

# 2024 年全国大学生电子设计竞赛

题目（D 题）

【本科组】



2024 年 8 月 1 日

# D 题 立体货架盘点无人机系统

## 摘 要

本次比赛我们设计了一个基于STM32H743的Nora飞控板的四旋翼无人机，其中包括了飞行控制系统、无线传输收发模块、UWB定位模块、RGB摄像头模块、激光笔控制模块、地面站显示模块等。经过测试，该系统能够根据要求完成功能，无人机能够按照规划航线巡逻，读取货物坐标信息，显示盘点结果，查询货物位置、规划无人机前往指定位置。主要涉及到了定高算法，定点算法，PID控制算法，图像处理算法等，最终实现了立体货架盘点无人机系统。

关键字：MAVROS 无人机控制、Opencv 视觉识别、UWB 定位

## 1 系统方案

### 1.1 系统框图

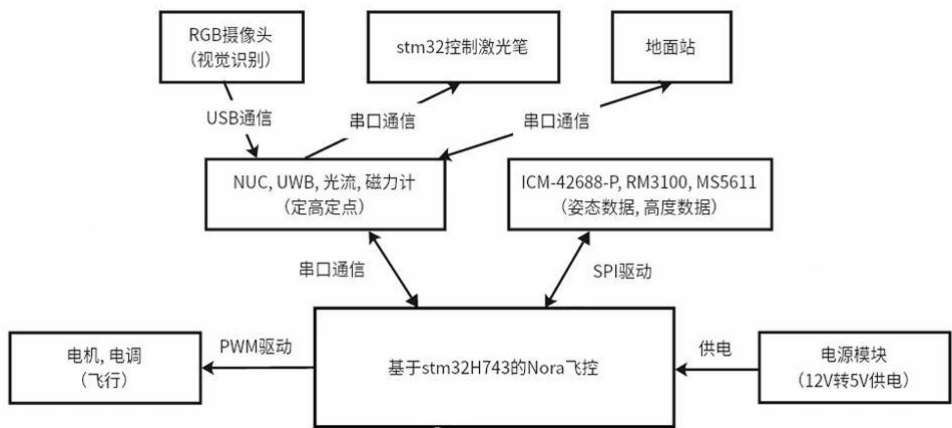


图 1 系统框图

### 1.2 任务流程图

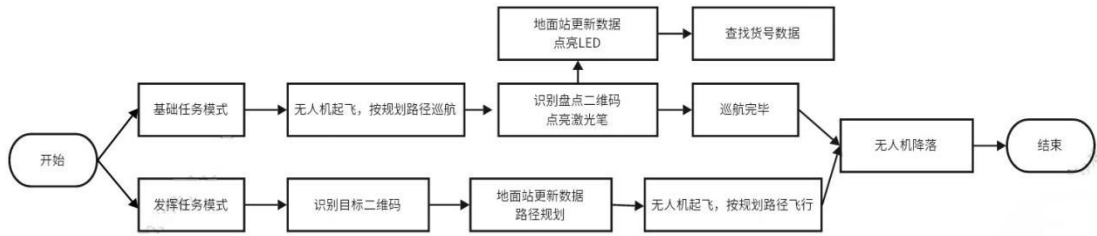


图 2 任务流程图

### 1.3 无人机定高模块

本项目中使用了激光传感器进行无人机高度信息的标定。室内无人机飞行中，引起低高度和室内气压变化不明显的特点，常用的气压计会造成，高度信息解算失败，造成飞机冲顶的问题，所以我们改用外置的激光传感器，根据红外光的发送和反射接受的时间差计算，可以获得非常准确的高度信息。

### 1.4 无人机定位模块

本项目中使用了 uwb 作为无人机的辅助定位手段。uwb 利用超高带宽通信来获得飞机上的标签到四角布置的基站的距离，从而解算出飞机在 uwb 坐标系中的坐标。它是一种精度较高的室内环境定位解决方案，在环境符合要求的情况下，每次定位只会有 2-3 厘米的偏移。

因为本项目中无人机的结构设计采用了较为紧凑的三明治结构，所以讲过流的分电板与飞控夹在了一起，容易造成飞控自身磁力计获取错误信息，故本项目采用外置磁力计方案，讲磁力计架在没有过多干扰的位置，使飞机可以获取准确的航向。

本项目中安装了光流计作为冗余的位置辅助传感器，可以通过对相机拍摄的二值信息进行分析，得到分级不同方向的速度，从而完成位置的识别，但因当前背景为库房查阅，地面具有的复杂度较低，所以项目减少了光流计判断的权重，防止其出现漂移反而对位置信息的估算产生影响。

### 1.5 无人机巡航方案

无人机巡航过程中，为尽可能快速完成全图扫描，一次盘点完经过的所有货架；同时考虑无人机位置误差，防止无人机撞到货架或二维码离开摄像头识别区域，增加与货架的距离。综合考虑巡航速度、视觉识别效果、无人机转向次数，选择以下路径巡航。

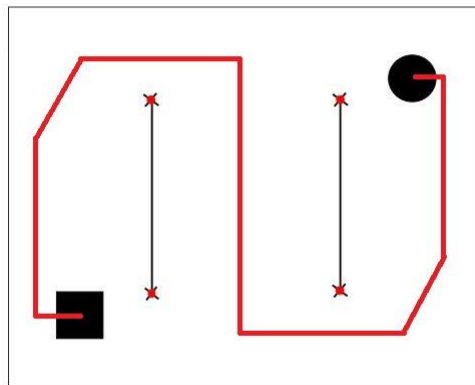


图 3 无人机巡航路线示意图

## 1.6 无人机结构设计方案

利用紧凑设计，在 9 寸机架上搭配 10 寸桨叶，有更高敏捷度和负载能力。根据任务目标，为能够加快货物盘点效率，在双侧脚架安装了两个摄像头模块、四个激光笔模块，一次性完成所经过位置的货物盘点。

## 1.7 视觉模块

无人机主控系统支持基于 OpenCV 库的图像处理，连接 USB 摄像头模块后，能够处理简单的图像任务。且与 K210、OpenMV 等常见图像处理模块相比，USB 摄像头模块与主控的通信更为方便。故采用 OpenCV 处理 USB 摄像头信息的方案。

摄像头像素为 1280\*720p，将其竖直放置，在巡航路线各处能够同时识别到上下两排二维码，加快盘点速度。在飞机左右两侧脚架架设两个摄像头，同时获取左右二维码信息，加快系统任务效率。

## 1.8 激光模块

采用 STM32F103C8T6 最小系统板控制激光笔亮灭，stm32 能够便捷地进行串口通信，可以从飞机主控获取激光笔控制信息，且 stm32 具有稳定的 GPIO 口输出，输出信号经过三极管放大电路，即可驱动 3.3V 激光笔模块。

## 1.9 通信方案

无人机上的不同模块之间采用 ROS 的话题和服务进行通信，ROS 的松耦合分布式架构便于不同模块相互独立的开发测试。无人机与地面站之间采用无线串口通信，串口通信成本低廉，易于部署。无人机飞控与磁力计采用 CAN 通信，实时性和可靠性强。

## 1.10 地面站显示方案

选择树莓派 4B 作为地面站主控。树莓派具有较高性能，能够处理如路径规划等程序，也能够便捷制作 GUI 显示上位机信息，且具有嵌入式板卡通信和输出能力，易于与上位机进行串口通信，有 GPIO 口输出，支持点亮 LED。

# 2 理论分析与计算

## 2.1 飞控系统

采用了开源飞控系统 PX4，并使用 mavros 控制库和少量 mavlink 话题对飞机进行基本的板外控制。飞控采用较为基础的 PID 控制，通过角速度环，姿态环，速度环，位置环，多环 PID 混合控制，分别调参，实现较为准确的飞行动作。

## 2.2 UWB 坐标系与 ENU 坐标系的坐标转换

项目使用了 UWB 作为定位方法，而飞机以全球航向作为自己坐标轴正方向，因为场地严格按照正北布置不符合现实条件，所以 UWB 坐标系和无人机认为的坐标系有一定的夹角，需要添加旋转矩阵关系作坐标转换，从而对齐二者的坐标系，实现正确的位置坐标的输入。

具体方法为：无人机在使用磁力计时，MAVLINK 会自动将正北作自己的 YAW 值零点，并符合 NED（x:北 y:东 z:地）坐标系，而 MAVROS 可以读取航向信息，如果将飞机初始化时正对 Y 轴正方向，就可以获得 UWB 的 Y 轴和 NED 的 X 轴的夹角，并且在直接控制的使用的 MAVROS 中，坐标系符合 ENU（东北天）坐标系，于是可以得到 UWB 的 Y 轴和 NED 的 Y 轴夹角，根据夹角即可写出旋转矩阵。

## 2.3 卡尔曼滤波去除 UWB 漂移

利用 UWB 获得的坐标信息会大体上服从一个以真实坐标为均值的正态分布，因此在运动过程中的定位可以利用卡尔曼滤波来减小定位误差，提供更准确的姿态估计。卡尔曼滤波可以通过调整参数，来实现对真实坐标和推断坐标的置信度，从而可以调整卡尔曼滤波在飞机真实控制程序下的运行效果。

# 3 电路与程序设计

## 3.1 核心板电源

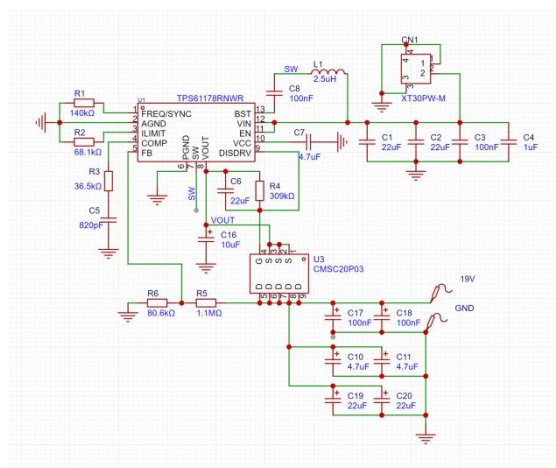


图 4 核心板电源原理图

使用 TI 公司的大电流 boost 控制芯片，完成 12V 到 19V 的开关电源升压电路，使 nuc 核心板可以大功率输出，达到稳定的视觉识别效果。

## 3.2 UWB 电源

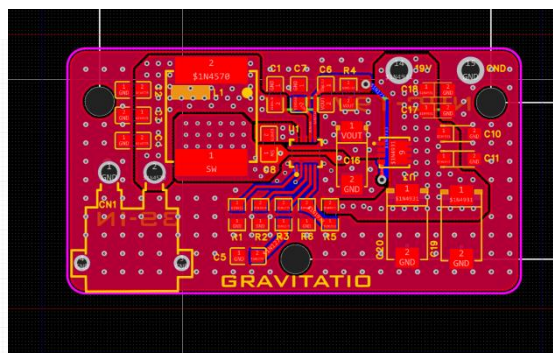


图 5 核心板电源 PCB 图

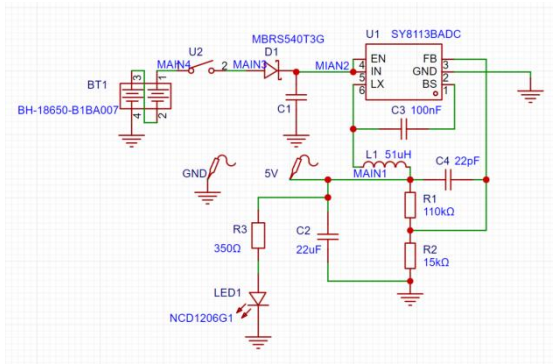


图 6 UWB 电源原理图

为了满足 UWB 长续航，可更换电池并具有放呆设计，方便开关下电的特点，设计了 2S 18650 转 5V 的开关电源，并为之设计利于固定的 3D 打印件。

### 3.3 激光笔三极管控制电路

STM32 控制信息在 GPIO 口输出，不足以驱动激光笔，设计三极管放大电路，驱动激光笔。STM32 从串口收到控制信号，调整 GPIO 口输出，控制激光笔随中继站指令亮灭。

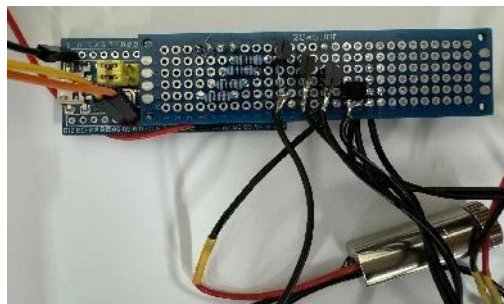


图 8 激光笔三极管控制电路

### 3.4 无人机飞行控制程序

为了满足点到点的位置传输需求，方便后续管理和增添接口，设计了一套基于有限动作状态机的飞行控制程序，通过不同状态之间的切换，向 /mavros/setpoint\_position/ 话题一定频率发送目标位置，从而完成先分解动作，并导入动作模式，完成整体动作，实现飞行任务。

### 3.5 视觉识别程序

当无人机控制程序发布位置消息时，调用左右两侧的侧视摄像头，同时识别解析四个二维码。使用 pyzbar 库即可自动解析二维码信息。结合无人机位置信息，得到货号与坐标对应关系，依次发送回中继站进而发送到地面站。

图 9 视觉识别测试效果



3.6 地面站图形界面交互程序

设计 GUI 为左侧显示货号坐标对应关系、手动查找货物、根据二维码自动查找货物，右侧显示地图及路径规划。地面站存储了货物全部对应关系，能够进行各种交互式功能。同时，地面站显示各种报错信息，便于系统调试。地面站与中继站通过无线串口通信。

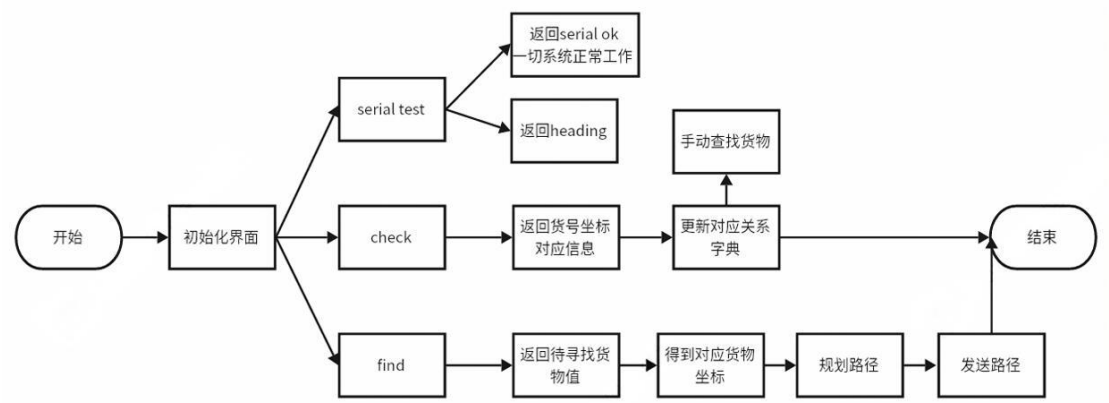


图 10 地面站程序流程图

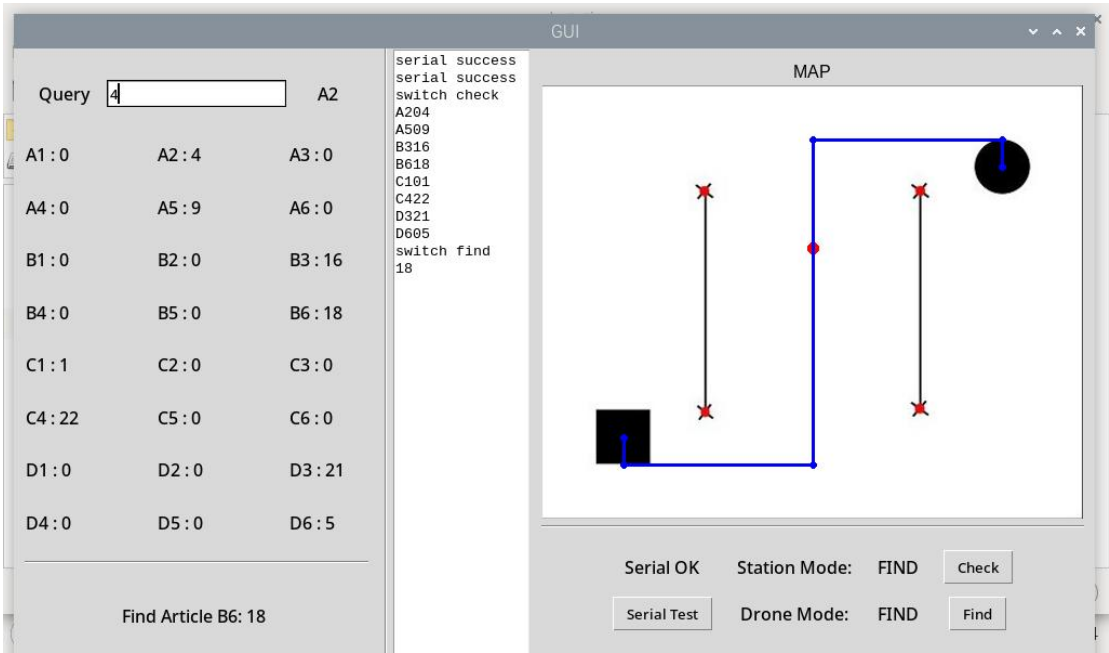


图 11 地面站 GUI 示意图

3.7 通信系统

各模块数据整合在中继站，便于互相收发。中继站与视觉模块收发 ROS 消息，指示调用视觉模块、接收视觉识别结果；与飞控程序收发 ROS 消息，发送控制指令、接收飞机位置信息；与地面站无线串口通信，收发启动指令、盘点结果；与



STM32 通过串口通信，发送激光笔控制信息。

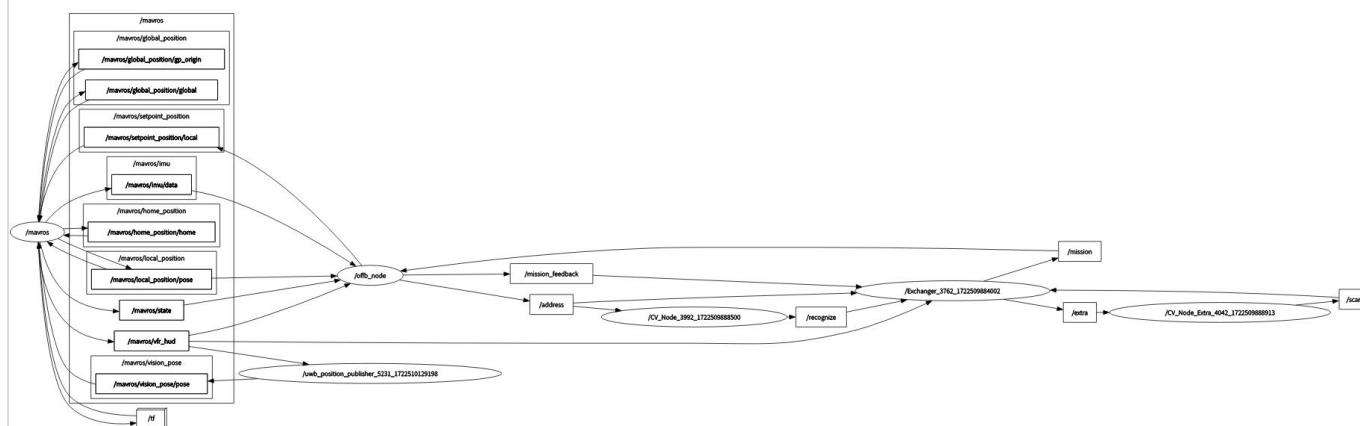


图 12 ROS 节点图

## 4 测试方案与测试结果

### 4.1 测试方案

飞行控制：使用 gazebo 仿真，观察飞机控制逻辑效果。

定位模块：手持 UWB-Tag，观察定位结果。手持飞机移动，观察东北天坐标系下定位结果。

图像处理模块：手持 USB 摄像头，模拟飞机路径和抖动，测试识别效果。

通信模块：使用串口助手收发信息，观察串口通信结果。使用 rostopic 观察各话题内容。

各模块无误后，整合在无人机上实地测试。

### 4.2 测试环境

严格按照比赛条件制作场地，在测试阶段可观察命令行输出、万用表测量、飞机位姿信息等，发现问题并调试。

### 4.3 测试结果

无人机按照规划路径巡航，从起飞点起飞后依次悬停在每个二维码坐标前，识别二维码、控制激光笔、发送识别结果至地面站并显示，全部巡航完成后降落在降落点。地面站具有查询功能，支持手动输入货物编号进行查询，支持通过无人机识别二维码自动查询并规划路径起飞。巡航路线稳定，识别效果佳。