

引用本文格式 刘胤池, 程旭, 芦天罡, 等. 农业机器人技术发展现状及趋势[J]. 农业工程, 2025, 15(6): 14-18. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202506303. LIU Yinchí, CHENG Xu, LU Tiāngāng, et al. Development status and trend of agricultural robotic technology[J]. Agricultural Engineering, 2025, 15(6): 14-18.

农业机器人技术发展现状及趋势

刘胤池, 程旭, 芦天罡, 梁建平, 郭嘉, 何继源, 唐朝, 杨莹莹

(北京市数字农业农村促进中心, 北京 101117)

摘要: 农业机器人作为现代农业的重要支撑, 在提高农业生产效率、质量和可持续性方面具有巨大潜力。总结农业机器人技术发展现状、应用领域、关键技术, 探讨农业机器人发展所面临的挑战及未来发展趋势, 旨在为农业机器人技术的进一步研究应用提供参考。

关键词: 农业机器人; 现代农业; 智能农机

中图分类号: S24 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2025)06-0014-05

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202506303

Development status and trend of agricultural robotic technology

LIU Yinchí, CHENG Xu, LU Tiāngāng, LIANG Jianping, GUO Jia, HE Jiyuan, TANG Zhao, YANG Yingying

(Beijing Digital Agriculture Rural Promotion Center, Beijing 101117, China)

Abstract: Agricultural robots, as an important support for modern agriculture, have great potential to improve agricultural production efficiency, quality, and sustainability. Current development status, application areas, and key technologies of agricultural robotic technologies were summarized, and challenges and future development trends faced by agricultural robotic development were explored. The aim was to provide reference for further research and application of agricultural robotics technology.

Keywords: agricultural robots, modern agriculture, intelligent agricultural machinery

0 引言

随着科技飞速发展, 农业领域正经历深刻变革。农业机器人技术的兴起为解决农业生产问题提供新途径, 可以替代人工完成重复性繁重劳动, 提高生产效率, 降低生产成本, 同时提升农产品质量和标准化程度。近年来, 农业机器人技术在全球范围内得到广泛关注, 成为农业现代化重要标志之一。

1 农业机器人发展历程

20世纪中叶, 工业机器人技术初步发展, 研究人员尝试将机器人技术引入农业领域^[1]。该时期农业机器人主要处于概念探索和实验研究阶段, 功能相对简单, 多为基于机械原理的自动化设备, 用于执行基础农业操作, 如农作物播种、灌溉等, 但应用范围有限, 技术成熟度较低^[2]。

20世纪80年代至21世纪初, 计算机技术、传感

器技术和控制技术不断进步, 农业机器人技术也取得显著发展。农业机器人智能化水平逐渐提高, 可完成如农作物采摘、田间除草、作物病虫害监测等复杂任务^[3]。同时, 农业机器人种类日益丰富, 开始针对不同农作物和农业生产环节进行设计和开发。这一阶段, 一些发达国家率先开展大规模农业机器人研发项目, 并在部分农业生产中进行试点应用^[4]。

近年来, 人工智能、大数据、物联网等新兴技术的蓬勃发展, 促使农业机器人技术也进入快速发展新时期。农业机器人在感知、决策和执行能力方面实现质的飞跃, 可以更加精准地适应复杂多变的农业生产环境, 完成更加精细化农业作业任务。如基于深度学习的图像识别技术使农业机器人能准确识别农作物品种、生长状态和病虫害情况, 进而实现精量施肥、喷药和采摘操作。同时, 农业机器人应用范围不断扩大, 从种植业延伸到养殖业、农产品加工等多个领域, 形成较为完整的农业机器人产业链^[5-6]。

收稿日期: 2024-10-22 修回日期: 2025-01-10

作者简介: 刘胤池, 硕士, 助理工程师, 主要从事农业信息化推广工作 E-mail: liuyinchi@nynj.beijing.gov.cn
程旭, 通信作者, 工程师, 主要从事农业信息化推广工作 E-mail: chengxu@nynj.beijing.gov.cn

在线投稿
www.d1ae.com

2 农业机器人分类

根据应用领域不同,可将农业机器人分为3类。第1类种植机器人,主要针对设施和大田播种、灌溉、采摘等;第2类养殖机器人,主要应用于设施场景的畜禽和渔业养殖;第3类农产品加工机器人,主要用于农产品分拣和质量检测^[7-12]。农业机器人分类与功能如表1所示。

3 农业机器人关键技术

3.1 感知技术

3.1.1 机器视觉

机器视觉是农业机器人获取环境信息和识别目标物体的重要手段。通过摄像头等视觉传感器采集图像,利用图像处理算法和深度学习技术对图像进行分析和理解,识别农作物生长状态、病虫害情况、果实成熟度等^[13]。如基于卷积神经网络图像识别算法的农业机器人可准确识别出不同品种水果,判断成熟度是否可采摘^[14]。柳长源等^[15]基于深度图像提出基于果实形态特征的果实识别方法,利用各像素点梯度向量筛选果实中心点,再以果实中心点搜索果实边界点,平均识别准确率达84.8%。

3.1.2 传感器技术

传感器包括温度传感器、湿度传感器、压力传感器、光照传感器和气体传感器等,用于实时监测农业生产环境中物理和化学参数^[16]。这些传感器为农业机器人提供丰富的环境信息,使其能够根据环境变化做出相应决策和动作^[17]。HUANG M S等^[18]比较传统方

法和3种简化方法(弯曲、扭曲和提升)的采摘力和运动,研发3个力传感器和1个惯性测量单元传感系统来测量拾取力和运动,采摘末端执行器评估表明,弯曲采摘运动取得最佳性能。

3.2 导航与定位技术

3.2.1 卫星定位

北斗卫星导航系统、全球定位系统、伽利略卫星导航系统等是当前农业机器人室外作业中广泛应用的定位技术,可以为机器人提供精确地理位置信息^[19]。通过卫星定位,农业机器人可以在设施、农田按照预设路径进行播种、施肥、收获等作业^[20]。同时,结合差分技术和惯性导航系统,可以进一步提高定位精度,确保机器人在复杂的农田环境中准确行驶^[21]。

3.2.2 视觉导航

视觉导航利用机器视觉技术识别农田地标、作物行等特征信息,实现农业机器人自主导航^[22]。视觉导航具有成本低、适应性强等优点,但在复杂环境下可靠性和精度有待进一步提高^[23]。杨圣语等^[24]提出一种基于视觉导航系统补充的水稻插秧机多传感器组合定位方法,在水田试验中能有效降低导航系统定位误差和跟踪偏差,满足插秧机自动驾驶作业要求。

3.2.3 激光导航

激光导航是通过发射激光束接收反射光测量机器人与周围环境距离信息,构建环境地图,并实现定位和导航^[25]。与视觉导航等方式相比,激光导航系统不受光照条件限制,无论是白天、夜晚,还是恶劣天气条件,都能正常工作,保证农业机器人作业稳定性和连续性。同时,激光导航具有精度高、稳定性好等特

表1 农业机器人分类与功能

Tab. 1 Agricultural robots classification and function

类别	名称	功能简介
种植机器人	移栽机器人	根据预设种植模式和参数,精确进行种苗移栽,保证种植深度、间距一致性,提高移栽质量和效率;可在不同土壤条件实现高速、精准移植,极大减少人工移植误差和劳动强度
	除草机器人	采用图像识别技术和智能控制系统,区分农作物和杂草,在不伤害农作物前提下精确清除杂草;可以减少化学除草剂使用,降低农业生产成本,保护生态环境
	采摘机器人	利用视觉识别技术和机械手臂,能够准确地识别成熟果实,并进行轻柔的采摘动作,减少果实损伤,提高采摘效率;已有苹果采摘机器人、草莓采摘机器人等多种作物采摘机器人
养殖机器人	饲料投喂机器人	根据养殖动物生长阶段和数量,自动调整饲料投喂量和投喂时间,确保动物充分获得均衡营养;养殖户可通过远程控制和监控实现便捷管理,提高养殖效率和质量
	环境监测与控制机器人	监测养殖环境温度、湿度、空气质量和水体质量等参数,并根据预设标准通过自启动设备调节环境条件,为动物创造舒适、健康生长环境
	粪便清理机器人	自动清理粪便,保持养殖环境清洁卫生,减少人工劳动强度,降低疾病传播的风险,同时还能通过制作有机肥料等集中处理粪便,实现资源再利用
农产品加工机器人	分拣包装机器人	根据农产品的大小、形状、颜色等特征,利用视觉识别系统和机械手臂快速、准确地完成分类并包装成标准化产品,提高分拣包装的效率和精度,减少人工操作对农产品的损伤,保证产品质量和外观
	质量检测机器人	利用光谱分析、机器视觉、嗅觉传感器等检测技术,可以快速检测农产品农药残留、重金属含量、病虫害感染等问题;同时对农产品外观缺陷、内部品质(如糖度、酸度、硬度等)进行评估,为农产品分级和定价提供依据

点,适用于室内和室外复杂环境^[26]。

3.3 控制技术

3.3.1 运动控制

运动控制负责控制农业机器人机械结构运动,使其按照预定轨迹和动作进行作业^[27]。运动控制技术包括电机控制、舵机控制、液压控制等,可根据农业机器人具体结构和作业要求进行选择和优化。如采摘机器人需要精确控制机械手臂各关节的运动角度和速度,以实现准确采摘动作;在播种作业中,机器人要控制播种器的播种速度和深度,保证播种质量^[28-29]。

3.3.2 智能控制

随着人工智能技术发展,智能控制在农业机器人中取得更广泛应用。智能控制算法可以使农业机器人根据环境变化和任务要求自主调整决策和行为,提高机器人适应性和灵活性,是农业机器人的核心要素^[30]。GAO Y C等^[31]提出一种适于复杂环境的机器人开源硬件控制器,支持多模态感知与通信、实时多任务调度、多元分布式算力分配,实现仿真环境、示教器和嵌入式控制器一体化,支撑农业机器人控制系统快速开发。

4 面临挑战

4.1 技术难题

4.1.1 复杂环境适应性

农业生产环境复杂多变,包括地形地貌、土壤质地、气候条件及农作物生长差异等。农业机器人需要具备较强环境适应性,在各种复杂环境下稳定运行并准确完成作业任务。目前,农业机器人在面对复杂环境时,仍存在感知不准确、导航失效、动作执行不稳定等问题,需要进一步提高技术性能和可靠性。

4.1.2 高精度作业要求

农业生产中许多作业环节对精度要求较高,如播种、施肥、采摘等。农业机器人要实现高精度作业,需要在感知、决策和控制等方面具备更高技术水平。但目前技术难以完全满足农业生产的高精度要求,如水果采摘时,机器人会因果实成熟度识别不准确或采摘动作不精细导致果实损伤,影响农产品质量。

4.1.3 能源供应问题

农业机器人通常需要在户外或大面积农田中长时间工作,能源供应是关键问题。目前,大多数农业机器人采用电池供电,但续航能力有限,需要频繁充电或更换电池,不仅影响机器人工作效率,还增加农户使用成本和维护工作量。电池的使用寿命和环境适应性也有待进一步提高,以满足农业生产实际需求。

4.2 成本问题

4.2.1 研发成本高

农业机器人技术涉及多学科领域,需要大量资金

投入技术研发、设备购置、试验测试等。由于农业生产特殊性和多样性,农业机器人研发需要针对不同农作物、作业环境和作业环节进行定制化设计,进一步增加研发成本。高昂的研发成本对许多中小企业投资占比产生影响,限制农业机器人技术的实际推广和应用。

4.2.2 维护成本高

农业机器人在使用过程中需要定期进行维护和保养,以确保正常运行和使用寿命延长。由于机器人技术含量较高,维护工作需要专业技术人员和设备,增加维护成本。同时,关键零部件更换成本也较高,如传感器、控制器等。如果机器人出现故障,维修时间和成本可能对农业生产造成较大影响。因此,降低维护成本是农业机器人推广应用需要解决的实际问题。

4.3 农户认知与接受度问题

传统农业生产方式在农户心中根深蒂固,许多农户对农业机器人技术缺乏了解和认识,对应用效果和可靠性存在疑虑。部分农户认为机器人操作复杂、难以掌握,尝试新技术和设备意愿度低。因此,需要对农户加强技术培训和宣传推广,提高农户对农业机器人技术的认知和接受度,扩大机器人在农业生产中的应用。

5 发展趋势

5.1 智能化与自主化程度不断提高

未来农业机器人将更加智能化和自主化,具备更强的感知、决策和学习能力。通过融合人工智能、大数据、云计算等新兴技术,农业机器人能够实现对复杂农业环境的深度理解和自适应决策,自主完成各种农业生产任务,无须过多人工干预。如机器人可以根据农作物生长状况和病虫害情况自动调整施肥、喷药方案,实现精准农业生产;同时,通过不断学习和经验积累,机器人可以不断优化自身作业策略,提高工作效率和质量。

5.2 多功能一体化发展

为满足农业生产多样化需求,未来农业机器人将向多功能一体化方向发展。一台机器人可以集成播种、施肥、灌溉、采摘和除草等多种功能模块,在不同生长阶段为农作物提供全方位智慧服务。多功能一体化设计不仅可以提高农业机器人利用率,降低设备成本,还能减少农业机器人在农田作业中进出次数,降低对土壤和作物的影响,有利于农业生态环境保护。

5.3 协作式机器人应用增加

随着农业生产规模不断扩大和农业产业链不断延伸,协作式机器人将广泛应用于农业领域。通过与人工或其他农业设备协同工作,共同完成复杂的农业生产任务。如在农产品加工车间,机器人可以与工人协

作完成分拣、包装等工作, 提高生产效率和质量; 在农田作业中, 多台农业机器人可以协同进行播种、施肥、收割等作业, 实现大规模农业生产高效管理和运营。

5.4 与新兴技术深度融合

农业机器人技术可以与物联网、区块链、生物技术等新兴技术深度融合, 开创农业生产新模式、新业态。如农业机器人通过物联网技术, 与其他农业设备和传感器互联互通, 构建智能化农业生产系统, 实现对农业生产全过程实时监测和精准控制。区块链技术可以为农产品质量追溯和供应链管理提供技术支持, 确保农产品质量和可追溯性。农业机器人可以利用人工智能技术, 不断学习和优化作业策略, 丰富并掌握不同作物生长规律和作业要求, 自动调整作业参数和策略, 提高作业效率和质量。生物技术与农业机器人结合将有助于开发更加精准、高效农业生产技术, 如基因编辑、生物防治等, 推动农业产业升级和发展。

6 结束语

农业机器人技术作为现代农业发展的重要支撑, 具有广阔应用前景和巨大发展潜力。尽管目前在研发技术、成本和推广等方面还面临一些挑战, 但随着科技不断进步和创新, 将逐步解决上述问题。未来, 农业机器人将向智能化、自主化、多功能一体化和可持续发展方向迈进, 为提高农业生产效率、质量和竞争力, 促进农业现代化和乡村振兴作出重要贡献。同时, 政府、企业、科研机构和社会各界共同努力, 加强合作与交流, 加大对农业机器人技术研发投入和推广力度, 为农业机器人技术发展创造良好政策环境、市场环境和社会环境, 助力农业机器人产业健康、快速发展。

参考文献

- [1] 赵春江, 范贝贝, 李瑾, 等. 农业机器人技术进展、挑战与趋势[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(4): 1-15.
ZHAO Chunjiang, FAN Beibei, LI Jin, et al. Agricultural robots: technology progress, challenges and trends[J]. Smart Agriculture, 2023, 5(4): 1-15.
- [2] SHAMSHIRI R R, WELTZIEN C, HAMEED I A, et al. Research and development in agricultural robotics: a perspective of digital farming[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(4): 1-14.
- [3] 许哲铃. 农业机器人关键技术研究现状及发展趋势[J]. 南方农机, 2024, 55(8): 41-43.
- [4] 吴海华, 方宪法, 胡小鹿, 等. 我国农业机器人创新发展研究[J]. 中国农机装备, 2023(1): 10-13.
WU Haihua, FANG Xianfa, HU Xiaolu, et al. Study on the innovation and development of agricultural robots in China[J]. China Agricultural Machinery Equipment, 2023(1): 10-13.
- [5] 林欢, 许林云. 中国农业机器人发展及应用现状[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(5): 865-871.
LIN Huan, XU Linyun. The development and prospect of agricultural robots in China[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2015, 27(5): 865-871.
- [6] 漆海霞, 杨泽康, 陈宇, 等. 农业信息采集机器人关键技术研究现状与发展趋势[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(7): 1351-1360.
QI Haixia, YANG Zekang, CHEN Yu, et al. Research status and development trend of key technologies of agricultural information acquisition robot[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2024, 40(7): 1351-1360.
- [7] 肖旭, 李明, 谢景鑫, 等. 农业机器人技术发展综述[J]. 湖南农业科学, 2020(11): 113-118.
XIAO Xu, LI Ming, XIE Jingxin, et al. Summary of the development of agricultural robot technology[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2020(11): 113-118.
- [8] 何勇, 黄震宇, 杨宁远, 等. 设施农业机器人导航关键技术研究进展与展望[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(5): 1-19.
HE Yong, HUANG Zhenyu, YANG Ningyuan, et al. Research progress and prospects of key navigation technologies for facility agricultural robots[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(5): 1-19.
- [9] 张鹏, 高放, 双丰. 基于 ROS 的全向移动机器人控制系统的设计与实现[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018(7): 89-92, 96.
ZHANG Peng, GAO Fang, SHUANG Feng. Design and implementation of omni-directional mobile robot control system based on ROS[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2018(7): 89-92, 96.
- [10] 杨鹏, 王志强, 玉瑞强. 一种智能化多功能播种机器人的设计[J]. 电子世界, 2018(24): 171-172.
- [11] 师树谦, 王亚磊. 农业机器人技术现状与发展趋势[J]. 新疆农机化, 2023(3): 12-16.
SHI Shuqian, WANG Yalei. Current technical situation and development trend of agricultural robot[J]. Xinjiang Agricultural Mechanization, 2023(3): 12-16.
- [12] 肖德琴, 黄一桂, 熊悦淞, 等. 畜禽机器人技术研究进展与未来展望[J]. 华南农业大学学报, 2024, 45(5): 624-634.
XIAO Deqin, HUANG Yigui, XIONG Yuesong, et al. Research progress on robotic technology in the field of livestock and poultry farming[J]. Journal of South China Agricultural University, 2024, 45(5): 624-634.
- [13] 吴清政, 刘义亭, 陈光明, 等. 机器视觉在农业机械路径规划中的应用[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(5): 92-94.
WU Qingzheng, LIU Yiting, CHEN Guangming, et al. Application of machine vision in path planning of agricultural machinery[J]. Industrial Control Computer, 2023, 36(5): 92-94.
- [14] 王晓勇. 农业机器人技术研究现状及关键配套技术[J]. 农机使用与维修, 2024(3): 88-90.
WANG Xiaoyong. Research status and key supporting technologies of agricultural robotics[J]. Agricultural Machinery Using & Maintenance, 2024(3): 88-90.
- [15] 柳长源, 赖楠旭, 毕晓君. 基于深度图像的球形果实识别定位算法[J]. 农业机械学报, 2022, 53(10): 228-235.
LIU Changyuan, LAI Nanxu, BI Xiaojun. Spherical fruit recognition and location algorithm based on depth image[J]. Transactions of the

- Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(10): 228-235.
- [16] 马雪丽, 王宏阳. 农业机器人中的传感器技术[J]. 智库时代, 2019(37): 291, 295.
- [17] 关宇, 杨晓京, 姜涛. 农业机器人多传感器信息融合技术的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 14127-14128, 14136.
GUAN Yu, YANG Xiaojing, JIANG Tao. Research advances on the multisensor information fusion of the agricultural robot[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(25): 14127-14128, 14136.
- [18] HUANG M S, HE L, CHOI D, et al. Picking dynamic analysis for robotic harvesting of Agaricus bisporus mushrooms[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 185: 106145.
- [19] 纪素娟. 智能农业机器人定位导航新方法[J]. 现代商贸工业, 2016, 37(2): 226-227.
- [20] 张国轩. 温室环境农业机器人定位与导航方法研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2023.
ZHANG Guoxuan. Research on positioning and navigation methods of agricultural robots in greenhouse environment[D]. Beijing: North China University of Technology, 2023.
- [21] 高国民. 基于多源信息融合的红花采摘机器人田间导航系统研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2023.
GAO Guomin. Research on field navigation system of safflower picking robot based on multi-source information fusion[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2023.
- [22] 王瑞阳, 徐洋. 机器视觉技术在农业机器人定位中的作用[J]. 南方农机, 2023, 54(13): 90-92.
- [23] 姜迪, 庄卫东. 农业机器人视觉导航技术的应用研究与展望[J]. 现代化农业, 2024(12): 87-90.
- [24] 杨圣语, 宋悦, 薛金林, 等. 基于视觉补充的水稻插秧机多传感器组合定位研究[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(2): 234-246.
- [25] 刘洋, 冀杰, 潘登, 等. 基于激光雷达与IMU融合的农业机器人定位方法[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(3): 94-106.
- LIU Yang, JI Jie, PAN Deng, et al. Localization method for agricultural robots based on fusion of LiDAR and IMU[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(3): 94-106.
- [26] 付全有, 吕青. 基于视觉与激光雷达融合的棚内农业机器人定位和检测研究分析[J]. 南方农机, 2024, 55(7): 76-78.
- [27] 韩雨. 设施农业机器人驱动底盘运动控制策略研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2024.
HAN Yu. Research on motion control strategy of driving chassis for facility agriculture robots[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2024.
- [28] 孙永芳. 农业采摘机器人运动控制系统设计与实现[J]. 微型电脑应用, 2023, 39(7): 132-134.
SUN Yongfang. Design and implementation of motion control system for agricultural picking robot[J]. Microcomputer Applications, 2023, 39(7): 132-134.
- [29] 王雷, 陈炳羽, 朱正凡. 智能播种机器人控制系统设计[J]. 农机使用与维修, 2024(2): 11-15.
WANG Lei, CHEN Bingyu, ZHU Zhengfan. Design of control system for intelligent seeding robot[J]. Agricultural Machinery Using & Maintenance, 2024(2): 11-15.
- [30] 陈思晗, 张长青. 智能控制在木材加工和林业机器人中的应用研究进展[J]. 世界林业研究, 2023, 36(3): 45-50.
CHEN Sihan, ZHANG Changqing. Research progress in application of intelligent control in wood processing and forest robots[J]. World Forestry Research, 2023, 36(3): 45-50.
- [31] GAO Y C, GONG L, HUANG Y X, et al. Rhino: an open-source embedded motherboard design enabling complex behavior of intelligent robots[C]//Proceedings of 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. New York: IEEE, 2019: 1568-1573.