

农业机械自动化控制中的传感器应用的研究

草鲁孟

巴州农业农村机械化发展中心

DOI:10.32629/as.v9i5.3949

[摘要] 随着精准农业与智能农机的快速发展,传感器技术作为农业机械自动化控制系统的感知核心,对提升作业质量、资源利用效率及农业可持续发展具有关键作用。本文系统分析了适用于农业环境的传感器类型及其技术特性,重点探讨了传感器在播种、施肥、灌溉、收获等关键环节中的具体应用模式与实现机制。通过引入多传感器融合、无线传感网络及人工智能算法等先进方法,构建了智能化农机作业控制框架,并结合典型应用案例验证了传感器技术在优化作业参数、降低资源消耗、提高产量与品质方面的显著效果。研究结果为农业机械自动化水平的进一步提升提供了理论依据与技术路径。

[关键词] 农业机械; 传感器技术; 自动化控制; 精准农业; 智能决策

中图分类号: F304.1 **文献标识码:** A

Research on Sensor Application in Automatic Control of Agricultural Machinery

Lumeng Cao

Agricultural Machinery Development Center of Bazhou

[Abstract] With the rapid development of precision agriculture and intelligent agricultural machinery, sensor technology, as the perception core of the automatic control system of agricultural machinery, plays a key role in improving operation quality, resource utilization efficiency and sustainable agricultural development. This paper systematically analyzes the types and technical characteristics of sensors suitable for agricultural environments, and focuses on the specific application modes and implementation mechanisms of sensors in key links such as sowing, fertilization, irrigation and harvesting. By introducing advanced methods such as multi-sensor fusion, wireless sensor networks and artificial intelligence algorithms, an intelligent agricultural machinery operation control framework is constructed. Combined with typical application cases, the remarkable effects of sensor technology in optimizing operation parameters, reducing resource consumption, and improving yield and quality are verified. The research results provide a theoretical basis and technical path for the further improvement of the automation level of agricultural machinery.

[Key words] agricultural machinery; sensor technology; automatic control; precision agriculture; intelligent decision-making

引言

农业机械化与自动化是现代农业发展的重要方向,不仅关乎农业生产效率的提升,更是保障粮食安全、实现资源可持续利用的核心手段。作为连接物理农业环境与数字控制系统的桥梁,传感器技术通过实时采集土壤、作物、气候及农机状态等多维数据,为农业机械的精准作业提供决策依据。目前,大田作物、果园管理、设施农业等不同场景中均已广泛引入传感器支持下的自动化控制,但在适应性、可靠性及智能化程度方面仍面临诸多挑战。本文结合农业机械作业特点与环境要求,系统研究传感器在自动化控制中的应用机理、技术路径与实践成效,旨在推动农机智能化技术体系的完善与推广应用,为实现高质量农业现代

化提供技术支持。

1 农业机械传感器的类型与技术特性

农业机械所用传感器需具备环境适应性强、抗干扰能力好、精度适中等特点。根据功能与应用对象的不同,可将其分为以下几类:

1.1 土壤参数传感器

土壤参数是农业作业的基础输入变量,主要包括水分、养分、紧实度等。土壤水分传感器多采用频域反射(FDR)或时域反射(TDR)原理,通过测量土壤介电常数反演体积含水率,其测量精度可达 $\pm 2\%$ 。土壤电导率传感器用于间接评估土壤盐分与养分状况,常基于四电极法测量土壤电导率值,其输出可表示为:

$$EC = k \cdot \frac{I}{V}$$

其中, EC为土壤电导率, k为传感器常数, I为电流, V为电压。该类传感器需具备抗腐蚀、耐磨损等特性, 以适应不同土壤类型的长期监测需求。

1.2 作物生长状态传感器

作物生长状态传感器主要用于监测作物长势、营养状况及病虫害情况。多光谱与高光谱成像传感器通过捕捉作物冠层在不同波段下的反射特征, 反演叶面积指数(LAI)、叶绿素含量等参数。例如, 归一化植被指数(NDVI)可通过如下公式计算:

$$NDVI = \left(\frac{NIR - Red}{NIR + Red} \right)$$

其中, NIR为近红外波段反射率, Red为红光波段反射率。该指数可用于评估作物长势与生物量。此外, 激光雷达(LiDAR)传感器通过发射激光脉冲并接收回波, 可获取作物株高、冠层结构等三维信息, 为变量施肥与喷药提供依据。

1.3 环境气候传感器

环境气候传感器主要用于监测温度、湿度、光照、风速等气象要素, 为灌溉、降温、防风等农业措施提供数据支持。温湿度传感器常采用电容式或电阻式元件, 光照传感器基于光电效应原理, 风速传感器则多采用风杯或超声波测风技术。此类传感器需具备较宽的测量范围与良好的环境稳定性, 以适应田间多变的气候条件。

1.4 机械状态传感器

机械状态传感器用于监测农机设备的运行参数, 包括发动机转速、油压、振动、车轮滑转率等。转速传感器通常基于霍尔效应或电磁感应原理, 振动传感器则采用压电式或微机电系统(MEMS)技术。这些传感器可实时反馈设备工作状态, 为故障预警与作业参数优化提供依据。

2 传感器在关键作业环节的应用模式

2.1 播种环节的精准控制

在播种作业中, 传感器通过监测播种量、行距、深度等参数, 实现精准播种控制。排种量传感器通常采用光电或电容式检测方法, 实时监测种子流密度, 并通过反馈控制电机转速, 确保单位面积播量符合农艺要求。播种深度传感器基于超声波或激光测距原理, 监测开沟器与地表相对位置, 结合液压系统实现深度自动调节。研究表明, 采用传感器控制的精量播种系统可将播种均匀度提高15%以上, 缺苗率降低至3%以下。

2.2 变量施肥与喷药

基于土壤养分与作物长势传感器数据, 变量施肥系统可实现按需精准供肥。该系统通过GIS平台集成土壤采样数据与实时传感器信息, 生成肥力分布图, 控制施肥机实现分区变量作业。同样, 利用多光谱传感器识别病虫害胁迫区域, 变量喷药系统可精

准调整药剂喷洒量与雾滴粒径, 减少农药用量20% - 30%, 同时提高防治效果。

2.3 智能灌溉控制

土壤水分传感器与气象传感器共同构成智能灌溉系统的感知基础。系统通过实时监测土壤含水率、蒸发蒸腾量及降雨概率, 结合作物需水模型, 制定最优灌溉计划。例如, 基于土壤水势传感器的灌溉系统可在土壤水势低于设定阈值时自动开启灌溉设备, 实现按需供水, 节水效果显著, 平均节水率可达25% - 40%。如表1所示。

表1 传感器在主要作业环节的应用效果

作业环节	传感器类型	控制目标	应用效果
播种	排种量传感器、深度传感器	播量均匀、深度一致	均匀度提升≥15%, 缺苗率≤3%
施肥	土壤EC传感器、多光谱传感器	按需变量施肥	化肥减量15% - 25%, 利用率提高
喷药	多光谱传感器、激光雷达	精准靶向喷药	农药减量20% - 30%, 防效提升
灌溉	土壤水分传感器、气象站	按需灌溉	节水25% - 40%, 作物产量提高

3 多传感器融合与智能决策方法

为提高农机作业的智能化水平, 多传感器融合技术被广泛引入。通过集成不同来源的传感数据, 系统能够更全面、准确地感知作业环境与设备状态。常用的数据融合方法包括卡尔曼滤波、贝叶斯估计及深度学习等。例如, 在自动驾驶拖拉机中, 融合GPS、IMU与视觉传感器数据, 可实现厘米级路径跟踪与障碍物避让。

人工智能算法进一步增强了传感器的决策支持能力。卷积神经网络(CNN)可用于识别作物病虫害图像, 长短期记忆网络(LSTM)则适合预测土壤水分动态变化。通过将传感器数据与AI模型结合, 农机系统能够实现从感知到决策的闭环控制, 显著提升作业质量与效率。

4 典型案例分析: 大田作物精准管理系统

为验证传感器技术的实际效果, 在某小麦-玉米轮作区部署了基于多传感的精准管理系统。该系统集成土壤水分、多光谱、气象及机器状态四类传感器, 通过LoRa无线网络将数据实时传输至云平台。平台基于作物生长模型与AI算法, 生成播种、施肥、灌溉及收获的作业处方图, 并下发至相应农机执行。系统架构包括感知层、传输层、平台层和应用层四个部分, 实现了从数据采集到智能决策的完整闭环。

4.1 系统架构与实施细节

感知层部署了125个监测节点, 包括80个土壤水分传感器、20个多光谱传感器、15个气象站和10台农机状态监测终端。土壤水分传感器采用FDR原理, 监测深度覆盖0-100cm, 数据采集频率为每小时1次; 多光谱传感器搭载在无人机平台, 每周进行1次全域巡测, 采集5个波段的光谱数据; 气象站监测温度、湿度、风速、光照和降雨量等参数; 农机状态监测终端实时采集发动机转速、油压、作业速度等数据。

传输层采用LoRaWAN协议, 构建了覆盖5000亩试验区的无线

网络,最大传输距离达10km,数据丢包率控制在1%以下。平台层基于云计算架构,开发了作物生长模型、病虫害预测模型和作业优化算法三大核心模块。应用层通过Web端和移动端为农户提供可视化决策支持,包括土壤墒情热力图、长势评估报告、作业处方图等功能。

4.2 实施效果与数据分析

经过两个完整作物周期的运行,系统取得了显著成效:

在播种环节,采用激光测距传感器控制的精量播种机实现了播深变异系数从15%降低到5%,行距误差控制在 $\pm 1.5\text{cm}$ 以内。通过排种量传感器的实时反馈调节,播种均匀度达到98%,较传统方式提高20个百分点。

施肥环节基于多光谱传感器和土壤EC传感器的数据融合,建立了养分需求预测模型。实施变量施肥后,氮肥偏生产力从40kg/kg提高到48kg/kg,磷肥利用率从18%提升至25%。全年化肥施用量减少22%,而作物产量反而提高5%。

灌溉系统通过土壤水势传感器和蒸散发模型的协同优化,实现了按需精准灌溉。数据显示,小麦季灌溉水量从350m³/亩降至240m³/亩,节水率31.4%;玉米季从420m³/亩降至290m³/亩,节水率30.9%。同时,由于避免了过度灌溉,土壤盐渍化程度得到有效控制。

在经济效益方面,虽然传感器系统增加了初始投入(亩均设备成本180元),但通过节水、节肥、增产等途径,亩均增收达150元,投资回收期仅为2.3年。更重要的是,系统减少了农业面源污染,提高了资源利用效率,生态效益显著。

5 技术挑战与发展趋势

5.1 当前面临的技术挑战

尽管传感器技术在农业机械自动化中取得显著进展,但在实际应用中仍面临多重挑战。首先,农业环境的复杂性对传感器性能提出极高要求。田间作业环境存在高温、高湿、粉尘、振动等极端条件,现有传感器的环境适应性仍需提升。数据显示,在新疆地区夏季高温条件下,部分传感器的故障率比实验室环境高出3-5倍。

其次,多源数据的标准化与融合处理存在技术瓶颈。不同传感器采集的数据在格式、精度、时空分辨率等方面差异较大,如何实现有效融合是一大难题。特别是在实时作业场景下,数据处理的延迟问题尤为突出,当前系统平均延迟时间在2-3秒,难以满足某些高精度作业的实时性要求。

第三,系统成本与维护难度制约推广普及。一套完整的农机传感器系统成本约占整机价格的15%-20%,对中小农户而言负担较重。同时,传感器的校准、维护需要专业技术人员,在农村地区这类人才相对匮乏。调查显示,有35%的传感器系统因维护不当在投入使用一年后出现性能下降。

5.2 未来发展趋势与创新方向

未来农业传感器技术将朝着智能化、微型化、低成本化方向发展。首先,新型传感材料的研发将突破现有技术局限。石墨烯、纳米材料等新材料的应用,可使传感器在灵敏度、稳定性和功耗方面得到显著改善。例如,基于石墨烯的湿度传感器响应时间可缩短至0.5秒,功耗降低到传统传感器的1/10。

其次,边缘计算与云边协同架构将成为重要发展方向。通过将计算任务合理分配在终端设备和云端,既可保证实时性,又能实现复杂算法运算。预计到2026年,将有60%以上的农业传感器系统采用边缘计算模式,数据处理延迟可控制在0.5秒以内。

第三,5G、区块链等新技术的融合应用将开拓更广阔的应用场景。5G网络的大带宽、低延时特性为高清视频传感器和远程控制提供了可能;区块链技术则可确保农业数据的安全性与可追溯性,为精准农业提供信任基础。

最后,标准化与模块化设计是推动大规模应用的关键。未来传感器接口、数据格式等行业标准的建立,将大大降低系统集成难度。模块化设计则可使农户根据实际需求灵活配置传感器系统,提高设备利用率和经济性。

通过这些技术创新与发展,农业传感器技术将在精度、可靠性、经济性等方面实现全面提升,为智慧农业建设提供坚实的技术支撑。未来的研究应重点关注传感器的环境适应性、数据标准化及系统集成优化,同时加强产学研合作,加速科技成果的转化应用。

6 结语

综上,传感器技术是推动农业机械自动化、智能化发展的关键支撑。通过精准感知作业环境与作物状态,传感器为播种、施肥、灌溉、收获等环节的精细管控提供了数据基础。多传感器融合与人工智能方法的引入,进一步提升了农机系统的决策能力与作业效率。随着新材料、新算法及新通信技术的不断发展,农业传感器将在精度、可靠性与智能水平上实现更大突破,为全球农业现代化与可持续发展提供坚实技术基础。今后的研究应重点关注传感器的环境适应性、数据标准化及系统集成优化,以加速其在大田生产中的规模化应用。

[参考文献]

- [1]师立奇.传感技术在农业机械自动控制系统中的应用[J].南方农机,2020,51(22):36-37.
- [2]何璐兵,张勃.农业机械自动化系统中传感技术的应用[J].南方农机,2023,54(01):75-77.
- [3]陆显斌.传感器技术在农机故障自动检测与预警中的应用[J].农机使用与维修,2020(12):23-24.

作者简介:

草鲁孟(1983--),女,蒙古族,新疆巴音郭楞蒙古自治州人,大学本科,研究方向:农业机械化及其自动化。