

## Intelligent Laser Weeding Device Based on STM32

MA Xingye<sup>1</sup>, YU Bing<sup>1,2\*</sup>, REN Jiayi<sup>1</sup>, LU Zhouchao<sup>1</sup>, HE Yi<sup>1</sup>

(1.School of Electronic Information and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology,  
Nanjing Jiangsu 210044, China;

2.Collaborative Innovation Center for Atmospheric Environment and Equipment Technology, Nanjing Jiangsu 210044, China)

**Abstract:** Based on the STM32F429IGT6 microcontroller, a device is designed which can intelligently identify weeds and complete laser weeding by turning the steering gear. A camera module is used to collect road information and crop images, a WiFi module is used to upload images and send control signals, the steering gear is used to adjust the emission angle of the laser to achieve precise weeding. therefore, the production cost of the weeding robot is greatly reduce, the weeding efficiency is improved, and the automation and intelligence of agricultural production are effectively promoted.

**Key words:** STM32 microcontroller; laser weeding; agriculture; image recognition; weeding robot

EEACC: 6250 doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2023.01.046

## 基于 STM32 单片机的智能激光除草装置

马星野<sup>1</sup>, 于 兵<sup>1,2\*</sup>, 任嘉毅<sup>1</sup>, 陆周超<sup>1</sup>, 何 一<sup>1</sup>

(1.南京信息工程大学电子信息与工程学院, 江苏 南京 210044; 2.大气环境与装备技术协同创新中心, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 基于 STM32F429IGT6 单片机, 设计出一种能够智能识别杂草, 并可通过转动舵机完成激光瞄准、除草的装置。该装置利用摄像头模块采集道路状况信息与农作物图像, 利用 WiFi 模块完成图像的上传与控制信号的下达, 利用舵机调整激光器的发射角度以实现精准除草。该装置极大地降低了除草机器人的生产制作成本, 提高了除草效率, 有效助推农业生产的自动化、智能化。

**关键词:** STM32 单片机; 激光除草; 智慧农业; 图像识别; 除草机器人

中图分类号: TN919.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2023)01-0282-07

目前, 广泛采用人工化学除草的方式进行除草, 对生态环境、农产品安全以及人体健康都造成了严重威胁。随着人们食品安全意识的日益提高, 非化学的自动化除草方法开始受到越来越多的重视<sup>[1]</sup>。随着嵌入式技术发展以及智能硬件市场迅速拓展, 农业的生产方式开始逐渐走向自动化、智能化, 激光除草的方法也逐渐走入人们的视野<sup>[2]</sup>。

美国智能机械公司 Carbon Robotic 研发出一款名叫 Autonomous Weeder 的自动除草机器人, 利用自动化机械、人工智能和激光技术, 能够让机器安全有效地穿行在农田里, 以识别、瞄准和清除杂草<sup>[3]</sup>。除草机器人利用高功率激光的热能清除杂草, 不会破坏农作物和土壤。但是这样的一台机器, 由 8 台 150 W 的二氧化碳激光器和 12 个高分辨率相机组成, 光售价就高达 120 万人民币。其中, 一台高功率激光器的售价就在 3 万左右, 激光器成本占据了总成本的四分之一。此外, 该除草机器人的体积非常庞大, 接近 25 m<sup>3</sup>, 更加适用于 1 000 亩以上大型农

田的自动化除草。国外种田是承包一整片地, 一个人可以拥有几千甚至上万亩地, 所以他们完全可以通过购买这种设备来节约人工成本。而国内与国外的环境不同, 很多地方受到地形地貌的限制, 农作范围呈小范围聚集, 并不适合大型机械化作业<sup>[4]</sup>。

结合上述背景, 本文以 STM32F429IGT6 单片机为控制和数据处理核心, 设计一种能够智能识别杂草、成本低、能精准除草的智能激光除草装置。由于可以通过转动舵机控制激光器的发射角度, 因此一台除草装置只需配备一个激光发射器, 一个识别摄像头和一个定位摄像头即可, 可节约 30% 的成本。

### 1 系统总体方案设计

系统整体框图见图 1, 智能激光除草装置由 4 个组成单元构成, 分别是单片机控制单元、图像采集单元(摄像头模块、WiFi 模块)、激光发射单元(舵机模块、继电器和激光器)和驱动单元(电机驱动模块)。

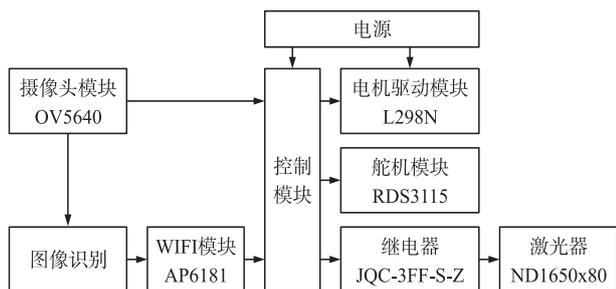


图 1 系统总体框图

该除草装置以 STM32F429IGT6 单片机为核心,通过定位摄像头确保该装置的行驶轨迹正确,将识别摄像头采集到的图像通过 WiFi 模块传送至上位机,进行图像识别,返回杂草的坐标参数。单片机根据返回的结果,控制舵机转动指定角度,再经过继电器控制激光发射,完成智能的激光除草。此外,用户

可以使用电子设备连接该 WiFi 模块,查看当前农田的除草状态。相较于现有的激光除草机器人,该装置具有体积小、成本低等特点,适合我国目前某些地区的农业生产环境<sup>[5]</sup>。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 系统硬件整体设计

系统硬件整体由主控模块、电机驱动模块、摄像头模块、WiFi 模块、舵机模块、继电器与激光器组成,系统总电路原理图见图 2。其中,主控模块采用 STM32F429IGT6 为主控制器,属于中端的 32 位 ARM 微控制器,其内核是 Cortex-M4,最高主频可达 180 MHz,具有 256 KB 的 SRAM,相对于 STM32F103 拥有更好的图像采集处理能力,符合本设计对图像采集处理能力的需求。

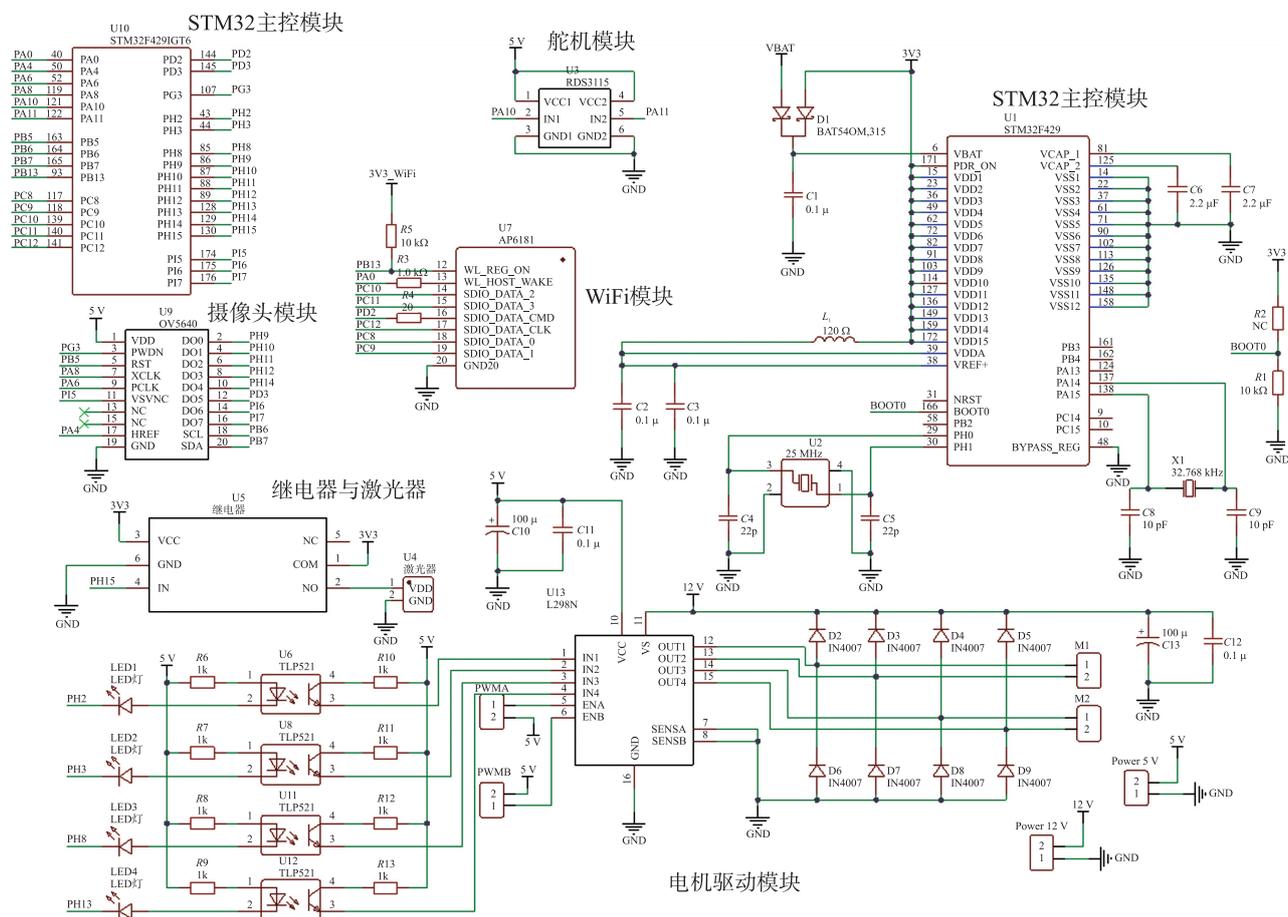


图 2 系统总电路原理图

### 2.2 电机驱动模块

电机驱动模块采用 L298N 作为电机驱动芯片, L298N 是 ST 公司生产的一种高电压、大电流电机驱动芯片,如图 3 所示。该芯片可以驱动一台两相步进电机或四相步进电机,也可以驱动两台直流电机,

并联时可以驱动四台电机<sup>[6]</sup>。本设计将 L298N 配合 STM32 使用,实现对四个马达进行驱动和 PWM 调速,通过改变直流电机占空比的电压来改变平均电压的数值,从而改变电机的转速变化来驱动小车运行。



### 2.5 舵机模块

舵机模块采用 RDS3115, 该数字舵机内部伺服控制板采用单片机 MCU 控制, 如图 6 所示。RDS3115 舵机模块采用 PWM 脉宽型调节角度, 周期为 20 ms、占空比为 0.5 ms~2.5 ms 的脉宽电平对应舵机 0°~180° 角度范围, 且成线性关系。每当给定一次 PWM 脉宽, 舵机输出角度可锁定, 直到下次给不同的角度脉宽或者断电才可以改变角度<sup>[8]</sup>, 该款数字舵机的控制精度理论值可达到 0.09°。在设计使用中, 转动舵机调整激光的发射角度, 一个激光器可完成一整排农作物的除草, 大大降低了激光器在设计中所占的成本。

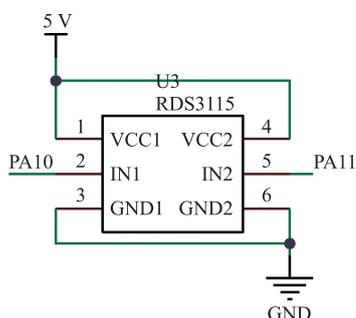


图 6 RDS3115 舵机模块原理图

### 2.6 继电器与激光器

杂草的死亡率和激光器的能耗都是衡量激光除草效果的主要指标, 其中, 激光器的能耗取决于激光器的功率及作用时间, 除草效果取决于激光的能量密度<sup>[9]</sup>。对于不同种类的杂草, 需要选择的激光照射时间、波长、功率以及光斑大小都大不相同<sup>[10]</sup>。因此, 本文提到的智能激光除草装置的设计可以通过图像识别, 得到杂草的种类, 进而选择合适的激光量, 利用激光的热效应完成除草, 在保证根除杂草的前提下尽可能地降低能耗并避免误伤其他农作物。其中, 激光的能量密度与激光器的能耗具有如下的非线性关系<sup>[11]</sup>:

$$DW = C + \frac{D - C}{1 + \left[ \frac{\lg(\text{DOSE} + 1)}{\lg(\text{ED}_{50} + 1)} \right]^B} + \delta$$

式中: DW 为每株植物的干质量; C 为 DW 形曲线的下限; D 为未经激光作用过的植物的干质量; DOSE 为激光能量密度, 能量密度 = 功率 ÷ 速率; ED<sub>50</sub> 为 (D - C) 减少至原来的 50% 时的能量密度等级; B 为能量密度曲线的倾角及位置; δ 为反映误差大小的一个独立均值近似零的方差量。

## 3 系统软件设计

### 3.1 系统软件主流程设计

小车启动后, 定位摄像头开始捕获前方道路情

况, 确保小车行驶在正确的轨迹上。识别摄像头开始采集图像, 当采集的图像中识别到杂草后, 上位机立即将杂草种类与坐标参数通过 WiFi 模块建立的 TCP 传输, 传送至单片机。单片机接收到指令后, 控制舵机转动指定的角度, 并通过继电器控制激光器发射合适的激光量, 利用激光的热效应完成除草。系统软件总体流程图如图 7 所示。

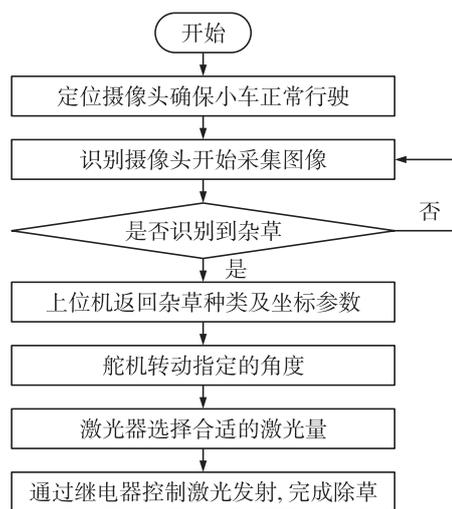


图 7 系统软件主流程图

### 3.2 TCP 通信协议设计

通信协议是指上位机 (计算机) 和下位机 (单片机) 通讯的协议, 这里采用了 TCP 协议。TCP 作为最常用且最稳定的传输层协议, 提供一种面向连接、可靠的字节流传输服务, 非常适合本设计中对图像传输的要求。TCP 协议状态转移图见图 8, 通过“三次握手”建立连接、“四次挥手”终止连接, TCP 协议完成了可靠的数据传输。上位机利用 TCP 接口接收摄像头模块传来的图像数据, 经过图像识别程序, 向下位机发送控制信号, 转动舵机并控制继电器完成激光发射。这里利用了 TCP 双向传输的特性, 图

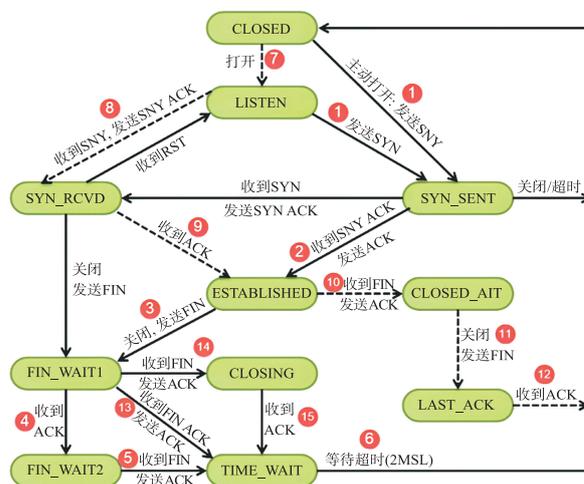


图 8 TCP 协议状态转移图<sup>[12]</sup>

像的上传与控制信号的下达都需实时传输,因此上位机软件与下位机需建立两个不同的端口号,防止传输时产生冲突。

### 3.3 舵机控制设计

本设计采用 PWM 波控制舵机转动。其中, PWM 初始化 arr(预装载值)为 20 000,psc(预分频系数)为 72,计算的定时器周期为 0.02 s,定时器频率为 50 Hz,同时计数频率则为 1 M,计数周期为 1 μs,最大计数周期为 20 000。在 PWM 模式设置下,直接更改 ccr 寄存器,设置对应的 ccr 寄存器值为 500 起,对应 PWM 波形高电平持续时间为 500 μs,利用公式  $500+2\ 000\div 180\times PWM$  可以算出, PWM 取值 0~180 时,得到输出有效脉宽电平为 500 μs~2 500 μs,对应舵机的转动角度为 0°~180°。

### 3.4 图像识别程序的软件设计

图像识别程序采用基于 python 语言的 CNN 卷积神经网络算法<sup>[13]</sup>。CNN 卷积神经网络由输入层、卷积层、激活函数、池化层、全连接层组成,是一种深度学习算法。若卷积层输入特征图的尺寸为  $H_{input}\times W_{input}\times C_{input}$ ,输出特征图的尺寸则为  $H_{output}\times W_{output}\times C_{output}$ ,它们之间满足关系:

$$H_{output} = (H_{input} - F + 2P) \div S + 1$$

$$W_{output} = (W_{input} - F + 2P) \div S + 1$$

$$C_{output} = K$$

式中: $K$  为输出通道数; $F$  为正方形卷积核的边长; $S$  为步幅; $P$  为补零的行数和列数。

在对输入的图像进行分割,resize;归一化;交换通道等预处理后,加载训练好的模型进行二分类的预测,以识别区分杂草和农作物。数据集的处理仿照 mnist 的格式重新制作更大像素的分类集,并改成了彩色三通道的格式。此 CNN 识别算法实现了在准确率较高的情况下快速目标检测与分类,适合杂草识别的应用环境。

## 4 系统测试

### 4.1 图像识别程序测试

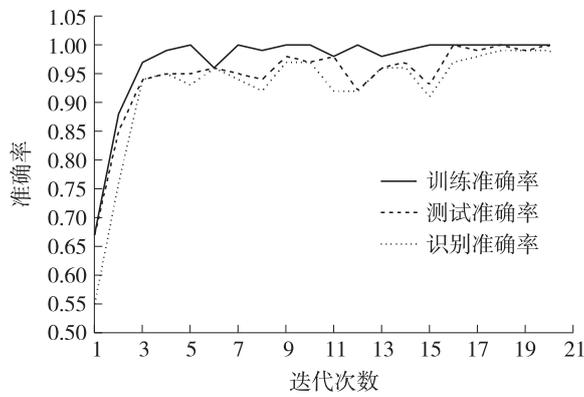
在图像识别程序中使用约 1 000 张图片,设置杂草和作物两个标签,进行 100 个 epoch 的训练。最终训练结果可达到训练集准确率大于 99%,测试集准确率大于 97%,验证集准确率也可达到 96%,如图 9 所示。从结果可见,程序可以较为准确地从农作物中识别出不同种类的杂草。

```

92%|██████████| 4969/5400 [58:15<29:11, 4.06s/it]=== epoch:93, train acc:1.0, test acc:0.980952380952381 ===
93%|██████████| 5023/5400 [58:57<25:30, 4.06s/it]=== epoch:94, train acc:1.0, test acc:0.980952380952381 ===
94%|██████████| 5077/5400 [59:39<21:47, 4.05s/it]=== epoch:95, train acc:1.0, test acc:0.9714285714285713 ===
95%|██████████| 5131/5400 [1:00:21<18:19, 4.09s/it]=== epoch:96, train acc:1.0, test acc:0.980952380952381 ===
96%|██████████| 5185/5400 [1:01:03<14:29, 4.04s/it]=== epoch:97, train acc:0.9755813953488375, test acc:0.9380952380952379 ===
97%|██████████| 5239/5400 [1:01:45<10:50, 4.04s/it]=== epoch:98, train acc:0.9848837209302326, test acc:0.9666666666666667 ===
98%|██████████| 5293/5400 [1:02:26<07:02, 3.95s/it]=== epoch:99, train acc:1.0, test acc:0.980952380952381 ===
99%|██████████| 5347/5400 [1:03:08<03:33, 4.04s/it]=== epoch:100, train acc:1.0, test acc:0.9761904761904762 ===
100%|██████████| 5400/5400 [1:03:38<00:00, 1.41it/s]
===== Final Test Accuracy =====
test acc:0.9714285714285713
Saved Network Parameters!

```

(a)

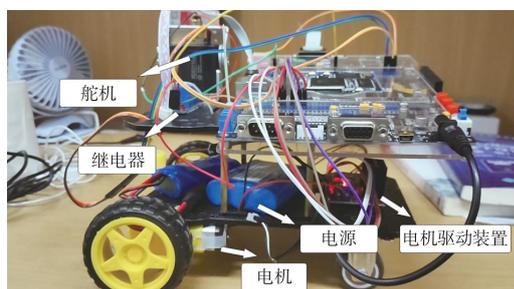


(b)

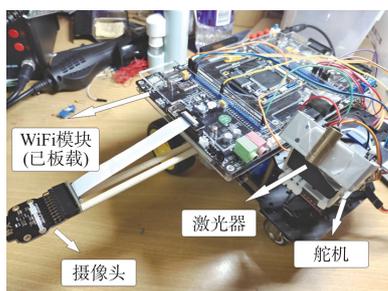
图 9 图像识别程序测试图

## 4.2 原理性的样机测试

样机的实物见图 10。在小车行进过程中,若在农作物(棉花)中识别到杂草,舵机会转动指定的角度,瞄准杂草发射激光。此外,该装置可以在植物的不同生长期以及不同农作物间进行除草。我们在图 11 的测试中加入与杂草外型十分相似的棉花苗,仍然能够精准地除草,可见识别的准确率非常之高,不会出现误伤其他农作物的情况。在表 1 中,我们加入了不同生长时期的棉花与其他农作物作为干扰,多次测试后仍能得到非常理想的除草准确率。出于安全因素的考虑,这里使用了低功率的红外激光发射器,仅作原理性的样机测试。

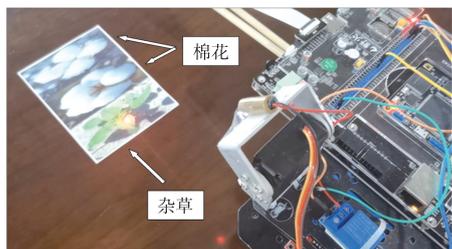


(a)

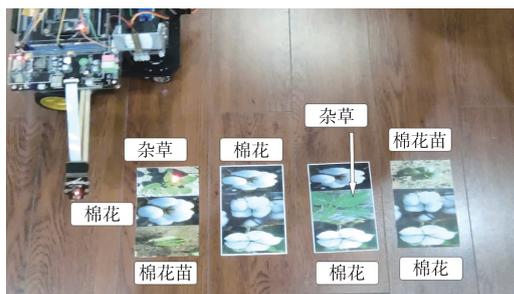


(b)

图 10 样机实物图



(a)



(b)

图 11 激光除草样机测试图

表 1 除草准确率测试结果

测试作物		测试次数	除草准确率
棉花	棉花	50	100%
棉花	棉花苗	50	100%
棉花	棉花蕾	50	100%
棉花	水稻	50	100%
棉花苗	棉花蕾	50	96%
棉花苗	杂草	50	98%
棉花蕾	杂草	50	98%

## 5 结束语

针对目前除草方式的弊端以及现有激光除草机具有的问题,综合考虑到中国农业的生产环境,设计出一款体积小、成本低、除草效果好的智能激光除草装置。在软件测试中,识别杂草的准确率大于 99%,识别速度快且正确率高。在硬件测试中,舵机的转动角度最低可达到  $0.09^\circ$ ,除草的精准度高,并且只需一个激光器即可完成对一排农作物的除草,装置成本降低超 30%。在后期的投入使用中,小车的速度可以达到  $2 \text{ m/s}$ ,一天可以为 100 亩地除草,是人工除草效率的 50 倍,相比之下,除草的效率会有非常大的提升。

## 参考文献:

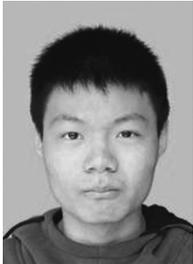
- [1] 马旭明,路战远,张德健,等. 保护性耕作条件下小麦、玉米、大豆田间杂草防治存在的问题及对策研究[J]. 农村牧区机械化,2004(4):6-7.
- [2] 陈浩,杨亚莉. 保护性耕作模式下非化学除草技术的研究[J]. 农机化研究,2011,33(9):241-244.
- [3] 王毅平,王应宽. Carbon Robotics 推出可自主根除杂草的新型激光除草机[J]. 农业工程技术,2022,42(12):117-118.
- [4] 吴旺旺. 激光除草机器人执行机构研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2014.
- [5] 何义川,汤智辉,李光新,等. 葡萄园除草技术研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报,2018,39(9):34-37.
- [6] 李志军,张文祥,杜丽,等. 基于物联网的智能农业监控系统设计[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2021,42(2):93-98.
- [7] 杨颂,张少伟,孙培壮,等. 基于 STM32 和 OV5640 的无人机农情监测系统[J]. 物联网技术,2018,8(7):22-25.
- [8] 董自宁,童香婧,王中明. 基于 MSP430 的控温热水器[J]. 电子世界,2018(2):144-145.
- [9] 潘雷,陈树人,栗移新,等.  $\text{CO}_2$  激光除草应用初步研究[J]. 农机化研究,2008(6):171-173.
- [10] 朱家健. 激光技术在农业中的应用及其展望[J]. 农机

化研究,2009,31(4):222-225.

- [11] 吴旺旺,戈振扬,于英杰,等. 激光除草技术在陆稻田间的应用研究[J]. 农业工程,2013,3(S1):5-7,25.
- [12] 张大兴. TCP/IP 协议异常状态转换及其安全性分析

[J]. 计算机工程与设计,2005,26(6):1441-1443.

- [13] 袁科文,张贯宇,刘送永,等. 依据批归一化卷积神经网络算法的木材类别机器视觉识别方法[J]. 东北林业大学学报,2022,50(7):94-98.



马星野(2002—),男,汉族,江苏南通人,南京信息工程大学本科生,主要研究方向为嵌入式系统与模拟电路设计等,874183561@qq.com;



于 兵(1981—),男,汉族,江苏扬州人,南京信息工程大学讲师,主要研究方向为微波射频与天线、人工智能等,yubingant@163.com。