

# 小车跟随系统设计报告

**摘要** 根据智能小车循迹原理，系统通过视觉检测技术获取图像信息，采用其检测系统内置处理器相应的图像处理算法来处理图像，再通过串口通信传给 msp430 系统控制器进行控制算法处理。选择直流减速电机作为系统动力装置，选取了功能强大且容易开发的微处理器、传感器和相关电子元器件，并做了大量的系统软硬件调试工作，实现两辆车之间的蓝牙通信，同时通过超声波测距保持两车之间的距离符合任务要求，最终完成整体设计。

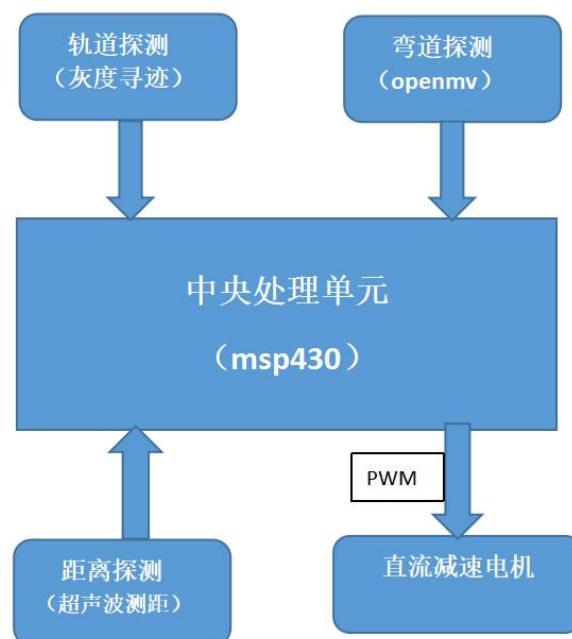
**关键词：**单片机 msp430f5529；蓝牙通信；超声波测距；灰度循迹；视觉检测；图像识别；PWM

## 一. 系统方案

针对于题目要求(设计一套小车跟随行驶系统，采用 TI 的 MCU，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，且速度在 0.3-1m/s 可调，能在指定路径上完成行驶操作)，本文提供的系统主要由无线通讯模块、电机驱动模块、接收部分及其显示模块组成。其中无线通讯信号通过 TI 的 MCU 对需要的信号进行产生。合成后解调处理精选发送到接收端。解调处理接收到的信号进行不同形式的显示测量。下面详细进行方案的论证。

### 1.1 小车跟随形式的设计方案

电动小车系统使用 msp430f5529 作为控制核心，使用 5 路灰度寻迹模块和 openmv 反馈给芯片小车的路线情况，控制领头小车行驶在正确的轨道上和停车功能。跟随小车使用超声波测距与领头小车保持一定的距离，同时使用红外对管和 openmv 控制小车行驶在正确的路线上。两车之间使用蓝牙模块 HC-05 通信，从而实现领头小车对跟随小车的控制。



图一：设计方案

## 1.2 方案论证

### 1.2.1 控制器模块

根据题目要求，可以选择 MSP430 单片机或 MSP432 单片机。对于控制系统的选择，通过与组员以及导师的探讨。

MSP430：1、经济：16 位 MSP430 微控制器（MCU）经济实惠。

2、功耗：MSP430 单片机可作为低功耗嵌入式设备使用，其静态电流可小于 1 微安。MSP430 系列单片机的 CPU 的最高频率为 25 MHz，但也可以降低频率以降低功耗。MSP430 有 6 种不同的低功耗模式，在不同的模式下可以禁用不需要的时钟或 CPU。此外，MSP430 还可在 1 微秒内被唤醒，这可使它在睡眠模式下可以维持更长的时间，让其平均功耗最小化。

3、外设：内部振荡器、定时器、PWM、看门狗、UART、SPI、I<sup>2</sup>C、10/12/14/16/24 位 ADC，以及掉电复位电路等，外设非常齐全。

4、功能：MSP430 系列单片机采用矢量中断，支持十多个中断源，并可以任意嵌套。用中断请求将 CPU 唤醒只要 6 $\mu$ s，通过合理编程，既以降低系统功耗，又可以对外部事件请求作出快速响应。

基于上述考虑，MSP430 价格相对于 MSP432 便宜许多，而且完全可以实现该题目小车的所有功能。所以我们选择 MSP430 单片机。

### 1.2.2 寻迹探测模块

探测路面寻迹线的原理：光线照射到路面并反射，由于黑线和白纸的反射系数不同，可根据接受到反射光强弱由传感器产生高低电平并最终通过单片机判断是否到达偏离跑道。

方案一：工作时，TCRT5000 的红外发光二极管不断发射红外线（不可见光）波长为 950nm，当发射的红外线没有被障碍物反射回来或者反射强度不足时，光敏三极管不工作，当红外线的反射强度足够且同时被光敏三极管接收到时，光敏三极管处于工作状态，并提供输出。光敏三极管在工作时其集电极电流值  $I_c$  约为 1 mA。TCRT5000 红外传感器的工作范围约为 0.2~15mm。

集成式红外探头。可以采用集成断续式光电开关探测器，它具有集成度高、工作性能可靠的优点，只须调节探头上一个旋钮即可以控制探头的灵敏度。此种探头还能有效地防止普通光源（如日光灯等）的干扰。

方案二：灰度传感器使用不同颜色的检测面对光的反射程度不同，光敏电阻对不同检测面返回的光其阻值也不同的原理进行颜色深浅检测。在环境光影响不是很严重的情况下，用以区别黑色与其它颜色。它也有比较宽的工作电压范围，在电源电压波动比较大的情况下仍能正常的工作。它输出的是连续的模拟信号，因此能很容易地通过 A/D 转换器或简单的比较器实现对物体反射率的判断，是一类实用的机器人巡线传感器。

综合以上两种方案，由于灰度的检测和电压工作范围更大，所以本次循迹黑线，我们使用的是灰度传感器模块。

### 1.2.3 测距模块

超声波测距：目前在工业上实际应用的，最大是 196 米。测距的方法简单，成本低。在短距离测量中，超声波测距传感器具有非常大的优势。超声波测距缺点：发射角度较大，高频超声波近距离的也有  $7-8^{\circ}$ 。低频率远距离测量的角度有  $20-30^{\circ}$ 。会受到烟雾、灰尘、雨滴的干扰。

激光测距的优点：测距距离最远，最远可以达到几十公里，距离近的也能到 500 米。发射角度最小。激光测距的缺点：容易受到烟雾、灰尘、雨滴的干扰。价格更贵。

由于我们是在室内进行测试，距离很短，所以选择 HC-SR04 超声波测距模块，价格也更加便宜。

### 1.2.4 显示屏模块

方案一：采用 LCD12864，尺寸做的比较大，可视角度低，工作温度范围较窄，工作寿命较短，重量比较大。

方案二：采用 OLED，尺寸较小，可视角度好，工作温度范围比 LCD12864 宽一些，工作寿命长。

基于上述考虑，为了使小车外形更美观，达到题目要求的重量，所以我们使用 OLED。

## 二. 理论分析

### 2.1 小车间通信模式分析

本次两辆小车使用 HC05 蓝牙模块，它具有灵敏、易于开发、性价比高的特点。具有两种工作模式：命令响应工作模式和自动连接工作模式。

我们首先进入命令响应模式（AT 模式），配对两辆小车的蓝牙。然后在自动连接工作模式下，领头小车的蓝牙为主，跟随小车的蓝牙为从。领头小车可以主动搜索并连接跟随小车的蓝牙模块并接收发送数据，让跟随小车启动与停止；跟随小车被领头小车搜索到并接收发送数据。

领头小车启动时，启动命令先通过蓝牙传输到跟随小车的 HC-05 上，再通过串口和跟随小车相连接。

### 2.2 小车运控设计

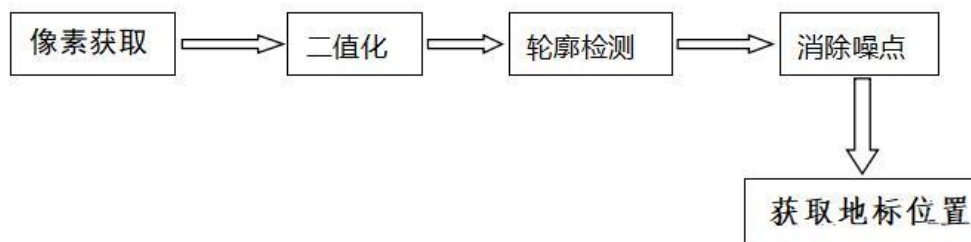
本次 C 题采用的是 TI 的 MCU，所以在小车的运控设计上我们采用的是通过 MSP430 进行驱动，同时通过循迹模块识别黑色基本线路，然后将相关信号传输给 MSP430，然后 MSP430 控制电机驱动模块输出高电平，使得小车按照既定的路线进行移动。为了满足题目的两个跑道的要求，我们设计两套不同的行进路线，当进入题目所示的内圈时，通过 MSP430 输入高电平点亮板子上的灯，从而实现题目要求。

转弯时，方案 1：通过 OpenMV 寻找两条线交点，从而算出角度值。可以调用 OpenMV 内部处理器函数得出偏角值和当前 x 和 y 的坐标值，这样，再通过串口将对应的数据帧发送给单片机主控，在小车端再进行帧格式解析，得出对应的数据后，在进行小车相应的位置调整。

方案 2：利用 OpenMV 视野中像素值的突变寻找直角等特征。内圈和外圈出现在 OpenMV 视野区域中的时候，两者的像素会有较大的差异，通过合理地调节阈值，可以将内外圈区分开来。（经过大致测算，使用此方法内外圈的总像素个数大约相差一倍左

右)。程序中通过计算此时视野范围中二值化后的白色目标色块所占的总像素的个数。只要每一个像素阈值设置得恰到好处，运用此方法，可以较为准确地区分并识别出前方有直角，并会回馈一个标志位给小车，使其做出内外圈判断并转弯。程序实测帧率在 30-40 左右，能够基本满足要求。

对于方案 1 只能检测到特定角度的两条线相交的缺陷性，同时经过我们的测试，此方法存在检测到内外圈后不准确的问题。最后经过我们的讨论，认为选择方案二计算图像区域中目标物体所占的总像素的多少，从而区分内外圈。

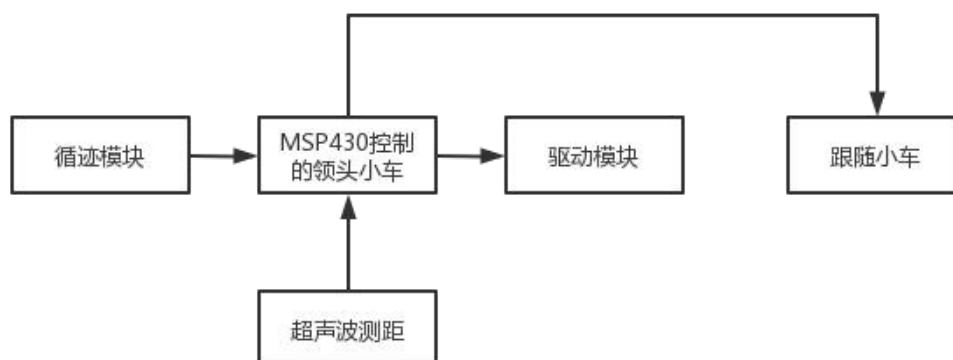


图二：openmv 检测识别过程

### 2.3 小车间距离控制

使用 HC-SR04 进行超声波测距，可以提供 2cm-400cm 的非接触式距离感测功能，测距精度可达高到的非接触式距离感测功能，测距精度可达高到 3mm。开启外部中断，先将 ECHO 配置上升沿中断，当中断来临的时候，在中断函数里面开启定时器，再将其配置为下降沿中断，等待下降沿中断来临的时候，获取计数器值。采用 IO 口 TRIG 触发测距，给最少 10us 的高电平信呈，自动发送 8 个 40khz 的方波，自动检测是否有信号返回。有信号返回时，通过 IO 口 ECHO 输出一个高电平，高电平持续的时间就是超声波从发射到返回的时间。测试距离=(高电平时间\*声速(340M/S))/2。测定目标距离，完成与领头小车的间距为 20cm，误差不大于 6cm。

## 三、电路与程序设计

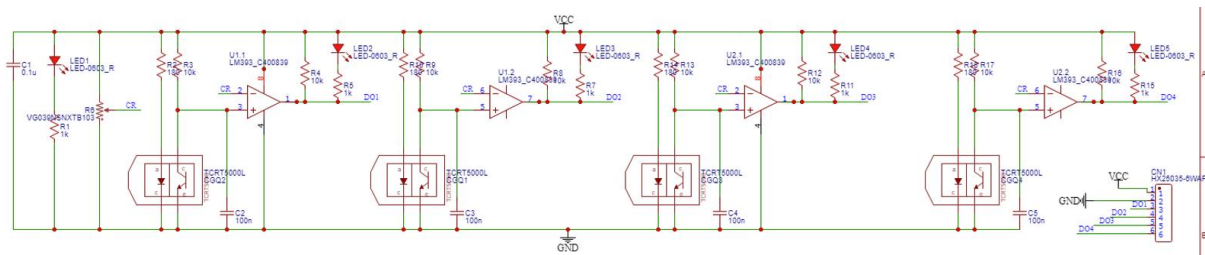


图三：程序设计流程图

### 3.1 小车循迹电路

TCRT5000 传感器的红外发射二极管不断发射红外线,当发射出的红外线没有被反射回来或被反射回来但强度不够大时,光敏三极管一直处于关断状态,此时模块的输出端为低电平,指示二极管一直处于熄灭状态;被检测物体出现在检测范围内时,红外线被反射回来且强度足够大,光敏三极管饱和,此时模块的输出端为高电平,指示二极管被点亮。

由于黑色具有较强的吸收能力，当循迹模块发射的红外线照射到黑线时，红外线将会被黑线吸收，导致循迹模块上光敏三极管处于关闭状态，此时模块上一个 LED 熄灭。在没有检测到黑线时，模块上两个 LED 常亮。



图四：红外寻迹原理图

### 3.2 小车间通信电路

首先进行两个蓝牙模块 HC05 的配对：准备两个 USB 转 TTL 串口板和两个 HC-05 蓝牙模块，VCC 接 5V，GND 接 GND，TX 与 RX 交叉连接。在模块上电之前，把 KEY 脚设置为高电平，然后再对模块上电，此时 LED 慢闪（2S 一次），模块进入 AT 状态，波特率固定为 38400。

使用指令设置模块成为主机和从机模式:

1. 首先需要将模块进行还原默认设置，指令为 AT+ORGL\r\n，两个蓝牙模块都需要进行这一步；
2. 设置各自的配对码，指令为 AT+PSWD=XXXX\r\n，我这里设置为 1234；
3. 然后设置模块 A 为主机模式指令为 AT+ROLE=1\r\n；设置 B 为从机模式，AT 指令为 AT+ROLE=0\r\n；
4. 查询 B 地址串口调试助手 B，查询蓝牙 B 的地址：AT+ADDR?\r\n；
5. 蓝牙 A 绑定蓝牙 B 串口调试助手 A，蓝牙 A 绑定蓝牙 B 地址： AT+BIND=98d3, 37, 90efca\r\n。断电然后进入正常模式。





第三步进行实验的要求一，将领头小车放在路径的起始位置 A 点，跟随小车放在其后 20cm 处，设定领头小车速度为 0.3m/s，沿着外圈路径行驶一圈停止，测试平均误差，并且在结束之后测量两车的间距是否符合要求。

第四步，测试小车是否识别到“等停指示”点，同时进行要求二、三和四。结束测试。

测试条件：测试场地一张，两台搭建好的小车，进行多次检查，电路和硬件电路必须与系统原理图完全相同，并且保证检查无误，硬件电路保证无虚焊。

测试仪器：度量尺，两台电脑，万用表，示波器，信号发生器

## 4.2 测试数据完成性

### 4.2.1 任务一完成度

两辆小车都先启动电源，领头小车按下按键后，oled 会显示当前多车系统执行的任务序号；调节到任务一模式，领头小车启动的同时，通过蓝牙 HC-05 模块向跟随小车发送命令，启动小车；两车通过灰度寻迹模块和 openmv 实现了寻迹和指定转弯；跟随小车通过超声波测距模块，与领头小车始终保持 20cm 左右。最终两辆小车大约以 0.3m/s 的速度跑完了一圈，几乎同时停下，并且跟随小车停在领头小车后 22cm（符合误差不超过 6cm 的要求）。

### 4.2.2 任务二完成度

两辆小车先启动电源，领头小车按下按键后，oled 显示当前多车系统执行的任务序号；调节到任务二模式，领头小车启动的同时，通过蓝牙 HC-05 模块向跟随小车发送命令，启动小车；两车通过灰度寻迹模块和 openmv 实现了寻迹和指定转弯；跟随小车通过超声波测距模块，与领头小车始终保持 20cm 左右。两辆小车以 0.5m/s 的速度沿外圈行驶两圈，跟随小车快速跟上领头小车，并与两辆小车保持 20cm 的距离，最终两辆小车以大约 0.5m/s 的速度跑完了一圈，几乎同时停下，并且跟随小车停在领头小车后 17cm（符合误差不超过 6cm 的要求）。

### 4.2.3 任务三完成度

由于只有一个超声波模块，没能完全完成两辆小车之间的反超与被反超。

### 4.2.4 任务四完成度

类似于任务一，当领头小车的 openmv 识别到“停车指示”时，通过串口，发出停车指示，同时通过蓝牙串口，跟随小车也等待停止 5s（符合题目要求）。

## 五、总结或结论

转眼之间电子设计大赛初赛部分已经落下帷幕，也意味着今年我的电子设计征程走到了终点。四天三夜，虽然结果没达到预期，但是它还不足以表达我竞赛后的心情，不足以代表我最后的收获，不足以让我停下继续向前的脚步，它仅仅是一个标志，同时也是个开始，标志的是电子设计已经略有所懂，开启的是电子世界无比宽阔的大门。

四天三夜是一个对个人意志，团队体制，综合素质，技术支持的全面检验。题目出来那天，由于没有准备好 msp430，我们心一下就凉了。不断学习，不断调试，控制类的题目无非就是信号捕捉，信号检测，程序控制，四天三夜里的硬件就是与杜邦线、电路板为伍，而编程则是数字、字母、下划线，总之，每天实验室里已经没有白天黑夜之分，三个小时的睡眠已经成为奢望。

团队配合得还不错。紧赶慢赶，无数调试，一次次失败，一次次更改，我们设计出来的是电子作品，得到的是实际操作的经验，收获的是相互之间的友谊。建议谈不上，说下自己的想法吧。大学生电子设计大赛，就是大学生的比赛，题目要求越来越难，限制越来越多，水平已经超过大学生的能力范畴了，这样的题目，作品达标率不高的结果，在题目敲定的那一天已经就埋下了伏笔，这对低年级同学的积极性是个不小的打击。题目达到锻炼检验同志们的水平就可以了，不必追求难、偏、怪。

## 六. 参考文献

- [1] 华成英, 童诗白. 模拟电子技术基础(第四版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [2] 汤兵勇等. 模糊控制理论与应用技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [3] 谭浩强. C 程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
- [4] 徐建华. 图像处理与分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 康华光, 陈大钦. 电子技术基础模拟部分(第四版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [9] 康华光, 邹寿彬. 电子技术基础数字部分(第四版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 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.
- [11] 康华光. 电子技术基础(模拟部分)(第五版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.