

基于物联网的农业机械化智能监测与调控系统研究

刘小虎 刘 钦

安丘市景芝镇农业农村综合服务中心 山东 安丘 262119

摘 要: 在全球人口增长、耕地紧张与气候变化压力下,传统粗放农业难以为继。发展智能精准农业是保障粮食安全、提升效益与可持续发展的关键。当前农机多处“信息孤岛”,作业不透明、管理靠经验,造成资源浪费与质量不稳。物联网(IoT)凭借泛在感知、可靠传输与智能处理,为破解难题提供全新路径。本文聚焦于构建一个基于物联网的农业机械化智能监测与调控系统,深入探讨了该系统的总体架构、核心感知层技术、数据传输与处理机制、智能决策与调控模型,并分析了其在提升农机作业效率、优化资源配置、保障作业质量等方面的应用价值。研究表明,通过深度融合物联网、大数据、人工智能等前沿技术,能够实现对农机作业全过程的数字化、可视化与智能化管控,从而驱动农业生产方式向更高层次的集约化、精准化和绿色化转型。

关键词: 农业机械化;物联网;智能监测;精准调控;智慧农业

引言

长期以来,我国农业机械化虽取得显著进展,但“有机无智”问题突出:拖拉机、播种机、植保机等装备在作业中,其运行状态、作业参数和位置信息难以有效采集,导致管理者依赖经验与事后反馈,无法实时干预,造成种子、化肥、农药和燃油的严重浪费,并因作业不均、重漏播/施等问题影响产量与品质。随着物联网技术,特别是低功耗广域网(LPWAN)、边缘计算和5G等分支的成熟,构建覆盖“云-边-端”全链条的农机智能监测与调控体系成为可能。该体系打通农机内部子系统、农机之间及农机与农田环境的信息壁垒,形成“感知—分析—决策—执行”闭环,推动农业从“经验驱动”向“数据驱动的精准农业”转型。本文系统阐述该技术体系的内涵、关键技术及其对现代农业发展的深远意义。

1 系统总体架构与功能设计

一个完整的基于物联网的农业机械化智能监测与调控系统,应是一个多层次、分布式、协同化的复杂信息系统。其总体架构可划分为感知控制层、网络传输层、数据处理层和应用服务层四个逻辑层面,共同支撑起从物理世界到数字世界再到物理世界的完整闭环。

1.1 感知控制层:农机装备的“感官”

感知控制层是整个系统的物理基础,直接部署于各类农机装备之上,负责与物理世界进行交互。其核心任务包括两个方面:一是全面感知,即通过集成多种类型的传感器,实时采集农机自身的运行状态信息

和外部作业环境信息;二是精准执行,即根据上层决策指令,通过控制执行机构对农机作业参数进行动态调整。具体而言,感知部分涵盖GNSS高精度定位模块、惯性测量单元(IMU)、发动机转速与油耗传感器、液压系统压力与流量传感器、以及针对不同作业环节的专用传感器,如播种机上的排种器堵塞与漏播报警传感器、施肥机上的肥料流量计、变量喷雾机上的药液流量与压力传感器、收获机上的喂入量与损失率传感器等^[1]。执行部分则主要包括电控液压阀、步进电机、伺服电机等,用于调节耕深、播种量、施肥量、喷药量、割台高度等关键作业参数。这一层的设计原则是高可靠性、强环境适应性和低功耗,确保在复杂多变的农田环境中长期稳定工作。

1.2 网络传输层:信息流动的“高速公路”

网络传输层承担着将感知层采集的海量异构数据高效、可靠地传输至后端处理中心的任务,同时也负责将调控指令从云端或边缘节点下发至农机终端。鉴于农田环境通常远离城市通信基础设施,且农机作业具有大范围移动的特点,该层需要采用多元融合的通信策略。对于固定或半固定的农业设施(如灌溉泵站、仓储设备),可优先采用有线以太网或Wi-Fi 6等高速局域网技术。对于移动的农机装备,则主要依赖蜂窝移动通信网络(4G/5G)和低功耗广域网(LPWAN)技术。5G网络凭借其超大带宽、超低时延和海量连接的特性,适用于需要实时高清视频回传(如自动驾驶视觉导航)或毫秒级控制响应的场景。而LoRa、NB-IoT等LPWAN技术则以其远距离、低功耗、低成本的优势,非常适合传

输农机位置、作业状态、油耗等小数据包、低频次的信息，能有效延长车载终端的电池寿命。此外，在无公网覆盖的偏远地区，还可考虑自组网（Ad-hoc）或卫星通信作为补充手段，确保信息链路的全覆盖与高鲁棒性。

1.3 数据处理层：系统的“大脑”

数据处理层是整个系统的核心智能所在，通常部署在云端数据中心或靠近农田的边缘计算节点上。其主要功能是对来自成千上万台农机的原始数据流进行清洗、融合、存储、分析和挖掘。首先，通过数据清洗剔除因传感器故障或信号干扰产生的异常值。其次，利用时空关联分析、多源信息融合等技术，将来自同一台农机不同传感器的数据（如位置、速度、作业深度、油耗）以及来自不同农机的协同作业数据进行整合，构建出完整的作业事件视图。在此基础上，依托大数据平台（如Hadoop, Spark）和人工智能算法（如机器学习、深度学习），对数据进行深层次的价值挖掘^[2]。例如，通过分析历史作业数据与最终产量的关系，可以建立作业质量评估模型；通过分析农机运行数据，可以预测潜在的机械故障；通过分析农田土壤、气象与作物长势数据，可以生成最优的作业处方图。边缘计算节点的引入，使得部分对实时性要求极高的计算任务（如自动驾驶路径规划、变量施药的即时决策）可以在本地完成，大大降低了对云端的依赖和网络带宽的压力。

1.4 应用服务层：面向用户的“窗口”

应用服务层是系统功能的最终呈现，为不同层级的用户提供直观、便捷的交互界面和服务。对于农场主或农机合作社管理者，可通过 Web 端或移动端 APP，实时查看所有农机的位置、作业进度、作业轨迹、燃油消耗、作业面积等全局信息，进行远程调度和作业任务分配。对于农机手，驾驶室内的智能终端可以提供高精度的自动驾驶引导、实时的作业质量反馈（如提示当前播种量是否达标）、以及故障预警信息，极大地减轻了劳动强度并提升了作业精度。对于农艺专家或政府监管部门，系统可提供宏观的农业生产数据分析报告，如区域播种面积统计、化肥农药使用总量监测、农机作业效率评估等，为科学决策和政策制定提供数据支撑。该层的设计需充分考虑用户体验，做到界面友好、操作简便、信息直观。

2 核心感知与监测技术

实现对农机作业全过程的精细化监测，依赖于一系列先进感知技术的集成与应用。

2.1 高精度定位与姿态感知技术

精准的定位与姿态信息是实现农机自动驾驶、变量作业和作业质量追溯的前提。全球导航卫星系统（GNSS），特别是结合了北斗、GPS、GLONASS 等多星座的 RTK（实时动态差分）或 PPP-RTK（精密单点定位-实时动态）技术，能够为农机提供厘米级甚至毫米级的实时定位精度。然而，在高楼、林区或峡谷等卫星信号遮挡严重的区域，单纯依赖 GNSS 会导致定位失效。因此，必须将其与惯性测量单元（IMU）进行深度融合。IMU 通过测量载体的角速度和加速度，可以在短时间内推算出位置和姿态的变化，有效弥补 GNSS 信号中断时的定位空白。通过卡尔曼滤波等传感器融合算法，将 GNSS 的绝对定位优势与 IMU 的短期稳定性优势结合起来，可以构建一个全天候、高可靠的农机位姿感知系统，为后续的所有智能应用奠定空间基准。

2.2 作业过程状态监测技术

对农机核心作业部件工作状态的实时监测，是保障作业质量和预防机械故障的关键。在耕整地环节，通过安装在犁、耙等机具上的深度传感器和倾角传感器，可以实时监测耕深是否均匀、地表平整度是否达标。在播种环节，光电传感器或电容式传感器被广泛应用于排种器，通过检测种子通过时引起的光电信号或电容变化，可以精确计数播种量，并实时判断是否存在堵塞、漏播或多播现象。在施肥与植保环节，高精度的流量计（如电磁流量计、质量流量计）和压力传感器被用于监测液体或颗粒肥/药的施用量和喷雾压力，确保其严格按照预设的处方图执行^[3]。在收获环节，通过在脱粒滚筒、清选筛等关键部位安装振动、声音或光学传感器，可以间接评估作物的喂入量、含杂率和损失率，为优化收获机作业参数提供依据。所有这些状态信息都被实时上传至系统，形成了对作业过程的全方位监控。

2.3 农机健康状态监测技术

除了作业状态，对农机自身健康状况的监测同样重要。通过对发动机的转速、水温、油压、排气温度等关键参数进行实时监控，可以及时发现发动机过热、润滑不良等潜在故障。利用振动传感器监测变速箱、传动轴等旋转部件的振动频谱，可以识别出轴承磨损、齿轮断齿等早期机械故障征兆。通过对燃油消耗率的长期跟踪分析，可以评估发动机的燃烧效率和整体性能劣化趋势。这些健康状态数据不仅用于故障预警，还可以为制定科学的保养和维修计划提供数据支持，从而延长农机使用寿命，降低运维成本。

3 智能调控与决策模型

监测是手段,调控是目的。基于物联网采集的海量数据,构建科学的决策模型,实现对农机作业的智能化、精准化调控,是本系统的核心价值所在。

3.1 基于处方图的变量作业技术

变量作业 (Variable Rate Application, VRA) 是精准农业的核心技术之一,其基本思想是“按需投入”,即根据不同地块的土壤肥力、墒情、病虫害发生程度等差异,动态调整种子、化肥、农药的投入量。本系统通过集成农田地理信息系统 (GIS),将预先生成的数字化处方图 (Prescription Map) 加载到农机的智能终端上^[4]。在作业过程中,系统根据高精度定位信息,实时查询当前位置对应的处方值,并通过电控执行机构自动调节排种器、施肥器或喷雾系统的输出量。例如,在土壤肥力高的区域自动减少施肥量,在病虫害高发区增加施药量。这种“因地制宜”的作业方式,不仅能显著节约生产成本,更能有效减少农业面源污染,保护生态环境。

3.2 农机自主协同作业技术

随着农场经营规模的不断扩大,单台农机的作业能力已无法满足需求,多机协同作业成为常态。物联网系统为此提供了强大的协同调度能力。云端调度中心可以根据各农机的实时位置、作业能力、剩余油量以及待作业地块的分布,运用优化算法 (如遗传算法、蚁群算法) 自动生成最优的作业任务分配方案和行驶路径,避免农机间的路径冲突和作业重叠。更重要的是,在收获等对时效性要求极高的环节,可以实现“收-运”一体化协同。当联合收获机的粮箱即将满仓时,系统会自动向附近的运粮车发送指令,引导其前往指定卸粮点等待,从而实现无缝衔接,最大化作业效率。这种基于信息共享和智能决策的协同模式,彻底改变了过去依赖人工对讲机协调的低效方式。

3.3 作业质量在线评估与反馈调控

传统的作业质量评估往往滞后于作业过程,发现问题时已无法挽回。本系统通过构建作业质量在线评估模型,实现了“边作业、边评估、边调控”的闭环。该模型利用感知层采集的实时作业数据 (如实际播种量、耕深、喷雾覆盖率) 与预设的目标值进行比对,并结合环境因素 (如土壤湿度对耕深的影响) 进行动态修正,实时计算出当前作业的质量指数。一旦发现质量偏差超出允许阈值,系统会立即向农机手发出声光报警,并在智能终端上给出具体的调整建议 (如“请降低车速以保证播种密度”)。在更高级的应用中,系统甚至可以直接介入控制,自动微调相关作业参数,确保作业质量始终处于最优状态。

4 结语

基于物联网的农业机械化智能监测与调控系统,代表了现代农业装备技术发展的前沿方向。本文系统地阐述了该系统的四层架构、核心感知技术、智能调控模型及其面临的集成与安全挑战。研究表明,通过将物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术与传统农业机械深度融合,能够彻底改变农业生产的方式,实现对农机作业全过程的透明化、数字化和智能化管理。未来,随着相关技术的不断成熟和标准体系的逐步完善,该系统必将在广袤的田野上发挥越来越重要的作用,开启中国农业现代化的新篇章。

参考文献

- [1] 程明玉. 物联网环境下农业机械作业数据实时采集与智能运维管理研究 [J]. 南方农机, 2026, 57(07): 64-66.
- [2] 罗华. 物联网技术在农业机械自动化中的应用 [J]. 河北农机, 2026, (04): 96-98.
- [3] 许盈盈. 基于物联网技术的农业机械智能化控制系统设计 [J]. 南方农机, 2026, 57(06): 130-132.
- [4] 周丽萍. 基于物联网的农业机械远程监控与管理系统设计与实现 [J]. 中国农机装备, 2025, (12): 4-6.