

耕耘福音-智能豆子播种机

——海底小纵队；陶昱杉；张亚丽；冯彦玉；蔚慧琼、程小阳

摘要

随着人口的增长和农业生产的需求不断增加，传统的种植方式已经无法满足生产的要求。因此，发展更高效、智能化的播种机成为解决农业生产问题的重要手段之一。在过去的几十年中，农业机械的发展迅速，种植机械化、自动化程度不断提高。传统的手工播种方式效率低下、劳动强度大，并且容易出现人为误差。而自动播种机械可以减少人工操作，提高播种精度，提高生产效率。同时，自动播种机械还可以根据植物的需求，调整种子的深度、间距和密度，更好地满足植物的生长需求。

由此，我们研制一款可种植多种类的豆子种植机，可适用于各种复杂地形，操作方式简单、可靠、能够控制种植行间距。小车具有两种模式可供选择（手动模式与自动模式），在手动模式下可以自由控制小车的行驶路径、种植深度、行列间距等功能。自动模式下小车会按照预先设置的规划路径进行自动种植。在自动模式里，加入了 PID 算法，使得小车可以适用于各种地形，通过上位机遥控器，进行路径规划、设置土地面积大小。真正的做到的智能化、自动化、机械化。小车与遥控器之间的通信采用无线射频技术，集成度高稳定性强。通信距离可达一公里以上，支持双向通信，并且双向之间的数据传输速度延迟低到忽略不计。在小车种植结构上加入了传感器，可以检测豆子容量，及时发出报警提醒添加豆子。结构上采用双轴控制下料机械结构，使得控料更加精确。更易控制行列间距。通过控制出料口，可改变豆子种植种类。不拘泥于一种豆子的种植，实现多元化。在系统操作上，两种模式的操作方式多元化，手动与自动模式相结合。适用于各种复杂场景。系统显示简单明了，便于随时查看设备状态。操作简单，入门门槛低，更容易上手。

硬件部分：使用单片机及其它模块完成硬件设计，主要包括 STM32 单片机最小系统、STM32F103ZET6 系统板、电源模块、NRF24L01P 无线通信模块、OLED 显示模块、GPS 模块，双舵机云台及双自由度机械结构、R3 系列坦克底盘、MG540 电机、高强度开槽器等。

软件部分：系统采用 C 语言编写，双系统、多进程的模式，使得小车和遥控器之间的操作更加简洁、迅速。这种系统对于后期系统的维修升级更加便捷。

总之，小型智能豆子播种机的目的在于提高农作物种植的效率 and 生产力，提

高作业的准确性和规范性，降低农民的劳动强度，实现精细化的种植管理，节约资源和保护环境。它是现代农业科技发展的一项重要成果，对推动农业现代化和可持续发展具有积极的意义。

第一部分 作品概述

1.1 功能与特性

智能双模式操作：提供手动与自动两种模式，手动模式下用户可灵活控制播种路径、深度及行间距；自动模式利用 PID 算法适应复杂地形，通过上位机遥控器预设路径与面积，实现精准自动播种。

高精度播种控制：内置传感器实时监控豆子余量，预警补充，结合双轴控制下料机械结构，确保种子投放的精确控制与行列间距的灵活调节，支持多豆种播种，实现种植多元化。

强固通信系统：采用 NRF24L01 无线射频技术，通信距离超 1 公里，双向低延迟，确保遥控指令即时传输，操作响应迅速。

先进硬件集成：基于 STM32 系列单片机，集成 GPS、OLED 显示、强劲电机等模块，构成高性能、低功耗的硬件平台，满足长时间作业需求。

双系统软件架构：软件采用 C 语言编写，支持双系统多进程，简化操作流程，便于系统维护与升级，提升用户体验。

便捷操作体验：配备摇杆电位器，操作直观简便，用户门槛低，系统状态显示清晰，易于监控。

创新技术应用：应用 PID 闭环算法优化控制精度，减少超调，提升作业效率。

1.2 应用领域

农业生产提升：该设备特别适用于豆类作物的种植，能够显著提升红豆、绿豆、蚕豆等各类豆子的播种效率与质量。通过精准控制种子的播种深度、间距和密度，满足不同作物的生长需求，提高作物产量与品质，适应现代农业精细化管理的需求。

复杂地形适应：其设计考虑到各种复杂地形的适用性，无论是平坦农田还是丘陵地带，都能通过自动模式下的 PID 算法调整，灵活适应，减少地形对播种作业的限制，拓宽了播种机的应用场景。

智慧农业集成：作为智慧农业的重要组成部分，该播种机能够与物联网、大数据等先进技术结合，通过传感器收集数据，实现远程监控、病虫害预警及智能决策支持，促进农业信息化和智能化水平的提升。

农业技术培训与推广：通过与高校、农业机构合作，该播种机可作为现代农业技术教学与推广的示范工具，帮助农民掌握智能设备操作，推动农业技术普及

与升级。

1.3 主要技术特点

该设备提供手动与自动双操作模式，确保灵活性与精准度。手动模式允许个性化调整路径和深度；自动模式依托 PID 算法及上位机规划，实现复杂地形的自动播种。内置豆量传感器与精密双轴控制系统保证播种深度与行距的高精度，支持多元豆种，满足多样种植需求。采用 NRF24L01P 无线技术，实现超远距离低延迟通信，增强作业效率。基于 STM32 的集成硬件设计，集 GPS、OLED 显示及高性能驱动于一体，确保系统户外稳定运行。C 语言编写的双系统软件，优化操作流程，便于维护升级，提升用户体验。简洁人机界面支持无缝模式切换，适应广泛用户与地形。设计遵循节能减排原则，促进绿色农业。模块化设计利于未来升级与扩展，确保技术领先性。内置安全机制与应急处理策略，强化设备稳定性和作业安全性。

1.4 主要性能指标

性能指标	具体数值/描述
播种精度	$\pm 2\text{cm}$
操作模式	手动模式 & 自动模式（含 PID 算法）
通信技术	无线射频（NRF24L01P），双向通信，距离>1km
显示与控制	OLED 显示模块，STM32 单片机系统板
操作系统	C 语言编写，双系统多进程
适应地形	多种复杂地形自适应
播种深度控制	可调节，双轴控制下料机械结构
传感器应用	豆子容量检测，实时报警提示
无线通信延迟	忽略不计，高速传输
续航能力	长时间作业设计，具体时长未提及
兼容作物	多种豆类，可根据需求更换播种部件
操作简易性	手动与自动结合，入门门槛低
系统稳定性	高集成度硬件，稳定强健的通信链路
故障处理	实时监控，故障即时报警提示

1.5 主要创新点

1.5.1 该设备融合手动和自动双操控模式，自动模式凭借 PID 算法适应复杂地形，确保播种精度与适应性。实时豆量监控预警避免缺料中断，保障播种效率。

1.5.2 采用 NRF24L01P 无线通信，实现远程低延迟控制，增强灵活性。

1.5.3 C 语言双系统软件支持多进程，简化维护升级，提升稳定性与扩展潜力。

1.5.4 创新双轴播种结构精控下料，满足多元播种需求。

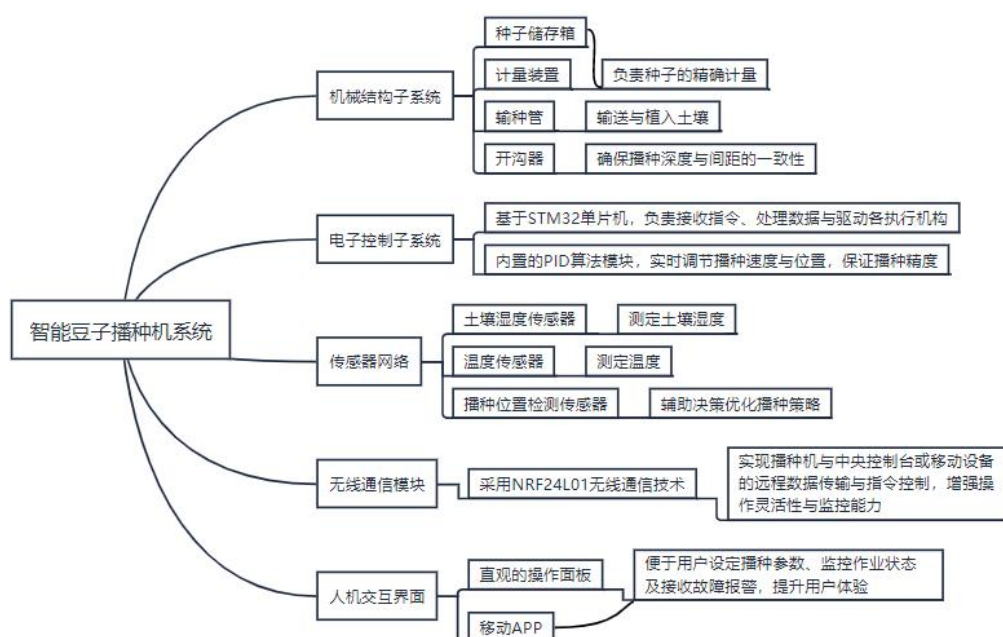
1.5.5 集成 STM32 单片机等高端模块，形成高效、低耗的硬件系统，推动设备智能化。

1.6 设计流程

研发过程始自文献调研与市场分析，明确多功能智能豆播种机目标。继而进行概念设计，涵盖机构、电子及传感器布局，保证实用功能。详设阶段涉及零件图绘制、选材加工，确保 STM32 单片机、NRF24L01 通信模块及电机合理配置。样机制作后初步调试，实现机电系统协同。系统测试包含模式验证、PID 算法实地测试及通信性能评估，据此优化，确保精度、操作简便及稳定性。最终，产品定型伴随用户手册与培训材料准备，为市场应用奠定基石。

第二部分 系统组成及功能说明

阐述具体的设计细节2.1 整体介绍



2.2 硬件系统介绍

2.2.1 硬件整体介绍；

2.2.1.1 核心控制器（MCU/MPU）：

作为系统的大脑，采用高性能微控制器或微处理器，负责处理来自各传感器的数据，执行播种逻辑算法，以及驱动各执行机构。支持实时操作系统，确保任务调度的高效与精确。

2.2.1.2 GPS 模块与惯性导航系统（INS）：

GPS 用于精确定位播种机的位置，结合 INS 可实现厘米级定位精度，确保播种行进路线的直线度和转弯的准确性，尤其适用于大范围农田作业，提高播种位置的精确度。

2.2.1.3 土壤湿度与硬度传感器：

实时监测土壤条件，根据土壤湿度和硬度自动调整播种深度，优化种子的生长环境，减少资源浪费。

2.2.1.4 图像识别与作物间距传感器：

利用摄像头与激光雷达等技术，自动识别已播种区域与未播种区域，智能调控播种密度和间距，保证作物均匀分布。

2.2.1.5 电动播种装置：

配备精密电机驱动的播种轮或气动播种器，根据预设的播种参数，精确控制种子的投放数量与速度，实现单粒或多粒播种模式的灵活切换。

2.2.1.6 存储与供种系统：

包含种子储存箱与供种机制，确保种子在输送过程中的畅通无阻，同时具备防潮、防虫设计，保持种子活力。

2.2.1.7 电力供应与能量管理系统：

结合大容量电池组与智能电源管理系统，支持长时间作业需求。系统能根据作业负载动态调节功率输出，延长续航时间，并支持快速充电技术。

2.2.1.8 用户交互界面：

集成触摸屏或远程控制终端，提供直观的操作界面，使用户能够设定播种参数、查看作业状态与系统诊断信息。

2.2.1.9 无线通信模块：

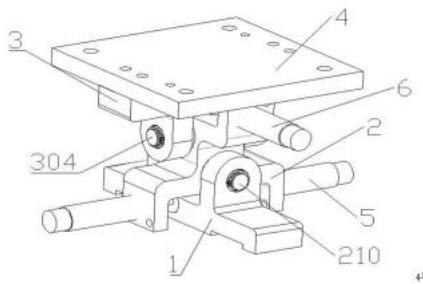
内置 4G/5G、Wi-Fi 或 LoRa 等无线通信技术，实现与云端平台的数据交换，支持远程监控、数据分析与软件升级，提升系统的智能化管理水平。

2.2.2 机械设计介绍

2.2.2.1 总体设计概述：整体设计采用模块化理念，确保了机器的灵活性和可维护性。主体框架由高强度材料构成，以适应复杂多变的田间作业环境。设计中融入了自动导航系统、智能控制系统、多功能播种机构以及高效的履带式行走系统，确保了机器的全面性能。

2.2.2.2 核心组件设计概述：

(1) 自由度机械结构：采用舵机驱动的双自由度机械臂，相较于传统种植方式，显著提高了下料的精准度和灵活性。机械臂的自由度设计让其能够在两个方向上自由移动，精确控制豆子的下落速率与方向，适应不同豆类和地形的需求。

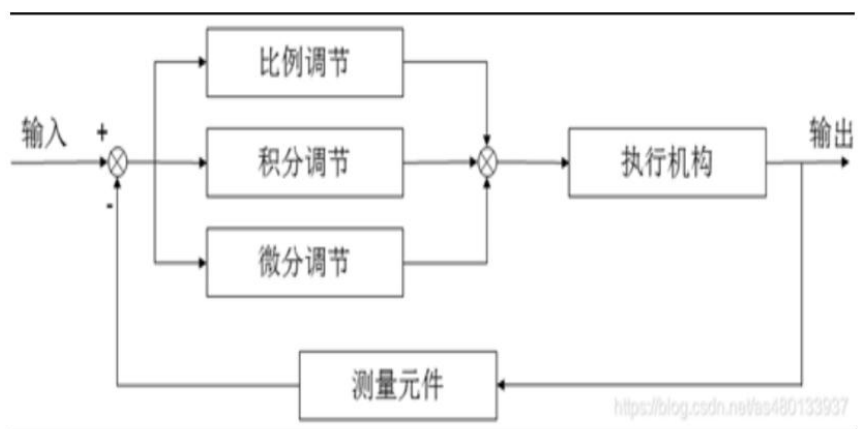


(2) 双系统操作模式：设备提供手动与自动两种模式切换，满足多样化作业需求。手动模式下，操作员可直接控制小车的路径和种植参数；自动模式则融入 PID 算法，实现路径规划与地形适应，提高自动化水平。

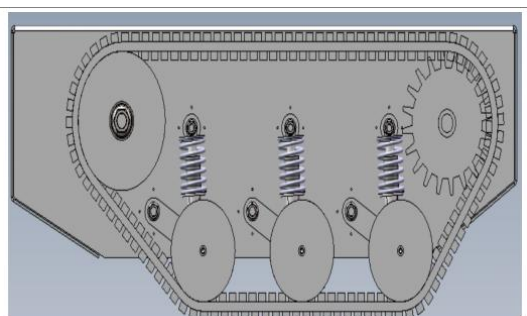


(3) 闭环 PID 小车控制算法：该算法确保小车在自动模式下，能精确跟随预定路径，同时具备自动避障能力。通过上位机遥控器进行路径规划，结合超声波传感器实时监测，

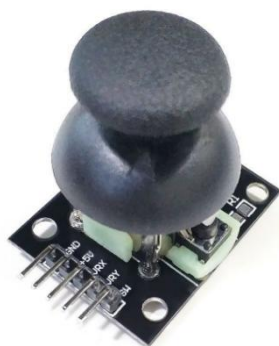
实现动态调整，提高播种精度。



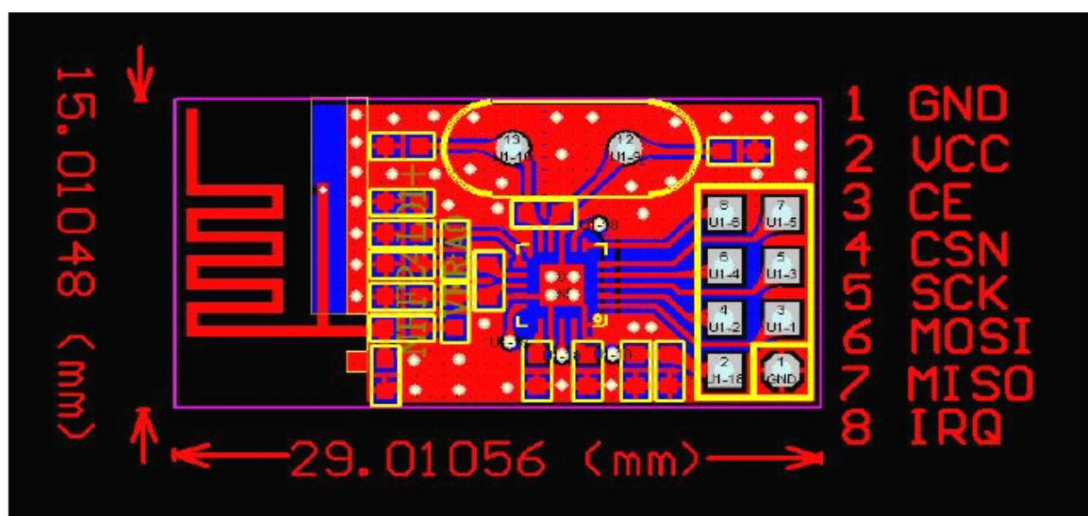
(4) 履带运动系统：采用钢制履带结构，包括履动轮、导向轮、支重轮和行走减速机等部件，提供强大的牵引力和跨越障碍的能力。履带式设计确保了机器在不同地形的稳定性和通过性。



(5) 电位器摇杆控制：通过电位器摇杆实现对小车的直观操作，改变电阻值以调节电路参数，进而控制小车行为。摇杆的使用提升了操作的直观性，使得手动模式下的控制更加便捷。



(6) NRF24L01 无线通信模块 PCB 图：展示了无线通信核心模块的布局，说明了其如何支持多通道数据传输和增强型 ShockBurst 模式，确保了远程控制的高效与稳定。



2.2.3 电路各模块介绍（从总体到局部，逐级给出各模块的具体设计图，并标记出关键的输入、输出信号线，可以是电路图、SCH 原理图、PCB 版图等截图）；

2.2.3.1 总体概述

耕耘福音—多功能小型智能豆子播种机的电路设计集成了多个核心模块，以实现播种机的智能化操作。整个电路系统围绕 STM32 系列单片机为核心处理器，通过 NRF24L01P 无线通信模块实现远程控制，结合双自由度机械结构、传感器反馈和 PID 闭环控制算法，确保了播种作业的高效与精确。

2.2.3.2 模块介绍

（1）主控单元

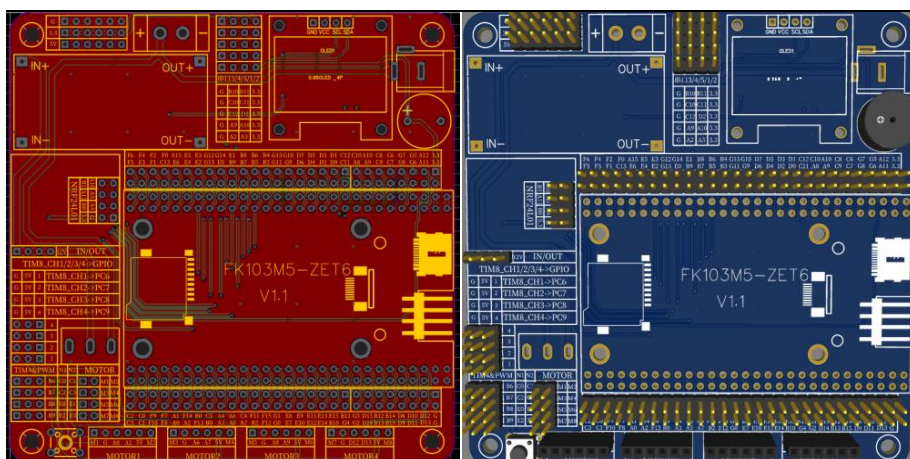
模块名称：STM32 单片机系统

关键组件：STM32F103ZET6 系统板、电源模块

功能介绍：STM32F103ZET6 作为主控芯片，负责处理遥控器上位机发送的指令，计算并控制播种机的各项动作。该模块集成度高，具有强大的处理能力，支持多任务并发处理，通过 HAL 库和 STM32CubeMX 工具简化开发流程。

输入信号：无线接收模块(NRF24L01P)传来的控制指令、传感器信号

输出信号：驱动电机、舵机的控制信号，显示模块的数据显示指令



(2) 无线通信模块

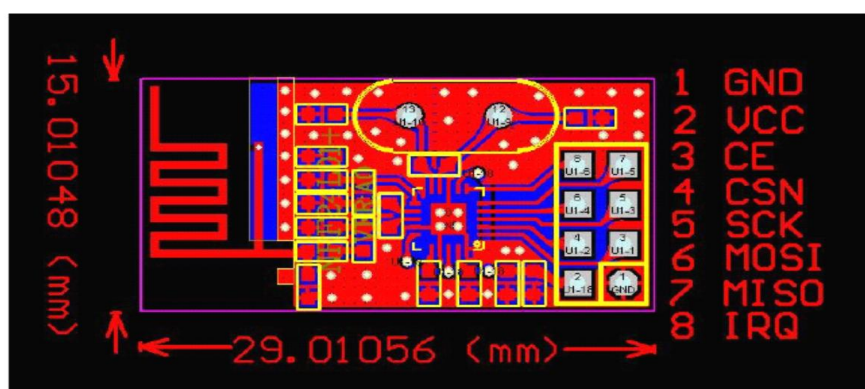
模块名称：NRF24L01P 无线通信

关键组件：NRF24L01P 无线通信模块、天线

功能介绍：实现遥控器与播种机之间的无线通信，支持双向数据传输，具有高集成度、长距离传输、低延迟特性。NRF24L01P 能够接收和发送指令，采用 Enhanced ShockBurst 模式，支持 6 路数据通道，每个通道有独立地址，保证数据传输的准确性。

输入信号：上位机遥控器发送的控制信号

输出信号：控制指令给主控单元



(3) 机械结构与控制模块

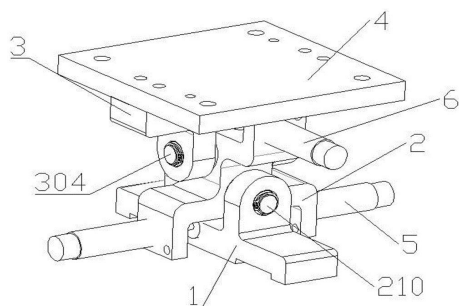
模块名称：双自由度机械结构

关键组件：双舵机云台、双轴控制下料机械结构

功能介绍：采用舵机驱动的双自由度机械臂，能精确控制播种深度、行间距，提高播种精度。结构设计灵活，可根据播种需求调整，实现不同豆类的精准播种。

输入信号： 主控单元的控制信号（种植深度、行间距）

输出信号： 实际的播种动作执行



（4）传感器与反馈系统

模块名称： 传感器模块

关键组件： 豆子容量传感器、土壤湿度/温度传感器

功能介绍： 监测豆子余量，土壤条件，及时反馈信息给主控单元，确保播种过程中的物料充足和环境适宜。

输入信号： 实时的豆子容量、土壤数据

输出信号： 豆子不足报警、土壤条件反馈给主控

（5）显示与操作界面

模块名称： OLED 显示模块

关键组件： OLED 显示屏

功能介绍： 显示播种机的工作状态、播种参数等信息，方便操作人员监控和调整。

输入信号： 主控单元发送的显示数据

输出信号： 无，仅作为显示用途



关键信号线标记

主控单元与无线通信模块之间： SPI 总线用于指令和数据的交换

主控单元与舵机驱动模块之间：PWM 信号线控制舵机转动角度

主控单元与传感器模块之间：ADC 接口用于读取传感器数据

主控单元与显示模块之间：I2C 或 SPI 接口传输显示数据

2.3 软件系统介绍

2.3.1 软件整体介绍（含 PC 端或云端，结合关键图片）

PC 端/云端控制软件：

用户界面：提供直观友好的图形用户界面(GUI)，用户可以通过地图视图规划播种路径，设置播种参数（如行间距、播种深度等），并实时监控播种机的状态。

路径规划与任务设定：集成高级算法支持自定义路径规划，用户只需在地图上点击或绘制区域，系统即可自动生成最优化播种路径。

数据分析与报告：收集并分析播种作业数据，生成可视化报告，帮助用户评估作业效率，优化播种策略。

2.3.2 软件各模块介绍

```

56
57 /*
58 函数声明
59 */
60
61 void initialize(void); //初始化
62 void automatic(void); //自动模式
63 void automatic_key(void); //按键自动模式
64 void time_number(void); //时间计算
65 void manual(void); //手动模式
66 void data_x(void); //数据处理
67 void spend_x(void); //小车赋值
68 void plant(void); //舵机种植
69 void plant_dian(void); //点播种植
70 void ADC_NUM(void); //ADC赋值
71 void ADC_NUM_shou(void); //ADC赋值
72 void ADC_OLED(void); //OLED显示ADC
73 void ADC_OLED_shou(void); //OLED显示ADC
74 void automatic_set(void); //自动模式设置
75 void PID(int16_t PID_1, int16_t PID_2);
76 void NUM(void);
77 void uint(void); //单位换算
78 void ceshi(void); //测试
79 void add(void); //添加豆子
80
81
82 void TIM4_IRQHandler(void)
83 {
84     if (TIM_GetITStatus(TIM4, TIM_IT_Update) == SET)
85     {
86         NUM();
87         TIM_ClearITPendingBit(TIM4, TIM_IT_Update);
88     }
89 }
90 void PID(int16_t PID1, int16_t PID2)
91 {
92     //PID控制算法
93     //计算误差
94     error = setpoint - value;
95     //计算比例项
96     P = error * Kp;
97     //计算积分项
98     I += error * Ki;
99     //计算微分项
100    D = (error - last_error) / Dt;
101    //计算输出
102    output = P + I + D;
103    //限制输出范围
104    if (output > 255) output = 255;
105    if (output < 0) output = 0;
106    //写入PWM寄存器
107    PWM_Write(PWM_Channel1, output);
108    //更新上次误差
109    last_error = error;
110 }
111
112 int main(void)
113 {
114     HD_Init();
115     OLED_Init();
116     Key_Init();
117     LED_Init();
118     Buzzer_Init();
119     Timer_Init();
120     Motor_Init();
121     Encoder_Init();
122     NRF24L01_Pin_Init();
123     initialize(); //初始化检测函数
124     OLED_Clear();
125
126     Servo_SetAngle1(180);
127     Servo_SetAngle2(90);
128     Servo_SetAngle3(70);
129     Servo_SetAngle4(180);
130     Delay_ms(500);
131     while(1)
132     {
133         NRF24L01_GetRxBuf(Buf);
134         uint();
135         if(Buf[5]==0&&Buf[6]==0) //小车调整位置
136         {
137             OLED_Clear();
138             GUI_Show();
139             while(1)
140             {
141                 keynam=Key_GetNum();
142                 data_x();
143                 spend_x();
144                 ADC_OLED();
145                 if(keynam==1) //小车按键，默认自动模式
146                 {
147                     //自动模式
148                     automatic();
149                 }
150                 else if(keynam==2) //手动模式
151                 {
152                     manual();
153                 }
154                 else if(keynam==3) //点播模式
155                 {
156                     plant_dian();
157                 }
158                 else if(keynam==4) //播种模式
159                 {
160                     plant();
161                 }
162                 else if(keynam==5) //测试模式
163                 {
164                     ceshi();
165                 }
166                 else if(keynam==6) //添加豆子
167                 {
168                     add();
169                 }
170             }
171         }
172     }
173 }

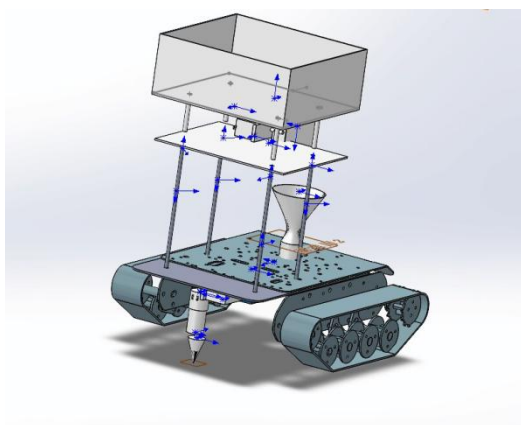
```

```
343
344 void automatic_key(void)//按键自动模式
345 {
346     if(time_5==0)
347     {
348         OLED_system_2();
349         OLED_ShowNum(40,2,Buf[8],2,16);//车速
350         OLED_ShowNum(40,4,Buf[9],2,16);//钻速
351         OLED_ShowNum(104,4,Buf[12],2,16);//钻角
352         OLED_ShowNum(40,6,Buf[10],2,16);//长度
353         OLED_ShowNum(104,6,Buf[11],2,16);//宽度
354         while(1)
355         {
356             data_x();
357             // send_x();
358             // schedule=Buf[14];
359             // OLED_ShowNum(104,2,schedule,2,16);//进度
360             if(t==0)
361             {
362                 Servo_SetAngle1(180-Buf[12]);
363                 Delay_ms(500);
364                 t++;
365             }
366             Motor_2(Buf[9]/2+50);
367             Motor_SetSpeed_L((Buf[8]*1.47)/2+50);
368             Motor_SetSpeed_R((Buf[8]*1.45)/2+50);
369             time_number();
370             if(((Buf[5]==1)&&(Buf[6]==0))||((time_3==time_2/2))
371             {
372                 Motor_SetSpeed_L(0);
373                 Motor_SetSpeed_R(0);
374                 Motor_2(0);
375                 Servo_SetAngle1(180);
376                 Servo_SetAngle2(90);
377                 Servo_SetAngle3(70);
378                 Delay_ms(1000);
379             }
380         }
381     }
382 }
```

第三部分 完成情况及性能参数

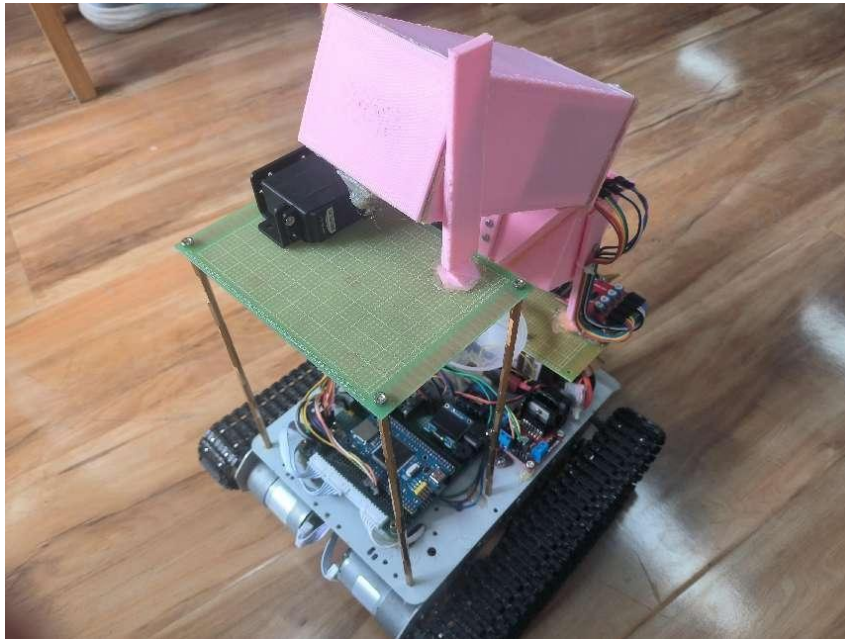
阐述最终实现的成果

3.1 整体介绍

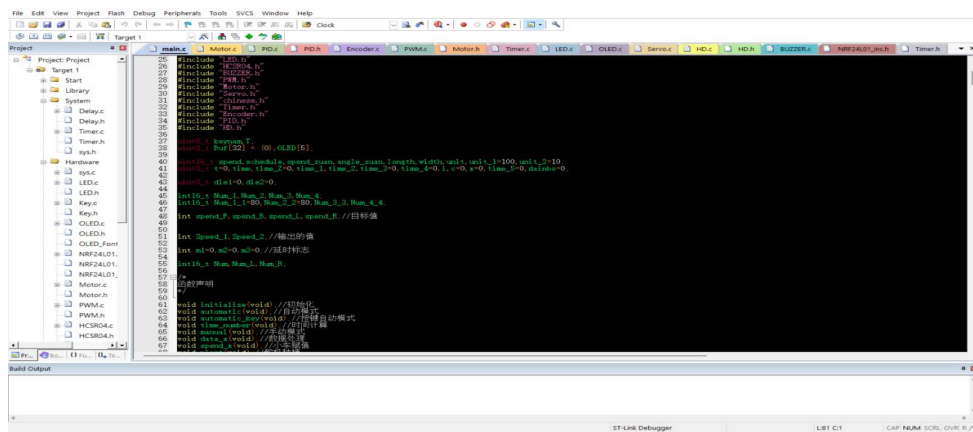


3.2 工程成果（分硬件实物、软件界面等设计结果）

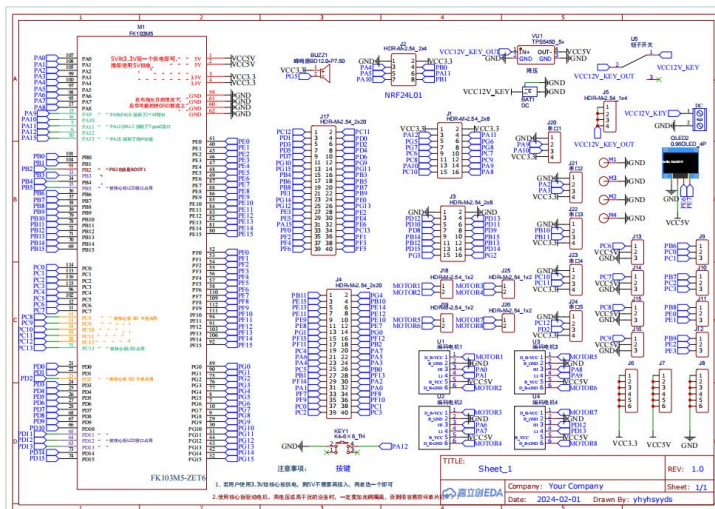
3.2.1 机械成果；



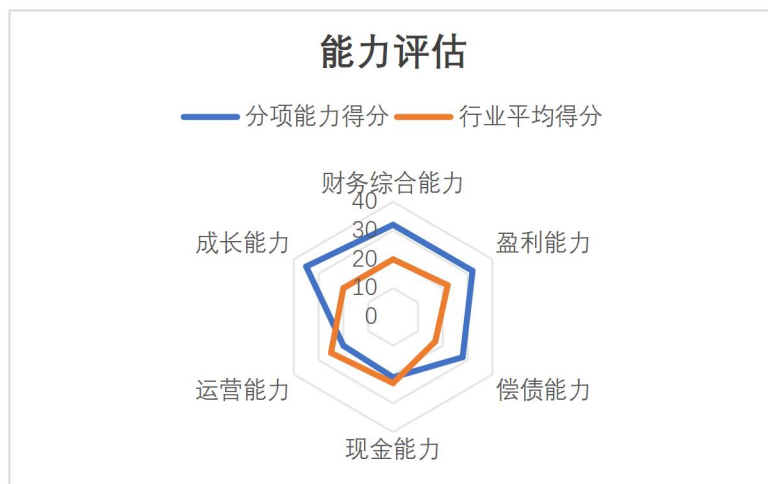
3.2.2 电路成果；



3.2.3 软件成果；



3.3 特性成果（逐个展示功能、性能参数等量化指标）：



第四部分 总结 可扩展之处

4.1.1 智能感知与数据分析能力提升

集成更高级的传感器：增加土壤营养成分分析、病虫害识别等高级传感器，提升系统对农田环境的全面监测能力，为精准施肥、病虫害预警提供数据支持。

大数据与 AI 集成：结合云计算和人工智能技术，对收集到的播种数据进行深度学习，自动优化播种策略，预测作物生长模型，进一步提升产量和品质。

4.1.2 模块化与互换性设计优化

快速更换播种模块：设计多种作物专用播种头，用户可根据种植需求快速更换，支持从豆类到谷物、蔬菜等多种作物的播种作业。

动力与控制系统模块化：优化机械与电气接口标准，使得动力系统、控制模块能够快速替换或升级，便于技术迭代和维修保养。

4.2 心得体会

在参与 2024 年全国大学生嵌入式芯片与系统设计竞赛中，我们团队成功研发了一款名为“耕耘福音”的多功能小型智能豆子播种机，这不仅是一项科技创新的成果，也是对传统农业作业模式的一次革新尝试。以下是对该项目研发与制作过程的详细回顾。

随着全球对粮食安全和可持续农业的日益重视，提高农作物种植效率和智能化水平成为必然趋势。传统的豆子播种依赖人工，效率低下且难以适应复杂地形。我们团队响应时代召唤，决定研发一款能够自动播种、适应多种地形、并且易于操作的智能设备，旨在减轻农民负担，提高种植精度与效率。

研发历程：

项目初期，我们深入研究了国内外相关文献和技术资料，确立了采用 STM32 单片机作为核心控制单元，集成 NRF24L01P 无线通信模块、GPS 模块、OLED 显示模块等，构建起智能控制与通信系统。针对不同豆类的种植需求，设计了双自由度机械结构，实现精准控制下料量与播种深度。同时，创新性地采用了 PID 算法，确保小车在自动模式下能适应多种地形，实现稳定行进与精准播种。

1.硬件制作与组装

硬件制作阶段，我们精心选择了高强度材料，确保机器耐用且能在恶劣田间环境中稳定运行。履带式底盘设计，结合钢制履带与行走减速机，不仅增强了越野性能，还保证了小车的机动灵活性。电位器摇杆的引入，让用户通过简单操作即可调节机器的各项参数，提升了用户体验。整个硬件系统经过精密组装与调试，确保了各组件间的协同工作。

2.软件开发与调试

软件部分，我们使用 C 语言编写程序，构建了双系统操作模式，允许用户在手动与自动模式之间自由切换。自动模式下的 PID 控制算法，通过上位机遥控器进行路径规划，实现了播种过程的智能化控制。同时，我们开发了数据收集与分析系统，利用传感器实时监测土壤条件与作物生长情况，为用户提供优化种植策略的依据。

3.制作细节与测试

在制造过程中，我们注重细节处理，确保每一颗螺丝、每一块电路板都安装到位。特别是在双轴控制下料机械结构的设计上，我们经过多次迭代，确保了豆子下落的均匀性与一致性。为验证机器性能，我们选取不同类型的豆子和不同条件的田地进行实地测试，通过不断调整播种参数，最终达到了预期的播种精度与效率。

4.成果与展望

经过数月的努力，“耕耘福音”多功能小型智能豆子播种机成功面世，并在比赛中获得了高度评价。该机器不仅大幅提高了豆子种植的效率，降低了劳动强度，而且其智能化、自动化特性为农业现代化转型提供了有力支持。未来，我们

计划进一步优化算法，增加作物种类适应性，同时探索远程监控与云端数据分析功能，让智能农业技术惠及更多农户。

社会影响与价值：

本项目的成功，不仅促进了农业现代化和智能化的进程，还对环境保护、农民福祉、以及农业供应链的改善产生了深远影响。它证明了青年学子有能力通过创新解决实际问题，激励更多人投身于农业科技的研发与应用中。我们相信，随着技术的不断进步，“耕耘福音”将成为推动农业可持续发展的有力工具，为构建智慧农业生态贡献一份力量。；