应。结合超声波模块以及 LQ\_BT1V2 蓝牙模块，反馈调节小车的行驶速度，从而使前后两车保持合适距离，实现跟随、超车功能。使用 OLED 屏幕和 MSP432 板载按键，实现任务选择功能。

## 三、理论分析

### 3.1 小车间通讯模式分析

本系统采用蓝牙无线模块以实现小车间的通讯。

我们选用了基于 CH9141 蓝牙串口芯片、板载集成蓝牙天线的 LQ\_BT1V2 蓝牙模块，此模块分为主从一体机和从机，同一时间支持最多四个模块的通讯。主从一体机可以作为主机或者从机使用。集成蓝牙串行数据透传，波特率最高可达 1.384Mbps。

在两辆小车上均安装主从一体机，领头小车蓝牙无线模块可通过单片机的串口功能传输任务信息，将信号发送给跟随小车，完成同时停车的任务。同时，领头、跟随小车的蓝牙模块均可自动在主机与从机间切换，从而改变主从关系，以适应两车超车与反超车的需要。此外，可以将主机与 PC 端连接，便于小车的调试。

### 3.2 小车运控设计

本系统采用电机驱动、编码器、灰度传感器等模块，结合 PID 算法，控制小车的运动状态。

我们选用了 MG513P20\_7.4V 电机和霍尔编码器。单片机将设定速度传输给电机驱动，电机驱动控制电机以预期转速转动。综合规定速度、两车间距、任务要求，设定小车行驶速度。此外，为实现循迹功能，选用了得科第一代灰度传感器，灰度传感器在读取小车姿态后将数据传输给单片机，通过调节左右两侧电机的差速实现变向。编码器将实际转速返回给单片机，采用 PID 算法，调节电机占空比修正速度，将新设定速度传输给电机驱动。

### 3.3 小车间距离控制

本系统采用超声波传感器以实现小车间距离控制。激光传感器价格较高，红外传感器测量范围较小，相较于以上两种传感器，超声波传感器频率高、抗干扰能力强、不受物体表面颜色影响、价格适中。

我们选用了用于双车测距的有来有去超声波模块，此模块分为发送模块和接收模块。发送模块上装有红外发射管与超声波发送探头，接收模块上装有红外接收管与超声波接收探头。设置发送模块的使能端 EN 端口为高电平，超声波发射探头每 20ms 发送一次信号，光信号与声波信号同时发出，接收端收到光信号后开始计时，超声波探头收到信号时结束计时得到时间  $t$ ，则两模块距离  $s = t \times 340$  (m/s)。选择输出格式为 UART 格式，直接使用串口输出距离。

此后，采用 PID 算法，控制电机转速，以保持两车间距。如图 3.3.1 所示。

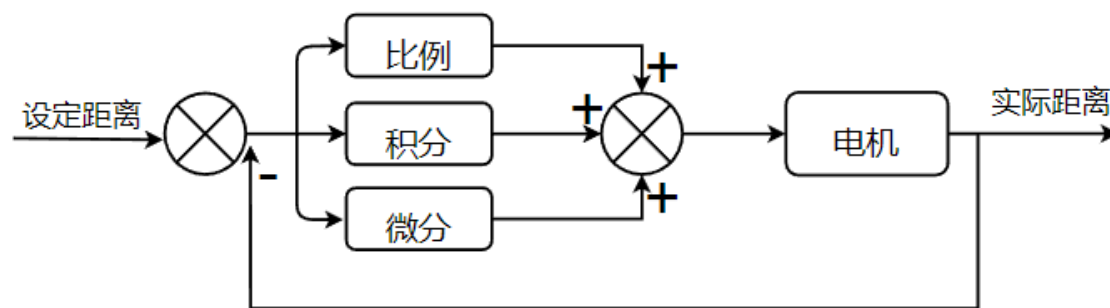


图 3.3.1 PID 算法控制原理

## 四、电路与程序设计

### 4.1 小车循迹电路

得科技第一代灰度传感器电路原理图如图 4.1.1 所示。

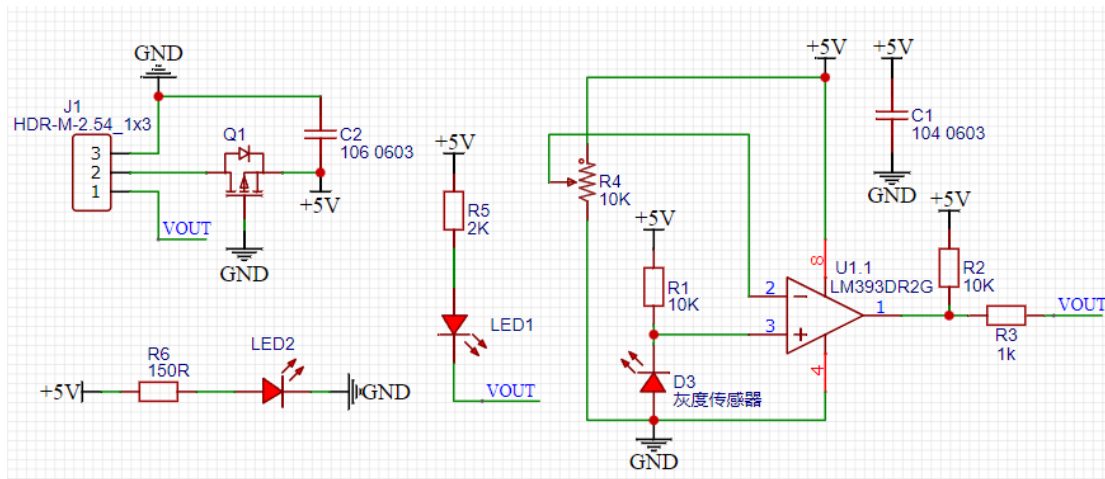


图 4.1.1 灰度传感器模块电路原理图

## 4.2 小车间通信电路

无线通讯模块原理图如图 4.2.1 所示。通信协议中，一帧 4 个字节，控制速度的为第二给字节和第三个字节，实现车间通信。

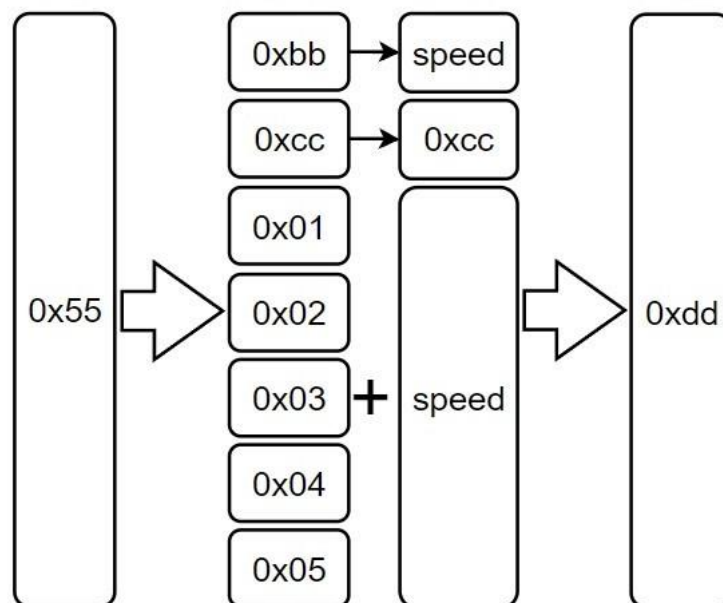


图 4.2.1 蓝牙无线通讯协议

## 4.3 小车防撞设计电路

小车行驶过程中，利用超声波测距模块测量车间距离，及时调整跟随小车速度以保持一定间距。此外，在任务四中，领头小车识别到“等停指示”标识后，由于蓝牙信号传输有一定时间差，跟随小车仍处于高速运动状态，为使跟随小车达到急停的目的，结合了鲁棒控制算法，避免跟随小车与领头小车相撞。

有来有去超声波测距模块 PCB 图如图 4.3.1 所示。

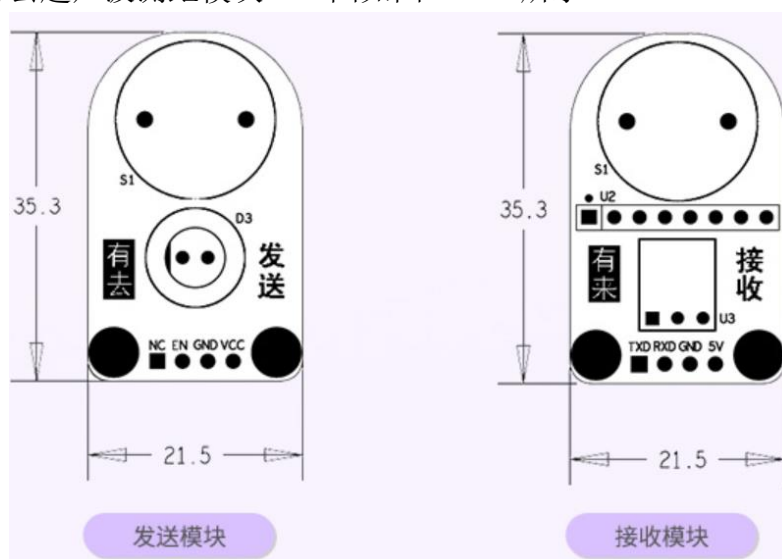


图 4.3.1 超声波测距模块 PCB 图

## 五、测试方案与测试结果

### 5.1 测试方法与仪器

由于智能小车需要实现的功能较多，测试时将整个系统分为了电机测试、循迹测试、测距测试、整体测试。

电机测试：通过多次改变部分参数数值，运行测试是否与预设情况相同。

循迹测试：使用白纸黑胶带模拟测试。由于小车的循迹模块是由六个单路灰度传感器并排放置构成，我们先分别测试了六个传感器的识别情况。

测距测试：多次运行程序，根据目测以及最终停车时卷尺所测得的小车间距，判断跟随小车是否按要求完成跟随任务。

整体测试：当全部模块按要求稳定运行后，依据比赛要求制作了行驶场地，在路径上进一步进行精确调试，经过分析、调整参数、修改程序，根据环境光照变化等调节传感器灵敏度以实现设计要求，完成题目任务。

测试过程中用到了电脑、卷尺、万用表、示波器、无线下载器。

## 5.2 测试数据完成性

任务一：

次数	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	领头小车平均速度 (m/s)
1	19.40	18.3	0.30
2	20.40	18.8	0.29
3	20.10	18.0	0.30
4	19.80	18.5	0.30

任务二：

次数	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	领头小车平均速度 (m/s)
1	19.80	20.8	0.53
2	20.60	22.6	0.48
3	21.00	22.1	0.50
4	20.20	21.9	0.50

任务三：

次数	超车	反超车	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	领头小车平均速度 (m/s)
1	完成	未完成	\	23.3	0.68
2	完成	完成	18.00	23.5	0.67
3	完成	完成	21.50	22.2	0.71
4	完成	完成	20.40	22.6	0.70

任务四：

次数	急停	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	领头小车平均速度 (m/s)
1	完成	32.60	11.8	0.81
2	完成	6.20	10.0	1.10
3	完成	16.30	11.3	0.87
4	完成	18.80	10.4	1.01

## 5.3 测试结果分析

在循迹测试后，发现循迹功能存在较大问题，主要体现在跟随小车的稳定性方面，跟随小车容易出现车尾左右抖动幅度较大的情况。针对此问题，我们反复调整了跟随小车的灰度传感器以及驱动程序的参数。其次，在跟随小车与领头小

车的通讯也存在一定问题，尤其体现在任务 4 中，领头小车识别到“等停指示”标识后，由于跟随小车停车不及时，容易发生两车相撞事件。在修改参数、运用鲁棒控制算法后，问题得到了解决。

## 六、结论

经过四天三夜的制作调试，小车跟随行驶系统最终能够按照任务要求运行。比赛最初的问题在于没有料到需要两辆小车，硬件准备不充足，为了不浪费时间，我们在等待硬件到货时选择先写软件部分，调试已有模块。在搭建车体结构时，出现了接线错误，导致小车未按照设想行驶，所幸排除软件问题后快速找到了问题所在，及时修正。总的来说，不论最终结果如何，我们在本次竞赛中一边学习一边实践，积累了经验，丰富了知识。

## 参考文献

- [1]Dorf R C, Bishop R H. Modern Control Systems[M]. 11th. Prentice Hall, 2007-08-10.
- [2]戴胜华等. 单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社/北京交通大学出版社, 2005.
- [3]贾伯年,俞朴,宋爱国. 传感器技术[M]. 东南大学出版社, 2007.
- [4]王宜怀,许燊昊,曹国平. 嵌入式技术基础与实践:基于 ARM Cortex-M4F 内核的 MSP432 系列微控制器[M]. 清华大学出版社, 2019.
- [5]徐新民. 单片机原理与应用[M]. 浙江大学出版社, 2006.