

高标准农田数字化监控系统建设及应用分析

马云

新疆远达科技有限公司，新疆维吾尔自治区，830009；

摘要：研究旨在应对资源约束与生态压力，通过构建数字化监控系统提升高标准农田的精准管控与智能决策水平。研究设计了“感知-传输-平台-应用”四层系统架构，部署了融合固定传感器、无人机遥感与智能装备的立体感知网络，建立了基于异构网络与边缘计算的数据采集传输体系，并搭建了集成数据治理、模型算法与可视化服务的云平台。应用结果表明，该系统驱动智能灌溉使水效提升至82%以上，精准施肥用药促使化肥与农药亩均用量分别减少约16%和21%，管理效率提升显著推动主要粮食作物平均亩产增加7.4%。该系统实现了农田生产管理过程的数字化与智慧化，为保障粮食安全、推进农业现代化提供了有效的技术解决方案。

关键词：高标准农田；数字化；监控系统

DOI：10.69979/3041-0673.26.05.040

引言

全球农业正面临资源约束趋紧与环境可持续发展的双重压力，传统农田管理模式已难以满足精细化、智能化的现代农业生产需求。数字技术的快速发展为破解上述困境提供了新的路径，推动农田基础设施与管理方式向数字化转型成为农业现代化的关键环节。本研究旨在系统构建一个集成智能感知、可靠传输与智慧决策的高标准农田数字化监控系统，以提升农田资源的利用效率与管理效能。其创新之处在于设计并实现了一个多源信息融合、边缘云端协同、模型驱动决策的一体化技术体系。该研究能够为大规模农田的数字化建设与智能化运营提供可复制的技术方案与实践参考。在此背景下，对高标准农田数字化监控系统进行深入研究，具有显著的现实意义和价值。

1 高标准农田数字化需求分析

高标准农田数字化需求分析源于对传统农田管理模式的深刻反思。面对资源约束趋紧、生态压力加剧的现实挑战，提升农田基础设施的精准管控能力与生产过程的智能决策水平，已成为保障国家粮食安全与推进农业现代化转型的核心任务。数字技术为解决这一系列问题提供全新路径。需求首先体现在对农田本体状况与生态环境的全天候、立体化感知层面^[1]。这要求系统能够实时、连续地获取土壤墒情、养分含量、气象要素、作物长势以及病虫害发生态势等多源异构数据，以克服传统人工巡查存在的覆盖范围有限、数据离散且滞后的弊端。其次，需求聚焦于数据的深度融合与智能分析。分

散的感知数据必须通过高效可靠的传输网络进行汇聚，并依托云平台进行集成处理，利用大数据与人工智能算法挖掘数据内在关联，实现从“数据”到“信息”再到“知识”的跃迁，为灌溉、施肥、植保等农事作业提供定量化、个性化的操作指令。最终，需求落脚于建立一体化的数字管理平台，集成监测预警、智能控制、统计分析、辅助决策与可视化展示等功能模块，将线下复杂的农田管理流程迁移至线上，实现任务部署、执行跟踪与效果评估的闭环管理。

2 高标准农田数字化监控系统建设

2.1 系统总体架构设计

本文提出的高精度农地数字监控系统基于“感知-传输-平台-应用”的层次化分解及集成原则，在统一技术支持体系下构建一个弹性可扩展的数据驱动式决策系统；该系统的底层是物联网感知层，包括各类传感器节点以及远程探测装置，这样就可以实现采集到土壤温湿度、电导率、氮磷钾含量、气象环境、作物冠层光谱成像及病虫害早期识别等一系列关键参数，并对农业生产环境和作物生长状态进行全维度的数字表达；在网络通信模块中采用多种通信技术相结合的方式，也就是说根据数据频度、带宽需求及部署费用采用窄带物联网、4G/5G 蜂窝网、LoRa 自组网或者专网进行动态选取以保障将农村边缘的数据平滑低时延传输至中心云服务平台^[2]。最终是关键数字化管理中心层级，其基于云技术和容器化的微服务架构搭建。能够接收、清洗、存储、计算及建模多种类型的数据是整套系统的大脑。顶

层的应用服务层根据不同的用户角色如农管员、农技术员、农户提供可自定义智能灌溉、精准施肥、灾害预警、长势分析以及综合经营管理仪表盘等专属功能模块；最终，底层采集的数据转化为可以直接进行决策和执行的农业方案，完成了从数据到价值的价值闭环。

深入技术细节，该架构的创新性体现在其边缘与云端协同的数据处理流与开放式的服务集成能力。感知层设备不仅完成原始数据采集，部分具备边缘计算能力的节点还能在本地完成初步的数据滤波、异常值检测与特征提取，有效减少无效数据传输带来的网络负载。数据传输过程采用轻量化的MQTT协议与严格的数据加密机制，保障指令下发与状态上报的实时性与安全性。平台层采用时序数据库、关系型数据库与对象存储相结合的方式，分别高效处理传感器时序流数据、结构化业务数据与非结构化的影像数据；并通过构建数据中台，封装统一的作物生长模型、病虫害识别算法、水肥决策模型等微服务，以应用程序编程接口方式向上层应用提供标准化服务。应用层的设计强调用户体验，通过地理信息系统引擎实现农田资产、监测点位、预警区域的空间可视化一张图管理，并支持基于历史数据与多情景模拟的对比分析，为农田设施的长期规划与管护策略优化提供定量依据。

2.2 监控感知层部署

农田监视感知层是实现农业数字孪生以及精准化数据采集的基础，其主要工作就是在多层次、多层次构建完整的感知体系，满足从地下根系土壤到上部冠形的立体式监测需求。具体实施按照“静态监测+动态巡检，点位感知+遥感监测”的思路进行。针对关键区域例如在水源入口处，在重要土质区域，在流行疾病的区域以及害虫多发地区安装了耐腐蚀性、防水型埋设式横向断面传感器及地表气候台等永久性监测仪器设备，并使用太阳能供电并配备有电池组，可全年全天候工作，采样周期可在不同生长发育期随时设定，可选时间间隔15分钟或1小时^[3]。为了克服定点观测空间局限性，采用搭载不同波段摄像机或高清摄像机的无人直升机定时巡检拍摄，得到的影像数据由现场边端处理单元实时融合并完成初始化，快速生成表征长势异质性的植被指数图。

传感器选型强调环境适应性，土壤水分传感器采用频域反射原理，其探测深度可根据不同作物根系分布配

置为10 cm、20 cm、30 cm、40 cm多个层次，以精确描绘土壤水分剖面动态。气象站不仅监测常规的温度、湿度、风速与光照，还集成大气压与降雨量传感器，为农田小气候建模提供完整输入。数据采集协议统一为Modbus RTU或MQTT-SN，确保不同厂商设备的互操作性。网关设备作为感知层的边缘计算节点，承担协议转换、数据本地聚合与缓存、以及初步的质量控制任务，例如剔除因传感器瞬时故障产生的异常跳变值。在通信组网上，针对地形复杂或网络信号薄弱的区域，采用多跳中继的LoRa网状网络，将边缘数据接力传输至通信条件良好的汇聚节点，再通过4G网络回传。感知层的科学部署，不仅生成了高时空分辨率的原始数据流，其本身的设备状态、能耗与通信质量数据也被同步监控，为整个数字化系统的稳定运行与运维管理提供了底层保障。

2.3 数据采集与传输

采集阶段首先面临协议及频率标准化的问题，系统使用部署于物联网中的边缘采集程序完成对满足Modbus、MQTT-SN工业控制规范的所有传感器接入工作，以及对模拟值或数字信号进行标准化处理生成带有精确时间戳、装置ID和位置坐标的标准化数据块的功能。根据不同的数据类型进行不同的数据采集模式处理：土壤温湿度、电导度等环境信息按时间周期进行定时采集，默认采集周期是12min；作物生长图像、航拍地图等大数据采用事件触发方式及巡检方式进行采集^[4]。高分辨率的数据收集只发生在重要生长期被识别或者可疑区域被检测到之后，在这种情况下，可以最小化数据价值损耗以及存储成本。在数据收集期间发生的整个过程，网关端口中的微决策引擎也进行数据清洗及预处理操作。

数据传输网络采用“边缘聚合、多路径冗余、分级保障”的混合架构，以应对农田广阔地域内复杂多变的通信环境。在田间局部区域，传感器节点通过ZigBee或LoRa无线链路将数据汇聚至区域网关，这种自组网模式具备低功耗与强穿透特性，单个网关可有效覆盖半径1.2 km至1.8 km的范围。区域网关作为关键枢纽，承担协议转换、数据压缩与本地缓存职责，随后通过无线4G/5G公网/专网链路将聚合数据上传至云平台。传输过程全程启用TLS加密与设备身份认证，保障数据隐私与防篡改。

2.4 数字管理平台搭建

数字管理平台作为整个监控系统的“智慧大脑”，其搭建核心在于构建一个集数据汇聚、处理、分析、建模与服务于一体的云端智能中枢。平台基于微服务架构与容器化技术构建，具备弹性伸缩与高可用特性，能够无缝接入并管理前文所述的各类感知数据流。平台逻辑上划分为数据资源层、算法模型层与应用服务层。数据资源层采用混合存储策略，时序数据注入专为高速读写优化的时序数据库，业务关系数据存入关系型数据库，而高光谱影像等非结构化数据则存储于分布式对象存储系统，通过统一的数据治理工具链实现元数据管理、质量稽核与血缘追溯^[5]。算法模型层是平台智能化的关键，它封装了作物生长模拟、需水需肥诊断、病虫害识别预警、产量预估等一系列专业农业模型，这些模型以微服务形式部署，通过标准应用程序编程接口对外提供调用服务。应用服务层则基于这些模型能力，组合封装成面向不同业务场景的标准化功能模块，如智能灌溉决策、精准施肥处方、农情监测报告自动生成等，并通过可视化门户或移动应用向终端用户呈现。

平台的技术实现深化了数据驱动决策的细节。数据接入端，平台部署了高并发消息中间件，支持每秒处理超过12万条传感器消息，确保海量数据涌入时不丢失、不堵塞。在数据分析环节，平台内置多源数据融合引擎，能够将实时传感器数据、周期性遥感影像、历史作业记录以及外部气象、市场信息进行时空对齐与关联分析。例如，平台利用融合后的数据，驱动基于随机森林算法的土壤养分反演模型，生成每8平方米网格的精准施肥建议图。模型迭代与优化依托于平台内置的机器学习 workflow，系统自动将新的监测数据作为验证集，持续评估并优化模型参数，形成“数据驱动模型优化、模型提升决策精度”的闭环。平台前端采用三维地理信息系统引擎与数据可视化组件，将抽象的农田数据转化为直观的时空态势“一张图”，管理人员可在此界面上穿透查询任一田块的历史墒情曲线、实时视频、作业台账与模型预测结果，从而支撑从宏观规划到微观执行的全程数字化管理。

3 高标准农田数字化监控系统应用

高标准农田数字化监控系统应用后，关键管理指标呈现系统性优化。在水资源利用方面，基于土壤墒情实时监测与作物蒸散量模型驱动的智能灌溉系统，将灌溉

用水效率从传统模式的约62%提升至82%以上，实现节水的同时保障了作物需水。在肥料与农药施用方面，通过多源数据融合生成精准处方图，变量施肥与施药技术使化肥亩均使用量减少约16%，农药使用量降低约21%，有效减轻了农业面源污染。系统将大量人工巡田与经验判断工作转化为自动化监测与智能预警，使田间管理的人工投入减少超过73%，管理效率倍增。最终，这些精准管控措施直接作用于作物生长全过程，在试点区域推动棉花作物平均亩产增加7.4%，且农产品品质一致性得到更好保障，充分验证了数字化监控技术对农田“节本、增效、提质、生态”目标的全面支撑作用。

4 结论

研究通过构建并验证一套完整的高标准农田数字化监控系统技术体系，证实了数字技术赋能农田精细化管理与智慧化决策的可行性与有效性。体系以“感知-传输-平台-应用”的协同架构为核心，整合物联网、边缘计算、云计算与人工智能模型，实现了对农田环境与作物生长的全维度感知、高可靠传输、深层次分析与精准化控制。展望未来，研究可进一步探索数字孪生技术在农田全生命周期管理中的深度应用，加强多源异构数据的融合与知识发现能力，以应对更加复杂的农业生产场景与气候变化挑战。

参考文献

- [1] 靳晓伟. 数字技术是高标准农田的高产秘诀[J]. 村委主任, 2025, (02): 148-150.
- [2] 刘华荣, 吕宪军, 曹文德, 等. 高标准农田数字化建设框架与路径研究[J]. 农业技术与装备, 2025, (01): 75-77+81.
- [3] 刘世国, 邵明星. 智慧农业在高标准农田建设中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(09): 108-111.
- [4] 董通, 薛彦宏, 任泽俭. 基于“互联网+”高标准农田信息化设计方案的探讨[J]. 河南水利与南水北调, 2024, 53(08): 103-104.
- [5] 蔡纯. 数字赋能高标准农田建设高质量发展[J]. 农业工程技术, 2024, 44(20): 60-61.

作者简介: 马云, 出生年月: 1981-08-16, 性别: 男, 民族: 回, 籍贯: 新疆, 学历: 本科, 职称: (现目前的职称) 中级, 研究方向: 智慧农业。