

基于物联网的农业智能化灌溉系统设计与应用

何代弟 王宇雷 王冬梅 洪贤泰 陈安琪*

铁门关职业技术学院, 中国·新疆 铁门关 841007

摘要: 论文深入探讨基于物联网的农业智能化灌溉系统的设计与应用, 分析该系统在农业现代化进程中的重要意义, 针对系统成本高昂、数据安全隐患突出、系统兼容性与扩展性差等问题, 提出优化方案。通过引入实际农业案例, 阐述降低成本、强化数据安全、提升系统兼容性的具体对策, 为推动物联网技术在农业灌溉领域的深度应用, 实现农业高效节水与可持续发展提供理论参考与实践借鉴。

关键词: 物联网; 农业智能化灌溉系统; 成本控制; 数据安全; 系统兼容性

Design and Application of Agricultural Intelligent Irrigation System Based on Internet of Things

Daidi He Yulei Wang Dongmei Wang Xiantai Hong Anqi Chen*

Tiemenguan Vocational and Technical College, Tiemenguan, Xinjiang, 841007, China

Abstract: This paper explores in depth the design and application of an agricultural intelligent irrigation system based on the Internet of Things, analyzes the importance of the system in the process of agricultural modernization, and proposes optimization solutions to address issues such as high system costs, prominent data security risks, and poor system compatibility and scalability. By introducing practical agricultural cases, this paper elaborates on specific measures to reduce costs, strengthen data security, and enhance system compatibility, providing theoretical and practical references for promoting the deep application of Internet of Things technology in agricultural irrigation and achieving efficient water-saving and sustainable development in agriculture.

Keywords: Internet of Things; agricultural intelligent irrigation system; cost control; data security; system compatibility

0 前言

在全球水资源日益紧缺和农业现代化发展的双重背景下, 传统农业灌溉方式因水资源利用率低、人力投入大等弊端, 难以满足现代农业高效、精准、可持续发展的需求。物联网技术凭借其对信息的实时感知、传输与处理能力, 为农业灌溉带来了革新机遇。基于物联网的农业智能化灌溉系统通过传感器、通信网络和智能控制设备, 实现对土壤湿度、气象条件等环境参数的实时监测与精准灌溉控制, 有效提升了水资源利用效率, 降低了人力成本, 成为农业领域关注的焦点。然而, 该系统在实际设计与应用过程中仍面临诸多挑战, 深入研究并解决这些问题, 对推动农业智能化灌溉系统的广泛应用与农业可持续发展具有重要意义。

1 基于物联网的农业智能化灌溉系统设计与应用的重要意义

基于物联网的农业智能化灌溉系统的设计与应用, 是农业生产向智能化、精准化迈进的关键一步, 对农业发展有多方面的重要意义。从资源利用角度来看, 传统灌溉方式存在过度灌溉或灌溉不足的问题, 导致水资源浪费或农作物生长受影响。而智能化灌溉系统通过土壤湿度传感器实时监测土壤含水量, 结合气象数据和农作物生长阶段的需水规律, 精准控制灌溉时间和水量, 实现按需灌溉。相关研究表明,

相比传统灌溉, 该系统可使水资源利用率提升 30%~50%, 有效缓解了水资源短缺的压力。

在农业生产效率方面, 智能化灌溉系统减少了人力在灌溉环节的投入。以往农民需要频繁前往田间查看土壤状况并手动操作灌溉设备, 现在通过物联网技术, 农民可以在手机或电脑端远程监控和控制灌溉系统, 极大地提高了生产管理效率。此外, 精准灌溉为农作物创造了更适宜的生长环境, 促进了农作物的健康生长, 有助于提高农作物产量和品质, 增加农民收入, 推动农业经济发展。同时, 该系统的应用也有助于实现农业生产的标准化和规范化, 为农业现代化发展奠定坚实基础。

2 基于物联网的农业智能化灌溉系统设计与应用的问题

2.1 系统建设与维护成本高昂

基于物联网的农业智能化灌溉系统的高成本问题, 如同横亘在技术普及道路上的“拦路虎”, 其根源在于技术复杂度、产业链不完善以及农业生产特性的多重叠加。从硬件设备角度来看, 高精度土壤湿度传感器单个成本通常在 300~800 元, 一套覆盖百亩农田的监测网络, 仅传感器采购费用就可能超过 5 万元。而气象站设备、数据传输模块、智能控制终端等核心部件, 因技术门槛高, 长期依赖进口, 进

一步推高了成本。例如,某西南地区农业合作社尝试搭建智能化灌溉系统,仅设备采购就花费 28 万元,未包括后续的安装调试费用,对于年均净利润不足 15 万元的合作社而言,无疑是沉重的负担。

系统的维护成本同样不容小觑。传感器作为系统的“神经末梢”,需要定期校准和更换,以土壤湿度传感器为例,平均使用寿命为 2~3 年,每次校准费用约占设备成本的 10%~15%。网络通信方面,偏远农田区域往往需要依赖 4G/5G 网络传输数据,每月通信费用可达数百元。软件系统的更新迭代也需要持续投入,部分定制化软件每年的维护费用高达初始开发成本的 20%~30%。此外,农业生产的季节性和利润薄的特点,使得投资回报周期拉长至 5~8 年,远高于普通工业项目。据农业农村部调研数据显示,73% 的农户因成本问题放弃引入智能化灌溉系统,仅有 12% 的大型农业企业能够实现盈亏平衡,严重阻碍了技术的推广应用。

2.2 数据安全隐患突出

在数字农业时代,农业智能化灌溉系统产生的数据已成为新型生产要素,但随之而来的数据安全问题如同隐藏在暗处的“定时炸弹”。从数据传输环节来看,多数小规模农业项目仍采用传统的 Wi-Fi 或低功耗蓝牙传输数据,加密方式简单,极易被破解。例如,2023 年某北方小麦种植基地,因传输协议存在漏洞,黑客篡改土壤湿度数据,导致灌溉系统过度供水,造成 300 亩麦田积水,直接经济损失达 40 余万元。数据存储方面,许多农业企业缺乏专业的数据中心,将数据存储在简易服务器或第三方云平台,一旦遭遇勒索病毒攻击或平台故障,数据丢失风险极高。某省级农业大数据平台曾因服务器遭受 DDoS 攻击,导致全省 15 个县市的农田灌溉数据丢失,严重影响了农业生产决策。

用户权限管理的缺失更是加剧了数据泄露风险。部分系统仅采用简单的账号密码认证,未进行严格的权限分级,导致工作人员可随意访问和修改关键数据。在某蔬菜种植企业,因内部员工权限失控,竞争对手获取了其精准灌溉策略和作物生长数据,致使该企业市场份额骤降。此外,农业数据的特殊性使得安全漏洞的修复难度加大,农作物生长数据一旦泄露,不仅影响当前生产,还可能损害企业长期竞争力。相关研究表明,农业数据泄露事件的平均损失达 35.6 万元,且 60% 的企业难以恢复原有生产秩序。

2.3 系统兼容性与扩展性差

农业生产场景的复杂性与系统兼容性、扩展性不足之间的矛盾日益凸显,成为制约智能化灌溉系统发展的“瓶颈”。在硬件层面,不同厂商生产的传感器、控制器等设备如同“孤岛”,通信协议五花八门。例如,某西北地区农业园区引入了 3 家不同厂商的灌溉设备,由于协议不兼容,系统集成耗时长达 6 个月,额外增加了 15% 的建设成本。更严峻的是,老旧设备与新型传感器之间难以实现无缝对接,导致系统升级困难。某南方果园在尝试加装新型气象传感器

时,因接口不匹配,不得不更换整个控制系统,造成资源的极大浪费。

软件系统的扩展性不足同样令人担忧。传统的单体架构软件难以适应农业生产的多样化需求,当需要添加病虫害监测、精准施肥等功能模块时,往往需要对整个系统进行重构。某草莓种植基地在使用智能化灌溉系统时,因软件扩展性差,无法集成新的温湿度调控功能,导致草莓灰霉病频发,减产达 25%。此外,不同地区的农业管理平台之间数据难以互通,形成“信息孤岛”。据不完全统计,全国农业物联网平台中,仅有 30% 能够实现跨平台数据共享,严重阻碍了农业大数据的整合与应用,限制了智能化灌溉系统向更高层次发展。

3 基于物联网的农业智能化灌溉系统设计与应用的对策

3.1 优化系统成本,提高性价比

为降低基于物联网的农业智能化灌溉系统的成本,需构建“技术创新—政策扶持—市场推广”三位一体的成本优化体系。在硬件设备领域,国产替代与规模化生产的协同效应正成为破局关键。以杭州某农业科技企业为例,其研发的低成本土壤湿度传感器通过采用微机电系统(MEMS)技术,将传感器核心部件尺寸缩小 60%,同时利用国产半导体封装工艺,使单芯片成本降低至进口产品的三分之一。该企业与浙江省农业农村厅合作,在湖州安吉白茶种植基地部署智能化灌溉系统,通过批量采购和政府补贴,将每亩设备安装成本从传统方案的 3500 元降至 1800 元。此外,企业还推出“以旧换新”政策,对回收的旧传感器进行芯片级修复,使维护成本进一步降低 25%,这种全生命周期成本控制模式,使项目在当地推广覆盖率达 78%。

在软件系统方面,开源生态建设成为降低成本的重要突破口。由中国农业大学牵头,联合华为云、阿里云等企业搭建的“智慧农灌开源平台”,整合了土壤墒情分析、气象数据对接等 12 类基础模块,开发者可基于 Apache 2.0 协议进行二次开发。该平台在山东寿光蔬菜产业集群应用后,中小型农业企业的软件开发成本平均降低 65%。同时,平台通过引入区块链技术实现数据确权与共享,农户可通过贡献土壤数据获取积分,兑换软件使用权限,形成“数据反哺成本”的良性循环。政策层面,2023 年农业农村部发布的《数字农业建设指南》明确,对采用国产化设备的智能化灌溉项目给予 30%~50% 的设备补贴,福建、新疆等地还推出“设备租赁+服务收费”模式,农户以每年每亩 120 元的服务费即可享受全套智能化灌溉服务,显著降低前期投入压力。

3.2 强化数据安全防护体系

构建农业灌溉数据安全防护体系,构建“端—边—云”全链路防护架构。在数据传输环节,除加密技术外,边缘计算与联邦学习的融合应用为数据安全提供了新路径。江苏某

农业大数据公司在徐州马铃薯种植基地部署的系统中,采用“边缘节点预处理+联邦学习模型”方案,将 90% 的数据处理在田间边缘设备完成,仅传输模型参数而非原始数据,使数据泄漏风险降低 80%。同时,该系统引入国密 SM4 算法进行动态加密,配合区块链技术实现数据操作全程可追溯,在 2024 年的网络安全攻防演练中成功抵御 27 次模拟攻击。

在数据存储领域,分布式存储与灾备系统的协同建设成为关键。北大荒集团构建的农业数据中心采用 Ceph 分布式存储系统,将数据分片存储在黑龙江、内蒙古等 5 个区域节点,通过纠删码技术实现 3 个节点故障下的数据完整性。同时,建立冷热数据分级存储机制,将实时灌溉数据存储在高性能 SSD,历史数据迁移至蓝光存储,使存储成本降低 40%。权限管理方面,广东省农业农村厅开发的“粤农云”平台创新采用“属性基加密(ABE)+零信任架构”,农户仅能访问与其种植地块、作物类型匹配的数据,该系统在 2023 年服务全省 1200 万亩农田,实现数据零泄漏。此外,农业农村部联合网信办开展的“护农数据安全行动”,通过定期漏洞扫描、安全培训等措施,使行业数据安全事件发生率同比下降 58%。

3.3 提升系统兼容性与扩展性

实现系统兼容性与扩展性的突破,需要建立标准引领、技术融合的发展模式。在硬件层面,全国农业技术推广服务中心联合中国通信标准化协会,制定了《农业物联网设备互操作技术要求》,规范了传感器、控制器等设备的 Modbus-RTU、MQTT 等 6 种通信协议。山东某智慧农业产业园基于该标准,成功集成了 8 家厂商的 12 类设备,通过统一的数据接口规范,使设备接入时间从平均 7 天缩短至 2 小时。此外,采用“即插即用”设计的灌溉控制器,通过内置的自动识别芯片,可在接入系统时自动完成参数配置,极大提升了系统部署效率。

软件层面,微服务架构与低代码开发的结合显著增强系统扩展性。深圳某农业科技公司开发的“农智云”平台,采用 Spring Cloud 微服务框架,将灌溉控制、水肥管理等功能拆分为独立服务模块。在江西赣南脐橙种植基地应用中,通过快速集成病虫害监测微服务模块,使系统具备实时虫情预警功能,部署周期仅用 3 天。同时,平台内置的低代码开发工具,支持农户通过可视化界面自定义灌溉策略,使系统功能扩展成本降低 70%。此外,跨平台数据交互标准的建立也推动了系统融合,如农业农村部推广的“农业农村大数据平台”,通过开放 API 接口,已实现与 18 个省级灌溉系统的数据互通,为农业生产决策提供了更全面的数据支持。

4 结语

基于物联网的农业智能化灌溉系统为农业现代化发展带来了新的机遇和变革,在提高水资源利用效率、提升农业生产效率等方面具有重要意义。然而,系统成本高昂、数据安全隐患突出、系统兼容性与扩展性差等问题制约了其广泛应用。通过优化系统成本、强化数据安全防护体系、提升系统兼容性与扩展性等对策,并结合实际农业案例的实践经验,能够有效解决上述问题,推动物联网农业智能化灌溉系统的进一步发展和普及。

展望未来,随着 5G、人工智能、区块链等新兴技术的深度融合,基于物联网的农业智能化灌溉系统将迎来更广阔的发展空间。5G 技术的低时延、高带宽特性,能够实现灌溉系统的实时精准控制;人工智能算法的引入,可根据作物生长模型进行自主决策,实现真正意义上的智能灌溉;区块链技术为数据安全与共享提供了可靠保障,促进农业产业链各环节的协同发展。同时,在“双碳”目标和乡村振兴战略的政策驱动下,农业生产对节水节能、绿色高效的需求愈发迫切,这将为智能化灌溉系统的推广提供强大动力。

该系统的发展不应局限于单一的灌溉功能,而应向农业全产业链延伸。通过与农产品溯源、电商销售等环节的对接,构建从农田到餐桌的智慧农业生态体系,提升农业附加值。此外,加强国际合作与技术交流,借鉴国外先进经验,结合中国农业实际情况进行本土化创新,有助于打造具有中国特色的农业智能化灌溉解决方案。在技术创新与政策支持的双重推动下,基于物联网的农业智能化灌溉系统必将在农业领域发挥更大的作用,为实现农业的可持续发展和乡村振兴战略目标提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 陈勇,曹玉保,王林强.基于物联网的农业灌溉监控系统设计[J].电子设计工程,2012,20(22):104-106.
- [2] 董征宇.基于物联网的葡萄园信息获取与智能灌溉系统设计[J].农机化研究,2018,40(4):4.
- [3] 李金.基于物联网的农田灌溉系统设计[D].淮南:安徽理工大学,2017.
- [4] 冯筱.基于物联网的温室花卉智能灌溉系统设计[D].曲阜:曲阜师范大学,2015.
- [5] 李英.基于物联网的农业灌溉节水控制系统设计[J].科技通报,2016,32(9):4.
- [6] 文武.基于物联网技术的农业智能灌溉系统应用[J].农机化研究,2020(2):6.