

# 小型自动喷药农用机器人设计

学生：李昕谣 张朕云鹏 肖云飞 曹梦玉 吴仁翔 指导教师：杜刚  
(信息工程学院)

**【摘要】**在农业喷药过程中，手动喷药机械所占比例比较大，施药方式以“大雾量、雨淋式”喷雾为主，农药利用率低，污染环境，而本项目模拟果园喷药竞赛的环境所设计的喷药机器人基于机载喷药，可判断是否存在靶标植株，将连续喷药转化为间歇喷药，不仅提高农业机械装备的效率，极少的人力劳动就可以完成大面积农业生产，减少了枯燥乏味的工作。该机器人以 **arduino mega 2560 开发板** 为核心，**麦克纳姆轮** 为底盘，搭建了 **主控系统、电控系统、测距和灰度传感器以及应用模块**，**采用 c 语言在 arduino 中进行代码编程**，**能够实现避障、自主巡线、颜色识别、自动喷药以及语音播报等功能**，最终针对不同区域的竞赛要求，完成对应区域的喷药任务，而在实际生活中，也能实现在室内进行小规模喷药过程。

**【关键词】** 喷药机器人；机器人比赛；自动化；设计

**【项目编号】** 202111415037

## 1 研究背景及意义

中国是一个发展中的农业大国，“农业、农村、农民”问题始终是关系到中国经济和社会发展的根本问题，必须把科技进步作为解决“三农”问题的一项根本措施。其中喷洒农药的环节在农业生产过程必不可少，现存问题是，在农业喷洒的过程中，手动喷药机械所占比例比较大，施药方式以“大雾量、雨淋式”喷雾为主，农药利用率低，污染环境。机载喷药机械的施药方式是连续喷药，有较宽的株距时，存在无效喷药，这就造成了资源的浪费。而本项目设计的喷药机器人基于机载喷药，但可判断是否存在靶标植株，将连续喷药转化为间歇喷药。这样不仅提高农业机械装备的效率，极少的人力劳动就可以完成大面积农业生产。

本项目研究的是**面向比赛的自主式喷药机器人**，针对不同区域的竞赛要求，完成对应区域的喷药任务。场地根据不同模拟喷药区域分为四个区：**a 区模拟温室花卉喷药环境，两侧各含 7 颗仿真植物**；**b 区模拟真实果园中仿真果树生长的喷药环境，两侧各存在四个木板，且木板贴有三种颜色的贴纸，代表不同虫害**；**c 区模拟仿真果树定点精准喷药的喷药环境**；**d 区模拟小麦，需用无人机操作**，本项目搭建的机器人用于完成比赛的 a 区、b 区。比赛场地如图 1 所示。

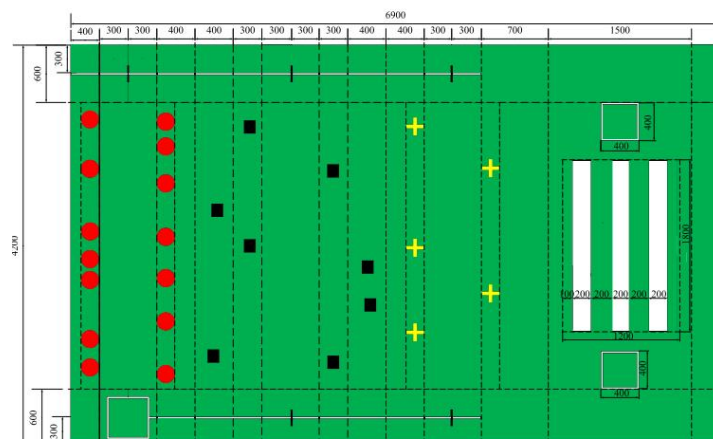


图 1 喷药机器人场地布局

## 1 整体结构

小车整体由两层树脂环氧板分为三层结构：底层为车轮，中层为基础电控系统，上层为应用部分——语音、摄像头、水泵。

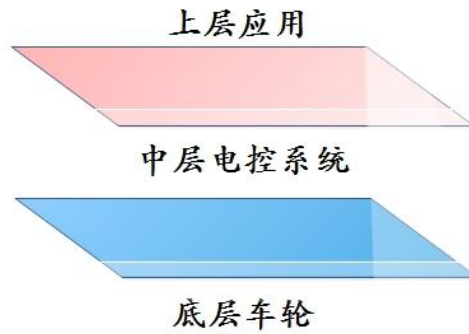


图 1 小车层次结构

底盘采用麦克纳姆轮，由直流电机和舵机进行控制转速及旋转角度。车身两侧下方分别安装一个超声波传感器，用以检测植物与车身之间的距离，保证小车行驶过程中与植物保持合适距离；同时每侧下方分别安装两个灰度传感器，以检测是否越过白线，保证小车巡线行驶。通过车身右侧摄像头识别需要喷药的植物，并控制水泵喷头喷水。

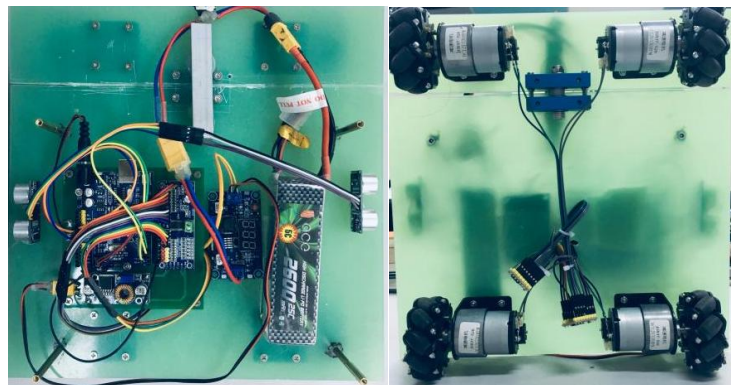


图 2 底层及中层硬件图

## 2 硬件组成

### 2.1 主控模块

主控模块应用 arduino mega 2560，使用其中三个 UART 串口通信，serial1 用作开发板与 PC 通信，serial2 用作与摄像头通信，serial3 用作与语音模块通信。部分 IO 口用作与电机、超声波传感器、灰度传感器连线。

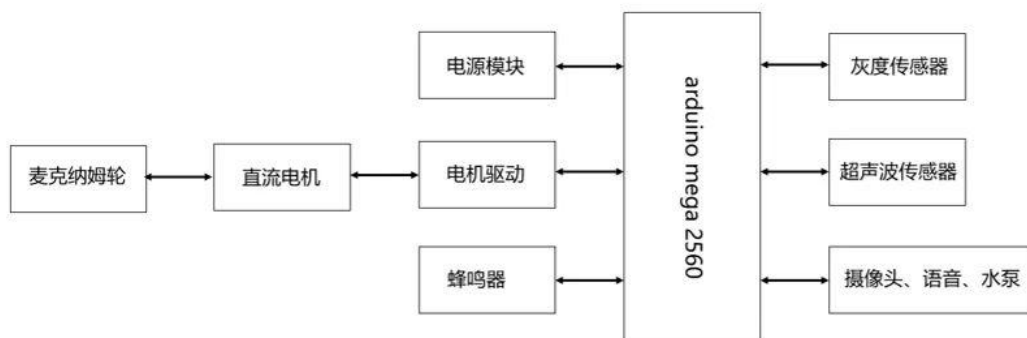


图 3 硬件设计结构

## 2.2 电控系统

电控系统主要由电源供应模块、电机驱动模块、蜂鸣器、超声波测距传感器、灰度传感器组成。

### 2.2.1 电源模块

电源模块采用两种供电方式，在程序调试下载阶段采用了来自 PC 机的 USB 接口供电，在机器人行驶的时候采用 12V 的锂电池供电。其中电源 12V 的锂电采用格式航模电池 2600mah 规格，通过稳压块稳压，输出 5v 对单片机及其他元件供电。所用的航模电池为环保可充电电池，能量密度约为镍镉或镍氢电池的四倍。

### 2.2.2 车轮

小车车轮采用麦克纳姆轮，车身安装了四个麦克纳姆轮，可以实现前行、横移、斜行、旋转等运动方式，从而实现全方位移动。其原理利用对称性抵消不需要的力，叠加目标速度方向的力。麦克纳姆轮被广泛应用于智能机器人领域。

麦克纳姆轮原理图如下，其中蓝线表示车轮转动方向，正转或反转；红线表示车轮在横纵方向的分力。

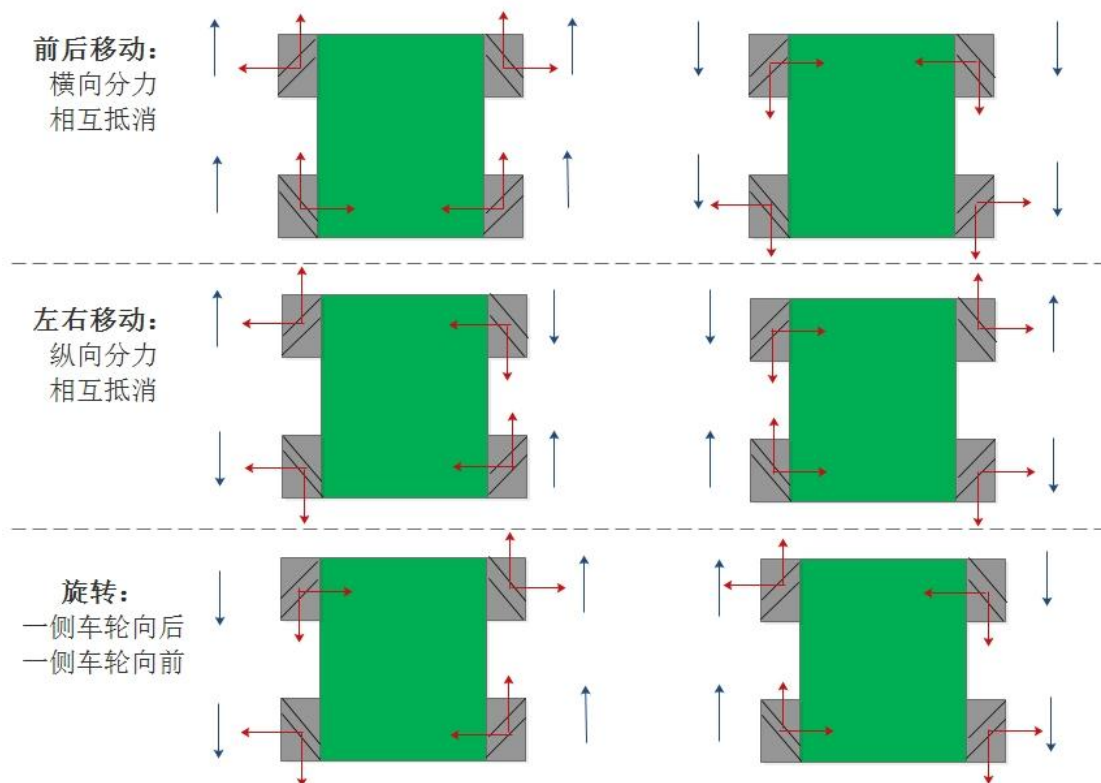


图 6 麦克纳姆轮原理图

### 2.2.3 电机驱动模块

小车四个车轮采用 520 编码减速电机驱动，并采用 TB6612FNG 电机驱动模块驱动电机，直流电源供电，PWM 控制转速。

其中，520 减速电机自带高精度磁编码器，性能优于步进电机，搭配 330 线 AB 相增量式霍尔编码器，具有高精度、抗干扰能力强等特点。TB6612FNG 电机驱动，相对于传统的 L298N 效率上提高很多，体积上也大幅度减少，芯片没有发热问题，由于一个 TB6612FNG 能够驱动两个电机，小车采用两个 TB6612FNG 电机驱动。



图 7 JGB37-520 减速电机



图 8 TB6612FNG 电机驱动

### 2.2.4 舵机

舵机控制板采用 PCA9685 舵机 16 路 PWM 驱动板，将控制信号由主控端传递到电机驱动。PCA9685 驱动板内置了 PWM 驱动器和时钟，采用 I2C 通信、级联设计，具有输入反向极性保护功能。

### 2.2.5 灰度传感器

采用 TCRT5000 灰度传感器，安装于车体四角，用于控制小车巡线行驶。通过灰度传感器识别白线，传感器抵达白线将亮灯，并将数据传回主控，通过程序

控制小车行驶在正确轨道。

### 2.2.6 超声波测距传感器

采用 HY-SRF05 超声波传感器，通过超声波测距，判断小车左右植物与车身之间的距离。HY-SRF05 超声波传感器性能稳定，可提供 2cm-450cm 的非接触式距离感测功能，测距精度可达 3mm。工作原理是通过 IO 口 TRIG 触发测距，模块自动发送 8 个 40kHz 的方波，并检测是否有信号返回，当有信号返回，通过 IO 口 ECHO 输出一个高电平。



图 9 PCA9685 舵机驱动板 图 10 TCRT5000 灰度传感器 图 11 超声波传感器

## 3 应用零件

### 3.1 摄像头

采用 HuskyLens 视觉传感器，并与 arduino 结合，通过代码实现选中所识别到的物体中面积最大部分的颜色。HuskyLens 采用了新一代的 AI 芯片 Kendryte K210，内置 64 位 400MHz 双核 RISC-V 处理器，图像传感器像素为 200W 像素，内置机器学习技术，能够有效地实现人脸识别和物体识别。

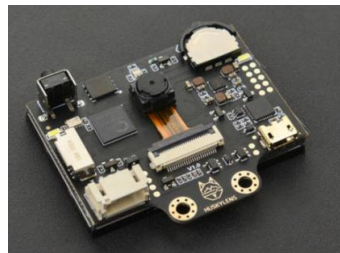


图 12 HuskyLens 视觉传感器

### 3.2 语音模块

采用 TTS 文字转语音合成模块，TTL 串口控制，使用单片机、电脑 USB 进行控制，通过编写程序实现语音播报功能。

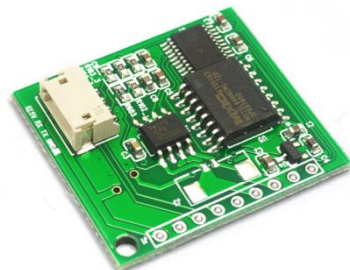


图 13 TTS 语音合成模块

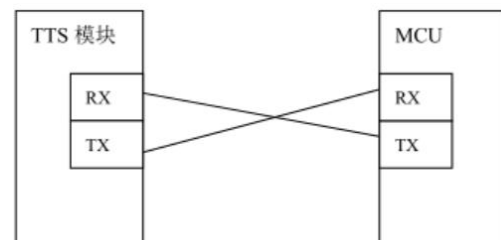


图 14 TTS 模块通讯图

### 3.3 水泵

采用微型水泵，体积小，重量轻，满足比赛要求，外加水管及喷头构成喷药系统。

## 4 软件设计

### 4.1 机器人基本运动程序设计

每个 TB6612 驱动模块含有两路驱动，每路驱动存在 1 个 PWM、2 个 AIN 接口。

(1) 通过调整 PWMA 占空比，调整电机转速。

(2) AIN1、AIN2 为电机转动方向控制信号，AIN1、AIN2 分别为 0、1 时，电机正转，反之，电机反转，BIN1、BIN2 同理。直流电机正反转的逻辑如表 1 所示：

表 1 直流电机正反转真值表

AIN1	0	0	1
AIN2	0	1	0
电机	停止	正转	反转

代码实现：在 motor\_move 函数中完成对电机转动方向以及转速的控制。定义 move 函数时调用 motor\_move 函数，通过调整四个车轮的转动方向以及转速，完成对机器人整体运动的控制。其中左前轮、右前轮、右后轮、左后轮分别为轮 1、轮 2、轮 3、轮 4，机器人基本运动真值表如表 2 所示：

表 2 机器人基本运动真值表

功能 车轮	前进	后退	左移	右移	左转	右转	停止
轮 1	正转	反转	正转	反转	反转	正转	停转
轮 2	正转	反转	反转	正转	正转	反转	停转
轮 3	正转	反转	正转	反转	正转	反转	停转
轮 4	正转	反转	反转	正转	反转	正转	停转

### 4.2 行走方案程序设计

机器人的行走过程按比赛场地有无白线可分为循迹模块和测距模块。其中，从 a 区到 b 区以及 b 区返回 a 区的过程中有白线引导，其余场地均无白线

#### 4.2.1 循迹模块

机器人循迹模块采用灰度传感器，传感器发射管发射光线到路面，遇到白色胶带引导线被反射，接收管接收到反射光，经施密特触发器整形后输出低电平；发射光遇到深绿色地毯被吸收，施密特触发器整形后输出高电平。右侧两个灰度传感器为 io34、io35，左侧两个灰度传感器为 io36、io37。当 io34、io35 任一传感器检测到白线时，车轮 3 即右后轮不动，顺时针旋转一定角度使车身摆正，同理，io36、io37 任一传感器检测到白线时，车轮 4 即左后轮不动，逆时针旋转。具体代码书写在 move\_shuntiao、move\_nitiao 中，流程图如图 1 所示。

#### 4.2.2 测距模块

机器人在 a 区、b 区行走时，通过超声波传感器测得的距离判断两侧是否存在植物以及调整位置。a 区：①当机器人测距<50cm 时，说明右侧存在植物；②当测距<13cm 时，说明二者距离较近，需执行左移代码；③当 20cm<测距<50cm 时，说明机器人与植物距离较远，需执行右移代码。b 区同理，只是距离参数不同。代码流程图如图 2 所示。



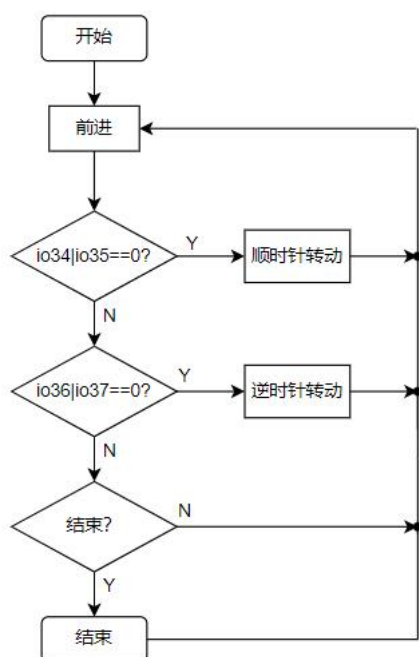


图 1 循迹模块流程图

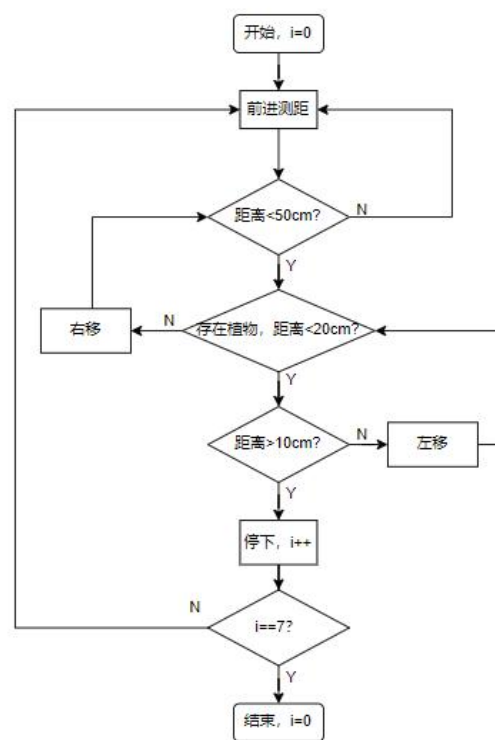
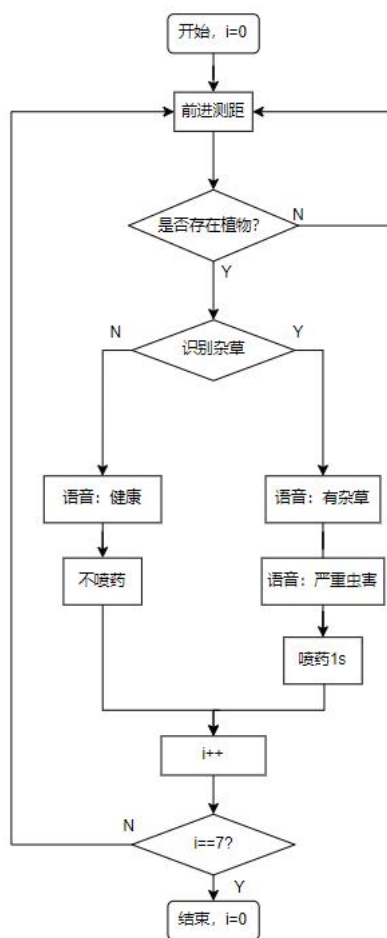


图 2 测距模块流程图

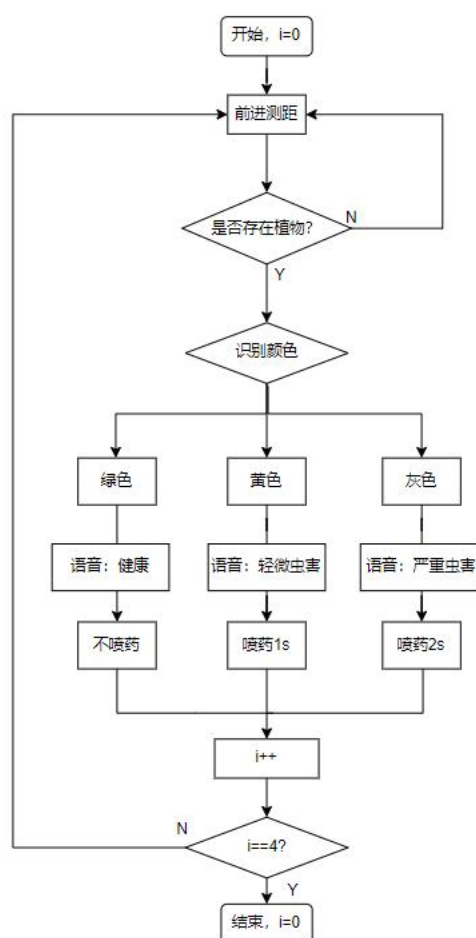
### 4.3 摄像头、喷药、语音子程序设计

摄像头传感器能够识别杂草和颜色，并且能返回识别到的物体的参数：长度、宽度、代表颜色的 ID 值。其中，对于颜色识别，摄像头能识别三种颜色并返回三个值，绿色、黄色、灰色分别设定为 ID=1、2、3。由于机器人右侧存在木板时，摄像头不仅能识别到板子的颜色，同时会识别到板子之外的其他颜色，往往会造成误识别，为此，我们设计了一个算法——选中摄像头识别范围内面积最大的部分的颜色模块。具体实现：因为机器人接近木板时，木板距离摄像头最近，板子颜色所占面积为摄像头识别范围内最大部分，故通过接收摄像头传感器返回的长度、宽度，计算面积，最终仅选择板子颜色。多次实验证明，代码有效。

测距模块判断机器人右侧是否存在植物或木板，视觉传感器识别植物中是否含有杂草及贴纸上的颜色，二者相结合返回一个参数值，根据该参数值决定喷药量、播报语音内容，a 区、b 区代码流程图如图所示：



a 区喷药流程图



b 区喷药流程图

#### 4.4 主控制程序设计

应用 arduino, 使用 c 语言进行编程。代码按照可实现功能分为“电机控制”、“巡线”、“测距”、“调整位置”、“颜色识别”、“喷药控制”、“语音播报”。整体思路为: 向前移动的过程中若测距传感器检测到有植物即停, 并通过摄像头识别判断是否喷药, 并进行语音播报。

### 5 进展和成果

#### 5.1 项目进展

项目前期完成了 PCB 电路板的焊接、底层电控系统的搭建、麦克纳姆轮的安装、灰度传感器和超声波传感器以及开发板串口的连接; 项目中期完成了对上层应用部分——摄像头传感器、语音模块、水泵的安装; 项目后期主要完成对代码部分的更改与调试。目前, 本项目已经完成小型自动喷药农用机器人的搭建, 并在项目期间共搭建两台机器人, 该机器人能够实现避障、巡线、颜色识别、自动喷药以及语音播报等功能, 在 2021 年参加了第二十三届中国机器人及人工智能



大赛，同时发表了一篇论文。

## 5.2 项目成果

①比赛获奖：本项目共搭建两台机器人，参加中国机器人及人工智能大赛的子项目喷药机器人比赛，其中组员分为两支队伍参赛，分别获得一项国家级三等奖、一项省级三等奖。

②论文：基于本项目，在期刊《Journal of Physics: Conference Series》中已正式发表一篇论文。

③研究报告：基于项目总结出一份完整的研究报告——从硬件组成、软件设计等方面详细介绍了喷药机器人的设计及搭建。

## 6 问题及建议

### 6.1 问题

①机器人对白线识别功能有待完善，巡线不稳定，灰度传感器较少。

②喷药模块不能实现精准喷药，喷头及水管的连接固定，导致不能灵活移动喷头实现精准喷药。

### 6.2 建议

①增加多路灰度传感器以提高巡线功能。

②增加对喷药模块的机械设计，搭建一个舵机控制的简易机械臂，将摄像头、喷头“一体化”安装在机械臂上，通过摄像头传感器识别目标，并移动机械臂对目标精准定位，从而实现精准喷药。

## 7 心得

本次大创项目我们受益匪浅。在硬件方面，学习到开发板串口的使用、板子的通信方式、麦克纳姆轮的工作原理以及摄像头和水泵与开发板的连接等等；还掌握了一些硬件工具的使用，包括焊枪、热熔胶枪、大功率电池充电器等。在软件方面，我们通过C语言自主编写程序控制机器人完成直线行驶、巡线行驶、语音播报等功能，提升了代码的编写、调试能力。

在整个项目过程中也遇到了很多问题：出现车速猛增的情况，经排查发现是供电电压不稳定，通过更换电池、保持充足的电量解决了这个问题；地毯不平整会导致灰度传感器的误测，通过一次次调整灰度传感器的灵敏度，能够实现机器人正常巡线行驶。项目进行到一半，常常需要反复编码调试机器人，重复改代码、上传代码、测试机器人的工作。

尽管项目进展中存在困难，但我们仍积极应对，主动查询参考资料、寻求学长和老师的指导。在难题的攻破过程中，我们收获到了难得的成就感：不仅仅在知识方面加深了对软硬件的理解，巩固了专业课知识；在实践层面进行了机器人

的调试，锻炼了动手能力；还通过团队合作，感受到了相互合作的重要性，团队中 5 个人，都得有合适的分工，我们通过相互支持和鼓励，最终顺利完成了项目，同时如期完成了相关比赛并获得奖项。在此真诚感谢学校给我们提供了这样一个锻炼我们的机会，感谢老师和同学们的指导和鼓励，也感谢小组成员的支持与帮助。

参考文献：

## 致谢

为期一年的大创项目，我们收获颇丰，期间我们也遇到了很多困难但都已相继解决，在此感谢杜刚老师对我们的指导和进度的督促。另外感谢余英杰学长对我们的帮助，协助我们搭建了机器人的硬件部分并无私的为我们解答疑惑。其次感谢小组成员之间的相互配合，面对调试过程中出现的各种各样的问题，我们相互支持和鼓励，最终顺利完成了项目，同时如期参加了相关比赛并获得奖项。最后真诚感谢学院及学校，为本项目提供了资金保障，并为我们提供了这次难忘的提升自己的机会。