

## 摘要

本次竞赛中设计的一套小车跟随行驶系统，通过两辆小车配合完成题目要求。小车的自动控制中主要采用的是以 MSP430 芯片为主的微处理器作为主控模块，配有星慈光 HJ-XJ5 五路循迹模块、OPENMV H7 作为视觉模块、TW-HC-05 蓝牙模块作为视无线通信模块以及 HC-SR04 超声波模块。主控板和其他模块的通信通过串口和 IO 完成，整个系统通过 MSP430 系列板为核心编程实现模式设置、数据采集，可以通过各模块的互相协作配合完成小车循迹、跟踪、无线通信和距离保持等功能，较好地完成对应的一系列任务。

**关键词：**增量式 PID 算法、机器视觉、OpenMV、MSP430F5529

# 1. 设计方案工作原理

## 1.1 预期实现目标定位

设计并制作两辆智能循迹小车，可以按照指定的轨迹完成循迹运动，主要实现下列功能：

- （1） 每辆小车都可以进行巡线并可以根据不同的设置和命令进行不同轨迹的运动。
- （2） 每辆小车都可以与其他小车进行通信，保持安全距离和超车功能。
- （3） 每辆车都有不同的模式可供选择以完成不同的任务。

## 1.2 技术方案分析比较

### （1）控制系统的选择

①方案一：采用 MSP430 微处理器，片内资源丰富。具有大量的可参与多种运算的寄存器以及片内数据存储器，处理能力强，功耗低，学习难度略低于 STM32 系列微处理器，所以比较适宜运用于复杂功能的仪器仪表中。

②方案二：采用 STM32F407 系列芯片。STM32 是基于 ARM 内核的 32 位 MCU，该系列板子 I/O 口多，可自定义多种功能，处理速度快，具有着高性能、低电压、低功耗，简单易用，自由，低风险等特点。

综合对比两个方案，主控模块采用 MSP430 系列芯片更能满足我们的需求，所以控制模块采用第一种方案。

### （2）循迹模块论证与选择

①方案一：采用五路灰度传感器，配合算法进行循迹功能的实现。效果高且数据回报率高，适合高速运动的情况。

②方案二：利用 OpenMV 进行视觉循迹，队员对于此模块较为熟悉，且精确度和可靠性高，但是数据回报率不够高，不适合高速运动的情况。

综合上述两种方案，我们选择方案一为主加以方案二的辅助。

### （3）测距离模块的论证与选择

①方案一：采用激光测距模块 TFmini Plus 一款小型化，单点测距的产品，基于 TOF（飞行时间）原理，配合独特的光学、电学、算法设计，主要实现稳定、精准、高

灵敏度和高速的距离测量的功能，但是由于探测范围较窄，但成本较高。

②方案二：采用超声波模块测距。此方法适合于距离较近的物体间的测距, 准确度较高, 且成本较低，算法简单。

针对本次竞赛中所需要实现的任务与要求，综合考虑选择方案二。

#### **(4) 通信模块论证与选择**

①方案一：采用无线数传，型号 YL-100T，采用 GFSK 数字调制，且适合多种波特率，体积小、功耗低、接收灵敏度高，抗干扰能力强，且使用简单。

②方案二：采用蓝牙模块，型号 HC—05，主从一体，配置完成后可以自动配对连接，体积小、功耗低、接收灵敏度高，使用更为简单且成本更低。

考虑功能需求和成本控制，选择方案二蓝牙通信。

#### **(5) 视觉模块论证与选择**

由于视觉模块是以识别准确、实时性高、便于编程和操作为选择依据。

Open MV 采用的 STM32H743 拥有丰富的硬件资源，引出 UART，I2C，SPI，PWM，ADC，DAC 以及 GPIO 等接口方便扩展外围功能。USB 接口用于连接电脑上的集成开发环境 OpenMV IDE，协助完成编程、调试和更新固件等工作。TF 卡槽支持大容量的 TF 卡，可以用于存放程序和保存文件等。因而在本次竞赛中将 OpenMv4 Plus 作为视觉模块的主要选择对象。

### **1.3 系统结构工作原理**

#### **(1) 系统工作流程：**

本设计采用 MSP430F5529 单片机驱动,通过五灰度传感器和超声波测距传感器还有视觉模块将数据传给主控,由主控制器处理后驱动电机运动，同时将结果通过蓝牙模块传给其他小车，两个小车共同配合完成预期目标。

系统工作流程如图（1）所示：

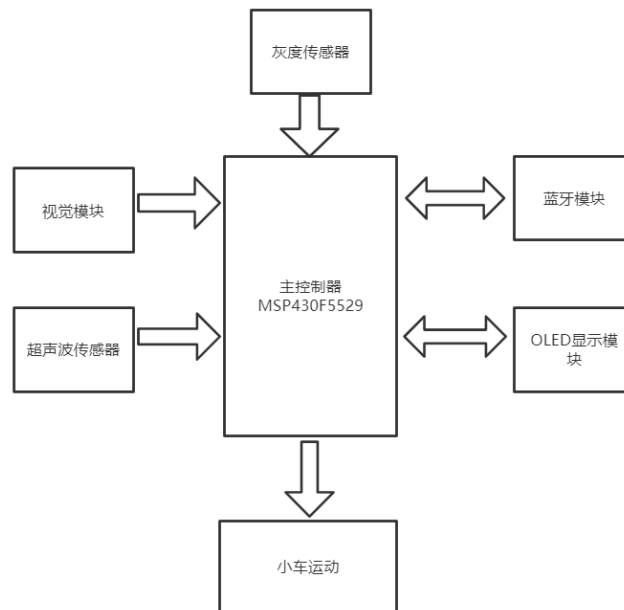


图 1 系统流程结构图

## (2) 增量式 PID 算法控制：

串级 PID 控制是本次竞赛中控制用到的主要算法。所谓串级控制，意为整个控制系统中有两个控制器（内环、外环）串联工作，外环控制器的输出再成为内环控制器的输入，内环控制器的输出再控制操作阀，从而使外环实现更好地控制效果。

串级 PID 由横滚和俯仰方向的姿态角控制环串联成无人机的姿态稳定内控制环；垂直速度控制环和垂直高度控制环构成外环，与内环级联，用于高度控制；水平位置控制环是另一个外环，与内环级联，用于控制水平位置。

姿态解算的核心在于旋转, 旋转可以由多种方式表达，常见的有矩阵、欧拉角、四元数等。它们的区别在于矩阵更适合变换向量，欧拉角较为直观，四元数适合表示组合旋转。

## 1.4 功能指标实现方法

### (1) 循迹

本设计采用五路灰度传感器进行循迹，通过增量式 PID 算法进行速度矫正。根据视觉传感器的数据进行岔路口的判断，以进行不同路径的选择

### (2) 双车通信

根据本赛题中的领头小车和跟随小车通过蓝牙模块进行通信，应用简单，效果较好。通过蓝牙模块领头小车可以给跟随小车发送模式选择以及路径选择的信息，同时跟随小车和领头小车可以进行距离数据的实时更新以保持合适的跟车距离。

### 1.5 测量控制分析处理

#### (1) 测量工具

卷尺、秒表、量角器。

#### (2) 测试项目

题目要求的基本功能、发挥功能、创新功能。

#### (3) 测试方法

搭建场地按题目要求测试基本功能。

## 2.核心部件电路设计

### 2.1 关键器件性能分析

#### (1) 主控模块：

本设计采用 MSP430F5529 微处理器，最高工作频率 24MHz，资源丰富，拥有多个定时器和中断，支持 ADC、DAC、LCD 液晶驱动等各种外设，在任务完成中表现出了较高的处理速度，具有高性能、低电压、低功耗、简单易用、自由、低风险等特点。

#### (2) 灰度传感器：

采用五路灰度传感器进行巡线，该灰度长 92mm，宽 26mm，在不超出规定尺寸的前提下可以满足巡线的基本要求。

#### (3) 视觉模块：

采用的 OpenMv4 Plus 在整个小车循迹过程中进行对岔路口的识别，协助小车进行路径选择。

#### (4) 超声波模块：

使用 HC-SR04 超声波传感器的稳定性好、准确度高，为小车之间的距离保持提

供了保证。

（5）无线通信模块：

本设计通信模块采用 TW-HC-05 蓝牙通信模块，模块主从一体，可通过 AT 指令集与指定 MAC 地址的蓝牙模块进行配对、数据互传。只需要配对一次后上电会自动配对，不需要再次配对，波特率可选范围多，此次采用与 MSP430 主频较为匹配的 9600。

2.2 整体结构工作机理

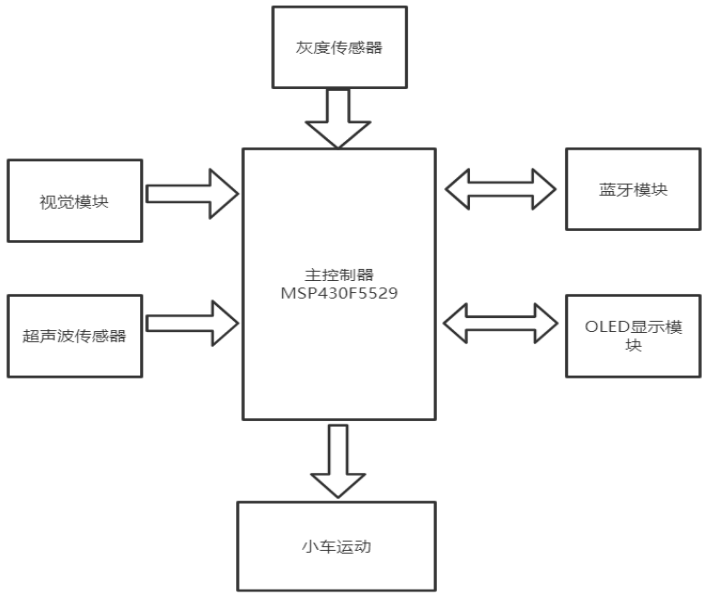


图 2 整体结构工作机理

2.3 电路实现调试测试

使用 CCS 调试，并利用完成控制板初始化调整、各模块互相协调、测试数据，以保证小车正常工作。附加外围电路的测试通过示波器，信号源等完成测试后加入到控制电路中。

3.系统软件设计分析

3.1 系统总体工作流程

通过灰度传感器进行进行小车的基础循迹，摄像头模块进行岔路识别，主控制器根据数据通过算法进行循迹，同时通过蓝牙无线模块进行双车通信，通过超声波传感器进行测距并返回数据，主控制器根据接收到的数据对小车进行轨迹、速度控制，从而完成各项任务。

### 3.2 主要模块程序设计

(1) 循迹模块：由五路灰度传感器的测量值，并结合设定的权重值计算出当前状态的偏差量，通过增量式 PID 算法计算得到小车两轮的差速，进而更新小车的速度。当小车经过岔路口时，主控制器捕捉到灰度传感器不相邻指示灯的状态同时变化的情况，根据控制条件，按照不同的方向行驶

(2) 测距模块：在小车上安装超声波模块，通过超声波传感器返回的值来计算出两车距离，进而调制小车速度保持安全的跟车距离。

(3) 通信模块：自定义通信协议，完成主控制器和传感器之间的有线通信，同时通过蓝牙进行小车之间的无线通信。

(4) 视觉模块：OpenMv 是通过其摄像头观测物体，将检测到的信息传递到控制板上再进行相应图像处理，根据岔路口表现的图像图像特性，选择合适的处理方式提取特征进行岔路口的识别。

## 4.竞赛工作环境条件

### 4.1 设计分析软件环境

Windows10 和 11 操作系统、Code Composer Studio 9.1、Open MVIDE、SSCOM

### 4.2 仪器设备硬件平台

MSP430F5229 系列板, OpenMV4 Plus, HC-05 蓝牙模块,HC-SR04 超声波传感器

### 4.3 配套加工安装条件

万用表、逻辑分析仪、焊台、热熔胶枪、手钻等。

### 4.4 前期设计使用模块

嵌入式开发软件、遥控器等。

## 5.作品成效总结分析

### 5.1 系统测试性能指标

对于要求一，可以按照要求设定领头小车的速率在误差允许的范围内，且可以双车通信，循迹行驶，避免碰撞。同时，可以做到领头小车沿外圈运动一圈后在起点停车，并保证跟随小车同时停止，控制在两车间距在误差允许的范围内。

对于要求二，在保证要求一操作的基础上，能够灵活控制跟随小车与领头小车的距离，尽可能保证在与领头小车相距 20cm 左右的固定距离内实现跟随与停止功能。

对于要求三，在保证正常跟随的前提下，两车可以通过通信，按照要求准确变换道路，并按照规定要求停车。

表 1 测试项目一：巡线精度

次数	目的距离/m	最大偏差距离/cm	运行时间/s
1	1.2	+8	4
2	2.4	+8	9
3	3.6	-5	14
4	5.5	+19	20

表 2 测试项目二：停车效果测试

次数	运动距离/圈	偏差距离/cm	滞后时间
1	1	+6	0.6
2	2	-5	1.1
3	3	+8	0.5
4	4	-3	0.9

### 5.2 成效得失对比分析

小车整体上可以完成任务，在可以完成循迹的基础上较精准地进行通信。在设计过程中，通过合理地使用语句、构造模块，简化了代码量，提升了可读性，逻辑更加清晰，方便错误的寻找。合理安排了小车的结构和模块分布，在保证稳定性和安全性的情况下保持了小车尺寸的合理安排，使得整个设计符合题设要求。但是因为时间限制，有些地方还不够完善，还有进一步的提升空间。

使用视觉模块协助小车进行循迹，准确度得到了极大提升。

### 6.参考资料及文献

[1] <https://book.openmv.cc/image/blob.html>

[2] <https://baike.baidu.com/item/PID%E7%AE%97%E6%B3%95/4660106>

### 7.附件材料

#### 7.1 重要程序清单

附件 1：视觉程序

附件 2：主控器程序