

瓜果搬运机器人自主导航技术研究与应用

张守兴, 李昂

海口经济学院, 海南 海口 571127

DOI:10.61369/ME.2026060006

摘 要 : 为有效提升瓜果搬运效率、精度, 本次研究中对瓜果搬运机器人自主导航技术进行研究, 将自主导航技术应用到瓜果搬运机器人中, 能够提升瓜果生产效率、降低劳动成本、提高搬运精度。瓜果搬运机器人自主导航技术主要包括基于多传感器一致性表述的多层次地图构建技术、基于多元感知数据的自主场景理解技术、搬运机器人基于学习的长期自主导航技术。本次研究在校园场景、种植场景应用瓜果搬运机器人自主导航技术, 以此进一步验证瓜果搬运机器人应用自主导航技术的可行性。

关 键 词 : 瓜果搬运机器人; 自主导航技术; 精度

Research and Application of Autonomous Navigation Technology for Fruit and Vegetable Handling Robots

Zhang Shouxing, Li Ang

Haikou University of Economics, Haikou, Hainan 571127

Abstract : To effectively improve the handling efficiency and accuracy of fruits and vegetables, this paper conducts a research on the autonomous navigation technology of fruit and vegetable handling robots. Applying autonomous navigation technology to such robots can boost fruit and vegetable production efficiency, cut labor costs and enhance handling precision. The autonomous navigation technology for fruit and vegetable handling robots mainly covers three parts: multi-layer map construction technology based on consistent representation of multiple sensors, autonomous scene understanding technology based on multi-source perception data, and learning-based long-term autonomous navigation technology for handling robots. In this research, the above autonomous navigation technology is deployed in campus and planting scenarios to further verify its feasibility when applied to fruit and vegetable handling robots.

Keywords : fruit and vegetable handling robot; autonomous navigation technology; precision

引言

智能化、自动化技术在农业生产中的应用, 为农业生产效率的提升创造条件。搬运作为农业瓜果生产过程中的重要环节, 其效果与瓜果生产效率存在直接关系, 传统的人工搬运瓜果的方式效率低下, 难以满足瓜果高效生产的需求。瓜果搬运机器人配合自主导航技术, 实现高效、精准搬运, 不仅大幅提升瓜果搬运的效率、降低人力成本, 还推动农业瓜果生产向智能化、现代化的方向发展, 对于提升瓜果生产效率具有重要意义。

一、瓜果搬运机器人自主导航技术的功能

(一) 提升生产效率

传统瓜果搬运方式以人工为主, 不仅效率低下, 还具有较大的劳动强度。瓜果搬运机器人在自主导航技术的支持下, 能够按照预设或实时规划路径在复杂环境中进行搬运作业, 使搬运时间大幅缩短^[1]。例如人工搬运瓜果效率为100kg/h, 而一台搬运机器人在自主导航技术支持下瓜果搬运效率为500kg/h, 使整体效

率提升4倍。大规模果园使用搬运机器人可实现连续工作, 在自主导航技术的支持下能够快速将采摘瓜果搬运到指定地点, 使瓜果搬运效率得到有效提升。

(二) 降低劳动成本

人工搬运瓜果不仅效率低下、劳动强度大, 还会产生较高的劳动成本, 使用瓜果搬运机器人不仅能实现高效搬运, 还能降低劳动成本。瓜果搬运机器人可连续工作, 减少对大量人工的依赖性^[2]。采用瓜果搬运机器人后, 果园人力成本得到有效降低, 在

减轻果园经营者经济负担的同时，还在一定程度上缓解了现阶段农业劳动力短缺的问题。瓜果采摘高峰期人工成本会大幅上升，而瓜果搬运机器人工作性能稳定，能够有效保证瓜果生产顺利进行，避免因劳动成本上升造成人力不足从而导致瓜果生产损失。

（三）提高搬运精度

瓜果搬运机器人在自主导航技术的支持下实现精准定位、搬运，大幅度降低因人工失误造成瓜果损坏风险。自主导航技术支持机器人精准路径规划、障碍物识别，使机器人在复杂环境中能够安全、稳定运行，有效保障瓜果搬运过程中的质量、完整性。果园中使用瓜果搬运机器人在自主导航技术的支持下，可精确避开树木、沟渠等障碍物，同时准确抓取、放置瓜果，避免瓜果在搬运过程中发生碰撞、挤压，使瓜果的品质得到保障^[9]。

二、瓜果搬运机器人自主导航系统设计

（一）环境感知

瓜果搬运机器人只有在精准感知周边环境的基础上，机器人才能按照果农发出的指令从事各项操作。环境感知层在瓜果搬运机器人的自主导航系统中占据核心地位，依靠物联网传感设备与激光雷达的瓜果转运机器人既能够感知周边环境的实时变化，还可以在紧急情况下启用智能避障装置，避免机器人发生比较严重的结构损坏。搭载自动摄影测量装置与激光雷达的瓜果搬运机器人还能自动识别障碍物、墙壁、货架等物体，在即将触碰这些物体表面时迅速转向。激光雷达探测仪器辅助下的瓜果搬运机器人还具备智能识别物体轮廓的功能，果农可以利用手机 APP 终端跟踪了解搬运机器人的移动路径，这样做可以避免机器人受到严重磕碰而导致损坏，在提升瓜果自动化转运效率的同时改善了机器人所在的作业环境。

（二）实时定位

瓜果搬运机器人在果园的作业空间中，需借助 GPS 实时定位系统感知附近障碍物，因此瓜果搬运机器人的自主导航系统不能缺少实时定位设备。例如，SLAM 算法支撑下的瓜果搬运机器人实时定位传感器能够提取地物的轮廓特征，并通过自动计算得出最优的瓜果转运路径。实时定位装置还可以帮助瓜果搬运机器人修正原有的行走路径，确保机器人始终处于正确的移动路径。基于物联网原理的实时定位装置一旦监测到瓜果转运机器人存在异常位移，则会立即发出报警提示音，通过发出尖锐鸣叫声提醒果农采取应急处置措施。因此，实时定位设备（通常为 GPS 智能定位仪器）应当视为瓜果搬运机器人自动导引系统的核心构成。

（三）路径规划

瓜果搬运机器人的自主导航系统除了具备自动规划路径、智能避障、实时定位等基本功能之外，该系统还可以结合果农提出的瓜果转运要求灵活规划路径。智能机器人在采摘或转运瓜果的过程中，经常会遇到瓜果突然掉落、行人在果树下方行走等突发情况。为避免瓜果转运中突发意外事故，配备自主导航与避障设备的智能机器人就会结合实际情况调整原有的瓜果运输路线，在尽可能缩短瓜果转运时间的基础上确保机器人实现平稳行走。为

达到“柔性”转运瓜果的目的，安装自主导航系统的机器人还会启动人工智能算法，从而在众多的瓜果转运路线中选取最适宜的一类路线。通过采取以上的机器人自主导航设计方案，能够明显节约瓜果转运成本并提升瓜果搬运效率。

三、瓜果搬运机器人自主导航技术的应用要点

（一）基于多传感器一致性表述的多层次地图构建技术

室外场景中搬运机器人感知数据具有多样性，为实现数据一致性表征，框架设计建立在多传感器联合标定、数据关联的基础上。采用拓扑地图模型开展全局环境表述，将拓扑节点场景拓展为多层次地图。采用点云加空间八叉树栅格模型作为数据层，尽管占用存储空间 5GB，但是能够丰富数据，为避障、路径规划提供支持，1000m² 瓜果搬运场景中，机器人避障成功率达到 95%。

基于多元融合数据特征提取的几何表述模型构建特征层，用于位姿估计、目标识别，在不同光照条件下进行的 100 次实验中，瓜果搬运机器人位姿估计误差均值为 0.2m；采用语义地图表述模型形成语义层，对 200 个场景语义分割准确率为 90%。在实际应用中多层次地图构建技术能够根据不同任务需求，对不同层次的地图信息进行快速切换、关联，以此为瓜果搬运机器人自主导航提供支持^[10]。

（二）基于多元感知数据的自主场景理解技术

传感器性能差异导致点云分布不平衡，使用投影变换算法将三维点云转化为图像。采用全卷积神经网络和基于卷积神经网络全连接条件随机场两种深度学习模型开展室外景物识别，全卷积神经网络融合多反卷积层与中间卷积层结果，采用 SoftMax 层分类对 500 张图像测试中对瓜果类物体识别准确率达到 85%。基于卷积神经网络全连接条件随机场模型挖掘深层特征，考虑像素语义关系，相同测试条件下对复杂背景下瓜果类物体识别准确率超过全卷积神经网络。两种模型互补能够使搬运机器人更加精准地识别不同场景下的瓜果、障碍物，为机器人自主决策提供可靠依据。

（三）搬运机器人基于学习的长期自主导航技术

（1）长期鲁棒重定位

长期鲁棒重定位可进一步分为拓扑节点层面全局定位、子地图内的局部精确定位。弱 GPS 环境下全局定位依赖场景识别，利用拓扑结构实现鲁棒全局重定位。局部精确定位利用三维激光扫描并借助背景信息实现场景配准，100 次实验中利用 NDT 技术求解位姿误差均值为 0.15m，并利用语义分割结果对配准精度进行优化。当瓜果搬运机器人长期运行条件的过程中，存在环境变化、信号干扰等问题，在长期鲁棒重定位技术的支持下，瓜果搬运机器人能够快速、准确确定自身位置，以此保证搬运导航的准确性^[11]。

（2）基于强化学习的智能运动规划

在端-端方式学习导航的支持下，输入连续 10 帧 RGB 图像，由机器人第一视角 RGB 图像表示目标位置。对于稀疏奖励问题提出基于内在激励的奖励函数学习法，在 200 次实验中机器人探

索未知区域比例显著提高，避免机器人徘徊在已经过的区域。基于强化学习的智能运动规划使机器人能够根据不同环境、任务需求，自主规划最佳路径，使瓜果搬运机器人的适应性、灵活性得到提升。

四、瓜果搬运机器人自主导航技术的应用场景

（一）校园场景应用

在海口经济学院校园的教学区、生活区等场景使用自主研发的配备三维激光雷达、可见光视觉、红外视觉、IMU 等多种传感器，并搭载车载计算机的搬运机器人进行实验验证。将多元异构感知数据融合、三维环境建模与重构、大范围复杂三维场景多层次地图构建与维护算法的有效性、鲁棒性作为验证重点。表1所示为校园场景应用瓜果搬运机器人自主导航技术相关数据。通过对表1数据进行分析发现，校园场景实验中搬运机器人在教学区、生活区不同地形和环境下，均能精准检测障碍物，并构建高精度三维环境地图。通过融合多元异构感知数据，机器人能够更全面地了解周围环境，使导航的安全性、可靠性得到提高。构建多层次地图、维护算法能够以环境变化为依据及时更新地图信息，以此保证机器人正常运行。GPS技术原理下的自动导引机器人可以精准穿行于致密的树丛，并可以在复杂而崎岖的垄沟当中快速通过。智能机器人可以替代果农完成难度较大的“采摘被树冠或树枝遮挡果实”等操作，利用激光雷达实施自动定位的智能瓜果采摘机器人还具备自动避障的功能，通过灵活躲避田间或树丛内的障碍物避免破坏机器人的结构完整。

表1 校园场景应用瓜果搬运机器人自主导航技术相关数据		
测试项目	测试区域	具体数据
障碍物检测准确率	教学区2000m ² 区域	98%
三维环境建模与重构误差	教学区2000m ² 区域	平均0.3m
多层次地图构建时间	生活区1500m ² 区域	平均每平方米构建时间为2min
地图维护频率	生活区1500m ² 区域	每4h维护一次

2. 种植园场景应用

本次研究选取海南省琼海市共计10个多样化瓜果种植园区作为测试环境，对搬运机器人长期自主导航、复杂动态场景下自主场景理解算法的有效性、可靠性进行测试。表2所示为种植园场景应用相关测试数据。通过对表2数据进行分析发现，种植园场景应用中，搬运机器人在丘陵地形、平原地形、不同种植密度下等不同果园环境中，均能够实现长期自主导航。机器人能够准

确地识别出复杂动态场景下的瓜果类物体，当存在枝叶遮挡的情况下，机器人能够保持较高的识别准确率。当搬运过程中遇到动态障碍物时，机器人能够迅速做出反应并避障，平均避障时间为3s，有效降低碰撞事故发生风险。路径规划平均耗时较短，能够在短时间内快速、准确地规划最佳路径，使搬运效率得到有效提升。传统的瓜果采摘作业模式易受地表崎岖、自然气候变化等因素影响，不利于瓜果采摘的作业效率提升。但是在瓜果搬运机器人的自主导引技术原理下，智能机器人能够取代原有的手工劳动模式，还可以精准识别瓜果所在的位置与高度。复杂气候与地形环境下的自动采摘机器人不仅具备精准定位的功能，其还可以充当瓜果采摘过程中的搬运工：每当瓜果装满容器，智能机器人就会沿着预定路径将其搬运至背阴、避光的仓库内，或者直接将采摘下来的瓜果移动至货物集散点。自动导引机器人在完成以上各项操作后，还能自动返回采摘工人的身旁，重复实施瓜果转运作业。

表2 种植园场景应用相关测试数据		
测试项目	测试园区数量	具体数据
长期自主导航成功率	10个	92%
复杂动态场景下瓜果类物体识别准确率	10个	88%
平均搬运速度	10个（不同园区均值）	搬运400kg/h
应对动态障碍物平均避障时间	10个（不同园区均值）	3s
路径规划平均耗时	10个（不同园区均值）	5min

五、结束语

为瓜果搬运机器人应用自主导航技术，在现代农业生产中展现突出优势，具体表现为能够提升生产效率、降低成本、保障瓜果搬运精准度。自动导引机器人具备智能码垛的功能，这类机器人对采摘完成后的瓜果可以自动转运至指定的仓库地点，还能在瓜果采摘、运输与码垛模式之间实现灵活切换。在物联网控制中心的统一驱动下，智能码垛机器人能够与瓜果采摘机器人展开密切的配合，分别由两种机器人负责完成瓜果装卸、码垛、传送等方面任务。在视觉定位平台的支撑下，自动导引机器人在采摘、转运与存储瓜果全过程中的作业精度可达到毫米级，该模式显著提升了瓜果搬运作业的精准度，在确保瓜果外观完整、质量达标的基础上减轻果农的成本负担。为进一步发挥瓜果搬运机器自主导航技术的作用，在未来的研究中应当持续创新并完善技术、拓展应用场景，以此为农业生产创造更大的价值。

参考文献

[1]杨雪. 移动机器人导航技术的研究进展 [J]. 机器人产业, 2025(02):106-111.
[2]程鹏. 激光导航搬运机器人在煤炭采样中的应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2025(02):95-99.
[3]赵斌, 马帅, 王浩. 基于深度学习的果园机器人场景识别与自主导航 [J]. 机器人, 2023, 45 (03):328-337.
[4]吴子岳, 徐立章, 王臻. 果蔬搬运机器人长期自主定位导航误差补偿方法 [J]. 农业装备与车辆工程, 2024, 62(02):45-50.
[5]李建桥, 许述财, 邹猛. 复杂农田环境下移动机器人多元感知数据处理方法 [J]. 农业工程学报, 2024, 40(07):168-176.