

黄花菜智能采摘机械整体结构与方案研究

梁 祺, 刘 倩, 王 尧, 宗世钰, 张必昕, 孙泽鹏, 安富龙, 吴其奇

银川科技学院 宁夏银川

【摘要】针对黄花菜采收劳动强度大、效率低下、损耗严重问题,本文从模块化设计及人工智能角度出发设计智能采收设备。研究组对黄花菜生物特性以及采收困难进行分析总结,确定功能要求和技术指标,并制定机械总体结构。模块化设计具体到各个功能单元及其连接方式,便于不同部分单独研发并组装在一起使用,提高设备可维修性和通用性。采用大语言模型进行图像识别和目标检测,结合路径规划和运动控制完成精准采摘并且不伤花。该样品试验结果显示,在采收效率、损伤率以及运行稳定性这三个方面都满足要求,可为黄花菜产业智能化转型升级服务。

【关键词】黄花菜; 智能采摘; 机械结构; 模块化设计; 采收装备; AI 大模型

【基金项目】国家级大创项目(202414200003): 科技助农-乡村背景下致力于宁夏地区黄花菜采摘智能机器人

【收稿日期】2026 年 6 月 17 日 **【出刊日期】**2026 年 7 月 13 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20260059

Overall structural design and scheme research of intelligent picking machinery for daylily

Qi Liang, Qian Liu, Yao Wang, Shiyu Zong, Bixin Zhang, Zepeng Sun, Fulong An, Qiqi Wu

Yinchuan University of Science and Technology, Yinchuan, Ningxia

【Abstract】Aiming at the problems of high labor intensity, low efficiency and severe loss in daylily harvesting, this paper designs intelligent harvesting equipment from the perspectives of modular design and artificial intelligence. The research team analyzed and summarized the biological characteristics of daylilies and the difficulties in harvesting, determined the functional requirements and technical indicators, and formulated the overall mechanical structure. Modular design is implemented for each functional unit and their connection modes, which facilitates the independent development and assembly of different components, and improves the maintainability and versatility of the equipment. The large language model is adopted for image recognition and target detection. Combined with path planning and motion control, precise picking is realized without damaging flowers. The prototype test results show that the equipment meets the requirements in terms of harvesting efficiency, damage rate and operation stability, which can support the intelligent transformation and upgrading of the daylily industry.

【Keywords】Daylily; Intelligent picking; Mechanical structure; Modular design; Harvesting equipment; Large AI model

1 绪论

1.1 研究背景与意义

黄花菜是我国特色优质农产品,其采收机械化水平对农民增收和产业长远发展具有重要意义。农村劳动力短缺、人工成本高昂,传统手工采摘已难以满足市场需求。每人每日采收量有限,人工成本占比较高。乡村振兴政策持续推进,劳动力价格上涨要求转变生产方式,同时老龄化导致人力不足。

图像识别与柔性作业等新兴技术为智能化采收奠定了基础。开发智能化设备可实现精准定位与全方位采收,推动特种经济作物种植机械化、规模化,助力特色农业提质增效拓宽农户致富路径^[1]。

1.2 国内外研究现状

目前国内外已有较为成熟的果蔬智能化采摘机械,番茄、草莓、黄瓜等作物的机械化采收已初具规模。基于 YOLO 的目标检测定位精度较高,配合六

轴机器人可较好地完成采收工作。但现有设备多为通用型,而黄花菜花茎细软、花蕾排列杂乱、枝叶相互缠绕,通用机器刚性较大,易造成损伤。文献分析表明,黄花菜专用采摘研究存在不足:相关文献占比较小,且多数研究仅做局部改进,未真正针对黄花菜进行设计^[2]。

1.3 研究目标与内容

研究目标:针对黄花菜采摘机械化程度低、效率低、损伤率高的问题,以大规模露天种植为基础,研制基于模块化理念及人工智能图像识别技术的专用自动化采摘机器人,实现花蕾识别、无损采摘与自动收集。提高效率三倍以上,降低人工成本,使采收成功率达到较高水平,损伤率控制在很低范围内。

研究内容:采用“基础理论—新工艺—试验验证”的技术路径。采收方式为仅选取即将开放而未开放的花蕾。依据相关标准及田间实际,确定行走轨迹、采摘轨迹与花蕾保护原则。行走机构采用小型履带底盘,适应软土地作业;视觉感知采用 AI 算法与高像素工业相机,优化图像处理以应对遮挡与强光;采摘执行部分设计“柔软夹取+精细切割”机构,使用硅胶材质与微型刀片;收集部分配置柔软传送带与透气集花框。电气控制系统以 PLC 为主控,形成“视觉检测—位置反馈—执行—采摘—运输”闭合回路,确保末端执行器具有较高的柔性^[3]。

2 黄花菜采摘特性分析

2.1 黄花菜生物学特性

黄花菜植株高度适中,花梗纤细,花蕾尺寸较小。花蕾呈螺旋状着生在花茎上,每株数量较多,且发育程度不一致。田间栽植密度较大,行距与株距均较小。花蕾含水量较高,花梗具有一定的弹性模量和剪切断裂强度,整体结构较为脆弱。

2.2 黄花菜采摘难点分析

花茎直径很小,含水量高,抗张强度低,采用刚性抓取方式极易导致花茎折断。瞬时切削力需要控制在极低水平。工作环境中植株密集,叶片覆盖率高,视觉遮挡严重。主要存在组织适应性差、传感器稳定性不足、抓取精度不理想、环境复杂度高等问题^[4]。一般机器人在密集环境中难以实现高效采摘。因此,采摘机构需要具备自适应柔顺抓取、多色识别能力以及毫秒级响应速度。

2.3 采摘需求与技术指标

采摘系统需要达到毫米级的定位精度。最佳采摘时间集中在清晨至午前。技术要求包括切割面平滑、花蕾损伤率控制在很低的范围内,并采用柔软材料进行高速剪切。还需对机械臂进行动力学仿真,避免作业时伤害附近花茎,保障后续产量^[5]。

2.4 现有采摘方式对比

人工采摘效率较低,每人每天采收量有限,且花蕾损伤率较高。半机械化方式虽可提升一定效率,但花梗折断率和误摘小苗率均处于较高水平。通用果蔬采摘机识别误差大,采摘率偏低,对作物造成的损伤比例也较大。现有方法均难以满足产业化需求,因此开发专用自动化采摘设备十分迫切。

3 智能采摘机械总体方案设计

设计以高效、模块化、低损为原则,在“感知识别—准确控制—连续工作”的基础上进行改进。提高图像识别效率,让行走速度与采摘动作协调一致;利用重力作用下的弹性皮带来实现较近距离运输。整个设备分为五部分,用标准接口连接。使用柔软硅胶夹具以及细小精确剪刀,由 PLC 闭环控制以免发生碰撞等造成伤害^[6]。

机械系统整体结构由行走、视觉、采摘、传输组成。行走部分使用履带底盘以及直流减速电机,用 PID 调节速度;视觉部分以单片机为核心,利用坐标变换来判断花蕾的位置,位置偏差较小;采摘部分为柔性的夹具以及小型剪刀;传输部分为防滑带以及重力的作用。PLC 完成感知、决策、执行三者之间的协调工作。

关键技术路线上,在感知上结合了深度学习以及多光谱传感器,用 CNN 提取特征然后经过 SVM 进行分类,可以达到较高的空间定位精度。而在执行方面使用了气动柔软夹具以及引导切割,压力传感器自动调整抓取力。

4 机械结构详细设计

从应用上看,给出了花蕾的质量、成熟度以及含水量等具体参数要求,提出了破损率低、采摘速度快、识别准确率高目标(相较于人工采摘,前者采摘速度较慢、破损率较高)。使用 CNN 和 YOLOv8 进行定位,运用有限元及多体动力学仿真优化,模块化的设计大大提高了商品率。

机架及支撑部分经过拓扑优化以及有限元计算,得到较好的结果,减轻了一定的质量,主要是用航空铝制作而成,具有很高的比强度,采用仿形履带

底盘, 接地比压低, 不易陷入土壤中, 橡胶减震器可以很好地吸收来自地面的震动, 框架的高度可以调节, 以适应不同的作物高度, 结构的第一阶固有频率远远大于机器受到的激励频率, 工作稳定, 在大角度的坡地上也能正常运行^[7]。

末端执行器根据多体动力学以及接触力学进行设计, 采用硅胶复合材料夹爪, 最优抓取力度较小以免压破花蕾, 由伺服电机闭环控制剪切距离以达到精准控制的目的, 非线性弹簧阻尼器可以吸收大部分冲击能从而大大降低采摘时的冲击力, 在实验中发现花蕾破损率很低, 采摘率很高, 完全满足黄花菜精细采的要求。

5 模块化设计实现

将系统划分为行走、视觉、采摘、运输、电控五个部分, 每个部分间有标准接口进行连接, 可以同时进行开发并且可以自由搭配使用。行走部分是履带底盘, 可以调节速度, 有热插拔接口方便在田地中随时更换^[8]。视觉部分利用深度学习识别成熟的花苞, 并且能够准确定位到毫米级别。采摘部分用柔性的手指以及力传感器配合电磁刀片来剪切, 对花苞造成的伤害几乎为零。运输部分有变速功能避免花苞堆叠在一起。电控采用 PLC 作为主控单元, 通过总线通讯进行协调工作, 在田间测试证明模块化使得整个系统的可靠性更高。

装配是分层次进行, 在连接部位有较高精度要求, 快速插拔接口不需要任何工具就可以拆卸主要部件, 减少了维修时间。自诊断可以监测到主要部件磨损并且发出警告信号, 从实践中看, 设备故障率下降, 节约大量维修费用。

6 AI 大模型在采摘中的应用

6.1 图像识别与目标检测

使用卷积神经网络 CNN, 加入注意力机制以及多尺度融合, 同时自适应地对图像进行直方图均衡处理, 使得在弱光或者逆光情况下也能取得较高的识别准确率。对于目标检测与定位, 采用混合式目标检测实现成熟花检测以及其三维位置获取, 利用双目立体视觉加上激光测距得到较精确的空间定位结果, 通过 PID 闭环控制的方式使定位精度达到毫米量级, 帧率满足实时作业需求, 在较低行走速度下仍具有很好的鲁棒性, 在田间实验中花的位置定位准确, 位移的标准差很小。

6.2 路径规划与模型优化

对于路径规划及运动控制, 在路径规划与运动控制中使用基于深度强化学习在线最优路径规划与自适应 PID 相结合的方法, 在地图上计算最优采摘顺序, 用模糊逻辑判断作物间距, 采用模糊自整定 PID 纠正路径偏差, 同时加入阻抗控制调整压力以及剪切速率。可通过实时学习的能力, 可以针对新采集到的数据对网络进行更新从而更好地识别不同的黄花菜。

7 结论与展望

本文通过对黄花菜智能采摘机械的研究开发, 在理论上和样机模拟上都取得一定成果, 提出“结构设计—智能感知—精准作业”的设计理念, 在此之上开发出一种可拆卸式的智能装备: 使用履带作为移动方式、基于深度学习进行定位、具有柔性的抓取装置(硅胶抓握及微型切割, 损伤小)以及 PLC 联合控制等。利用多目标优化以及有限元的方法, 使得机器人的重量大幅减轻并且具有良好的动力学特性, 从而获得较高的采摘率, 工作效率超过人工。模块化的设计大幅度降低了维护费用并且提高运行可靠性, 配套多光谱图像增强算法解决田间强光、枝叶遮挡识别难题。本研究弥补黄花菜专用采摘机械研究不足, 在此基础上利用 AI 大模型优化以及强化学习进行路径规划, 在复杂环境中完成精准作业对于促进我国农业现代化具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 岳鹏飞. 农业采摘机器人机械臂结构设计及研究[J]. 南方农机, 2022, 53(22): 42-43+62.
- [2] 胡宏康. 剪式采摘机械臂的设计及动力学分析[D]. 指导教师: 胡文华; 刘彦琦. 天津理工大学, 2023.
- [3] 赵骥. 串并联番茄采摘机械臂结构设计及研究[D]. 导师: 李慧琴、杨连云; 河南农业大学, 2023.
- [4] 张志红. 农业采摘机器人机械手结构设计[J]. 南方农机, 2023, 54(10): 19-21.
- [5] 吴丽源、潘文杰、黄友霞、周菁. 一种智能水果采摘机械手的设计与实现[J]. 南方农机, 2021, 52(07): 82-83.
- [6] 杨润芝. 黄花菜生物学特性及其利用[J]. 河南农业, 2018, (28): 13.
- [7] 方正. 七自由度番茄采摘机械手智能避障运动规划及控

制的研究[D].指导教师:梁喜凤.中国计量大学,2022.

- [8] 祝前峰,陆荣鑑,鲁峻,李奉顺.草莓采摘机械研究现状与发展趋势[J].农业科技与装备,2021,(05):62-64.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS