

基于深度学习的蓝莓病虫害智能识别技术研究

石文静¹ 徐钰佳¹ 萧萧若兮² 武文昕¹ 曾仪¹

1. 湖州学院 智能制造学院, 中国·浙江 湖州 313000

2. 湖州学院 人文学院, 中国·浙江 湖州 313000

摘要: 随着蓝莓需求量与产量持续增长, 病虫害导致的损失量也逐年上升。针对人工巡检劳动量大、效率低, 以及现有巡检车识别准确率低等问题, 本文旨在研究蓝莓病虫害智能识别技术, 为减少产量损失提供技术支持。本文从蓝莓产业的供需情况入手, 分析了蓝莓病虫害智能识别技术的研究现状, 概述了深度学习图像识别技术在蓝莓病虫害识别中的应用特点。分析表明, 深度学习图像识别技术能够有效提取蓝莓叶片病斑的颜色、纹理、形状等特征, 对灰霉病、叶斑病、蚜虫等常见病虫害具有较好的识别效果。本文可为蓝莓病虫害智能识别技术的进一步研究提供借鉴, 有助于提升病虫害识别效率, 降低因病虫害造成的产量损失。

关键词: 蓝莓病虫害; 智能识别; 深度学习; 图像识别; 迁移学习

Research on Intelligent Identification Technology of Blueberry Pests and Diseases Based on Deep Learning

Shi Wenjing¹, Xu Yujia¹, Xiao Xiaoruoxi², Wu Wenxin¹, Zeng Yi¹

1. School of intelligent manufacturing, Huzhou College, China Zhejiang Huzhou 313000

2. Ren wen xue yuan, Huzhou College, China Zhejiang Huzhou 313000

Abstract: With the continuous growth of blueberry demand and production, the loss caused by pests and diseases is also increasing year by year. Aiming at the problems of high labor intensity and low efficiency of manual inspection, as well as the low recognition accuracy of existing inspection vehicles, this paper aims to study the intelligent identification technology for blueberry pests and diseases, so as to provide technical support for reducing production losses. This paper starts from the supply and demand situation of the blueberry industry, analyzes the research status of intelligent identification technology for blueberry pests and diseases, and summarizes the application characteristics of deep learning image recognition technology in blueberry pest and disease identification. The analysis shows that deep learning image recognition technology can effectively extract the color, texture, shape and other features of blueberry leaf lesions, and has a good recognition effect on common pests and diseases such as gray mold, leaf spot, and aphids. This paper can provide reference for further research on intelligent identification technology for blueberry pests and diseases, and help improve the efficiency of pest and disease identification and reduce the production losses caused by pests and diseases.

Keywords: Blueberry pests and diseases; Intelligent identification; Deep learning; Image recognition; Transfer learning

0 引言

蓝莓, 作为杜鹃花科越橘属的多年生小灌木, 富含花青素、维生素及多种抗氧化活性成分, 具有保护视力、增强免疫力、延缓衰老等多种保健功能。近年来, 随着我国农业产业结构的优化调整和消费升级, 蓝莓种植面积持续扩大, 已广泛分布于山东、吉林、辽宁、贵州、云南等省份。据统计, 全国蓝莓种植面积已超过 10 万公顷, 产量逐年攀升, 蓝莓产业已成为促进农民增收和乡村振兴的重要特色产业。有研究指出, 我国蓝莓栽培面积和产量已居全球首位, 但机械化、智能化程度低, 标准化、简约化生产

技术不完善成为制约发展的主要原因^[1]。

然而, 蓝莓在生长过程中易受灰霉病、叶斑病、蚜虫、蓟马等多种病虫害侵袭, 严重影响果实品质和产量。传统防治方式主要依赖人工巡检, 存在劳动量大、效率低等问题, 而现有巡检车在病虫害识别准确率方面也存在不足。研究表明, 蓝莓叶片受害后会出现明显病斑, 但早期病害特征微弱, 人眼难以准确识别。另有研究指出, 害虫个体小、特征不明显, 不易被人眼识别, 这一问题更加严重。

针对上述问题, 国内外学者开展了相关探索。孙亮

等^[2]系统综述了计算机视觉技术在植物病害识别上的研究进展,从图像采集、预处理、分割、特征提取到识别分类进行了完整阐述,为后续研究提供了系统的技术框架,但该研究主要侧重于方法总结,在模型创新方面仍有进一步深入的空间。于明等^[3]从视觉特征类型和学习方式两个维度对植物病害识别方法进行了全面梳理,明确指出深度模型是当前植物病害识别的主流方法,为后续研究指明了方向,但不同方法在不同场景下的适用性仍有待进一步探讨。王海滨等^[4]将 MobileNetV4 和 GAM 注意力机制引入 YOLOv9,采用 WIoU 损失函数优化定位精度,在检测精度和速度之间取得了较好的平衡,但模型在计算资源更为受限的边缘设备上的部署表现仍需进一步验证。许艳霞等^[5]提出基于改进 YOLOv8n 的轻量化蓝莓成熟度检测方法,通过引入 MobileNetV4 中的 UIB 模块、CA 注意力机制和 HetConv 轻量化共享卷积结构,使模型参数数量和计算量显著下降,展现出良好的轻量化效果,但该方法在极端光照和严重遮挡等复杂场景下的检测稳定性尚有待进一步提升。

综上所述,现有研究已取得一定进展,但在模型轻量化、复杂环境适应性以及从识别到防治的闭环系统构建等方面仍有提升空间。因此,本文围绕蓝莓病虫害智能识别技术展开研究,分析深度学习图像识别技术在蓝莓病虫害识别中的应用特点,以期为后续研究和系统开发提供借鉴。

1 蓝莓病虫害识别技术现状与问题分析

蓝莓常见病虫害包括灰霉病、叶斑病、白粉病、根腐病等病害,以及蚜虫、红蜘蛛、果蝇、蓟马等虫害。研究表明,这些病虫害的发生具有季节性、突发性和隐蔽性等特点^[6]。灰霉病多发生于高湿环境,病斑初期呈水渍状,后期产生灰色霉层;叶斑病表现为叶片出现褐色或黑色斑点,严重时导致叶片早落;蚜虫和红蜘蛛则主要吸食叶片汁液,造成叶片卷曲、黄化甚至脱落。早期症状往往不明显,人工巡检难以发现,待症状明显时往往已错过最佳防治时期。

传统的病虫害识别方法主要依赖人工田间巡查。农技人员通过目视观察叶片颜色、病斑形态、害虫活动迹象等进行判断,必要时借助放大镜或显微镜确认。这种方法无需额外设备,但存在明显不足:一是效率低下,大规模种植基地需要投入大量人力;二是主观性强,识别结果受个人经验影响较大,不同人员之间判断可能存在差异;三是对于发病初期的轻微症状,肉眼难以准确识别。近年来,部分地区开始使用无人机或地面巡检车采集图像,但仍需人工判读,未能从根本上解决问题。

在自动识别技术方面,早期的研究主要采用传统机器学习方法。典型流程包括图像预处理、手工特征提取(如颜色直方图、纹理特征、形状描述子)、特征选择与降维、分类器训练(如支持向量机、随机森林等)。例如,通过提取叶片的颜色和纹理特征,结合支持向量机分类器,可以对常见的叶部病害进行分类。然而,传统机器学习方法依赖人工设计的特征,特征工程工作量大,且对不同病害、不同环境的适应性较差。当光照条件、背景复杂度或病害表现发生变化时,识别性能会显著下降。有研究提出了基于自监督学习的作物叶片病害识别方法,为缓解标注数据不足问题提供了新思路,但该方法在蓝莓病虫害这类细粒度识别任务上的适用性尚需进一步验证^[7]。

深度学习方法的出现为解决上述问题提供了新途径。卷积神经网络能够自动从原始图像中学习层次化特征,避免了繁琐的手工特征设计。相关研究将机器学习与卷积神经网络相结合用于作物病害识别,验证了深度学习方法的优越性^[8]。在植物病害识别领域,研究者基于公开数据集或自建数据集,训练 CNN 模型对作物病害图像进行分类,取得了比传统方法更好的效果。部分研究还探索了目标检测方法,实现对病害区域的定位和识别。然而,深度学习模型在实际应用中仍面临数据获取困难(病虫害图像标注需要专业农技人员参与,成本较高)、环境干扰大(田间光照变化、复杂背景、叶片遮挡)、相似症状区分难(部分病害初期症状相似)等挑战。

2 基于深度学习的蓝莓病虫害智能识别技术

深度学习图像识别技术的核心是卷积神经网络。有研究基于多尺度注意力卷积神经网络开展植物病害识别研究,通过注意力机制增强模型对关键特征的提取能力,为蓝莓病虫害识别中的特征增强提供了参考^[9]。典型的 CNN 模型包括输入层、卷积层、池化层、全连接层和输出层。卷积层通过卷积核提取图像局部特征,池化层降低特征图维度并增强平移不变性,全连接层将提取的特征映射到类别输出。在蓝莓病虫害识别任务中,模型需要学习叶片病斑的颜色、纹理、形状等判别性特征。

针对蓝莓病虫害识别场景,模型选型需考虑识别精度和计算效率的平衡。ResNet 系列模型通过引入残差连接解决了深层网络梯度消失问题,在图像分类任务中表现优异,可作为基础识别模型。轻量化模型如 MobileNet、ShuffleNet 等,通过深度可分离卷积等技术减少参数数量和计算量,适合部署于移动端或边缘设备。相关研究基于注意力机制的轻量化 YOLO 模型开展农作物病虫害检测研

究,进一步丰富了轻量化模型在农业领域的应用实践^[10]。YOLO 系列模型将目标检测问题转化为回归问题,可实现端到端的实时检测,适合对病斑区域进行定位。

为使模型更好地适应蓝莓病虫害识别任务,可采用以下优化策略:引入注意力机制,使模型关注病斑区域而抑制背景干扰;采用多尺度特征融合,同时捕捉局部细节和整体分布;使用数据增强技术(随机翻转、旋转、色彩抖动等)扩充训练样本,提高泛化能力。在训练策略方面,采用迁移学习,利用 ImageNet 大规模数据集上预训练的模型权重作为初始化参数,可以显著减少对标注数据的需求并加快收敛。训练通常分为冻结阶段(仅训练分类层)和微调阶段(解冻部分网络层进行精细调整)。

完整的识别流程包括:用户上传蓝莓叶片或果实图像;系统进行图像格式和大小校验(通常支持 JPG、PNG 格式,限制文件大小以保证处理效率);对图像进行预处理(缩放、归一化等);调用深度学习模型进行推理,获得各类别概率;取最高概率对应的类别作为识别结果,若最高概率低于设定阈值则返回“无法识别”提示;根据识别结果从知识库中匹配防治建议,生成诊断报告并存储记录。

3 智能识别系统设计与实现

基于上述技术,可构建完整的蓝莓病虫害智能识别与分析系统。本研究团队在系统设计过程中,深入分析了蓝莓病虫害智能识别流程中各环节的数据流转与功能需求,成功设计并构建了基于前后端分离架构的智能识别系统,结构如图 1 所示。该系统整体分为表现层、业务逻辑层和数据访问层。研究表明,表现层基于 Vue 3 框架构建 Web 端界面,能够提供智能识别、知识库浏览、诊断记录、数据统计等功能入口,并支持图片拖拽上传和点击上传,大幅提升了用户操作的便捷性;业务逻辑层采用 Ruby on Rails 框架实现,负责用户认证、识别服务调度、数据统计分析等核心业务,有效保障了系统运行的稳定性与响应效率;数据层使用 PostgreSQL 数据库存储用户信息、诊断记录、病虫害知识库等结构化数据,确保了数据的安全性和一致性。该系统为蓝莓病虫害的快速识别与科学防治提供了高效、可靠的解决方案,对提升蓝莓种植的智能化管理水平具有重要的应用价值。

知识库是系统的重要组成部分,包含病虫害的名称、类型、危害等级、症状描述、发病规律、传播途径以及对应的防治方案(农业防治、化学防治、生物防治)。相关研究对蓝莓主要病虫害的综合防治技术进行了系统介绍,

为知识库中防治方案的构建提供了专业依据^[6]。用户可按类型和危害等级筛选查询,点击卡片查看详细信息。诊断记录模块自动归档所有识别记录,支持按时间、类型筛选,提供导出和批量删除功能。数据统计模块以图表形式展示识别趋势、病虫害类型分布、危害等级分布等,为种植管理决策提供数据支撑。用户管理模块支持多角色权限控制(管理员、农业专家、种植户、农技员),保障系统安全。

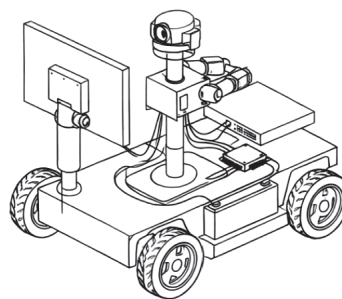


图1 蓝莓病虫害智能识别系统架构

识别服务封装为独立的 Service 类,系统启动时将深度学习模型预加载到内存,减少首次推理延迟。该服务可使用 Python 编写推理脚本(基于 PyTorch 或 TensorFlow),Rails 后端通过子进程或 API 调用与之通信。根据系统设计目标,病虫害识别准确率要求达到较高水平,能够满足日常巡检需求。此外,关于蓝莓品种果实品质评价^[11]、高丛蓝莓果实品质综合评价^[12]以及蓝莓采后品质劣变与保鲜技术^[13]等方面的研究,虽然主要聚焦于品质管理,但为蓝莓产业的整体智能化提供了背景支持。

4 结论与展望

近年来,随着人工智能技术的快速发展,深度学习在蓝莓病虫害智能识别领域展现出显著优势。本文结合蓝莓产业发展需求,系统梳理了病虫害智能识别技术的发展现状与研究进展,重点分析了深度学习在病害和虫害识别中的应用效果。研究表明,深度学习能够自动提取病斑颜色、纹理及形态等特征信息,对灰霉病、叶斑病、蚜虫等典型病虫害具有较高的识别精度,为提高病虫害监测效率和实现精准防控提供了重要技术支撑。

尽管相关研究已取得较大进展,但蓝莓病虫害智能识别仍面临数据资源不足、复杂环境适应性有限、相似症状识别困难以及模型泛化能力有待提升等问题。其中,病虫害样本获取与标注成本较高,复杂田间环境导致图像质量波动,不同病害早期症状之间存在较强相似性,而不同地区、品种及生长阶段之间的差异也对模型稳定性提出了更高要求。

未来研究可重点围绕以下方面展开:一是持续构建高

质量、多场景病虫害数据集,探索弱监督学习、自监督学习等方法以降低数据标注成本^[7];二是引入细粒度视觉识别技术,提高相似病虫害症状的区分能力;三是开展模型轻量化与边缘部署研究,提升移动终端实时识别性能^[4-5];四是构建集病虫害识别、风险预警与精准防治于一体的智能决策系统,实现病虫害全生命周期管理^[6];五是融合环境传感器、气象信息等多源数据,建立多模态智能预测模型,提升病虫害早期预警能力。

总体而言,深度学习技术为蓝莓病虫害智能识别提供了新的研究思路和技术路径。随着人工智能、物联网和智慧农业技术的深度融合,蓝莓病虫害监测将逐步向智能化、精准化和数字化方向发展,为保障蓝莓产业高质量发展和农业现代化建设提供重要支撑。

参考文献:

- [1] 徐艺格等. 蓝莓产业现状及技术发展趋势分析与展望[J]. 北方园艺, 2024, 40(08): 130-136.
- [2] 孙亮等. 计算机视觉技术在植物病害识别上的研究进展[J]. 热带生物学报, 2022, 13(06): 651-658.
- [3] 于明, 郭志永, 王岩. 基于计算机视觉的植物病害识别方法综述[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(12): 4811-4823.
- [4] 王海滨等. 基于改进 YOLOv9 的蓝莓果实成熟度检测方法[J]. 林业科学, 2026, 62(01): 144-155.
- [5] 许艳霞等. 基于改进 YOLOv8n 的轻量化蓝莓成熟度检测方法[J]. 江西农业大学学报, 2025, 47(03): 764-777.
- [6] 范真槐等. 蓝莓主要病虫害综合防治技术研究进展[J]. 植物医学, 2026, 5(01): 1-16.
- [7] 张越等. 基于自监督学习的作物叶部病虫害图像分类、检测与分割研究进展[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(20): 31-46.
- [8] 汪强等. 机器学习改进卷积神经网络在作物病害识别中的研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2025, 59(05): 767-775.
- [9] 张会敏, 谢泽奇. 基于多尺度注意力卷积神经网络的苹果叶部病害识别方法[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 154-161.
- [10] 刘拥民等. 基于注意力机制的轻量化 YOLO v5s 蓝莓检测算法[J]. 河南农业科学, 2024, 53(03): 151-157.
- [11] 赵慧芳等. 34 个蓝莓品种果实品质评价[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(04): 44-53+72.
- [12] 乌凤章等. 基于主成分分析的高丛蓝莓品种果实品质综合评价[J]. 农业工程学报, 2022, 38(22): 262-269.
- [13] 余杰海等. 蓝莓采后品质劣变与保鲜技术研究进展[J]. 食品与机械, 2024, 40(04): 220-226.