

基于图像识别的果园无人机精准喷雾系统研究

严琳 刘勇

广东建设职业技术学院

DOI:10.32629/as.v9i7.4148

[摘要] 在智慧农业的发展过程中,果树植保作业的精细程度直接影响果品产量以及种植效益。为了提高果园喷雾作业的靶向性以及药剂利用率,需要建立融合机器视觉和飞行控制技术的无人机精准喷雾系统,通过多传感融合数据生成变量喷施处方,利用嵌入式控制模块驱动喷头执行差异化施药。从田间试验结果可知,与常规均匀喷雾相比,本系统可以明显减少药液用量,提高雾滴在冠层内的沉积均匀度,作业覆盖效率比人工喷施更高,这一技术路线能够为果园智能化植保装备的更新提供一种可行途径。

[关键词] 图像识别; 果园植保; 精准喷雾

中图分类号: S65 文献标识码: A

Research on a Precision Spraying System for Orchards Using Unmanned Aerial Vehicles Based on Image Recognition

Lin Yan Yong Liu

Guangdong Construction Polytechnic

[Abstract] In the development of smart agriculture, the precision of fruit tree plant protection operations directly impacts fruit yield and cultivation efficiency. To enhance the targeting accuracy of orchard spraying operations and improve pesticide utilization rates, it is essential to establish an Unmanned Aerial Vehicle-based precision spraying system integrating machine vision and flight control technologies. This system generates variable application prescriptions by fusing data from multiple sensors and employs embedded control modules to drive nozzles for targeted pesticide delivery. Field trial results demonstrate that compared with conventional uniform spraying, this system significantly reduces pesticide consumption, improves droplet deposition uniformity within the canopy, and achieves higher operational coverage efficiency than manual spraying. This technological approach provides a viable pathway for upgrading intelligent plant protection equipment in orchards.

[Key words] Image recognition; Orchard plant protection; Precision spraying

引言

无人驾驶的机械简称“无人机”,英文简称UAV,是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的设备,或者由机载计算机完全地或间歇地自主地操作,其中包括无人飞行器、无人车辆、机器狗等。随着计算机视觉技术的不断更新完善,图像识别方法与无人机飞行平台相融合,为果园场景下精准施药提供了帮助。利用视觉传感器实时获取冠层影像,并对目标进行识别,无人机根据果树的位置、冠幅大小和长势不同来调节喷洒量,从而达到节约药剂、防止药液附着的目的。

1 基于图像识别的果园无人机精准喷雾系统特点

1.1 靶标识别

视觉感知模块运行时,机载高清相机按照固定帧率采集冠层影像,数据由嵌入式处理单元进行实时解析^[1]。利用轻量化检

测网络对果树树冠、枝干、病虫害作出多尺度特征提取,在光照变化、枝叶遮挡情况下仍能获得较好的识别准确率。识别输出内容包括目标边界框、分割掩码、置信度这三种信息,其中冠层分割掩码是喷施触发的判断依据。飞行速度与识别帧率存在动态匹配情况,保证每一个果树在视野之内可停留足够时间完成全部特征计算。在实测条件下,单帧检测时间不到毫秒级,冠层定位误差控制在厘米级以内,为精准施药提供可靠的坐标空间基础。

1.2 变量喷施

药剂施用系统以图像识别得到的冠层参数为依据,对喷头开度和泵压进行动态调节。冠幅宽大、枝叶茂密的果树施药量较高,幼树或者间隙处会自动减小流量或者关闭喷头,每组喷嘴均设置独立的控制通道,可实现单侧、定点以及分级等多种喷洒

方式的切换^[2]。药液经过离心雾化后变成粒径相近的雾滴,由旋翼下压气流穿过冠层间隙,粘附在叶片的正面和背面。流量调节响应时间小于100毫秒,配合飞行速度实时补偿防止重喷、漏喷,从田间对比结果可知,该模式下的单位面积药剂消耗量比常规作业减少一半以上^[3]。

1.3 自主作业

飞行作业阶段将RTK定位数据和视觉感知结果结合,确保航线规划闭环。地面站预先输入果园边界和障碍物信息之后,飞控模块自动产生环绕式或者行扫式作业路径,飞行高度随着树冠顶部轮廓的变化而变化。作业途中出现电线杆、拉线等障碍物时,广域视觉系统立刻执行探测和绕障决策,不需要人工干预便可以维持原来的航线^[4]。整套作业流程从起飞、喷洒到返航降落实现全自主运行,操作人员仅需完成任务参数设置和现场安全监护即可,单架次续航覆盖面积与果园种植密度有关,连片密植园可连续几十亩地不间断作业。该特点大幅度降低了操作人员的操作技能要求,并且提高了复杂地形果园作业的适应性。

2 基于图像识别的果园无人机精准喷雾系统架构

2.1 感知层硬件组成

感知层处在整个系统的前端,主要负责对果园环境、作物状态等原始数据进行采集。硬件阵列由可见光相机、多光谱成像单元、激光雷达、RTK定位模块四个部分构成,这些器件安装在机身下方减振云台之上,防止飞行时震动造成成像失真^[5]。可见光相机使用全局快门,帧率不小于30帧每秒,分辨率大于千万像素,可得到冠层轮廓纹理、色彩特征,多光谱单元采集近红外、红边波段数据,判断作物生长状况及受害情况,激光雷达获取树冠三维点云信息,为单目视觉提供深度感知的补充,为目标定位提供地理基准。四类传感数据使用时间戳实现同步,保证同一采样时刻下多源信息逐一对应,为后续的融合处理打下数据基础。

2.2 决策层算法架构

影像数据汇入机载处理单元之后,决策层便开始执行预处理、目标检测、参数映射、处方生成工作^[6]。预处理阶段清除原始图像中的噪声,矫正畸变,归一化色彩,减弱果园复杂的光照造成的图像质量变化,目标检测环节使用轻量级的卷积神经网络,主干网络提取多尺度特征之后,检测端输出树冠边界框和实例分割掩码,识别出病虫害斑、杂草等次级靶标,检测结果使用坐标变换映射到机体坐标系,根据激光雷达得到的冠层深度信息,计算每棵果树的冠幅体积和叶面积指数,参数映射模块根据预先设定的施药模型,将冠层参数转换成对应位置的喷头流量和喷洒时间,最终得到逐点的喷施处方数据。整个算法在嵌入式AI加速单元中执行,端到端的总延迟小于100ms,能够满足实时飞行作业的要求。

2.3 执行层控制逻辑

喷施指令下达后,执行层运用分布式控制架构将喷洒动作和飞行动作协同在一起。喷洒执行回路由药箱、无刷水泵、流

量传感器、电磁阀以及离心喷头串联而成,每组喷头单独设置调速单元,可实现单路流量从零到额定值的连续调节。飞控子系统接收到决策层给出的高度和航速修正信号之后,会依照设定的飞行轨迹调节旋翼转速,从而达到保持固定飞行高度的目的,飞行高度随着树冠顶部轮廓的起伏而变化,但是喷头与冠层之间的相对距离始终处于最佳范围内。喷洒控制和飞行控制形成闭环联动,机体在避障或者转向过程中出现速度波动时,流量控制器会自动调节喷量,补偿单位面积受药量的偏差。作业时的流量计、压力传感器不断将工作参数反馈至系统,一旦出现堵塞或者泄漏异常,系统立刻发出报警并停止喷洒,避免药害事故的发生。

2.4 地面站交互系统

地面控制终端具有任务规划和状态监控两种功能,是操作人员和无人机系统之间的接口。任务规划模块可实现电子围栏绘制、障碍物标记、作业参数设置等功能,导入果园高清图之后,软件自动生成最优作业航线并模拟飞行路径。作业实施阶段,地面站实时获取无人机回传的飞行姿态、剩余药量、已作业面积和识别统计数据,并将这些数据通过界面进行显示,同时第一视角的画面也会被现场人员观察到^[7]。数据管理模块自动将每一次作业的飞行轨迹、喷施量分布、靶标识别统计等各方面的信息进行归档,供以后溯源分析和作业效果评价使用。终端和无人机之间使用数传电台和图传链路双通道通信,传输距离可达千米以上,可满足连片果园的作业通信需求。整套地面软件能够兼容平板和笔记本等各种设备的形态,户外使用比较方便。

3 基于图像识别的果园无人机精准喷雾系统应用

3.1 金桔园病虫害防治减药增效显著

南方丘陵区柑橘类果园树冠低矮密集、种植地块零散,传统的人工喷施很难保证每株果树受药均匀。图像识别无人机精准喷雾系统投入使用之后,机载视觉模块会实时对每棵树的冠幅轮廓展开识别,按照树冠大小来决定喷药量,行间空地就会自动关闭喷头^[8]。比如,在广西柳州市融安县河勒村万亩金桔园中,极目J160农业无人机配置变量喷洒系统,在金桔树冠上飘逸盘旋,细密雾状药液均匀落在叶面和果实上,单架次作业覆盖面积远大于人工背负式喷雾器。无人机飞防模式下的农药用量比常规方式少三成以上,雾滴穿透冠层的能力比常规方式更强,病虫害防治效果达到预期标准。该技术的推广应用为融安金桔产业绿色化升级提供装备支持,也为南方丘陵果园智能化改造积累经验。

3.2 苹果园春季清园喷施防治质量提升

北方落叶果树春季管护时期,清园喷施直接影响到全年的病虫害基数控制情况。图像识别精准喷雾系统对苹果树形作出专门的适应性设计,利用冠层三维识别区分主干、主枝以及结果枝组,在枝芽密集的区域增加喷量,在光秃的区域减少药剂覆盖。比如,辽宁瓦房店市许屯镇的苹果生产基地采用该类设备之后,操作人员提前设定飞行路线和喷洒参数,无人机自动进行全

园喷施作业,做到树梢到树底无死角。无人机作业不受行距限制,明显提高树冠顶部的药液沉积率,防止由于高处枝条防治不到位而造成的病虫害复发。春季清园后虫口密度监测结果表明,使用精准飞防的果园虫口基数比对照区更低,后期生长季用药次数也更少,防治效果得到种植户认可。

3.3 白柚基地飞防作业管护效率跃升

山地果园日常植保作业中由于地形起伏、道路不畅等原因一直影响着作业效率的提高。图像识别无人机系统具有自主避障、地形跟随的功能,无需平整的作业便道就可以进行飞防作业,特别适合于坡地种植的柚类果园。比如,湖北巴东县金果坪乡龙王河白柚基地采用两架植保无人机对杀虫、防病、叶面施肥进行综合防治,飞行时间不到2个小时便完成了整个过程^[9]。根据农技人员的测算得知,同样的面积下,人工喷施需要数日的多人工作才能完成,而无人机作业效率可提高几十倍。在药剂使用上,低空雾化施药使药剂附着力增强、渗透更均匀,单位面积药液消耗量降低三成到四成,节水省药效果一目了然。这套模式的实施,为山区特色果业高效管护提供了一个可以模仿的技术途径。

3.4 核桃园规模化管护标准水平提高

规模化种植的林果产业带,统防统治的标准化程度影响产区整体产出效益。图像识别精准喷雾系统与统防统治服务模式相融合之后,可以完成大面积核桃林的同质化精准作业,防止不同的操作人员造成的施药差别。比如,新疆阿克苏地区库木巴什乡核桃种植基地,多架植保无人机在连片的核桃林上方匀速飞过,喷洒出来的药液准确地落在了枝叶、幼果表面^[10]。以往依托拖拉机和人工进行管护的方式,作业速度慢,碾压植株、地头转弯不方便等弊端。无人机作业完全克服了这些限制,统一参数、统一航线的标准化飞防使各个乡镇林果管护的规范程度大幅度提高,核桃果实的外观品质和商品率得到了改善。

4 结论

综上所述,图像识别技术与无人机植保平台的结合,为果园精准施药开拓了一条新路径,实现了减药增效、提高作业效率、改善防治质量。由于传感器硬件成本不断降低以及算法模型不断改进,该类系统适用的场景会越来越广泛,可以应用于更多的果树种类和种植方式。后续发展过程中,多机协同作业与云端数

据管理的融合,可促使果园植保向着愈加智能、高效的方面发展,为智慧果业高质量发展提供持久的技术支持。

[基金项目]

清远市科技智库专项课题资助(课题编号:QYZKGJ-2025-15);课题《人工智能物联网实训平台软硬件研发》研究成果(粤建院ZD2025-02);课题《基于冰山理论的高职新工科人才职业核心素养培养模式探究与实践》研究成果(粤建院科〔2024〕100号)。

[参考文献]

- [1]杨小梅.智能植保无人机关键技术及实践应用探究[J].数字农业与智能农机,2025,(11):17-20.
- [2]宋飞.植保无人机在果树栽培中的应用[J].现代农业科技,2025,(13):147-150+156.
- [3]罗宝仙.无人机喷施保果素对油茶产量的效果评价[J].林业勘察设计,2025,45(1):64-66.
- [4]蒋金成,刘赵玉,王沛,等.植保无人机精细施药关键技术[J].植物医学,2024,3(4):72-79.
- [5]张峰滋,王菊霞,付夏晖,等.果园新型喷雾技术研究现状[J].当代农机,2024,(6):86-87.
- [6]孙立众.无人机在果园植保中的喷雾覆盖效果与优化策略[J].农业工程技术,2024,44(17):32-33.
- [7]孙鹏,冯俊青,邱林江.植保无人机精准喷施方法研究综述[J].安徽农业科学,2024,52(10):1-5+10.
- [8]边海生.农业植保无人机低量喷雾系统试验研究[J].农机科技推广,2024,(4):43-45.
- [9]张亚莉,白禄超,陈鹏超,等.无人机作业参数对苹果树雾滴沉积分布的影响[J].农机化研究,2024,46(4):183-187.
- [10]于冠楠.植保无人机低容量喷雾技术助力农药减量增效[J].农业工程技术,2023,43(17):52-53.

作者简介:

严琳(1988—),女,汉族,江西赣州人,讲师,硕士,研究方向:智能电子产品设计和职业教育研究。

刘勇(1974—),男,汉族,湖北武汉人,职称:副教授,本科,研究方向:物联网技术。