

引用本文格式 相姝楠, 刘声春. 智能农机检测技术发展现状及建议[J]. 农业工程, 2025, 15(3): 9-14. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202503302.
XIANG Shunan, LIU Shengchun. Development status and suggestions of intelligent agricultural machinery detection technology[J]. Agricultural Engineering, 2025, 15(3): 9-14.

智能农机检测技术发展现状及建议

相姝楠, 刘声春

(农业农村部农业机械化总站, 北京 100122)

摘要: 深入剖析智能农机检测技术在农业现代化进程中的关键地位, 全面探讨其现状、面临的挑战及未来发展趋势。详细分析智能农机的先进技术特点, 明确当前智能农机检测工作难点, 提出解决方案, 旨在为推动智能农机检测行业持续健康发展提供有力的理论支持与参考。

关键词: 智能农机; 检测技术; 农业机械化; 农业智能化

中图分类号: S23 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2025)03-0009-06

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202503302

Development status and suggestions of intelligent agricultural machinery detection technology

XIANG Shunan, LIU Shengchun

(Chinese Agricultural Mechanization Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100122, China)

Abstract: Key position of intelligent agricultural machinery detection technology in process of agricultural modernization was deeply analyzed, while current status, challenges, and future development trends were comprehensively discussed. Through a detailed analysis of advanced technical characteristics of intelligent agricultural machinery, difficulties in current detection work were clarified, and practical solutions were proposed to provide strong theoretical support and reference for promoting sustainable and healthy development of intelligent agricultural machinery detection industry.

Keywords: intelligent agricultural machinery, detection technology, agricultural mechanization, agricultural intelligence

0 引言

在当今全球农业现代化的浪潮中, 智能农机作为推动农业生产方式变革的关键力量, 正逐渐成为农业领域关注的焦点。农机智能化是推进农业生产现代化水平迭代升级的重要突破口, 是面向未来的农业生产场景^[1]。智能农机具备3个特点。一是高度自动化。广泛采用先进的自动化技术, 能够在无人干预的情况下自主完成各项农业作业任务。如智能拖拉机依托全球卫星导航系统(GNSS)可以在没有人类干预的情况下自主导航和执行任务^[2]。二是高度智能化。装备各类先进的传感器和智能控制系统, 能够对作业环境进行实时监测和智能决策。如智能收获机搭载摄像头和传感器, 可实时感知农作物的生长状况和成熟度, 并根据预设的收割参数进行自动操作。三是高度信息化。

通过无线网络与互联网连接, 实时传输和共享数据, 动态跟踪农机的作业状态、位置信息和生产数据等, 为农业生产科学决策提供依据。如智能农机管理平台可以对多台农机进行远程监控和调度, 优化农机作业流程, 提高作业效率。智能农机仍属于起步阶段, 相较传统农机因其结构相对复杂、维修难度相对较大, 其作业质量和可靠性仍有待进一步验证。

智能农机以其高度的自动化、智能化和信息化, 为提高农业生产效率、降低生产成本、保障农产品质量及实现农业可持续发展提供有力支持。从精准播种、智能施肥、高效灌溉到智能收获, 智能农机贯穿于农业生产全过程, 其性能与质量直接关系到农业生产的精准度、稳定性和效益。然而, 智能农机的广泛应用也对智能农机检测技术提出前所未有的挑战和要求。智能农机检测技术作为保障智能农机质量和性能的关键

收稿日期: 2024-09-18 修回日期: 2025-01-17

作者简介: 相姝楠, 硕士, 高级农艺师, 主要从事农机试验鉴定工作 E-mail: xiangsn111@163.com

刘声春, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 主要从事农机试验鉴定工作 E-mail: lsc19852003@163.com

在线投稿
www.d1ae.com

键环节,不仅需要对其机械性能、作业精度进行精准评估,还需对其智能化功能,如自动导航、智能决策、故障诊断等进行全面检测。目前,国内外研究人员已在智能农机检测技术领域开展了大量研究工作,取得一系列重要成果^[3-30]。如通过多传感器融合技术实现对农机作业环境的全方位感知,利用计算机视觉与深度学习算法提升农机作业质量评估的自动化水平,借助物联网技术实现农机数据的实时传输与远程监控等。然而,仍存在诸多问题亟待解决,如检测技术的兼容性与集成性较差、检测标准不完善、检测能力相对不足等,这些问题严重制约智能农机检测技术的发展和运用,进而影响智能农机产业的健康发展。

深入探讨智能农机检测技术的发展现状,剖析其存在的问题与挑战,并提出切实可行的发展建议,对于推动智能农机检测技术的创新与进步,提升智能农机的质量与性能,促进农业现代化进程具有重要的理论意义和实践价值。本研究从智能农机检测技术的发展现状入手,详细阐述多技术融合在智能农机检测中的应用,分析针对性检测方案实施情况,进而探讨当前智能农机检测面临的技术挑战。在此基础上提出发展建议,以期对智能农机检测技术的未来发展提供有益的参考和借鉴。

1 发展现状

在学术研究领域,众多高校和科研机构纷纷设立专门的研究项目,致力于智能农机检测技术的创新和突破。研究人员从不同角度出发,探索新的检测方法和检测方案,不断优化检测流程,提高检测效率和准确性。

1.1 注重多技术融合

多种类型传感器的协同工作已成为智能农机检测的关键支撑。在农业生产环境中,各种因素复杂多变,单一类型的传感器往往难以全面、准确地获取所需信息。激光传感器凭借其高精度的距离测量能力,能够为农机在行驶和作业过程中提供精确的障碍物距离信息。如果园中修剪作业的智能农机,激光传感器可以实时测量树枝与刀具的距离,确保修剪的精准度,同时避免对果树造成不必要的损伤。毫米波雷达则因其在恶劣天气条件下的出色表现而备受重视。无论是大雾、雨雪还是沙尘天气,毫米波雷达都能穿透这些干扰,稳定地探测到前方的物体和地形变化。对于在复杂气象条件下作业的农机,如春耕时节的泥泞田地或秋季的多雨环境,隐藏在水洼中的深坑或被植被覆盖的土埂,毫米波雷达能够及时发现潜在的危险,保障农机的安全行驶。视觉传感器,特别是高分辨率的摄

像头,能够捕捉丰富的图像信息,与先进的图像处理算法相结合,可以识别农作物的种类、生长状态、病虫害迹象及土壤的表面特征。如视觉传感器能够分辨出杂草和农作物的细微差异,指导除草装置精确作业,减少对农作物的误除,提高农田管理的精细化程度。这些不同类型的传感器相互补充、协同工作,构建出一个全方位、高精度的感知系统,不仅为智能农机的自动驾驶提供可靠的路径规划依据,还能在作业过程中实时调整作业参数,适应复杂多变的农田环境。如在进行山地梯田播种作业时,激光传感器和毫米波雷达可以共同探测地形的起伏和坡度变化,视觉传感器则负责识别土壤的肥沃程度和农作物的分布情况。基于这些多源信息的融合,农机控制系统能够自动调整播种机的播种深度、播种量和行驶速度,实现因地制宜地精准播种,提高种子发芽率和农作物产量。

计算机视觉技术与深度学习算法深度融合,极大地提升了对农机作业质量评估的自动化和智能化水平。在智能农机领域,收集大量的农作物图像、作业场景图像及对应的标注信息,构建大规模的训练数据集。这些数据集涵盖不同农作物品种、生长阶段、气候条件和土壤环境下的图像样本。深度学习模型在对这些数据进行学习的过程中,逐渐掌握从复杂图像中提取有价值信息的能力。如在判断农作物病虫害的应用中,模型能够自动识别叶片上的病斑特征、害虫形态和分布,进而准确判断病虫害的类型和严重程度。在评估播种质量时,深度学习模型通过分析播种后的农田图像,计算种子的间距、深度和分布均匀度等关键指标。与传统的人工评估方法相比,不仅能提高评估的效率和准确性,还能够发现一些人工难以察觉的细微差异和潜在问题。此外,深度学习模型还具有良好的泛化能力,在丰富多样的数据集上训练后,模型能够适应不同地区、不同种植模式下的作业质量评估任务,为农业生产的标准化和规范化提供有力的技术支持。

物联网技术在智能农机检测中的应用,实现了数据的无缝连接和远程监控。物联网的核心是利用农机状态采集终端将各种数据通过数据传输模块上传监控平台。其中农机状态采集终端通过安装多种类型的传感器,如位置传感器、速度传感器、油耗传感器和作业部件状态传感器等,实时采集农机的运行状态、作业轨迹、能耗情况及关键部件的工作参数等大量数据。云平台利用大数据分析对数据进行处理和挖掘,生成直观的报表和分析结果。如对农机作业轨迹进行分析,评估作业覆盖范围和重复率,优化作业路径规划,提高作业效率;对油耗数据进行监测和分析,发现能耗异常情况,及时提醒操作人员进行维修保养,降低使用成本;对关键部件工作参数(如发动机的转速、温

度、油压等)进行实时监控,提前预测部件的故障隐患,实现预防性维护,减少停机时间。

基于云平台的远程诊断功能,专家和技术人员能够在异地对农机故障进行快速准确地判断和处理。当农机出现故障时,系统会自动将故障代码和相关数据上传云平台,专家可以通过远程访问获取详细的故障信息,并结合历史数据和经验,迅速给出解决方案。这不仅缩短维修时间,减少因故障造成的农业生产损失,还可提高农机维修服务的质量和效率。

1.2 针对性检测方案

对于播种、施肥、灌溉和收获等农业机械,其作业精准度和变量控制能力是检测核心。在播种环节,播种机的性能直接影响农作物的出苗率、生长均匀度和最终产量。现代精密播种机通常采用电子控制技术,能够根据预设的播种参数,如行距、株距、播种深度等,实现精准播种。在检测过程中,需要在不同类型的土壤(如砂土、壤土、黏土)和不同的地形条件(如平原、丘陵、山地)下进行实地播种试验。在试验区域内随机抽样,测量种子的实际行距、株距和播种深度,并与预设参数进行对比,计算误差范围。同时,还需要评估播种机在不同作业速度下的稳定性和一致性,确保在高速作业时仍能保持良好的播种精度。此外,对于具有变量播种功能的播种机,检测其能否根据土壤肥力和地形变化实时调整播种量,实现按需播种,也是至关重要的。

施肥机的检测重点在于其根据土壤养分检测数据实现变量施肥的能力。为了准确评估施肥机性能,需要在施肥前对农田进行土壤养分采样和分析,绘制土壤肥力分布图。在施肥作业过程中,实时监测施肥机在不同区域的施肥量和施肥分布情况。采用土壤传感器或便携式化学分析仪器,对施肥后的土壤进行即时检测,验证施肥量是否与预设的施肥方案相符。同时,还需要考察施肥机的施肥均匀度,避免出现局部施肥过量或不足的情况。对于具有智能控制功能的施肥机,检测其能否根据农作物的生长阶段和实时监测的土壤肥力变化,动态调整施肥策略,以提高肥料利用率,减少环境污染。

灌溉机械在农业生产中起着至关重要的作用,其精准度和效率直接关系农作物的生长和水资源的合理利用。对于智能灌溉系统,检测其能否根据土壤湿度、气象条件和农作物需水规律,精确控制灌溉水量和灌溉时间。在灌溉区域内设置多个土壤湿度传感器,实时监测土壤水分含量的变化,并与灌溉系统的控制指令进行对比,评估系统的响应速度和控制精度。同时,还需要检测灌溉系统的喷头分布和喷水均匀度,确保整个灌溉区域都能得到均匀、适量的水分供应。此外,

对于采用太阳能或风能等可再生能源驱动的灌溉设备,还需要评估其能源转换效率和储能系统的性能,保障在不同天气条件下的稳定运行。

对于收获类智能农机,如收获机、采摘机等,生产率、损失率和果实品质保护是检测的重点。在收获机的检测中,生产率是一个重要的指标,通常以单位时间内的收获面积或收获产量来衡量。为了准确评估生产率,需要在不同类型的农田(如小麦田、稻田、玉米田)和不同的作物生长条件下进行实地收获试验;同时,记录收获机作业时间、故障停机时间等数据,计算生产率。损失率是衡量收获机性能的另一个关键指标。在收获过程中,由于各种原因可能导致部分农作物未能被收集,造成损失;检测时需要收集和分析收获机排出的秸秆、谷粒等物料,计算损失率。此外,还需要关注收获机对不同成熟度农作物的适应性,以及在复杂地形和恶劣天气条件下的作业能力。

2 存在问题

2.1 检测技术兼容性和集成性较差

不同检测技术之间的兼容性和集成性问题,其复杂性远超表面。在技术层面,不同类型的传感器具有各自独特的物理特性和工作原理,导致其输出的数据在类型、频率、精度等方面存在显著差异。在系统架构方面,现有的智能农机检测系统通常是由多个独立的子系统拼凑而成,缺乏统一的设计理念和集成框架,导致各个子系统之间的通信协议不一致,数据传输存在瓶颈,系统的实时性和稳定性难以保障。在软件开发方面,不同供应商提供的检测软件往往基于不同的编程语言和开发平台,使得软件之间的互操作性差,难以进行集成和二次开发;而且,由于缺乏行业统一的软件开发标准和规范,软件的更新和维护变得异常困难,一旦系统出现故障或需要升级,往往需要对多个软件模块进行单独处理。

2.2 检测标准仍然不完善

目前,我国智能农机检测标准体系尚不健全,缺乏统一的检测方法和评价指标。不同地区、不同机构对智能农机检测标准存在差异,给智能农机质量监督带来了一定困难。如对于智能拖拉机的自动导航功能,不同检测机构可能采用不同的检测方法和精度要求,导致检测结果的可比性较差。智能农机的新技术、新功能不断涌现,现有的检测标准难以涵盖所有的智能农机产品,需要及时更新和完善检测标准。随着人工智能、大数据等技术在智能农机中的应用,智能农机的智能化功能检测标准还处于探索阶段。国际上智能农机检测标准也在不断发展和变化,我国与国际标准的接轨还存在一定的差距,使得我国智能农机产品在

进入国际市场时面临一定的障碍。

2.3 检测能力相对不足

目前,我国专业的智能农机检测机构还比较少,检测能力有限。大部分检测机构主要针对传统农机产品进行检测,对于智能农机的检测经验和技術储备不足。智能农机的检测需要具备专业的技术人员和先进的检测设备,而目前我国在这方面的人才和设备资源相对匮乏。如一些小型检测机构可能缺乏对智能农机控制系统的检测能力,无法对智能农机的安全性能进行全面评估。检测机构之间的合作与交流不够紧密,资源共享和优势互补的作用尚未得到充分发挥。这些导致检测机构的整体检测水平难以快速提升。

3 面临的技术挑战

3.1 传感器精度和可靠性要求较高

传感器是智能农机检测技术的关键部件,其精度和可靠性直接影响智能农机的检测结果。然而,目前智能农机传感器的精度和可靠性还存在一定的问题。如在恶劣的作业环境下,传感器可能受到温度、湿度、振动等因素的影响,导致测量误差增大。此外,传感器的长期稳定性和耐久性也需要进一步提高。为了提高传感器的精度和可靠性,需要加强传感器技术研发,采用先进的制造工艺和材料,提高传感器的抗干扰能力和稳定性。同时,还需要建立完善的传感器校准和检测体系,确保传感器的测量精度和可靠性。

3.2 数据处理和分析能力要求较高

智能农机检测产生的数据量大、种类多,需要进行高效的数据处理和分析才能保障智能农机的检测结果。然而,目前数据处理和分析能力还存在一定的问题。如数据传输速度慢、数据存储容量有限、数据分析算法不够先进等问题,都制约智能农机检测的数据处理和分析能力。此外,数据的安全性和隐私保护也需要引起重视。为了提高数据处理和分析能力,需要加强数据处理技术的研发,采用先进的数据传输技术、存储技术和分析算法,提高数据处理的速度和精度。同时,还需要建立完善的数据安全和隐私保护体系,确保数据的安全和隐私。

3.3 系统稳定性和兼容性要求较高

智能农机检测系统可能受到电磁干扰、软件故障等因素的影响,导致检测系统出现异常运行甚至失控的情况。为了提高检测系统的稳定性和可靠性,需要加强检测系统技术的研发,采用先进的控制算法和软件架构,提高检测系统的抗干扰能力和容错能力。同时,还需要建立完善的数据系统测试和验证体系,确保检测系统的安全和性能。智能农机需要通过无线网络与互联网连接,实现数据的实时传输和共享。然而,

不同的智能农机可能采用不同的通信技术和协议,导致通信兼容性问题。如一些智能农机可能采用4G通信技术,而另一些智能农机可能采用5G通信技术,这就需要建立统一的通信标准和协议,确保不同智能农机之间的通信兼容性。

4 智能农机检测技术发展建议

4.1 加快标准化建设

制定和完善智能农机检测标准,建立统一的检测方法和评价指标,为智能农机的质量监管和市场准入提供依据。标准的制定应充分考虑智能农机的技术特点和发展趋势,涵盖智能农机的性能、安全、可靠性等方面要求。同时,标准的制定应广泛征求各方意见,确保标准的科学性、合理性和可操作性。如制定智能拖拉机的自动驾驶标准时,应明确导航精度、可靠性、抗干扰能力等指标要求,并规定相应的检测方法和测试流程。此外,还应制定智能农机的智能化功能标准,如智能决策、故障诊断等,以确保智能农机的智能化水平和性能质量。

4.2 强化技术创新

加强智能农机检测技术的创新和研发,提高检测技术的水平和能力。如采用先进的传感器技术、控制技术和数据处理技术,提高检测精度和可靠性。研发新型的检测设备和仪器,提高检测效率和自动化程度。如开发智能农机在线检测系统,实现对智能农机的实时监测和故障诊断。利用人工智能、大数据等先进技术,提高检测数据的分析和处理能力,为智能农机的优化设计和性能提升提供支持。对智能农机作业数据进行分析,可以优化智能农机的作业参数,提高作业效率和质量;对智能农机故障数据进行分析,可以提前预测故障的发生,提高智能农机的可靠性和安全性。

4.3 加强机构建设

加强智能农机检测机构的建设和发展,提高检测机构的检测能力和服务水平。如建立专业的智能农机检测中心,配备先进的检测设备和专业的技术人员;加强检测机构之间的合作与交流,实现资源共享和优势互补。建立检测机构联盟,共同开展智能农机检测技术的研究和应用;加强检测机构的质量管理和监督,确保检测结果的准确性和公正性。建立完善的检测质量管理体系,加强对检测机构的监督检查和考核评价。

4.4 开展国际合作

加强与国际先进检测机构的合作与交流,学习借鉴国际先进的检测技术和经验。如参加国际智能农机检测技术研讨会、展览会等,了解国际智能农机检测技术的发展动态和趋势;推动我国智能农机检测标准

与国际标准的接轨, 提高我国智能农机产品的国际竞争力。积极参与国际智能农机检测标准的制定和修订工作, 争取在国际标准制定中发挥更大的作用; 开展国际智能农机检测认证合作, 为我国智能农机产品进入国际市场提供便利。与国际知名检测认证机构合作, 开展智能农机产品的国际认证工作, 提高我国智能农机产品的国际认可度。

5 结束语

智能农机的快速发展为农业现代化带来新的机遇和挑战。智能农机检测作为保障智能农机质量和性能的重要手段, 其重要性日益凸显。目前, 我国智能农机检测还存在一些问题和挑战, 需要加强标准化建设、技术创新和机构建设, 提高检测水平和能力。未来, 随着智能农机技术的不断发展和应用, 智能农机检测也将不断创新和发展, 为推动智能农机产业的健康发展提供有力保障。同时, 加强国际合作与交流, 推动我国智能农机检测标准与国际标准的接轨, 提高我国智能农机产品的国际竞争力, 为实现农业现代化和乡村全面振兴作出更大贡献。

参考文献

- [1] 张晓瑛. 我国智能农机装备发展思考[J]. 农业工程, 2022, 12(11): 10-13.
ZHANG Xiaoying. Thinking on development of intelligent agricultural machinery in China[J]. Agricultural Engineering, 2022, 12(11): 10-13.
- [2] 栾庆华. 基于大数据视角的智能农机应用研究[J]. 农业工程技术, 2020, 40(15): 36-37.
- [3] 陈学庚, 温浩军, 张伟荣, 等. 农业机械与信息技术融合发展现状与方向[J]. 智慧农业(中英文), 2020, 2(4): 1-16.
CHEN Xuegeng, WEN Haojun, ZHANG Weirong, et al. Advances and progress of agricultural machinery and sensing technology fusion[J]. Smart Agriculture, 2020, 2(4): 1-16.
- [4] 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.
- [5] 钱震杰, 金诚谦, 刘政, 等. 无人农场中的智能控制技术应用现状与趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2023, 4(3): 1-13.
QIAN Zhenjie, JIN Chengqian, LIU Zheng, et al. Development status and trends of intelligent control technology in unmanned farms[J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2023, 4(3): 1-13.
- [6] 翟卫欣, 王东旭, 陈智博, 等. 无人驾驶农机自主作业路径规划方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16): 1-7.
ZHAI Weixin, WANG Dongxu, CHEN Zhibo, et al. Autonomous operation path planning method for unmanned agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(16): 1-7.
- [7] 万欢, 欧媛珍, 管宪鲁, 等. 无人农机作业环境感知技术综述[J]. 农业工程学报, 2024, 40(8): 1-18.
WAN Huan, OU Yuanzhen, GUAN Xianlu, et al. Review of the perception technologies for unmanned agricultural machinery operating environment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(8): 1-18.
- [8] 罗锡文, 廖娟, 臧英, 等. 我国农业生产的发展方向: 从机械化到智慧化[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 46-54.
LUO Xiwen, LIAO Juan, ZANG Ying, et al. Developing from mechanized to smart agricultural production in China[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(1): 46-54.
- [9] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.
ZHAO Chunjiang. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectives of smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 1-7.
- [10] 刘成良, 林洪振, 李彦明, 等. 农业装备智能控制技术研究现状与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(1): 1-18.
LIU Chengliang, LIN Hongzhen, LI Yanming, et al. Analysis on status and development trend of intelligent control technology for agricultural equipment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(1): 1-18.
- [11] 满忠贤, 何杰, 刘善琪, 等. 智能农机多机协同收获作业控制方法与试验[J]. 农业工程学报, 2024, 40(1): 17-26.
MAN Zhongxian, HE Jie, LIU Shanqi, et al. Method and test for operating multi-machine cooperative harvesting in intelligent agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(1): 17-26.
- [12] 史扬杰, 程馨慧, 奚小波, 等. 农业机械导航路径跟踪控制方法研究进展[J]. 农业工程学报, 2023, 39(15): 1-14.
SHI Yangjie, CHENG Xinhui, XI Xiaobo, et al. Research progress on the path tracking control methods of agricultural machinery navigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(15): 1-14.
- [13] 刘金成, 王海明, 何亚琼, 等. 无人机技术在精准林业中的应用与挑战[J]. 农业工程学报, 2024, 40(5): 14-24.
LIU Jincheng, WANG Haiming, HE Yaqiong, et al. Application and challenges of UAV-based technology in precision forestry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(5): 14-24.
- [14] 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.
- [15] 高振, 卢彩云, 李洪文, 等. 基于计算机视觉的种子分布信息检测关键技术研究现状与趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2023, 4(3): 50-60.
GAO Zhen, LU Caiyun, LI Hongwen, et al. Research progress and the prospect of crucial technology of seed spacing information detection based on computer vision[J]. Journal of Intelligent Agricultural Mech-

- anization, 2023, 4(3): 50-60.
- [16] 陈睿韵, 田文斌, 鲍海波, 等. 农业轮式机器人三维环境感知技术研究进展[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(4): 16-32.
CHEN Ruiyun, TIAN Wenbin, BAO Haibo, et al. Three-dimensional environment perception technology for agricultural wheeled robots: a review[J]. Smart Agriculture, 2023, 5(4): 16-32.
- [17] 杜志伟, 郝凤琦, 程广河, 等. 基于物联网的农机状态监控系统研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(11): 189-194.
DU Zhiwei, HAO Fengqi, CHENG Guanghe, et al. Research on agricultural machinery state monitoring terminal based on Internet of Things[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(11): 189-194.
- [18] 冯雷, 陈双双, 冯斌, 等. 基于光谱技术的大豆豆荚炭疽病早期鉴别方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 139-144.
FENG Lei, CHEN Shuangshuang, FENG Bin, et al. Early detection of soybean pod anthracnose based on spectrum technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(1): 139-144.
- [19] 陈天娇, 曾娟, 谢成军, 等. 基于深度学习的病虫害智能化识别系统[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(4): 26-34.
CHEN Tianjiao, ZENG Juan, XIE Chengjun, et al. Intelligent identification system of disease and insect pests based on deep learning[J]. China Plant Protection, 2019, 39(4): 26-34.
- [20] 洪玉娇, 张硕, 李俐. 基于合成孔径雷达数据的农作物长势监测研究进展[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(1): 46-62.
HONG Yujiao, ZHANG Shuo, LI Li. Research progresses of crop growth monitoring based on synthetic aperture radar data[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(1): 46-62.
- [21] 许良凤, 徐小兵, 胡敏, 等. 基于多分类器融合的玉米叶部病害识别[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 194-201, 315.
XU Liangfeng, XU Xiaobing, HU Min, et al. Corn leaf disease identification based on multiple classifiers fusion[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(14): 194-201, 315.
- [22] 管博伦, 张立平, 朱静波, 等. 农业病虫害图像数据集现状及高质量构建综述[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(3): 17-34.
GUAN Bolun, ZHANG Liping, ZHU Jingbo, et al. The key issues and evaluation methods for constructing agricultural pest and disease image datasets: a review[J]. Smart Agriculture, 2023, 5(3): 17-34.
- [23] 张春龙, 黄小龙, 刘卫东, 等. 苗间除草机器人信息获取方法的研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 142-146.
ZHANG Chunlong, HUANG Xiaolong, LIU Weidong, et al. Information acquisition method for mechanical intra-row weeding robot[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(9): 142-146.
- [24] 何东健, 乔永亮, 李攀, 等. 基于SVM-DS多特征融合的杂草识别[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 182-187.
HE Dongjian, QIAO Yongliang, LI Pan, et al. Weed recognition based on SVM-DS multi-feature fusion[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(2): 182-187.
- [25] 兰玉彬, 闫瑜, 王宝聚, 等. 智能施药机器人关键技术研究现状及发展趋势[J]. 农业工程学报, 2022, 38(20): 30-40.
LAN Yubin, YAN Yu, WANG Baoju, et al. Current status and future development of the key technologies for intelligent pesticide spraying robots[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(20): 30-40.
- [26] 陈明猷, 罗陆锋, 刘威, 等. 采摘机器人全果园视觉感知及自主作业综述[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(5): 20-39.
CHEN Mingyou, LUO Lufeng, LIU Wei, et al. Orchard-wide visual perception and autonomous operation of fruit picking robots: a review[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(5): 20-39.
- [27] 齐江涛, 程盼婷, 高芳芳, 等. 农田土壤理化参数快速获取技术研究进展与展望[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(3): 17-33.
QI Jiangtao, CHENG Panting, GAO Fangfang, et al. Research advances and prospects on rapid acquisition technology of farmland soil physical and chemical parameters[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(3): 17-33.
- [28] 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.
- [29] 贾文坤, 吕浩林, 张上, 等. 利用便捷式可见-近红外光谱仪和机器学习分辨霉变小麦及霉变程度[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(1): 89-100.
JIA Wenshen, LYU Haolin, ZHANG Shang, et al. Using a portable visible-near infrared spectrometer and machine learning to distinguish and quantify mold contamination in wheat[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(1): 89-100.
- [30] 卢邦, 董万静, 丁幼春, 等. 基于云端高精度地图的油菜无人播种作业系统设计与试验[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(4): 33-44.
LU Bang, DONG Wanqing, DING Youchun, et al. An rapeseed unmanned seeding system based on cloud-terminal high precision maps[J]. Smart Agriculture, 2023, 5(4): 33-44.