

## 小车跟随行驶系统（C 题）

**摘要：**以 MSP432P401R 单片机为控制核心，结合 PID 算法，设计制作了小车跟随系统。系统包含电池，电机，灯光指示系统，显示屏，同步 BUCK 电路，电机驱动，灰度传感器，蓝牙芯片，超声波测距模块。领头小车选择任务模式和行驶速度后，通过蓝牙协议发送给跟随小车，同时启动。小车通过灰度传感器和姿态传感器进行数据融合后使用 PID 算法控制巡线，通过编码器和超声波数据融合控制小车距离在 20 厘米左右。领头小车检测到终点标识后，发送停止信号给跟随小车，使用鲁棒控制算法在高速运动的情况下仍然能快速急停。

**关键字：**PID 算法；灰度传感器；鲁棒控制算法；超声波测距模块；蓝牙无线串口模块。

# 1. 系统方案

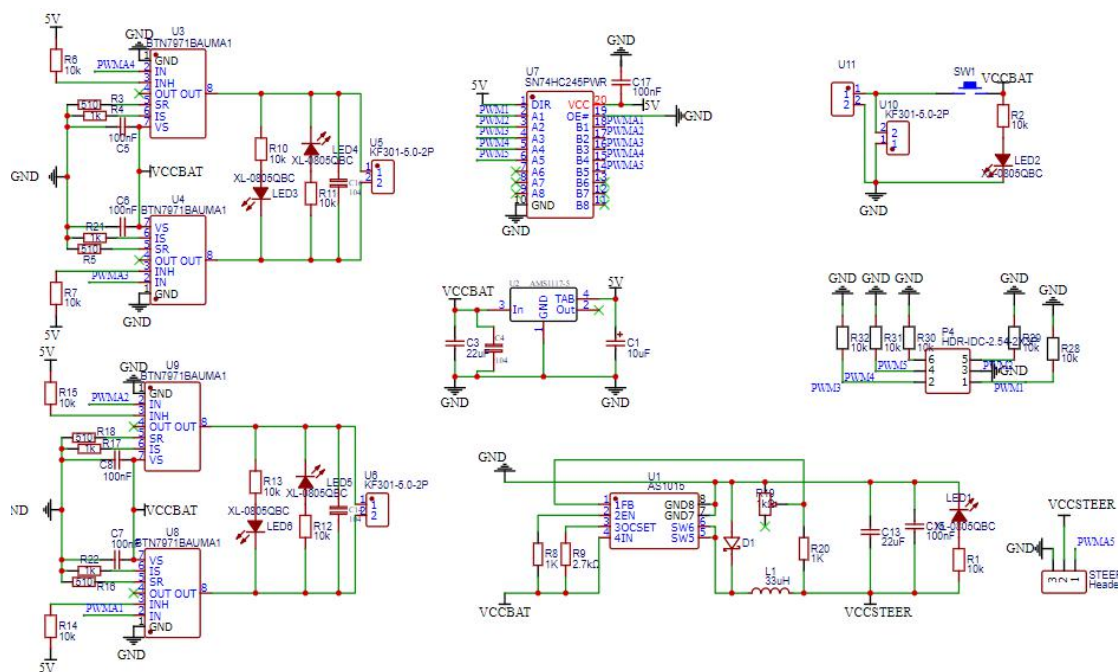
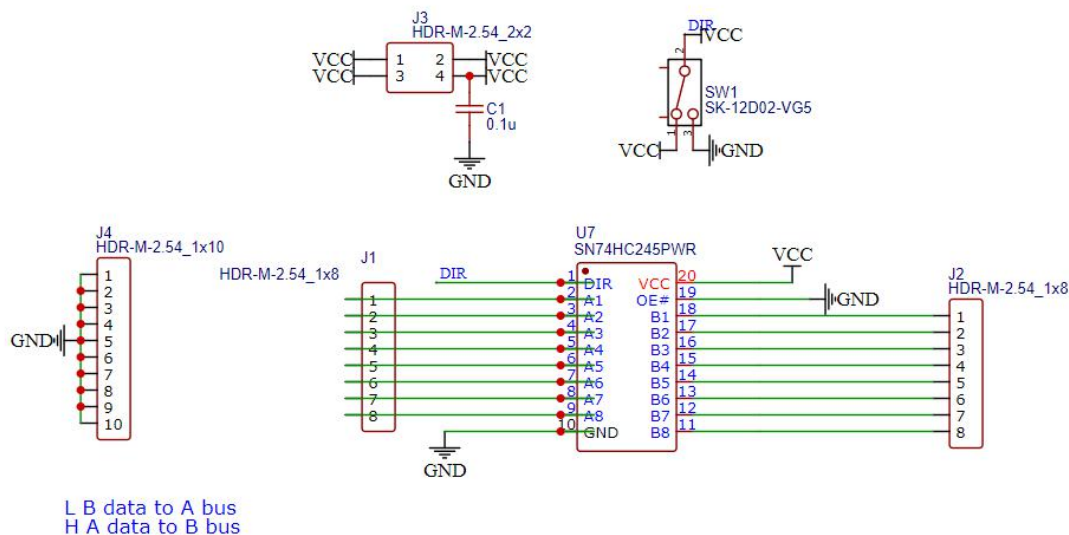
## 1.1 工作过程概述

题目要求参赛者设计一套小车跟随行驶系统，由一辆领头小车和一辆跟随小车组成，要求小车具有循迹功能，速度在  $0.3 - 1\text{m/s}$  可调，能在指定路径上根据任务完成行驶操作。跟随小车能够按照  $20\text{cm}$  间距跟随领头小车行驶，全程不能发生小车碰撞。在要求 3 中，领头小车与跟随小车能够实现反超和领跑。在要求 4 中，头车检测到等停指示时，要求停车位置准确，停车时间为 5 秒。

根据题目要求，小车需要具备姿态调节，循迹，路径选择，距离检测，小车间通讯，任务选择交互功能。在小车结构设计中我们采用四轮差速小车，通过小车间左右轮子差速，实现循迹，姿态调节。任务要求小车在跟随状态时小车间距约为  $20\text{cm}$ ，所以在行驶过程中需要两辆小车速度稳定。循迹部分，小车间前部安装灰度传感器检测赛道元素，结合姿态传感器计算循迹差速。小车间距离通过超声波测量的距离和编码器读到的速度进行数据融合得到较为准确的车距，使用 PID 算法控制跟随小车的速度来调节小车间距。小车间通信选择使用 HC-05 蓝牙芯片，领头小车通过蓝牙控制跟随小车开始、停止和超车。任务选择交互功能通过 OLED 屏幕和 TI 公司的 MSP432P401R 开发板的板载按键实现。

## 1.2 总体设计方案

考虑到小车要求的行驶速度和小车电机减速比，质量，我们最终选择 3S 锂电池为小车供  $12\text{V}$  电压。 $12\text{V}$  电压通过同步整流电路和 LDO 稳压电路分别稳定输出  $5\text{V}$  和  $3.3\text{V}$  为小车的测控和驱动系统供电。MSP432P401R 单片机 IO 口最大耐受电压为  $3.3\text{V}$  但由于灰度传感器正常工作电压为  $5\text{V}$ ，返回高电平时也为  $5\text{V}$  左右，我们选择通过一片电平转换芯片将  $5\text{V}$  高电平转换为  $3.3\text{V}$  高电平。单片机产生的 PWM 信号通过电机驱动控制 MOS 管开关频率，达到调节小车轮子速度。蓝牙模块与超声波测距模块分别通过单片机的串口功能传输任务信息和小车间距并以此控制小车行驶。



## 2.2 小车运控设计

运动控制系统包含电机，电机驱动，编码器，灰度传感器模块，通过 PID 算法控制领头小车和跟随小车平稳运行。单片机通过产生可以调整占空比的 PWM 控制电机转动速度。编码器读取的车轮子实际转速作为反馈，与设定速度相比并通过 PID 算法使电机转速更加稳定。单片机读取灰度传感器数值后，判断小车相对于循迹线的姿态并通过电机调节左右轮差速，以实现循迹。

## 2.3 小车间距离控制

小车通过超声波测距模块测得两车间距。超声波模块采用 UART 格式，通信波特率为 115200，直接使用串口输出距离，输出频率为一秒 50 个。数据包格式为 0XA5 加两个字节数据。数据单位是 mm。得到的小车间距离数据融合编码器数据，通过 PID 算法控制电机转速实现小车间距离控制。超声波模块与激光测距模块相比抗干扰能力强不易受外界遮挡物影响，且价格便宜。我们采用的超声波测距模块，分为发送模块和接收模块发送模块只有红灯，接收端有蓝灯和红灯；红灯为电源指示灯。接收端蓝灯闪烁代表检测的距离长短，闪烁越快表示距离越近。当接收端未收到信号时，蓝色信号灯会以固定较慢的频率闪烁并接收端输出最大值距离。

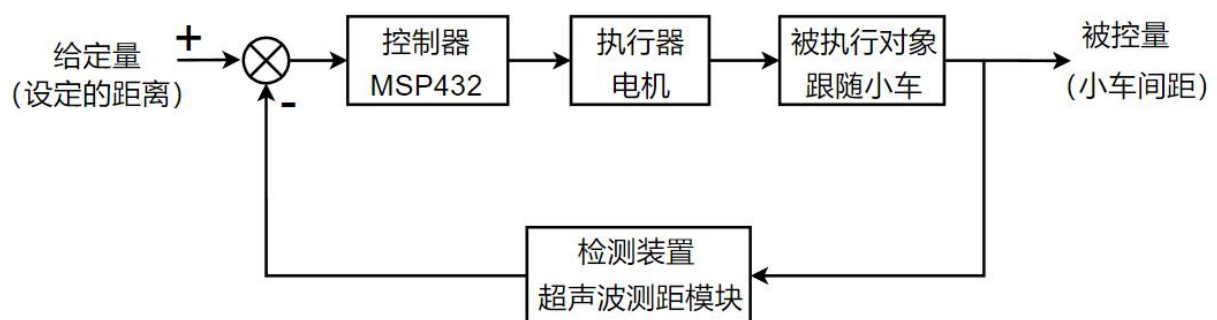


图 3 小车间距离控制框图

### 3. 电路与程序设计

#### 3.1 小车循迹电路

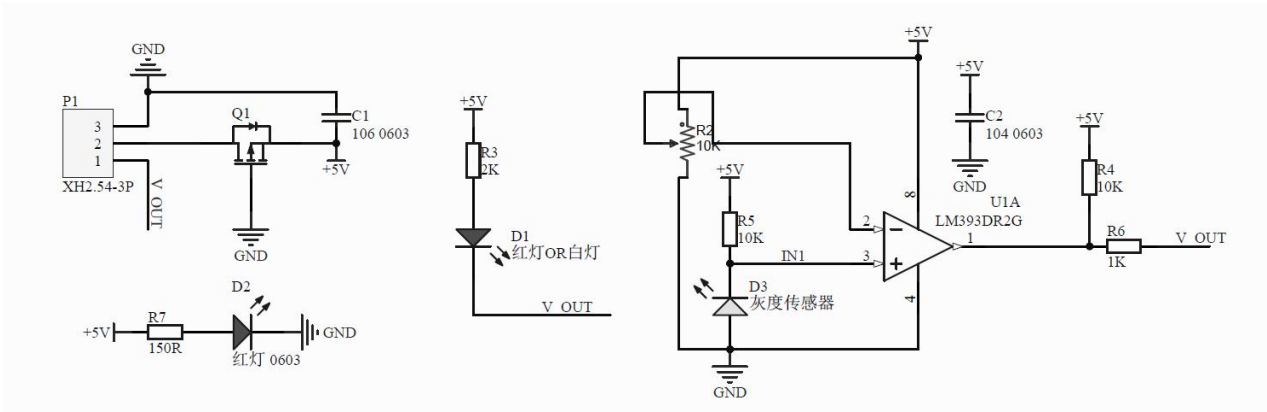


图 4 灰度传感器原理图

小车通过灰度检测循迹线所在位置，检测到黑线时返回高电平，否则返回低电平。从中间向两侧为灰度赋予一定的误差值并相加实现基础循迹

#### 3.2 小车间通信电路

小车间采用蓝牙无线串口模块通信。头车选择模式和速度后将该数据发送给跟随小车。领头小车检测到停止标志时将停车信号发送给跟随小车，并同时停止。两辆小车间单片机通信协议为四个字节为一帧，头字节为 0X55，第二个字节与第三个字节控制小车速度与循迹模式，结束字节为 0XDD。以此实现小车通信。

第一帧	第二帧	第三帧	第四帧	操作
0X55	0Xbb	0X00+speed	0Xdd	设定速度为 speed
0X55	0Xcc	0Xcc	0Xdd	停止
0X55	0X01	0X00+speed	0Xdd	方案一速度为 speed
0X55	0X02	0X00+speed	0Xdd	方案二速度为 speed
0X55	0X03	0X00+speed	0Xdd	方案三速度为 speed
0X55	0X04	0X00+speed	0Xdd	方案四速度为 speed
0X55	0X05	0X00+speed	0Xdd	方案五速度为 speed

表 1 蓝牙通信协议

### 3.3 小车防撞设计电路

小车间采用超声波测距模块作为小车防撞设计系统。

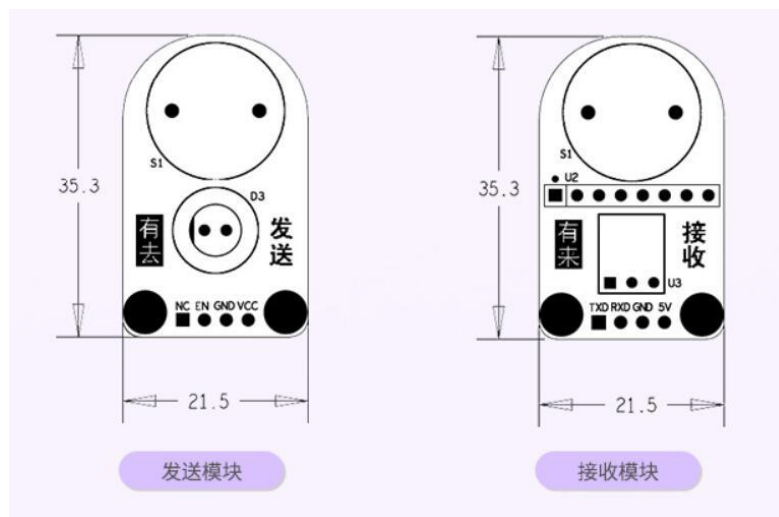


图 5 超声波测距模块 PCB 图

## 4. 测试方案与测试结果

### 4.1 测试方法与仪器

我们根据题目，对不同要求作出了对应的测试方案：

要求一：根据小车行驶总距离和要求的设定速度  $0.3\text{m/s}$  得出平均所需时间，裁判通过秒表得出小车完成行驶的时间，与要求时间对比得出平均速度误差。小车在终止处停止后通过长直尺测量小车间距。

要求二：测量跟随小车追上领头小车所需的时间，其他与要求一相同。

要求三：测量小车完成要求三的时间以及小车在终止处停止后小车间距。

要求四：多次测量“等停标志”在 E 段不同位置时，小车的行驶稳定性和完成时间。测量车在等停标志处停车时间，以及停车误差。

测试仪器：秒表，长直尺，

## 4.2 测试数据与结果分析

要求一测试数据：

次数	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	平均速度 (m/s)
1	22	17.1	0.32
2	17	16.1	0.34
3	21	19.5	0.28

表 2 要求一测试数据

要求二测试数据：

次数	最终两车间距 (cm)	追车时间 (s)	用时 (s)	平均速度 (m/s)
1	16	6	20.6	0.53
2	21	5	19.7	0.56
3	19	5	22.4	0.49

表 3 要求二测试数据

要求三测试数据：

次数	是否完成超车操作	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	平均速度 (m/s)
1	是	22	31.6	0.52
2	是	24	21.35	0.77
3	是	21	17.7	0.93

表 4 要求三测试数据

要求四测试数据：

次数	急停后小车误差 (cm)	最终两车间距 (cm)	用时 (s)	平均速度 (m/s)
1	4	16	10.95	0.92
2	5	17	10.65	0.97
3	4	16	10.83	0.94

表 5 要求四测试数据

测试结果分析：要求一二三四都能够在误差范围内合格完成。

## 5. 总结

四天三夜的电赛是对赛队伍的学习能力，团队合作能力的一次巨大考验的一次巨大考验，通过这次竞赛我们的能力也获得了巨大的提升。

## 6. 参考文献

- [1]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.
- [2]章卫国, 杨向中模糊控制理论与应用[M]. 西安:西北工业大学出版社, 1999.
- [3]全国大学生电子设计竞赛组委会. 全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2008.
- [4]黄志伟. 全国大学生电子设计竞赛培训教程[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [5]汪文, 陈林. 单片机原理及其应用[M]. 湖北:华中科技大学出版社, 2006.
- [6]贾伯年, 俞朴, 宋爱国. 传感器技术[M]. 东南大学出版社, 2007.