

智能播种机器人控制系统设计

王 雷,陈炳羽,朱正凡

(甘肃畜牧工程职业技术学院,甘肃 武威 733006)

摘 要:为进一步提高作物播种自动化水平和生产效率,该文详细阐述了智能播种机器人硬件系统、软件系统的设计,以及关键部件的选型,通过构建智能播种机器人路径规划算法,实现农田环境感知和作物信息处理,达到精准的播种路径规划和种子分配。通过田间试验,验证了所设计控制系统的可行性和有效性。结果表明,通过划分区域、设定优先级和避障策略,实现了高效的播种路径规划。

关键词:智能播种机器人;控制系统;感知;决策;路径规划

中图分类号:TP242;S223.2

文献标识码:A

doi:10.14031/j.cnki.njwx.2024.02.003

Design of Control System for Intelligent Seeding Robot

WANG Lei, CHEN Bingyu, ZHU Zhengfan

(Gansu Polytechnic College of Animal Husbandry & Engineering, Wuwei 733006, China)

Abstract: In order to further improve the automation level and production efficiency of crop seeding, this paper elaborates the design of the hardware system and software system of the intelligent seeding robot, as well as the selection of key components, and realizes the perception of farmland environment and crop information processing by constructing the path planning algorithm of the intelligent seeding robot, so as to achieve accurate seeding path planning and seed distribution. Through field experiments, the feasibility and effectiveness of the designed control system are verified. The results show that efficient seeding path planning is achieved by dividing areas, setting priorities and obstacle avoidance strategies.

Key words: intelligent seeding robot; control system; perception; decision making; path planning

0 引言

智能播种机器人作为现代农业生产的重要设备,为农作物的种植和生产带来了全新的机遇和挑战。智能播种机器人是一种基于先进感知、定位、控制和自主决策技术的自动化农业装备,通过整合多种传感器和算法,准确地在农田中完成播种任务,优化种植布局,提高生产效率^[1-3],并在作物生长周期内进行数据记录与分析。与传统播种方式相比,智能播种机器人有提高生产效率、精确播种、减少劳动力成本、环保与可持续性、数据驱动决策、适应多样化需求等优势^[4]。

为进一步完善智能播种机器人的理论基础与系统优化,本文对智能播种机器人硬件及软件组成进行分析,并提出基于优先级的往复式覆盖算法,考虑作物的生长需求、土壤特性等因素,通过合理的优先级安排,使机器人能够在农田中以往复式作业的方式覆盖整个种植区域,保证作物的均匀分布,提高播种效率^[5]。最后通过田间试验,验证该

基金项目:2023 年甘肃省教育科技创新项目(2023A-282);

2021 年度武威市科技计划项目(ww2101008)

作者简介:王雷(1985—),男,甘肃武威人,本科,高级实验师,研究方向为机械制造自动化。

系统的有效性与稳定性。研究结果旨在为智能播种机器人的理论发展和系统优化提供实质性指导。

1 智能播种机器人控制系统设计

1.1 硬件系统设计

硬件部分涵盖了机器人的物理组件,在硬件部分中,智能播种机器人基于电源模块,通过主控电路、传感器系统(超声波传感器、土壤湿度传感器和红外传感器)、执行模块组成(图 1)。

1.1.1 主控电路

主控电路是智能播种机器人的核心,本文选择主控芯片为 STM32F407。STM32F407 是意法半导体推出的一款高性能 STM32 微控制器,采用 ARM Cortex-M4 内核,具备丰富的外设接口、强大的计算能力和广泛的开发支持,非常适合复杂农田应用场景^[6]。本文将图像处理、路径规划和躲避障碍物等功能融入控制系统,机器人通过分析感知数据和预定算法,做出智能决策。控制算法程序如图 2 所示。

1.1.2 程序下载电路

本文选择的 STM32F407 芯片下载方式主要分为 3 种^[7]。

1) ST-Link 调试器/编程器。ST-Link 是意法

半导体提供的一种常用调试和编程工具,使用 ST - Link 调试器通过 SWD (Serial Wire Debug) 接口与 STM32F407 芯片进行连接,实现程序下载、调试和实时监测。此方法可以与多种集成开发环境 (IDE) 如 Keil、STM32CubeIDE 和 TrueSTUDIO 等配合

使用。

2) USB Bootloader。STM32F407 芯片通常提供内置的 USB Bootloader,允许通过 USB 接口进行固件更新。通过将芯片连接到计算机的 USB 接口,使用特定的工具或软件进行程序下载。该方法特别

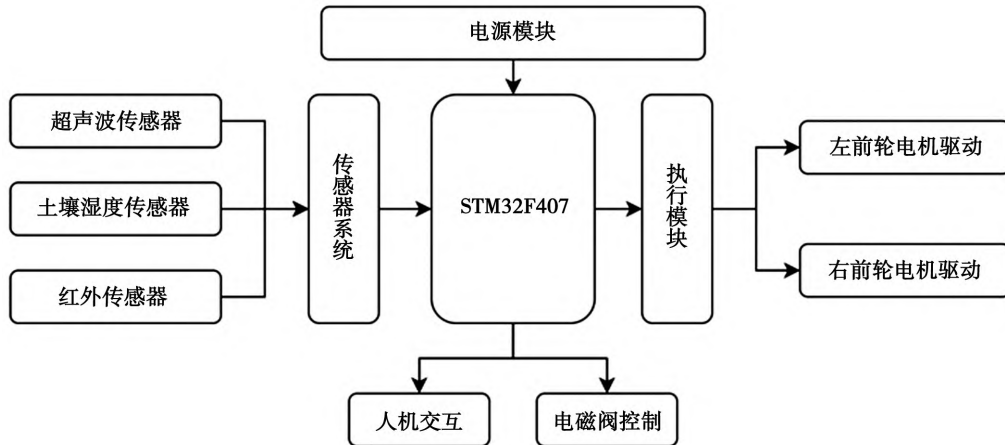


图 1 智能播种机器人硬件系统结构示意图

```

#include "stm32f4xx.h"
// 定义全局变量
uint8_t obstacleDetected = 0;
// 主程序
int main(void) {
    // 初始化硬件外设和传感器
    while (1) {
        // 进行图像处理
        // 获取图像数据并进行分析
        // 进行路径规划
        if (obstacleDetected) {
            // 避开障碍物,重新规划路径
        } else {
            // 计算最佳播种路径
        }
        // 控制机器人运动
        if (!obstacleDetected) {
            // 控制运动,遵循预定路径
        } else {
            // 执行避障动作
        }
        // 其他控制逻辑
    }
}
// 障碍物检测中断处理函数
void EXTI_IRQHandler(void) {
    if (EXTI_GetITStatus(EXTI_Line0) != RESET) {
        // 检测到障碍物,设置标志位
        obstacleDetected = 1;
        // 清除中断标志
        EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line0);
    }
}

```

图 2 主控电路算法程序示例

适用于在没有调试器的情况下更新程序。

3) 外部编程器/烧录器。除了 ST - Link,还有许多第三方编程器和烧录器也支持 STM32F407 芯片的下载。这些工具通常提供更多灵活性和适用性,尤其是在批量生产和量产时,使用外部编程器需要配置相应的软件和硬件,确保与目标芯片之间的正常通信。

本文采用 SWD (Serial Wire Debug) 接口与 STM32F407 芯片进行连接,实现程序下载、电路设计,程序下载电路原理如图 3 所示。

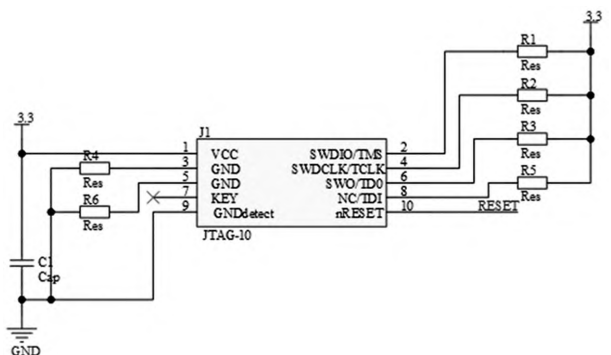


图 3 程序下载电路原理图

1. 1. 3 超声波传感器模块检测电路

超声波传感器不需要与物体直接接触就可以

测量出与周围物体的距离^[8],本文选取 HC - SR04 超声波传感器,通过 GPIO 引脚与微控制器连接,发送触发信号,然后测量返回脉冲的时间。本文超声波传感器安装位置如表 1 所示,电路原理图如图 4 所示。

表 1 智能播种机器人超声波传感器安装位置

传感器位置	功能
前方	避免碰撞、规避障碍物,确保前方路径安全
后方	倒退时避免碰撞,调整位置时避免撞到后方障碍物
两侧	在狭窄空间中行驶时避免碰撞,确保两侧安全
底部	在不平整地形上保持稳定高度、姿态,适应不同地形
播种器部分	确保种子适当放置,控制播种深度和密度

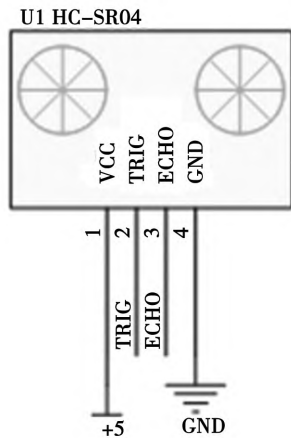


图 4 超声波模块电路图设计

1.1.4 电磁阀控制电路

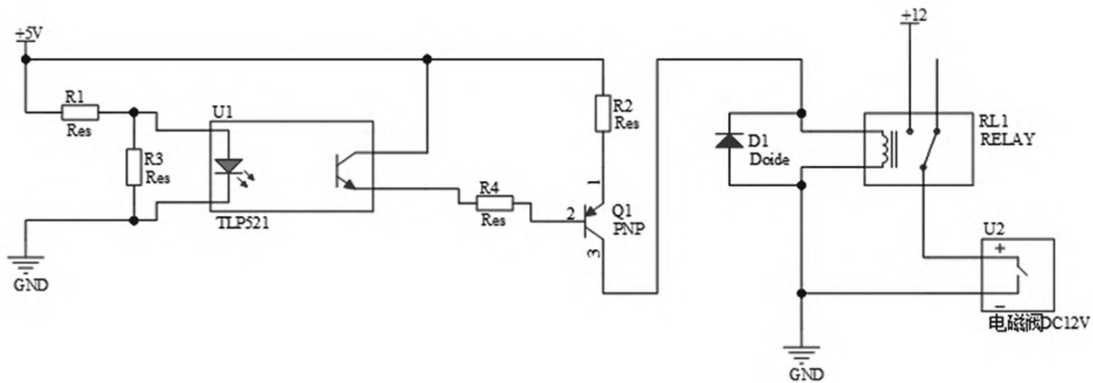


图 5 电磁阀控制电路原理图

STM32F407 通过 GPIO 引脚来控制电磁阀的驱动,电路设计原理如图 5 所示。将电磁阀的线圈连接到 STM32F407 的一个 GPIO 引脚,后在 STM32F407 的软件代码中,配置相应的 GPIO 引脚为输出模式。最后根据需要,通过控制 GPIO 引脚的高低电平,向电磁阀的线圈提供电流,以打开或关闭阀门^[9]。STM32CubeIDE 和 HAL 库的 C 代码如下:

```

// 设置 GPIO 引脚
HAL_GPIO_WritePin( GPIO_PORT, GPIO_PIN, GPIO_PIN_SET); // 打开电磁阀

// 延迟一段时间,保持电磁阀打开状态

HAL_GPIO_WritePin( GPIO_PORT, GPIO_PIN, GPIO_PIN_RESET); // 关闭电磁阀

```

1.2 软件设计

软件部分则负责控制硬件以实现预定的任务和功能。智能播种机器人控制系统软件程序主要包括主程序、超声波检测子程序和电磁阀控制子程序。

1.2.1 主程序设计

主程序是整个智能播种机器人控制系统的核心,负责协调各个子系统的操作,从传感器获取数据并做出决策,控制执行器执行相应动作。主程序往往包括任务调度、环境感知、路径规划、决策制定等功能^[10]。本文主程序工作流程图,如图 6 所示。

1.2.2 子程序设计

1) 超声波传感器。超声波传感器控制子程序用于获取超声波传感器测量的距离数据,并根据这些数据做出决策,本节以智能播种机器人避开障碍物或调整路径控制程序为例进行分析,子程序如图 7 所示。

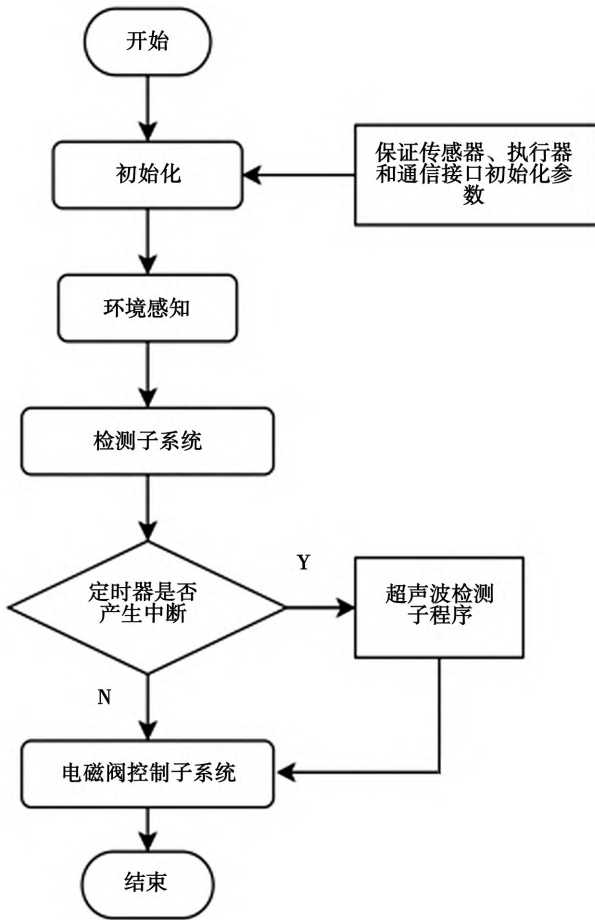


图 6 主程序流程图

2) 电磁阀控制。电磁阀控制子程序根据系统的需要,控制电磁阀的开关状态,从而实现播种机器人的种子释放。在子程序设计中,一般使用“OPEN”和“CLOSE”控制电磁阀的开关状态,如图 8 所示。

2 智能播种机器人路径规划算法

智能播种机器人的路径规划算法旨在确定最佳的播种路径,使机器人能够在农田中高效地播种而不碰撞障碍物。本文选择基于优先级的往复覆盖算法,使智能播种机器人在农田中高效播种,同时避开障碍物。

基于优先级的往复覆盖算法,给农田划分成不同的区域,并为每个区域分配优先级,实现机器人的路径规划,其核心思想为机器人首先沿着高优先级区域进行播种,然后按相反方向往复地覆盖低优先级区域,确保农田得到完整的覆盖^[11-12]。主要工作流程如下:

1) 农田划分。将农田分成一定数量的小区域,

```

function ultrasonic_sensor_control():
    initialize ultrasonic sensor

    loop:
        distance = measure_distance() // 获取超声波传感器测量的距离数据

        if distance < safe_distance:
            avoid_obstacle() // 如果距离低于安全距离,执行避障操作
        else:
            continue_on_path() // 否则继续按计划路径前进

function measure_distance():
    send_pulse_to_sensor() // 发送脉冲信号激活传感器
    time_taken = measure_time_taken() // 计算从发送到接收的时间
    distance = calculate_distance(time_taken) // 根据时间计算距离
    return distance

function send_pulse_to_sensor():
    send_trigger_pulse() // 发送触发脉冲信号

function measure_time_taken():
    start_time = get_current_time()
    wait_for_echo() // 等待接收到反射脉冲
    end_time = get_current_time()
    time_taken = end_time - start_time
    return time_taken

function calculate_distance(time_taken):
    // 根据声音在空气中的传播速度计算距离
    distance = (time_taken * speed_of_sound) / 2
    return distance

function avoid_obstacle():
    // 执行避障操作,例如停下、转向、绕开障碍物等

function continue_on_path():
    // 继续按计划路径前进
  
```

图 7 超声波传感器控制子程序

```

function electromagnetic_valve_control(status):
    if status == "OPEN":
        open_valve() // 打开电磁阀,释放种子
    else if status == "CLOSE":
        close_valve() // 关闭电磁阀,停止释放种子
    else:
        // 处理异常情况,例如无效状态值

function open_valve():
    // 向电磁阀施加适当的信号,使其打开,释放种子

function close_valve():
    // 向电磁阀施加适当的信号,使其关闭,停止释放种子
  
```

图 8 电磁阀控制子程序示例

每个小区域都对应一个播种任务。

2) 优先级分配。为每个小区域分配一个优先级,通常可以基于播种需求、土壤条件、作物类型等因素来确定优先级。

3) 往复覆盖。机器人从最高优先级的区域开始,沿着预定的路径进行播种。完成一条路径后,机器人返回起始点,然后按相反方向在低优先级区域上进行往复覆盖。

4) 避障处理。在往复覆盖过程中,机器人需要通过传感器检测障碍物。如果检测到障碍物,机器人会采取相应的行动,如绕开障碍物或暂时停止。

5) 路径优化。在往复覆盖的过程中,可以使用路径规划算法,优化机器人的轨迹,以减少路径长度和时间。

3 田间试验

本文基于智能播种机器人硬件系统,结合优先级的往复式覆盖算法,对该系统在田间路径规划效果、播种精度及播种效率进行试验与分析。

选取遗传算法及粒子群算法为对照,以本研究提出的基于优先级的往复式覆盖算法为参考,开展系统测试,智能播种机器人田间路径规划结果如表2所示。结果表明,粒子群算法表现出较好的路径规划效果,所有区域几乎都被覆盖,播种精度也较高,有时会遇到障碍物未能完全避开,导致播种路径中断,部分种子可能偏离目标位置。基于优先级

的往复式覆盖算法能够更好地根据不同区域的优先级进行播种,时间效率较高,但稍慢于粒子群算法。

4 结论

本文对智能播种机器人控制系统的技术方案进行了全面讨论和研究,如控制系统设计和路径规划算法优化。主要研究结果如下。

1) 本文选择了高性能的 STM32F407 主控芯片作为核心,通过 GPIO 引脚控制电磁阀来实现种子释放。超声波传感器模块被设置在不同位置,用于测量与周围物体的距离,从而实现顺利避障。

表2 不同算法下田间路径规划结果

场景	路径规划算法	覆盖效果	避障表现	时间效率	播种精度
1	粒子群算法	较好,几乎所有区域都被覆盖	有时遇到障碍物未能完全避开	高效,完成任务时间较短	较准确,部分种子偏离目标位置
2	基于优先级的往复式覆盖算法	优先级高区域被首先覆盖	有效地避开障碍物	较高效,稍慢于粒子群算法	准确,种子基本在目标位置
3	遗传算法	整体覆盖效果不错,但可能出现间隙	随机性较大,有时避障不够灵活	较慢,算法迭代时间较长	相对准确,但存在一些偏差

2) 在软件程序设计中,主程序作为核心,协调各子系统进行任务调度、环境感知、路径规划和决策制定,实现机器人的运动和播种操作。

3) 基于优先级的往复式覆盖算法作为路径规划策略,通过划分区域、设定优先级和避障策略,实现了高效的播种路径规划。田间试验结果分析验证了该算法的有效性,不同算法在不同场景下的表现也得到了比较和评估。

参考文献:

- [1] 潘超然. 玉米精量播种机播种质量监测与调控系统设计[J]. 农机使用与维修, 2023(1): 38-40.
- [2] 王宝梁. 多功能自主农业机器人研制[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [3] 侯玉强, 李俊伟, 徐洛川, 等. 智能播种监测装置的研究进展[J]. 新疆农机化, 2023(3): 21-23+41.
- [4] 夏兴宇. 马铃薯精量播种智能测控系统研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2022.
- [5] 吴亮, 吴燕, 鄢强, 等. 施肥机器人结构及控制系统设计[J]. 广西农业机械化, 2020(3): 29-31.

- [6] Yakoubi M A, Laskri M T. The path planning of cleaner robot for coverage region using genetic algorithms [J]. Journal of innovation in digital ecosystems, 2016, 3(1): 37-43.
- [7] 曹世佳. 基于图像识别的种植机器人的研究与应用[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.
- [8] 聂杨. 智能割草机器人的关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
- [9] 董文浩. 基于嵌入式系统的机器视觉杂交稻智能恒量播种装置研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2020.
- [10] Dusadeerungsikul P O, Nof S Y. A collaborative control protocol for agricultural robot routing with online adaptation [J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 135: 456-466.
- [11] 康海艳. 玉米生产中的精量播种作业及精确控制技术[J]. 农机使用与维修, 2021(1): 117-118.
- [12] 李国辉. 农业机器人避障路径智能规划研究[J]. 农机化研究, 2021, 43(3): 236-239.

(02)