

分类号: S23
学号: 20222109061

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



基于深度学习的棉田杂草检测研究

学位申请人	周京威
指导教师	梅卫江 副教授 赵永满 教授 马永平 工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	机械工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子
年 月

分类号: S23
学号: 20222109061

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



基于深度学习的棉田杂草检测研究

学位申请人	周京威
指导教师	梅卫江 副教授 赵永满 教授 马永平 工程师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	机械
研究领域	机械工程
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子
2025年5月

Research on weed detection in cotton field based on deep learning

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

By **Zhou Jing-wei**

(Mechanical Engineering)


Dissertation Supervisor: Prof. Mei Wei-jiang, Prof. Zhao Yong-man

May, 2025

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明


本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：

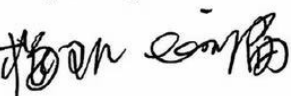
时间：2015年5月25日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：

时间：2015年5月25日

导师签名：

时间：2015年5月25日

摘要

随着农业数字化发展，现代农业趋向智能化与精准化，尤其在作物生长期间杂草精准管理方面。在棉苗生长期，杂草会危害其健康。若无法准确定位杂草，大面积喷洒化学除草剂将导致浪费资源并污染环境。目前，杂草识别分类和定位主要通过深度卷积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）进行特征提取，在保证高识别率的同时实现网络轻量化，从而提升检测速度。本研究对复杂棉田杂草检测过程开展研究，针对复杂棉田杂草检测过程中，棉田背景复杂、杂草种类过多且形状不一、棉花叶片之间有遮挡以及检测过程实时性差等问题，改进目标检测模型，搭建棉田杂草检测系统，实现精准的杂草识别与实时的杂草检测，本文的主要工作如下：

（1）针对目前国内棉田杂草数据集匮乏的问题，本文构建了棉花幼苗以及五种常见杂草（灰绿藜、硬草、马齿苋、蓬草、反枝苋）的数据集，采用均值滤波、中值滤波以及高斯滤波等方法对数据进行去噪处理，并利用数据增强技术解决样本不均衡以及样本不足等问题，为本研究的深度学习算法提供了坚实的基础。

（2）对主流的深度学习模型包括 Faster RCNN、SSD、YOLOv5 以及 YOLOv8 进行初步的训练与对比分析，最终选定 YOLOv8n 作为本研究的基线模型。针对复杂背景下植物干扰、多类别杂草及相似杂草导致的误检与漏检问题，本文通过不同的融合注意力机制（CA、CBAM、EMA、GAM），提升模型精度并降低背景敏感度的能力。实验数据表明，融合了 GAM 注意力机制的模型性能最优，平均准确率 mAP 值达到 96.1%。

（3）针对改进后 YOLOv8n 模型复杂度高、计算量大的问题，本文对改进后的模型进行轻量化，在主干网络中嵌入轻量化模块 MobilenetV3，降低模型参数量与计算成本，实现实时检测。并对模型进行相应的实验，实验结果显示，改进模型在 mAP50、准确率、召回率及 F1 值上分别提升 3.1%、1.4%、1.8%和 0.2%，参数量减少 12.6%，浮点运算量下降 36.6%，检测速度较原模型快 0.06 秒。

（4）本文将改进后的 YOLOv8n 模型部署到本地计算机设备中，基于 PyQt5 开发 GUI 交互界面与模型调用软件系统，搭建棉花幼苗与杂草检测系统，并进行田间试验，试验结果表明：棉花幼苗识别准确率为 94.3%，杂草总体识别准确率达 91.1%，验证本文改进模型的可行性。

关键词：棉田杂草识别；YOLOv8n；注意力机制；轻量级模型；检测系统

Abstract

With the development of digitalization in agriculture, modern agriculture tends to be intelligent and precise, especially in the precise management of weeds during crop growth. Weeds can harm the health of cotton plants during their growing season. If weeds cannot be accurately located, spraying large areas with chemical herbicides will waste resources and pollute the environment. At present, weed recognition, classification and localization are mainly carried out by Convolutional Neural Networks (CNNs) for feature extraction, which ensures a high recognition rate and achieves network lightweight, thus improving the detection speed. This study carried out research on the weed detection process in complex cotton fields. Aiming at the problems such as complex background of cotton fields, excessive weed species and different shapes, occlusion between cotton leaves and poor real-time detection process in the process of weed detection in complex cotton fields, the target detection model was improved and a cotton weed detection system was built to achieve accurate weed identification and real-time weed detection. The main work of this thesis is as follows:

(1) In view of the shortage of weed data sets in domestic cotton fields, this thesis constructs data sets of cotton seedlings and five common weeds (grey green pigweed, hard grass, purslane, psammophylla, purslane), adopts mean filter, median filter and Gaussian filter to de-noise the data, and uses data enhancement technology to solve problems such as unbalanced and insufficient samples. It provides a solid foundation for the deep learning algorithm in this study.

(2) Conducted preliminary training and comparative analysis on mainstream deep learning models including Faster RCNN, SSD, YOLOv5 and YOLOv8, and finally selected YOLOv8n as the baseline model of this study. In this thesis, different fusion attention mechanisms (CA, CBAM, EMA, GAM) were used to improve the accuracy of the model and reduce the sensitivity of the background, aiming at the false detection and missed detection problems caused by plant interference, multi-class weeds and similar weeds in complex backgrounds. The experimental data show that the model integrated with GAM attention mechanism has the best performance, and the average accuracy mAP value reaches 96.1%.

(3) In view of the problems of high complexity and heavy computation of the improved YOLOv8n model, this thesis carried out lightweight of the improved model and embedded lightweight module MobilenetV3 in the backbone network to reduce the number of model parameters and calculation cost and realize real-time detection. The experimental results show that the mAP50, accuracy, recall rate and F1 values of the improved model are increased by 3.1%, 1.4%, 1.8% and 0.2% respectively, the number of parameters is reduced by 12.6%, the floating point computation is reduced by 36.6%, and the detection speed is 0.06 seconds faster than the original model.

(4) In this thesis, the improved YOLOv8n model was deployed to the local computer equipment, GUI interactive interface and model invoking software system were developed based on PyQT5, cotton seedling

and weed detection system was built, and field tests were conducted. The test results showed that: The identification accuracy of cotton seedlings was 94.3%, and the overall identification accuracy of weeds was 91.1%, which verified the feasibility of the improved model.

Key words: Weed identification in cotton field; YOLOv8n; Attention mechanism; Lightweight model; Detection system

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究现状.....	2
1.2.1 杂草识别的国外研究现状.....	2
1.2.2 杂草识别的国内研究现状.....	4
1.2.3 亟待解决的问题.....	6
1.3 研究内容及技术路线.....	6
1.3.1 研究内容.....	6
1.3.2 技术路线.....	7
1.4 本章小结.....	7
第 2 章 棉田杂草图像数据集建立.....	9
2.1 数据来源与采集.....	9
2.2 图像预处理.....	10
2.2.1 均值滤波.....	11
2.2.2 中值滤波.....	13
2.2.3 高斯滤波.....	14
2.3 图像增强.....	15
2.4 图像标注与数据集制作.....	18
2.5 本章小结.....	18
第 3 章 基于 YOLOv8n 的杂草识别模型的研究.....	19
3.1 目标检测算法.....	19
3.1.1 Faster RCNN.....	19
3.1.2 SSD.....	20
3.1.3 YOLOv5.....	21
3.1.4 YOLOv8.....	24
3.2 环境参数设置与评价指标.....	28
3.2.1 训练环境与参数设置.....	28

3.2.2	训练参数设置	28
3.2.3	目标检测的性能评价指标	29
3.3	基线模型选择	32
3.3.1	YOLOv8 不同模型的选择	32
3.3.2	深度学习基线模型选择	32
3.4	基于 YOLOv8n 识别模型的改进	34
3.4.1	注意力机制模块	34
3.4.2	融合不同注意力机制的 YOLOv8 模型对比分析	38
3.4.3	棉花幼苗期杂草检测效果	41
3.5	本章小结	42
第 4 章	模型轻量化改进	43
4.1	深度可分离卷积	43
4.2	MobileNetV3	44
4.3	YOLOv8+GAM 嵌入轻量级网络	47
4.4	实验结果与分析	48
4.4.1	消融实验	48
4.4.2	不同杂草识别模型的性能对比分析	49
4.4.3	可视化分析	52
4.4.4	鲁棒性实验	53
4.5	本章小结	55
第 5 章	基于深度学习的棉田杂草检测系统设计	56
5.1	棉田杂草检测系统方案设计	56
5.2	棉田杂草检测系统平台搭建	57
5.2.1	图像采集单元	57
5.2.2	图像处理单元	57
5.2.3	检测平台行走机构	58
5.2.4	检测软件系统设计	58
5.3	田间试验	62
5.4	本章小结	63
第 6 章	结论与展望	65
6.1	结论	65
6.2	展望	66
参考文献	67
致谢	72

石河子大学硕士研究生学位论文导师评阅表 74

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及意义

中国是农业大国，棉花作为我国大田农作物之一，具有极高的经济价值。棉花不仅在纺织工业中占有重要地位，而且在精细化工领域也有广泛的应用。随着我国棉纺织工业与精细化工的不断发展，棉花的需求也在不断增加^[1]。据国家统计局调查统计，2024 年全国棉花播种面积达到 2838.3 千公顷，是国民经济的支柱产业之一，然而，在棉花的生长过程中，田间滋生的杂草危害较重，常年造成的损失可达到 14%~16%，严重制约了棉花的生产^[2]。

目前，我国农业中常见的杂草防除方式有人工锄草、机械除草与化学除草^[3]。人工锄草具有不破坏田间环境、除草效果明显等优势，但人工锄草需要大量的人力成本，耗时耗力，成本较高，不符合现代农业的发展要求；机械除草的方式比人工锄草的效率高，但机械重量与体型较大，作业后易损坏作物，破坏土地结构；化学除草的方式主要为大范围无差别的喷施化学除草剂，这种方式虽然省时省力但除草剂的利用率不高，且会对环境造成污染，并可能导致农药残留超标^[4]。

针对当前广泛采用的无差别喷洒除草剂方法存在的问题，Granados^[5]提出了一种基于多传感器技术的特定区域杂草管理（Site-Specific Weed Management, SSWM）策略。该策略的核心在于利用精确的杂草检测与识别技术，获取杂草的具体位置信息或不同地块的杂草密度数据。通过这些数据，可以实现对除草剂的精准施用，即仅在杂草生长区域进行喷洒，或根据杂草密度调整除草剂的种类、浓度及喷洒范围。这种做法符合精准农业中对定点喷洒和定量施药的要求^[6]。在精准农业推广应用过程中，基于机器视觉的精准喷施技术已应用于实际。该技术融合了视觉、超声波及光谱传感等技术，实现了对农田中杂草空间分布信息的精确获取并控制喷药执行机构进行精准作业，从而实现除草剂的精准施用。

随着精准农业的不断发展，逐渐有学者将精准喷施技术应用在农田生产中，胡炼等^[7]提出了一种基于 2G-R-B 方法的作物识别技术，该方法首先对棉苗和生菜幼苗的 RGB 图像进行灰度化处理，随后采用最大类间方差法进行图像二值化，并结合形态学处理方法，通过分析行/列像素累加值曲线及其标准偏差，以及正弦波曲线拟合实现作物识别，最终通过二值图像获取作物精确位置信息，为株间机械除草作业提供了重要的定位依据。薛金利等^[8]则采用无人机航拍技术获取棉田低空图像，运用 YOLOv3 模型实现了杂草的快速检测，系统识别速度达到 51 帧/秒。姜红花等^[9]应用 Mask RCNN 深度学习模型，不仅实现了玉米田间杂草的精准检测，还完成了杂草轮廓分割，经田间喷洒试验验证，其

杂草识别准确率为 91%，喷雾准确率可达 85%。

实现除草剂的精准喷施的关键在于杂草检测准确率，目前已有大量的学者做出了相关的研究。但在实际的杂草识别检测过程中，众多因素会影响检测效果，包括作物生长阶段的形态变化、叶片间的相互遮挡以及光线的亮暗程度等作物相关因素。本研究将以棉花幼苗以及田间杂草作为研究对象，构建棉花杂草图像数据集；针对棉花杂草的识别问题进行研究，以提高棉花杂草的识别率为目标，构建检测模型，实现高精度高实时性的识别，并搭建棉田杂草检测系统，验证本文模型的实用性，为提高化学除草剂利用率，实现精准喷施提供理论基础。

1.2 国内外研究现状

在当前的农业领域，杂草的识别技术主要分为两大类：一类是基于传统方法的作物与杂草识别技术，另一类则是基于深度学习的作物与杂草识别技术。本文将从这两个方面出发，介绍国内外在杂草识别技术方面的研究现状和发展趋势。

1.2.1 杂草识别的国外研究现状

1.2.1.1 基于传统方法的作物与杂草识别研究

Bakhshipour, Adel 等人^[10]采用了支持向量机和傅里叶描述子和矩不变特征对甜菜地里的四种杂草进行了研究，并建立了甜菜与杂草的形状特征集进行分类，其分类准确率可达 92.92%，其中杂草的准确率为 92.5%。Sabzi, Sajad 等^[11]应用图像处理技术提取马铃薯以及三种不同类型的杂草特征进行分类，利用启发式算法优化分类器，以提高计算效率，该系统的识别准确率可达到 98.38%，PC 端识别速度可达到 0.8s。Elstone, Lydia 等^[12]利用红色、绿色和近红外反射结合大小区分方法识别生菜田中的作物和杂草，利用运动学立体补偿图像中的视差误差，识别植物位置，该系统识别田间作物和杂草的识别率可达 56%和 69%。Garcia-Santillan, Ivan D 等^[13]利用贝叶斯分类方法衍生的马氏距离的最小标准处理行内杂草与行间杂草，在人工构建的数据集的基础上分类，精度可以达到 91.8%，处理时间小于等于 280ms。

Chaki 等^[14]提出了一种基于 Gabor 滤波器的叶片图像分析方法，该方法首先将植物叶片灰度图像与预设参数的 Gabor 滤波器进行卷积运算，生成包含实部和虚部的复信号。随后，研究人员从虚部信号中构建灰度共生矩阵（GLCM），并提取基于 GLCM 的特征集。实验结果表明，相较于 Gabor 滤波器，Haar 滤波器展现出更优的信号导通性能。Sujaritha 等^[15]采用旋转不变小波特征进行杂草检测，通过 Radon 变换显著降低了特征维度，同时实现了图像多方向快速检测。此外，该方法结合 Curvelet 变换对图像进行多尺

度和多角度分解，有效提升了特征提取能力。Kumar 等^[16]提出了一种基于 wrapping 的 Curvelet 变换算法，该算法通过多尺度金字塔结构对植物图像进行分解，在不同方向和位置的低频分量上进行分析，并计算正向和反向 Curvelet 变换。从变换后的图像中提取棱角纹理模式，成功实现了农作物与杂草的高效识别。

1.2.1.2 基于深度学习的作物与杂草识别研究

传统方法的杂草识别的关键在于杂草特征提取。但人工设计特征提取器每个方法都是针对具体的应用，导致整个提取过程复杂且鲁棒性较差。近年来随着深度学习的发展，基于卷积神经网络的杂草识别技术逐渐成为研究热点。

Alessandro, 等^[17]利用无人机采集大豆苗期与杂草图像，采用 Caffe 框架实现 ConvNet 模型进行识别，结果表明 CNN 在田间杂草识别方面的性能优于传统分类算法，具有较好的抗干扰能力；Andrea, 等^[18]利用卷积神经网络（CNN）在玉米发育早期对玉米杂草进行分类识别，分析了 LeNet, AlexNet, cNET 和 sNET 的网络结构和网络性能，并对 cNET 进行改进，降低了网络处理图片的时间；Potena, Ciro 等^[19]使用轻量级的 CNN 对 RGB+近红外图像进行快速的逐像素二值图像分割，使用更深层次的 CNN 网络对提取的像素在作物和杂草之间进行区分，简化了手动标注的过程并验证其有效性；Sivakumar, ANV 等^[20]利用低空无人机（UAV）采集大豆田杂草图像进行训练和评估，并比较 Faster RCNN 和 SSD 两种目标检测模型的杂草检测性能，验证了 Faster RCNN 模型在大豆田中后期杂草检测中的泛化性优于 SSD 模型。Hasan, ASMM 等^[21]使用 YOLOv7、YOLOv8 和 Faster-RCNN 对公开数据集进行评估，为解决数据集中的类不平衡问题对数据集进行数据增强，将 YOLOv7、YOLOv8 的 mAP 值从 88.5%与 88.29%分别提高至 89.93%与 89.39%。

Espejo-Garcia 等^[22]将深度学习的卷积神经网络与传统机器学习的分类器结合起来分别识别作物（棉花和番茄）和杂草，实验得出 Dense Net 和支持向量机结合 F1 值达到了 99.29%；Dong C, 等^[23]利用深度迁移学习识别美国南部常见杂草类别方面进行了评估，验证了 35 个深度学习模型，采用加权交叉熵损失函数，提高了识别杂草的精度，解决了训练样本较少导致模型较差问题；Fan Xp, 等^[24]利用 CBAM 模块、BIFPN 结构以及双线性插值算法建立了一种新的杂草检测模型，该模型的推理速度较 R-cnn 的推理速度更快。

在杂草控制管理过程中，精确度的考量固然重要，但模型在实际应用中的检测速度亦不可忽视。对于实时杂草检测系统而言，模型设计必须兼顾计算资源对检测时间的影响，以确保检测精度与速度之间的均衡。

Rajesh U. Modi 等^[25]利用 DarkNet53 模型识别甘蔗作物及其伴生杂草，与肉眼杂草相比准确率可以达到 96.6%，为精准喷洒系统和基于 AI 的智能机械提供了有效的决策

系统。Tetila, EC 等^[26]利用无人机建立了大豆杂草数据集评估 YOLOv5 模型，并将其部署到无人机上对大豆田间杂草进行识别，最终识别率可以达到 93%；Partel 等^[27]在权衡不同模型的推理时间与精度后，选择以 ResNet-50 作为骨干网络 YOLOv3 模型作为其只能喷雾系统的杂草检测器；Jabir^[28]提出一种基于 YOLOv5s 的杂草智能检测系统，将其部署于树莓派边缘智能设备上，进行小麦田间杂草检测任务。

1.2.2 杂草识别的国内研究现状

尽管我国在杂草检测与识别领域的研究相较于国际同行起步较晚，但已取得显著进展。国内学者在杂草识别检测领域的主要研究成果如下：

1.2.2.1 基于传统方法的作物与杂草识别研究

纪寿文^[29]开发了一种基于双峰法的杂草检测技术，该方法通过滤除背景干扰，结合投影面积、叶长和叶宽等形态特征实现杂草识别，并利用投影面积评估杂草密度。实验验证表明，该方法能有效检测玉米苗期的单子叶杂草。李先锋等^[30]将支持向量机（SVM）与 D-S 证据理论相结合，提出多特征融合杂草识别算法。该研究提取叶片颜色、形状和纹理三类视觉特征，分别构建 SVM 分类器作为独立证据，通过基本概率指派（BPA）和 D-S 证据组合规则进行决策级融合，最终达到 97% 以上的正确识别率。何东健等^[31]进一步优化了 SVM 与 D-S 证据理论的结合方式，采用基于矩阵分析的 DS 融合算法简化决策过程。该方法同样基于三类单特征 SVM 分类结果构建证据，通过融合决策实现 96.11% 的正确识别率，相比单一特征方法展现出更好的稳定性和准确性。

王海华等^[32]针对麦苗杂草的不同特征，利用剪切波矩阵进行归一化处理，同时对其均值和方差进行统计分析，通过对含杂草麦苗区域图像以及麦苗区域图像的验证，准确率为 69.2%，效果优于传统的灰度共生矩阵方法，为低空植保无人机喷洒农药中的区域杂草识别提供参考；颜秉忠等^[33]开发了一套基于机器视觉的玉米苗期杂草检测系统。该系统首先对采集的图像进行畸变校正和 HSI 颜色空间转换，随后采用阈值分割技术处理图像，最终基于形状和颜色特征实现杂草的准确识别，为除草剂的变量喷洒提供了可靠的技术支持。吴兰兰等^[34]提出了一种改进的 Itti 视觉注意模型用于杂草检测。该方法通过提取原始图像的特征图，结合区域生长算法分割出兴趣区域，并提取其形状和纹理特征输入支持向量机进行分类。经区域融合处理后，该系统实现了 92.46% 的高精度杂草分割率。

1.2.2.2 基于深度学习的作物与杂草识别研究

姜红花等^[35]提出了一种基于改进 ResNet-101 的杂草检测算法。该方法利用 ResNet-101 网络提取杂草特征图，通过区域建议网络进行目标分类和位置回归训练，并

采用非极大值抑制算法优化感兴趣区域的选择。引入 RoIAlign 技术将特征图转换为固定尺寸，有效降低了位置偏差。最终通过输出模块同步计算分类、回归和分割损失，实现了杂草的精准检测与轮廓分割。温德圣等^[36]开发了一种基于颜色迁移和深度卷积神经网络的杂草识别系统。该方法首先通过颜色迁移技术对图像进行预处理，有效保留了关键特征信息。构建了深度卷积神经网络结合区域候选的检测框架，通过对棉花幼苗和杂草数据集的精细标注及参数优化，训练出了能够准确识别复杂特征杂草的高性能模型。实验结果表明，该方法在复杂农田环境下仍能保持较高的识别精度；张伟荣等^[37]优化特征提取网络，引入按通道切分特征图注意力的 ResNeSt，并使用 Soft-NMS 改进区域建议抑制方式。比较训练损失值，发现改进后的 Mask R-CNN 具有更低的损失值，mAP 达 0.482，有效提升苗草检测精准度；王宇等^[38]提出了一种 CABi-yolov5s 模型，该模型在主干网络引入注意力机制，引入特征融合 FPN 提高模型对多尺寸目标的检测能力，准确率 84.73%；召回率 88.4%；mAP 达到 86.8%，并设计基于 CABi-yolov5s 模型的杂草除草装置原型，为后期开发该装置提供相关理论基础；杨森森等^[39]使用高效 MobileViT 网络的构建杂草特征提取网络，融合高效通道注意力机制加强下采样捕捉杂草与作物间的细微差异特征，试验结果表明该方法的准确率能够达到 99.61%，能够有效提取杂草图像的关键特征，并抑制背景对识别结果的影响；冀汶莉等^[40]利用带色彩恢复的多尺度视网膜增强算法对部分图像进行预处理，优化主干网络注意力机制的激活函数提高非线性拟合能力并进行量化，结果显示优化后的模型平均精度 97.8%，单幅图像检测时间为 118.1ms，可为采用资源有限的移动端设备进行田间农田杂草识别；陈学深等^[41]将 YOLOv7 的主干特征提取网络替换为 GhostNet 网络、引入 CA 注意力机制并加入 ViT 分类网络，精度可以达到 92.6%，解决了稻田杂草识别过程中光线遮蔽、藻萍干扰、稻叶尖相似等问题，为稻田复杂环境的杂草精准识别提供理论支持；刘莫尘等^[42]通过使用 MSRCR 图像增强算法对原始图像进行预处理，以增强图像的对比度和细节质量，后通过通道剪枝处理对 YOLOv4-tiny 模型结构进行简化，其提出的 MSRCR-YOLOv4-tiny 模型可以在 JetsonNano 嵌入式边缘设备上实现精度与速度的均衡；王宇等^[43]通过在骨干网络中添加 CBAM 注意力机制，提高了 YOLOv5s 对于入侵杂草的检测精度，对比原始 YOLOv5s 提高了 7.6%，并且将改进后的训练模型部署于 JetsonAGX Xavier 上进行实地试验以测定模型的实际检测效果。

杜晨等^[44]提出改进 YOLOv5 的棉田杂草检测模型。将 YOLOv5 主干网络中的卷积模块替换为 Ghost 卷积，替换 YOLOv5 默认的 CIoUloss，加入加权双向特征金字塔（BiFPN），改进的模型可实现参数量降低 56.8%、浮点运算次数降低 65.8%的情况下 mAP 仅降低 1.61%，可满足实际应用和移动端部署的要求。许燕等^[45]建立了基于 Faster R-CNN 的网络识别模型，采集不同角度、不同自然环境和不同密集程度混合生长的棉花幼苗与杂草，利用颜色迁移和数据增强来提高图像的颜色特征，通过综合对比 VGG16，

VGG19, ResNet50 和 ResNet101 这 4 种网络的识别时间与精度, 选择 VGG16 网络训练 Faster R-CNN 模型, 该模型能够实现 91.49% 的平均识别精度; 姚思雨等^[46]构建 CNN 模型, 添加 Dropout 层, 使模型学习棉花植株和杂草的特征信息; 最后将测试集数据输入 CNN 模型, 测试 CNN 模型对棉花植株和杂草的识别能力。研究结果表明 CNN 对于棉花植株和杂草的分类结果精度超过了 99.95%, 识别时间为 197.2s; 樊湘鹏等^[47]提出基于优化 Faster R-CNN 和数据增强的识别与定位方法, 通过对比 VGG16、VGG19、ResNet50 和 ResNet101, 选定 VGG16 为特征提取网络, 训练出可识别多种杂草和棉花幼苗的 Faster R-CNN 模型。试验表明, 该模型识别精确率高、鲁棒性强, 平均识别时间为 0.261s, 证明了该方法的适用性和可推广性。李开敬等^[48]通过改进特征提取网络, 训练出了识别精度较高、鲁棒性较好的改进的 YOLOv3 网络模型, 并将改进后的 YOLOv3 模型算法应用于嵌入式硬件平台, 实现复杂棉田背景下的杂草实时检测。

1.2.3 亟待解决的问题

目前, 国内外针对农田杂草的检测与识别进行了大量研究。无论是采用传统方法的杂草识别还是基于深度学习技术的杂草识别, 都展现出了较好的性能, 但对于实际复杂棉田环境下, 棉田杂草的检测研究仍存在一定的问題:

(1) 棉花杂草检测的精确度有待提高。

从棉花田间杂草的识别精确度来看, 棉花杂草的检测精度还有待提升。由于在复杂的棉田背景下, 棉花与杂草在形态学特征上存在显著差异, 且杂草种类、形态与尺寸上都有着较为显著的差异, 因此导致在检测棉花杂草时, 存在精确度不理想等问题。

(2) 棉花杂草检测算法实时性低, 鲁棒性不足。

当前的棉花杂草检测算法在处理复杂背景及多样杂草特征时, 存在实时性较低等问题。这不仅影响了农业生产的效率, 也限制了智能化农机的广泛应用。此外, 在复杂棉田背景下, 面对不同光照条件、天气状况以及土壤状况时, 检测性能波动较大, 难以保持稳定的检测精度。

因此, 提高棉花杂草检测算法的精确度、实时性以及鲁棒性, 是当前亟待解决的问题。

1.3 研究内容及技术路线

1.3.1 研究内容

本研究以棉田中棉苗与常见杂草作为检测目标, 针对新疆复杂的棉田背景, 通过改进现阶段性能较好的卷积神经网络算法。建立了具有高识别精度、良好鲁棒性以及低模