

# 2022 年 TI 杯大学生电子设计竞赛报告

C 题：小车跟随行驶系统



2022 年 07 月 30 日

## 小车跟随行驶系统

**【摘 要】** 设计了基于双轮差动结构的小车，采用机器视觉技术识别场地，自主导航运行，实现了循迹和定点停止，本作品是以 MSP430F5529LP<sup>[1]</sup>开发板、OPENMV 摄像头模块、编码器电机、TB6612 驱动模块为核心组建三轮小车。开发了视觉算法，实现跟随地面路线、识别内外圈路线；结合速度闭环积分算法，控制小车运行速度并记录小车运行距离来实现指定点的停车和转向，实现了要求的循迹与跟随任务。最终经过测试，本作品双车成功完成竞赛题目要求。

**【关键词】** 循迹小车；机器视觉；智能小车；协同控制；

# 目 录

1 系统方案设计与论证.....	1
1.1 系统总体方案设计.....	1
1.2 主要模块方案选择与论证.....	1
1.2.1 小车通信模式分析.....	1
1.2.2 小车运控设计.....	2
1.2.3 前后车距离控制方案.....	2
1.2.4 小车循迹模式分析.....	3
2 系统硬件与软件设计.....	5
2.1 系统硬件设计.....	5
2.1.1 车体机械结构设计.....	5
2.1.2 电路系统架构框图.....	6
2.1.4 小车间及各模块间通信电路.....	6
2.1.5 小车防撞电路设计.....	7
2.2 系统软件设计.....	7
2.2.1 控制程序简要流程图.....	7
2.2.2 机器视觉程序设计.....	8
3 系统测试及结果.....	7
3.1 测试方案.....	7
3.2 测试结果.....	9
3.3 结果分析.....	10
4 总结.....	10
参考文献.....	11
附录.....	11

# 1 系统方案设计与论证

## 1.1 系统总体方案设计

通过对赛题的分析研究，总结出能够实现题目的系统大致应该实现以下几个要求：

- 1) 有视觉分析能力，具备对地面直线的识别与跟踪能力。
- 2) 要实现行进距离的记录，且能够大致定位双车在赛道上的位置。
- 3) 具有相当的灵活性和机动性，可以实现小半径转弯或是和速度高达 1m/s 的机动。
- 5) 具有双车间的通信能力和识别前后车的能力。

经过以上分析，大致将系统分为七个基本模块，包括电源模块、电机模块、主控模块、视觉模块、激光模块、通信模块、人机交互模块。系统的总体设计框图如图 1.1 所示

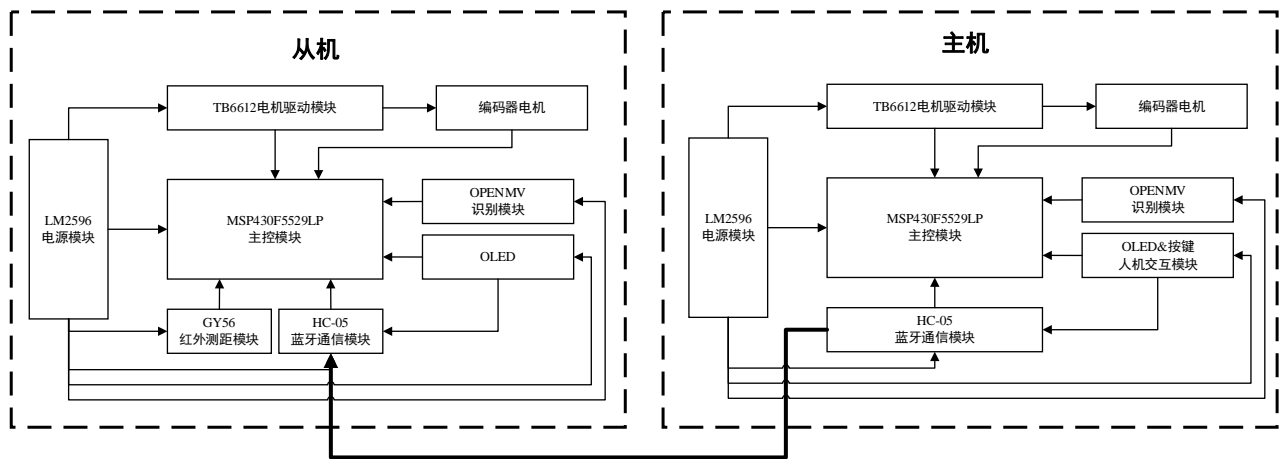


图 1.1 系统总体设计框图

## 1.2 主要模块方案选择与理论分析

### 1.2.1 小车通信模式分析

小车间最可靠的通信方式即通过无线传输进行通信，在这里我们比较了两种通信方案，分别是：

方案一：使用一对 ESP8266 Wifi-MCU 进行通信

方案二：使用一对 HC-05 蓝牙模块进行通信。

经过对比，我们发现 HC-05 使用 UART 串口与 MSP430 进行数据的传输，支持 BlueTooth3.0 且具有更低的功耗，更可靠的的传输效果，所以我们选择了基于 HC-05 蓝牙模块来搭建通信系统。在本小车间通信系统中，主车向从车发送当前状态以及运行指令，进而实现主车对于从车的控制。而为了减少可能出现的混乱，我们没有设计从车对主车的反馈通信。

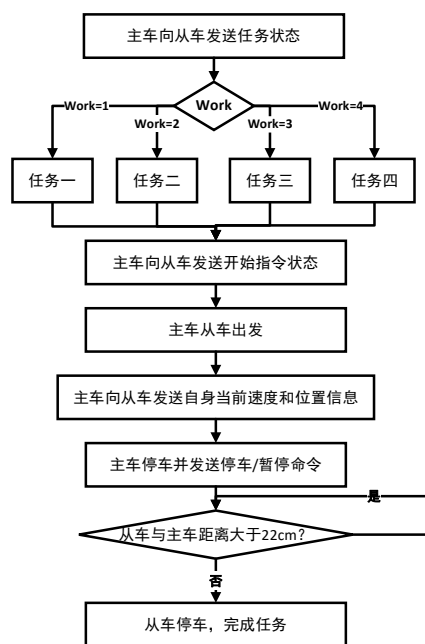


图 1.2 通信模式框图

### 1.2.2 小车运控设计

为实现速度在 0.3m/s–1m/s 范围内精准快速的在赛道上进行移动，对车身的机械结构和动力配置方案提出了较高的要求，综合实物资源和开发难度，提出了两种动力方案：

方案一：采用左右编码器电机加牛眼轮的结构，使用 TB6612 进行驱动。

方案二：四驱 M2006 直流电机，通过 C610 电调控制。电调与主控通过 can 口进行通信。

比较两种方案，方案一机械结构简单，转向灵活，但存在电机性能较差，速度较低阻力较大的情况。而方案二控制精度很高，电机性能较强，但是必须使用电调进行控制，且通信协议为 CAN，而 MSP430 不具有 CAN 总线，难以进行控制。故最好采用方案一。

### 1.2.3 前后车距离控制方案

对于距离的测量是实现双车按规定间距停止与碰撞规避的关键，间距测量的准确度，直接影响了题目的完成情况，提出如下两种识别方案：

方案一：基于超声波模块进行测量。

方案二：基于红外传感器进行距离测量。

比较两种方案，方案一的测量效果好，识别角度大，但其开发协议较为复杂，缺少 MSP430 库，不适合在短时间内进行开发。方案二需要的角度条件较为苛刻，实际使用中发现容易被干扰。在实际测试中发现，超声波传感器在转弯处更难误识别，所以我们最终采用了红外传感器。经过优化后，能够较为准确的测量出前后车的间距。

### 1.2.4 小车循迹模式分析

为实现小车在识别并跟随地面黑线赛道，提出两个方案。

方案一：使用红外/光敏电阻巡线模块。

方案二：使用 OPENMV 模块实现机器视觉循迹。

经过对比后，我们发现采用 OPENMV 模块进行循迹受到的干扰更小，具备良好的二次开发能力，且采用串口通信，占用的 MSP430 接口更少，故选用了基于 OPENMV 的机器视觉巡线方案。

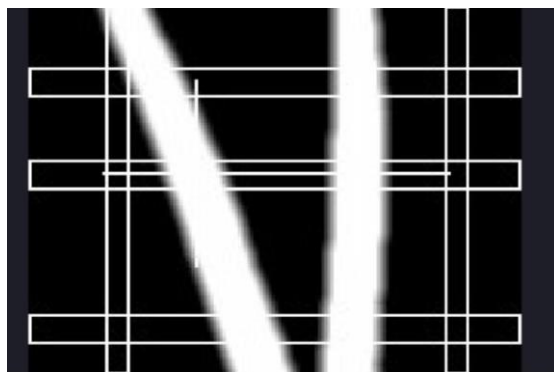


图 1.2 OPENMV 视觉巡线效果实机图

## 2 系统硬件与软件设计

### 2.1 系统硬件设计

#### 2.1.1 车体机械结构设计

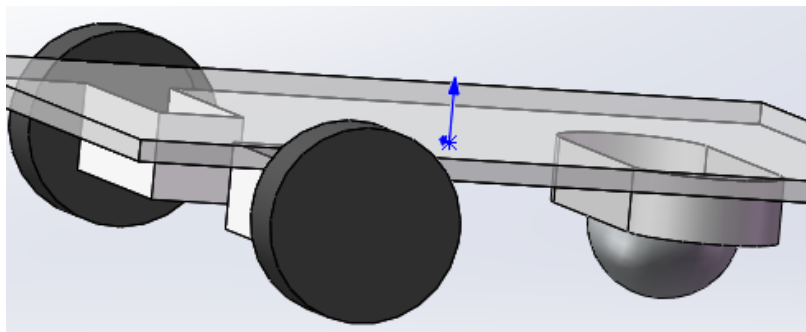


图 2.1 小车底盘机械结构示意图

如图 2.1 为小车模型图，小车主体底板全部使用 5mm 玻纤板雕刻制作，连接件使用铝合金标准件简易加工获得，通过螺丝将机械零件，底板，电路板等结构固定，同时为了更好的实现视觉识别任务，设计了如图 2.2 的可通过轴改变角度的摄像头支撑架，为视觉部分提供了便利。小车整体使用两个橡胶轮驱动，一个牛眼轮协助支撑，具有稳定可靠的机械性能和简洁优美的整体外观。

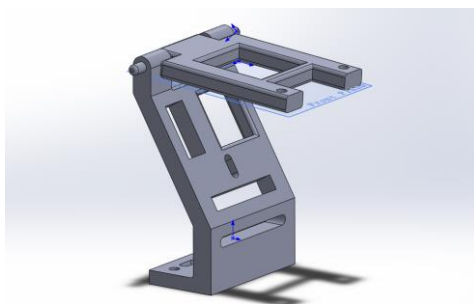


图 2.2 摄像头支撑架模型

## 2.1.2 电路系统架构框图

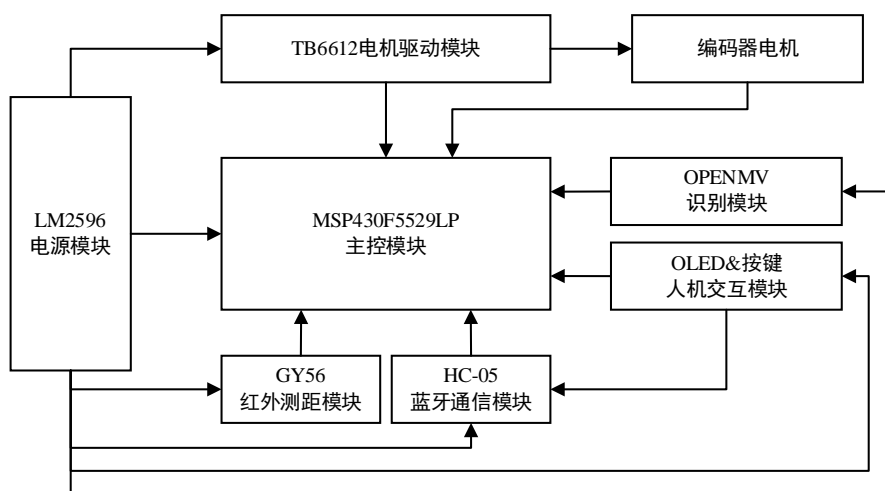


图 2.3 硬件简要框图

如上文图 2.3 为硬件简要框图，硬件部分以 MSP430F5529LP 系统板作为主控，将蓝牙、红外测距、视觉、驱动等各个模块通过串口连接在主控上，电池经过稳压模块给主控和各个模块供电。电机驱动模块由电池直接供电，通过主控的信号来驱动电机。

## 2.1.4 小车间以及各模块间通信电路

小车搭载了 TB6612 电机驱动模块、OPENMV 视觉平台和 HC-05 蓝牙无线通信模块。作为主控的 MSP430F5529LP 使用多个串口进行与 TB6612、OPENMV、蓝牙模块等之间的通信，串口通信较为简单与可靠。编码器电机使用 TB6612 驱动模块进行控制，同时需要将编码器自身的信息发送至主控。通过 ICC 接口进行 OLED 的显示，结合按键实现了人机交互。

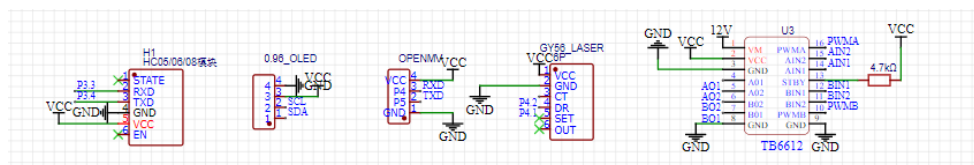


图 2.5 各模块与单片机间接口图

2.1.5 小车防撞设计电路

为了防止两车相撞，我们在硬件和软件上都进行了防撞设计。

首先是硬件方面，在从车上安装了 GY-56 红外测距模块。GY-56 是一款低成本数字红外测距传感器模块。其工作原理是，红外 LED 发光，照射到被测物体后，返回光经过 MCU 接收，MCU 计算出时间差，得到距离，直接输出距离值。此模块有串口 UART（TTL 电平）+IIC（2 线）模式两种方式读取数据，串口的波特率有 9600bps 与 115200bps。GY-56 可以设置上下限距离报警值，开关量输出，在设定的区间内有被测物体挡住，直接输出高电平。

如果测距模块检测到前方 20cm 内存在障碍物，会迅速停车。但是在实际运行过程中，我们发现从车会错误识别主车的距离，造成从车在转弯处提前停车，所以在算法上进行优化就显得尤为重要。

名称	参数	名称	参数
测量范围	0-2 米	响应频率	22ms
工作电压	3-5V	工作电流	15-35mA
工作温度	-20°C-85°C	传感器芯片	VL53L0X

图 2.5 GY-65 参数表

2.2 系统软件设计

2.2.1 控制程序简要流程图

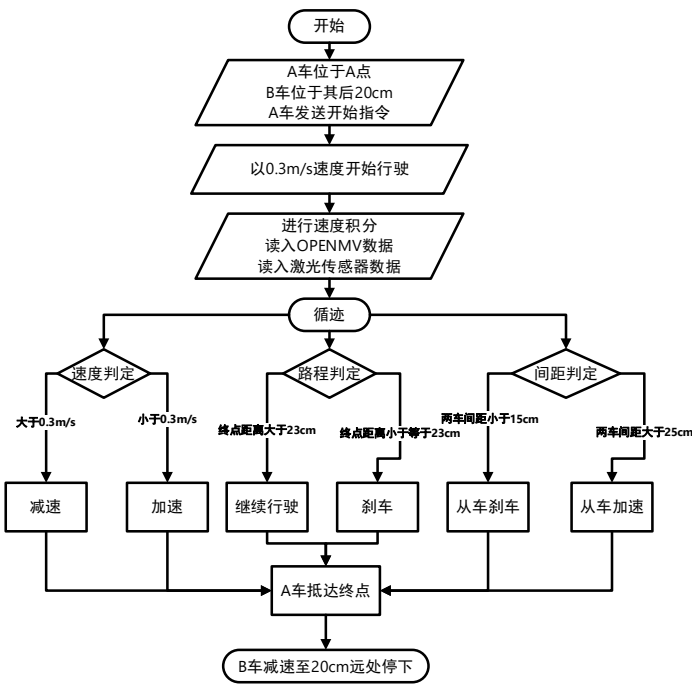


图 2.7：简要流程图



## 2.2.2 机器视觉模块程序设计

2.2.2.1. 整体思路：根据不同路段的图像特征差异，对图像进行分块并获取各子块的特征来进行整体判断。该程序共从整体图形中分割出五个子块，三个横长条形子块，两个竖长条形子块，横竖长条形子块间存在重叠部分。为了便于数据处理，将赛道归纳为六种元素，即直道、弯道、入岔路口、出岔路口、终点停车、中途停车，并通过调试程序使得能基于五个子块特征准确分辨出六种元素。

2.2.2.2. 程序处理流程：

- 1) 图像预处理，获取原始图像并对其进行固定阈值二值化，然后进行均值滤波，使二值化图像更平滑；
- 2) 图像分块并提取特征，从图像中分割出上述的五个子块，并找出各个子块中符合条件的色块，并以此作为判断依据；
- 3) 根据特征进行赛道元素的判别
  - i. 直道判断，采用两个横条形子块中特征，两子块的色块数量均为一个，且色块大小正常，两色块横坐标差值大小小于五个像素点，则认为该是直道；
  - ii. 弯道判断，同 1，但两色块差值大小大于等于五个像素点，则认为是弯道；
  - iii. 3.入三岔路口判断，细分为三种情况，分三种情况是因为摄像头于不同入三岔路段获得的图像不同。第一，三个横条形子块中靠上的两个子块各有两个色块，且上横条色块间横坐标差值大于下横条两色块横坐标差值；第二，同第一点，将靠上两子块换成靠下两子块；第三，最底下横条子块仅有一个色块，中间子块有两色块，且左边子块有一色块；
  - iv. 4.出三岔路口判断，同 3，细分为三种情况。第一，三个横条形子块中靠上的两个子块各有两个色块，且上横条色块间横坐标差值小于下横条两色块横坐标差值；第二，同第一点，将靠上两子块换成靠下两子块；第三，中间横条子块仅有一个色块，最底下子块有两色块，且右边子块有一色块；
  - v. 5.终点停车判断，最下端横条子块中仅有一色块，且宽度满足一定条件，同时中间子块仅有一正常大小色块；
  - vi. 6.中途停车标志判断，中间横条子块中仅有一色块，且宽度满足一定条件，同时最顶端横条快中无满足条件的色块。
- 4) 将每种情况下的色块坐标数据以及赛道元素数据打包发送给主控制板。

### 3 系统测试及结果

#### 3.1 测试方案

测试时先将小车按题目要求摆放到起跑位置，头车位于 A 点，在设置完毕任务模式后发车，用秒表记录任务耗时，记录双车完成任务时间。在小车完成任务后测量小车在赛道上的位置以及两车的位置，观察过程中明显脱离轨迹，是否准确停在规定位置，是否成功完成题目要求的停车和超车动作，以及声光装置是否在对应位置启动。

#### 3.2 测试结果

对小车跟随系统进行多次测试，最终选取以下的数据进行整理。

任务要求一						
序号	设置速度	实际平均速度	速度误差	停车位置误差	碰撞与否	声音提示
1	0.3m/s	0.29	3.34%	4cm	否	5s
2	0.3m/s	0.28	6.67%	3cm	否	5s
3	0.3m/s	0.31	3.34%	1cm	否	5s

任务要求二						
序号	平均速度 (m/s)	是否追上头车	碰撞与否	头车停止位置 与 A 距离(cm)	两车停止时差 (s)	两车间距 (cm)
1	0.53	是	否	4	0.1s	18
2	0.51	是	否	2	0.3s	16
3	0.52	是	否	2	0.1s	18

任务要求三						
序号	设定直线平均 速度(m/s)	超车 次数	完成时间 (s)	头车停车位置 与 A 距离(cm)	两车停车 时间差(s)	两车停车 位置间距(cm)
1	0.5m/s	2	25s	4	0.8s	16
2	0.5m/s	2	23	2	0.4s	18
3	0.5m/s	2	26	4	0.6s	24

任务要求四							
序号	平均速度	头车停车 位置偏差(cm)	停车时间 (s)	运行时间 (s)	是否 碰撞	声音提示(s)	是否脱轨
1	1m/s	2	5	27	否	5s	否
2	1m/s	4	5	25	否	5s	否
3	1m/s	2	5	24	否	5.4s	从车在终 点处脱轨

### 3.3 结果分析

小车基本实现了题目所要求的功能，四个要求均有很高的完成度与成功率，完成了全部基本要求。在运行过程中小车基本能全程沿黑线中央行驶，较少出现轨迹偏移或者意外停车等现象。两辆车均能准确的按照预定速度行驶，并能很好的完成题目要求的岔路超车，标记处停车等特殊动作，在完成动作时的声光提示均正确运作。小车在转弯处反应迅速精确，能较为准确的识别到放置在地面的停车标志物或是终点，双车之间的蓝牙通信能够正确有效的进行，双车能正常完成各自设定的任务。

对各次失败的现象进行观察，小车因为使用了 openmv 传统机器视觉，受到光线的影响很大，可能会因为场地光线条件的较大变化而造成任务失败。同时由于小车的两路编码器电机存在不动的死驱且两侧轮胎的抓地力不同，在速度较快时刹车会导致车辆偏离方向。

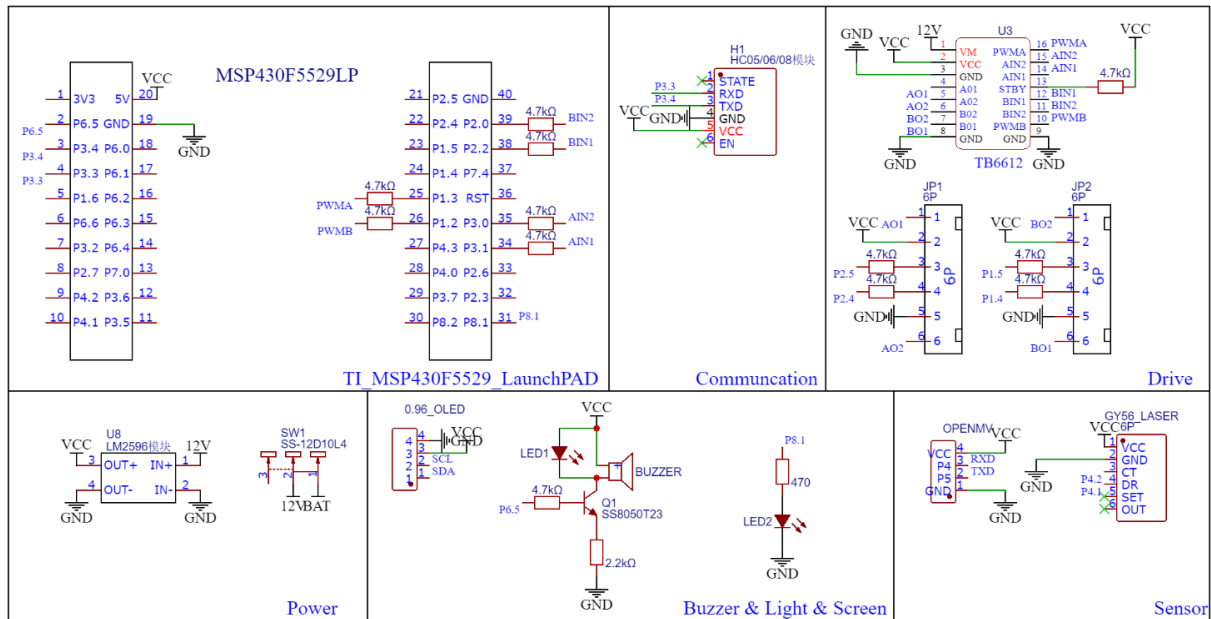
## 4 总结

从测试结果看，本设计基本完成题目的全部要求，实现了误差范围内的定位，小车具备较好的运行稳定性和流畅性，赛道内识别路线和标志效果好，停车定位精确，两车间通信稳定，协作流畅，双车能够快速流畅的相互配合完成各自的任務。

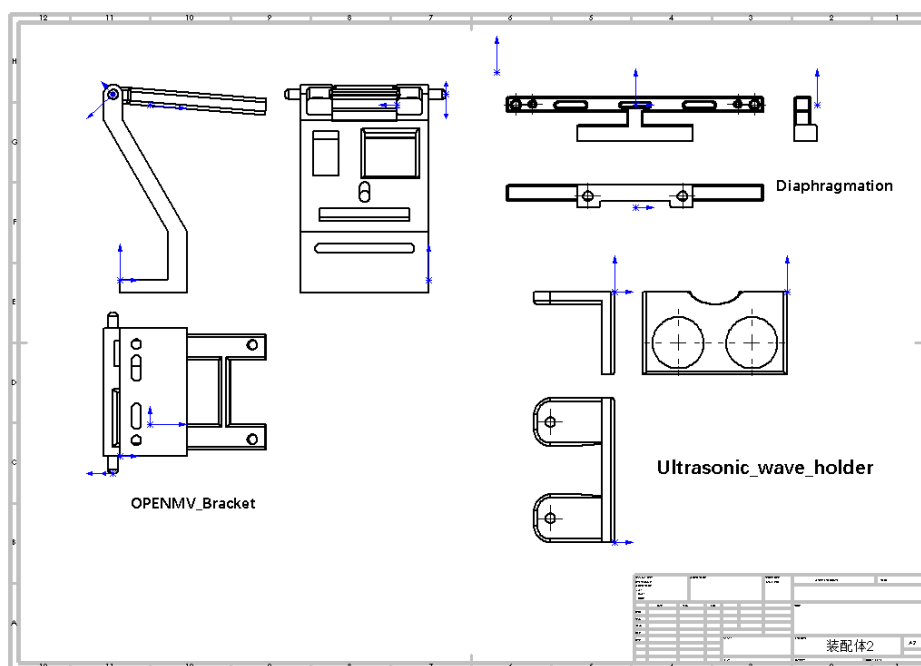
## 参考文献

[1]MSP430F5529\_Datasheet.[Online]<https://www.ti.com.cn/product/cn/MSP430F5529?qgpn=msp430f5529>

## 附录



附录一：全车电路原理图



附录二：车身机械结构工程图