

果树冠层图像语义分割技术及其应用研究

刘春鹏

广东工商职业技术大学 广东 肇庆 526020

【摘要】：语义分割技术能够实现果树冠层图像的像素级识别，是智慧果园信息获取的重要技术手段。结合果树冠层图像特点，本文对语义分割技术涉及的图像采集、预处理、特征提取及应用进行了梳理，构建了果树冠层图像语义分割技术应用框架，分析了当前应用中存在的问题，并对未来发展方向进行了展望。研究结果可为果树冠层智能识别及相关技术应用提供参考。

【关键词】：果树冠层；计算机视觉；语义分割；图像处理；智慧农业

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.039

1 引言

数字农业和智慧农业的发展推动了计算机视觉技术在农业生产中的应用，其在果园管理、作物监测和病虫害识别等领域展现出较好的应用效果。果树冠层能够反映树木生长状况、冠层结构及覆盖情况，是果园精准管理的重要信息来源。传统冠层信息获取主要依靠人工调查，不仅工作效率较低，而且容易受到人为因素影响，难以满足智慧果园对信息获取效率和准确性的要求。

语义分割技术通过对图像进行像素级分类，能够较为准确地提取目标区域，在复杂背景下具有较好的识别能力。随着深度学习算法的发展，语义分割技术逐步应用于果树冠层识别、作物分类和病虫害检测等农业视觉任务，为果园信息自动获取提供了新的技术手段。受自然环境影响，果树冠层图像普遍存在枝叶遮挡、光照变化、背景复杂等特点，不同树种及采集方式也会导致图像特征存在差异。这些因素增加了语义分割的难度，使相关技术在复杂环境适应性、模型泛化能力及数据标注效率等方面仍存在一定不足。

本文结合果树冠层图像语义分割的应用需求，对相关技术进行了梳理，分析了语义分割涉及的关键技术，构建了果树冠层图像语义分割技术应用框架，并对其应用场景、存在的问题及发展方向进行了讨论，为语义分割技术在智慧果园中的应用提供一定的借鉴。

2 语义分割技术基础

果树冠层是反映树木生长状况和冠层结构的重要载体，其图像信息具有纹理丰富、层次复杂、背景干扰明显等特点。受树种差异、枝叶遮挡、光照变化以及拍摄条件等因素影响，冠层区域与背景之间往往不存在清晰边界，传统阈值分割、边缘检测等方法难以满足复杂果园场景下的识别需求。因此，能够实现像素级分类的语义分割技术逐渐成为果树冠层图像处理的重要方法。

语义分割通过对图像中每个像素进行语义标注，实现目标区域与背景区域的精确区分，相较于传统图像分割方法，在目标完整性和边界表达方面具有一定优势。近年来，随着深度学习的发展，语义分割技术的识别精度和环境适应能力不断提升，在农业视觉领域的应用也逐渐由作物识别扩展至果树冠层提取、生长监测和病虫害识别等任务。

果树冠层图像的语义分割一般包括图像采集、预处理、特征提取、目标分割及结果优化等环节。其中，图像采集直接影响数据质量，预处理主要用于降低噪声和环境干扰，特征提取与目标分割负责完成冠层区域识别，结果优化则进一步改善目标边界和局部细节，提高分割结果的完整性。上述环节相互关联，共同决定了果树冠层图像的分割效果，也是后续关键技术研究的重要基础。

3 果树冠层图像语义分割关键技术分析

果树冠层图像语义分割是一项由多个处理环节共同完成的视觉任务，图像质量、目标特征表达以及后续优化效果都会对最终识别结果产生影响。与道路场景或室内场景相比，果树冠层受自然环境影响更为明显，枝叶交叠、光照变化和背景干扰等问题普遍存在，仅依靠单一处理环节难以获得理想的分割效果。因此，需要从图像采集、预处理、特征提取以及结果优化等多个方面进行综合考虑，形成完整的技术流程。

3.1 图像采集技术

图像采集是语义分割的起始环节，也是影响分割质量的重要因素。果园监测任务不同，对图像采集方式的要求也有所区别。无人机适用于大范围果园巡检，能够快速获取整体冠层信息；固定摄像设备便于连续观测果树生长变化；移动终端则具有灵活、便捷的特点，更适合局部区域调查。实际采集过程中，应尽量保持适宜的拍摄高度和拍摄角度，避免逆光、阴影遮挡及图像模糊等情况，以保证冠层结构和纹理信息能够完整保留，为后续识别提供稳定的数据基础。

项目名称：基于计算机视觉的岭南果树冠层语义分割方法研究（项目编号：2025KQNCX172）。

项目名称：基于机器视觉的岭南特色农林植物表型参数提取研究（项目编号：2024KQNCX138）。

3.2 图像预处理技术

果树冠层图像多在自然环境下获取,容易受到天气、光照和背景植被等因素影响,原始图像常出现亮度不均、噪声干扰或目标对比度不足等问题。如果直接进行语义分割,不仅会增加模型学习难度,还可能影响冠层边界的识别精度。因此,在正式分割前通常需要进行预处理,包括图像去噪、亮度校正、尺寸统一及数据增强等操作。预处理的目的是并非改变图像内容,而是降低环境因素带来的干扰,使冠层区域的特征更加清晰,为后续特征学习创造较好的数据条件。

3.3 特征提取与语义分割

特征提取是果树冠层图像语义分割的核心环节,其效果直接影响目标识别的准确性。与规则目标相比,果树冠层具有枝叶密集、轮廓不规则、局部遮挡明显等特点,不同尺度目标往往同时存在,增加了图像理解难度。因此,仅依赖单一尺度或局部特征难以准确描述冠层结构,需要兼顾整体形态与局部细节,通过多层次特征学习增强对树冠纹理、边缘及空间结构的表达能力。同时,不同层次特征之间的有效融合,有助于减少复杂背景对分割结果的影响,提高冠层区域识别的完整性和连续性。这也是当前果树冠层语义分割技术持续优化的重要方向。

3.4 分割结果优化

初始分割结果通常仍存在局部误分割、边界不连续或细节缺失等情况,需要进一步进行优化处理。针对树冠边缘模糊、小面积目标遗漏以及背景误识别等问题,可结合边界修正、区域融合和噪声去除等方式,对分割结果进行调整,使冠层轮廓更加完整、边界更加自然。经过优化后的分割结果,更有利于开展冠层覆盖率计算、生长状态分析及果园信息统计等后续工作。

图像采集、图像预处理、特征提取和结果优化共同构成果树冠层图像语义分割的主要技术环节。各环节之间并非相互独立,而是前后衔接、相互影响,只有兼顾数据质量、特征表达和结果优化,才能获得稳定可靠的冠层分割效果。

4 果树冠层图像语义分割应用框架

果树冠层图像语义分割的最终目的并不是获得一幅分割结果,而是将图像中的冠层信息转化为能够服务果园生产管理的数据。结合前文对语义分割技术基础及关键技术的分析,可将果树冠层图像语义分割的应用过程归纳为数据获取、智能处理、信息分析和生产应用四个层次,各层之间按照数据流逐级衔接,形成较为完整的应用框架,为果园信息获取和管理决策提供支持。

4.1 数据获取层

数据获取层是整个应用框架的基础,其主要任务是获取质量稳定、信息完整的果树冠层图像。根据果园规模和管理需求,

可采用无人机、固定摄像设备或移动终端完成图像采集。为了保证后续识别效果,采集过程中应综合考虑拍摄高度、拍摄角度、光照条件及图像分辨率等因素,尽可能减少阴影遮挡、逆光和图像模糊等问题。获得原始图像后,还需完成去噪、亮度校正、尺寸统一等预处理,为后续冠层识别提供良好的数据基础。

4.2 智能处理层

智能处理层是应用框架的核心部分,主要完成果树冠层目标识别与信息提取。经过预处理后的图像进入语义分割模块,对冠层区域进行像素级识别,并提取冠层轮廓、覆盖范围及空间分布等信息。考虑到果树冠层枝叶交错、边界复杂以及不同树种间形态差异较大,在识别过程中需要兼顾整体结构与局部细节,通过多层次特征学习和结果优化,提高冠层区域的完整性与识别精度,为后续数据分析提供可靠的信息来源。

4.3 信息分析层

完成冠层识别后,图像信息可进一步转化为能够反映果树生长状况的量化指标。通过统计冠层面积、覆盖率、空间分布等数据,并结合不同生育时期的冠层变化情况,可对果树长势进行分析和评价。相比单纯输出分割图像,对识别结果进行数据化处理能够进一步挖掘冠层信息价值,也为果园长期监测和生长管理提供了连续的数据支持。

4.4 生产应用层

生产应用层是应用框架服务智慧果园的重要体现,也是图像信息转化为管理决策的关键环节。基于冠层信息分析结果,可为果树长势监测、水肥精准管理、病虫害预警、修剪方案制定以及数字果园建设等提供辅助依据。随着人工智能、物联网和大数据等技术的发展,果树冠层图像语义分割还可与环境监测、农机装备及果园管理平台协同应用,实现果园信息的动态更新和智能管理,进一步提升果园生产效率和管理水平。

综上,果树冠层图像语义分割应用框架以数据获取为基础,以智能处理为核心,以信息分析为纽带,以生产应用为目标,实现了果树冠层信息由图像采集、目标识别到生产决策的逐步转化。各层之间相互衔接、相互支撑,既体现了语义分割技术在果树冠层识别中的作用,也突出了其在智慧果园建设中的应用价值。

5 技术应用中的主要问题

果树冠层图像语义分割技术在果树生长监测、冠层信息提取和智慧果园管理等方面具有良好的应用前景,但在实际应用过程中,仍受到果园环境、数据资源及模型性能等多方面因素的影响,部分技术问题尚未得到有效解决,对语义分割技术的推广应用造成了一定限制。

果园属于典型的自然开放环境,不同树种、生长阶段及季节变化都会导致冠层形态发生变化,加之枝叶遮挡、树冠重叠

以及光照变化等因素的共同影响,使果树冠层边界难以准确识别,容易出现漏分割、误分割等情况。这不仅增加了图像处理难度,也对模型在复杂场景下的稳定性和识别精度提出了更高要求。

与此同时,数据资源不足仍是制约语义分割技术发展的重要因素。深度学习模型通常需要大量高质量图像进行训练,而果树冠层图像具有树种多样、采集环境复杂等特点,不同场景之间存在较大差异。为了保证模型具有较好的适应能力,需要持续采集具有代表性的图像数据,并完成像素级标注。然而,图像采集和人工标注工作量较大、成本较高,数据资源建设周期较长,在一定程度上影响了模型训练效果和推广应用。受数据规模和场景差异影响,部分模型在跨区域、跨树种应用时仍存在泛化能力不足的问题。

除识别精度外,工程化部署能力也是当前技术应用需要关注的重要方面。部分高精度语义分割模型参数规模较大,对计算资源和硬件设备要求较高,在移动终端或边缘设备上的运行效率仍有待提高。随着智慧果园对实时监测和现场应用需求不断增加,如何在保证识别性能的同时兼顾模型轻量化和运行效率,已成为推动相关技术落地应用的重要内容。

上述问题相互影响、相互制约,在一定程度上限制了语义分割技术在果树冠层识别中的应用效果。随着智慧果园建设对冠层信息获取精度和实时性的要求不断提高,如何在保证识别性能的同时兼顾数据获取成本、模型适应能力和实际部署效率,仍是后续研究需要重点关注的内容。

6 技术改进与发展方向

针对果树冠层图像语义分割技术在实际应用中存在的不足,后续研究可从模型结构优化、数据体系完善以及多技术融合等方面进一步推进,以提升其在复杂果园环境中的适用性与稳定性。

参考文献:

- [1] Li,Z.,Deng,X.,Lan,Y.,et al.Fruit tree canopy segmentation from UAV orthophoto maps based on a lightweight improved U-Net. Computers and Electronics in Agriculture,2024,217:108538.
- [2] Leng,H.,Wang,Z.,He,M.,et al.Effects of different ground segmentation methods on UAV-based canopy measurements.Frontiers in Plant Science,2024,15:1393592.
- [3] Luo,Z.,Yang,W.,Yuan,Y.,et al.Semantic segmentation of agricultural images:A survey.Information Processing in Agriculture,2024,11(2):172-186.
- [4] Minaee,S.,et al.Image Segmentation Using Deep Learning:A Survey.IEEE TPAMI,2022,44(7):3523-3545.
- [5] Wei,J.,et al.Single tree semantic segmentation from UAV images based on improved U-Net network.Drones,2025,9(4):237.

在复杂自然场景下提高模型的鲁棒性仍是重要研究方向。果园环境受光照变化、枝叶遮挡及背景干扰等因素影响明显,使得冠层边界提取与细节识别具有一定难度。通过引入多尺度特征建模、注意力机制以及更有效的特征融合方式,有助于增强模型对不同尺度目标和局部结构的表达能力,从而提升分割结果的稳定性与精度。

数据层面的完善同样是提升模型性能的基础。构建覆盖多种、多生长阶段以及多采集条件的果树冠层图像数据集,有助于增强模型的泛化能力。同时,引入迁移学习、自监督学习等方法,可以在一定程度上减少对大规模标注数据的依赖,从而降低数据获取与标注成本,提高模型训练效率。

在应用层面,语义分割技术与其他农业信息技术的融合将进一步深化。结合无人机遥感、物联网感知以及数据分析技术,可实现果树冠层信息的持续获取与多维度分析,为果树生长监测、病虫害识别以及水肥管理等提供数据支持,增强其在智慧果园中的综合应用能力。

随着计算机视觉与人工智能技术的发展,果树冠层图像语义分割技术将不断向更高精度与更强实用性方向演进。未来研究应更加注重算法性能与实际农业应用需求之间的平衡,在保证识别效果的同时提升系统的工程化能力,使其更好地服务于智慧果园建设与现代农业发展

7 结语

果树冠层图像语义分割是实现果园智能化管理的重要技术手段,在果树生长监测、冠层信息提取和智慧果园建设等方面具有良好的应用前景。本文围绕果树冠层图像语义分割技术,对其基本原理、关键技术、应用框架及面临的问题进行了分析,并结合实际应用需求,对未来发展方向进行了探讨。随着计算机视觉、人工智能等相关技术的不断发展,语义分割技术将在果树冠层识别中得到更加广泛的应用,为提升果园智能化管理水平和促进现代农业发展提供技术支持。