

# 基于空天地一体化架构的智能采收系统设计与实现

张健华<sup>1</sup> 刘杭灌<sup>1</sup> 邵佳源<sup>1</sup> 郭晓杨<sup>2</sup> 凌健彬<sup>1</sup> 刘颖欣<sup>2\*</sup>

1 广东理工职业学院机器人学院

2 广东理工职业学院人工智能学院

DOI:10.32629/acair.v4i1.19350

**[摘要]** 针对南方特色果树在采收环节长期存在的人工依赖程度高、作业效率低、果实损伤率大等问题,本文以荔枝采收为研究对象,构建了一种基于空天地一体化架构的智能采收系统。系统以无人机空中感知、云端智能决策与地面采收机器人协同作业为核心,通过构建果园全局感知模型与采收任务闭环控制机制,实现果实采收过程的智能化与自动化。文章围绕系统总体结构、工作流程、控制与决策逻辑以及系统实现效果进行详细阐述。研究表明,该系统能够有效适应复杂果园环境,在保障果实品质的前提下显著提升采收效率,为特色果蔬采收环节的智能化升级提供了一种可行的技术方案。

**[关键词]** 空天地一体化; 智能采收; 农业机器人; 智慧农业; 多模态感知

**中图分类号:** TN915.5 **文献标识码:** A

## Design and Implementation of Intelligent Harvesting System Based on Space-Ground-Air Integrated Architecture

Jianhua Zhang<sup>1</sup> Hangguan Liu<sup>1</sup> Jiayuan Shao<sup>1</sup> Xiaoyang Guo<sup>2</sup> Jianbin Ling<sup>1</sup> Yingxin Liu<sup>2\*</sup>

1 Robot Institute, Guangdong Polytechnic University,

2 School of Artificial Intelligence, Guangdong Polytechnic University

**[Abstract]** Addressing the long-standing issues of high labor dependency, low operational efficiency, and high fruit damage rates in the harvesting process of southern specialty fruit trees, this paper takes lychee harvesting as the research object and constructs an intelligent harvesting system based on an integrated air-ground-space architecture. The system, with drone aerial perception, cloud-based intelligent decision-making, and ground harvesting robot collaborative operations as its core, achieves intelligence and automation in the fruit harvesting process by constructing an orchard global perception model and a closed-loop control mechanism for harvesting tasks. The article elaborates on the overall system structure, workflow, control and decision-making logic, as well as the system's implementation effects. The research results show that the system can effectively adapt to complex orchard environments, significantly improving harvesting efficiency while ensuring fruit quality, providing a feasible technical solution for the intelligent upgrade of the harvesting process of specialty fruits and vegetables.

**[Key words]** integrated air-ground-space; intelligent harvesting; agricultural robot; smart agriculture; multimodal perception

### 1 引言

随着智慧农业和农业机器人技术的快速发展,利用信息化与自动化手段提升农业生产效率已成为现代农业的重要发展方向<sup>[1]</sup>。荔枝作为我国南方地区典型的高价值特色果树作物,其采收环节对人工依赖程度高、作业强度大、时间窗口集中,已成为制约产业规模化与高质量发展的关键瓶颈<sup>[2]</sup>。

传统人工采收方式不仅劳动强度大,而且受采收人员经验差异影响明显,难以保证果实采收质量的一致性<sup>[3-4]</sup>。近年来,

国内外学者在果实识别、采摘机器人及农业自动化装备等方面开展了大量研究,但多数研究集中于单一地面采摘设备或局部视觉识别算法,缺乏对复杂果园环境下全局感知与多设备协同作业的系统性研究<sup>[5]</sup>。

针对荔枝果园普遍存在的地形复杂、树冠遮挡严重、光照变化剧烈等特点,单一地面感知与执行设备难以稳定完成采收任务。为此,本文引入空天地一体化系统设计思想,将无人机空中感知、云端智能决策与地面采收机器人执行相结合,构建一套

面向荔枝采收场景的智能采收系统,实现采收任务的全局感知、智能规划与精准执行。

## 2 空地一体化智能采收系统设计

### 2.1 系统总体结构

空地一体化智能采收系统采用模块化结构设计,主要由空中感知单元、云端决策单元和地面执行单元三部分组成。系统总体结构如图1所示,体现了典型的“感知—决策—执行”分层协同架构。

空中感知单元以多旋翼无人机为载体,搭载可见光视觉传感器,用于对果园环境与果实状态进行周期性巡检;云端决策单元作为系统控制中枢,负责多源数据融合、采收任务规划及多机器人协同调度;地面执行单元由自主移动采收机器人构成,完成果实的定位、抓取与采收作业。各模块通过无线通信方式实现信息交互与联动控制。



图1 智能采摘系统结构图

### 2.2 系统工作流程

图2所示为空地一体化智能采收系统的整体工作流程。系统启动后,首先由无人机对果园进行全覆盖巡航,采集果实图像及环境信息,并上传至云端平台。云端系统对采集数据进行分析处理,生成果实空间分布与成熟度信息,并据此制定采收任务与作业顺序。

采收任务下发后,地面采收机器人依据指令自主导航至目标区域,通过视觉识别与机械臂协同完成果实采收。采收过程中,系统实时监控执行状态,并将关键数据回传至云端,用于后续任务调整与系统优化,形成完整的闭环控制流程。

### 3 控制逻辑设计与决策机制

为实现空地一体化智能采收系统中各功能单元的协同运行,系统以云端控制平台作为核心决策与调度单元,对空中感知设备、地面采收机器人及相关传感器信息进行集中管理与逻辑控制。整体控制逻辑围绕果园巡检、任务规划、机器人导航与

采收执行等关键作业流程展开,涵盖信息采集、任务下发与状态反馈三大功能环节。



图2 系统工作流程

图3所示为空地一体化智能采收系统的控制对象与信息交互关系示意。系统主要包含三类核心控制对象:空中无人机感知单元、云端智能决策单元以及地面采收机器人执行单元。输入信息主要包括无人机采集的果实图像数据、环境状态信息以及采收机器人运行状态反馈等,例如“果实识别结果”“机器人位姿状态”“采收执行成功标志”等;输出控制信息则包括巡检指令、采收任务分配指令以及机器人运动与采收动作控制指令等。各类控制与反馈信号采用统一的数据结构与逻辑状态进行管理,通过无线通信方式实现双向交互,确保系统在复杂果园环境下能够实现信息传输清晰、控制逻辑一致和响应过程可控,从而支撑采收任务的稳定、高效执行。



图3 系统信息交互关系示意图

## 4 系统运行模型构建与信息交互验证

为实现空地一体化智能采收系统的协同运行验证与信息闭环映射,本文构建了面向采收作业流程的系统级运行模型,对空中感知、云端决策与地面执行等关键环节进行统一建模与联动验证。该模型不仅对无人机巡检、采收机器人作业路径及果实采摘过程进行了流程级还原,还实现了各功能单元之间的信息交互与状态同步,为系统运行逻辑验证与性能分析提供了可

视觉支撑。在系统建模阶段,首先依据实际果园作业场景,对无人机巡航区域、果树分布结构、果实目标以及地面采收机器人作业区域进行了场景建模与功能划分。结合采收作业流程,对无人机巡检路径、果实识别与定位逻辑、采收机器人导航路径及采摘动作顺序进行逐项定义,实现“巡检—识别—规划—执行—回传”的作业流程级还原。

在信息交互配置方面,系统对空中感知数据、云端决策结果与地面执行状态进行统一管理并绑定。无人机采集的果实图像与环境信息经处理后上传至云端平台,用于生成果实空间分布与成熟度判断结果;采收任务规划信息通过无线通信方式下发至地面采收机器人,驱动其完成自主导航与采摘动作。同时,采收过程中产生的执行状态、采摘结果及异常信息实时回传至云端,实现感知、决策与执行之间的双向信息驱动。

此外,系统还引入了异常状态监测与仿真验证机制。当出现采收失败、通信中断或机器人运行异常等情况时,系统将自动触发状态标识与异常提示,并在运行界面中以可视化方式呈现,辅助对系统运行流程、控制策略及协同机制进行分析与优化,从而验证空地一体化智能采收系统在复杂作业环境下的可靠性与可控性。



图4 空地一体化智能采收系统

## 5 结语

本文围绕空地一体化智能采收系统在复杂果园环境下的应用需求,聚焦于“空地协同、信息闭环、流程驱动”的系统构建目标,综合利用空中无人机感知、云端智能决策与地面采收机器人执行等关键技术,完成了从作业场景建模到系统级协同运行验证的整体设计与实现。系统以果园采收流程为主线,对空中巡检、果实识别、任务规划与采收执行等核心环节进行了统一建模与联动控制,实现了感知、决策与执行之间的信息映射与协同运行。

通过对无人机巡检路径、果实识别逻辑、采收任务分配以及机器人采摘动作流程的系统梳理,本文构建了清晰的作业流

程模型与控制逻辑框架,形成了覆盖采收全过程的感知数据、决策指令与执行状态交互体系。在此基础上,完成了系统运行模型构建、信息交互配置与异常状态验证,并通过运行界面对系统协同机制进行了可视化展示与分析,验证了空地一体化智能采收系统在复杂作业环境下的可行性、稳定性与可控性。研究结果为特色果蔬采收环节的智能化与系统化实施提供了有益参考,也为后续系统功能扩展与工程化应用奠定了基础。

## [基金项目]

中国成人教育协会成人继续教育科研规划课题,多智能体技术驱动广东开放教育智能教学发展的路径研究(项目编号:2025-0243Y);广东开放大学(广东理工职业学院)2025年度校级科研项目;终身教育体系下基于多模态图学习的学员流失预测与自适应干预研究与应用(项目编号:YB2514);全国高等学校计算机教育研究会课题,基于项目式学习(PBL)的人工智能通识课教学范式探索与实践,(项目编号:CERACU2025R17)。

## [参考文献]

- [1]郭大方,郭晓珂,邱权,等.虚拟仿真技术在农业机器人中的应用现状与展望[J].农业工程学报,1-11[2026-01-27].
- [2]李德宇.基于大数据的农业机械协同定位算法分析[J].南方农机,2026,57(01):71-73.
- [3]张洲,李富忠,张吴平,等.无人机技术在智慧农业中的应用现状和发展趋势[J].中国农机化学报,2026,47(01):192-200.
- [4]杨火才.智能化农机在智慧农业中的推广应用探析[J].农业装备与智能技术,2025,(04):40-43.
- [5]段雨欣.面向智慧农业的软件工程项目管理优化策略[J].中国信息界,2025,(12):51-53.

## 作者简介:

张健华(2006--),男,汉族,广东省梅州市人,专科,项目负责人,深度学习,视觉AI模型训练与AI模型优化及部署。

刘杭灌,广东理工职业学院机器人学院,在校生,研究方向为工业数字孪生系统、AI自规划机器人系统。

邵佳源,广东理工职业学院机器人学院,在校生,研究方向为无人机图像采集与模式识别。

郭晓杨,广东理工职业学院人工智能学院,在校生,研究方向为机器学习与软件开发。

凌健彬,广东理工职业学院工业机器学院,在校生,研究方向为机械设计。

## \*通讯作者:

刘颖欣(2004--),男,汉族,广东省梅州市人,专科,项目负责人,深度学习,视觉AI模型训练与AI模型优化及部署。