

# AI智联驱动下的园林绿地精准灌溉系统研究

赵珮君<sup>1</sup>, 傅渝亮<sup>2</sup>, 刘利华<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>河北工程大学水利水电学院, 河北 邯郸

<sup>2</sup>华北水利水电大学水利学院, 河南 郑州

收稿日期: 2026年3月25日; 录用日期: 2026年4月30日; 发布日期: 2026年5月14日

## 摘要

针对传统园林灌溉依赖人工经验、水资源利用率低、养护管理粗放等问题, 本文设计一种AI智联驱动的园林绿地精准灌溉系统。系统融合物联网多源感知、LoRa与5G异构网络传输、云边协同架构及人工智能算法, 构建“感知-传输-决策-执行”一体化智能灌溉体系。通过土壤墒情传感器、多光谱监测仪、气象站与智能摄像机获取多维数据, 采用LSTM模型实现土壤湿度预测, 结合随机森林算法优化灌溉决策, 并支持病虫害图像识别与水肥药协同调控。测试与分析表明, 该系统可实现按需精准供水, 有效减少水资源浪费, 预期节水率达30%以上, 同时降低人工成本、改善植物生长环境。研究成果可为城市园林智慧化、精细化、节水化管理提供技术支撑与实践参考。

## 关键词

精准灌溉, 智慧园林, 物联网, AI智联, 云边协同

# Research on AIoT-Driven Precision Irrigation System for Landscape Green Spaces

Peijun Zhao<sup>1</sup>, Yuliang Fu<sup>2</sup>, Lihua Liu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

<sup>2</sup>School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou Henan

Received: March 25, 2026; accepted: April 30, 2026; published: May 14, 2026

## Abstract

Aiming at the problems of traditional landscape irrigation, such as reliance on manual experience,

\*通讯作者。

文章引用: 赵珮君, 傅渝亮, 刘利华. AI 智联驱动下的园林绿地精准灌溉系统研究[J]. 人工智能与机器人研究, 2026, 15(3): 743-749. DOI: 10.12677/airr.2026.153070

low water resource utilization efficiency, and extensive maintenance management, this paper designs an AIoT-driven precision irrigation system for landscape green spaces. Integrating multi-source IoT perception, heterogeneous LoRa and 5G network transmission, cloud-edge collaborative architecture, and artificial intelligence algorithms, the system constructs an integrated intelligent irrigation framework of “sensing-transmission-decision-making-execution”. Multi-dimensional data is collected through soil moisture sensors, multispectral monitors, meteorological stations, and smart cameras. The LSTM model is adopted to predict soil moisture, and the random forest algorithm is combined to optimize irrigation decisions, while supporting pest and disease image recognition and collaborative regulation of water, fertilizer, and pesticide. Tests and analyses demonstrate that the system can realize on-demand precise water supply, effectively reduce water resource waste with an expected water-saving rate of over 30%, and simultaneously lower labor costs and improve plant growth conditions. The research results can provide technical support and practical reference for the intelligent, refined, and water-saving management of urban landscape green spaces.

## Keywords

Precision Irrigation, Smart Landscape, Internet of Things, AIoT, Cloud-Edge Collaboration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

城镇化进程的不断推进使城市园林绿地规模持续扩张，绿化灌溉管理工作面临着水资源短缺与精细化养护需求的双重挑战[1]。据统计，城市绿化用水已占城市公共用水总量的 20%~30%，而传统灌溉方式普遍采用定时定量或人工经验判断，灌溉水资源利用效率低下，且常因灌溉时机不当导致植物生长不良、土壤结构退化等问题。此外，气候变化导致降水时空分布的不确定性加剧，进一步增加了园林绿地水分管理的复杂性。

智慧园林系统以“互联网+”为理念基础，借助物联网、大数据、云计算、人工智能等前沿技术，将园林中的植物、设施、环境等要素数字化，实现园林管理的智能化与科学化[2]。智慧灌溉技术将实时环境监测、植物生理需水模型与自动化控制设备相结合，能够基于动态数据实现灌溉量、灌溉时机的精准判断[3]。随着物联网、人工智能等新一代信息技术的加速演进，灌溉系统正逐步实现从自动化向智能化的跨越[4]。然而，城市园林与农田灌溉存在显著差异：植物种类多样、栽植离散度高、环境干扰因素复杂，对灌溉系统的稳定性和智能化水平提出了更高要求[5]。因此，面向城市园林场景开展智能灌溉系统的研究，兼具重要的理论价值与现实应用意义。

本文在现有研究基础上，深入研究 AI 智联驱动下的园林绿地精准灌溉系统。该系统整合多源感知、异构组网、智能决策与精准执行四大模块，依托机器学习算法对灌溉时机与水量进行动态优化，从而形成从数据采集到执行反馈的闭环调控机制，为提升城市园林绿化管理水平、促进水资源高效利用具有重要的理论价值与实践意义。

## 2. 系统总体设计

系统总体框图如图 1 所示。系统设计以水资源高效利用、植物健康生长、自动化运维与可扩展适配为核心目标，通过精准控制减少无效灌溉，依据植物需水规律动态制定灌溉策略，降低人工干预强度，

同时保证系统在不同园林场景下具备良好的拓展性与适应性。设计过程遵循模块化、云边协同与低功耗原则，采用松耦合模块化架构以支持各功能单元独立迭代升级，将高实时性计算任务部署于边缘节点以提升响应效率，并通过低功耗设计延长传感器网络续航与使用寿命。

系统通过整体部署土壤湿度传感器、温度传感器、光照传感器、气象站等多参数监测设备，系统能够实时采集环境数据并传输至管理平台。基于人工智能算法对多源数据进行深度分析，系统可精确计算植物需水量，自动决策灌溉时机与水量，实现精准灌溉[6]。网络层依托 LoRa 低功耗广域网与 5G 异构网络，实现感知数据稳定、高效传输；平台层部署于云服务器与边缘网关，承担数据融合、AI 模型推理及灌溉决策生成等核心计算功能；应用层面向运维管理人员提供可视化监控界面与远程控制终端，完成指令下发与状态反馈闭环[7]。

针对园林场景开放度高、监测与控制设备分散布设的特点，系统采用 LoRa 与 5G 异构组网方案。其中，LoRa 工作在 470 至 510 MHz 频段，凭借穿透性强、功耗低、传输距离远的优势，承担大范围传感器节点的数据采集与汇聚；网关基站集成 LoRa 与 4G/5G 通信模块，完成传感数据汇聚并通过运营商网络上传至云平台；针对高清视频流等大带宽、高实时性需求，直接采用 5G 网络传输，兼顾覆盖范围、传输效率与系统整体可靠性[8]。

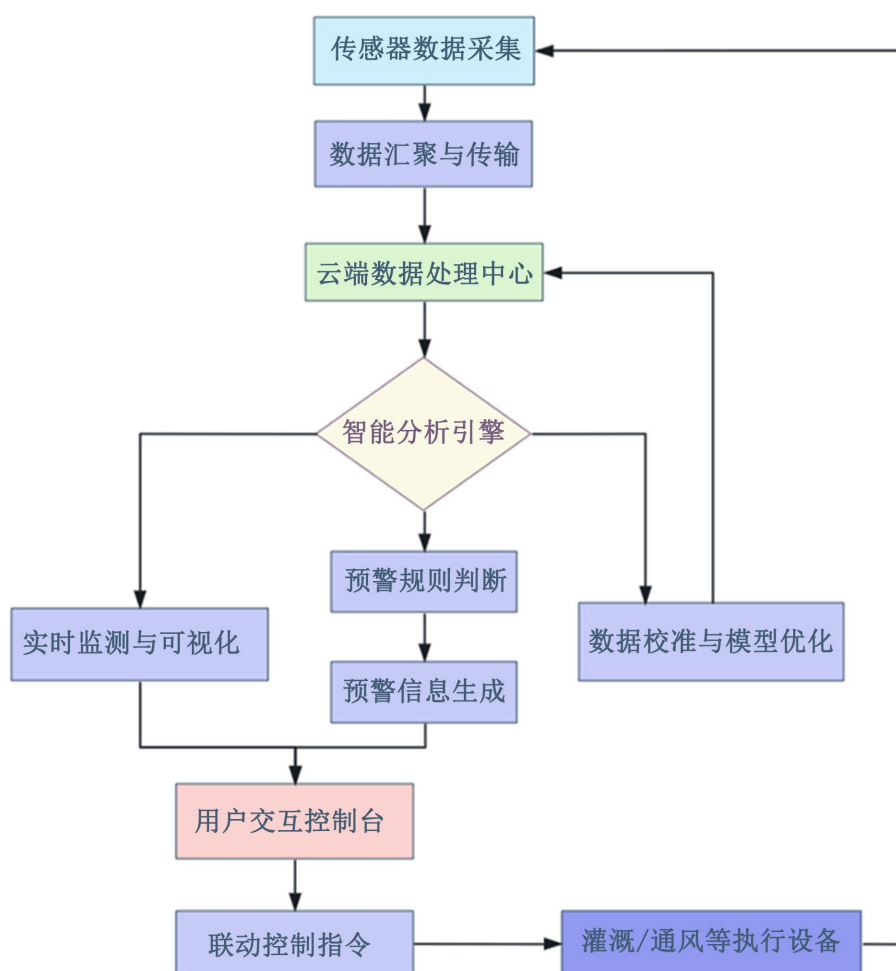


Figure 1. Overall system block diagram

图 1. 系统总体框图

### 3. 硬件系统设计

#### 3.1. 土壤墒情监测模块

土壤水分直接反映根区水分状况，决定灌溉必要性，是精准灌溉决策的最关键参数[9]。系统选用基于频域反射原理的土壤温湿度传感器，工作电压 3.3~5.5 V，测量精度为土壤湿度  $\pm 2\%$ ，温度  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。传感器采用针式探针结构，可插入土壤不同深度(10 cm, 30 cm, 60 cm)，实现剖面水分分布监测。

借鉴北京丰台花园的实践经验，系统在园区内按照“网格化”原则布设监测点位：对于规则绿地，按 30 m  $\times$  30 m 间距设置监测节点；对于名贵乔木或古树，实行单株独立监测。所有传感器节点采用太阳能供电与锂电池储能相结合的方式，阴雨天气可持续工作 15 天以上。

#### 3.2. 植物生长状态感知模块

为突破仅依靠土壤参数判断灌溉需求的局限，系统集成多光谱植被监测仪和智能摄像机两类视觉感知设备。多光谱监测仪可实时采集植被在可见光与近红外波段的反射光谱，计算归一化植被指数、冠层水分指数等生理指标，反映植物的光合活性与水分胁迫程度。

智能摄像机采用海康威视 4K 云台球机，搭载 0.5 TOPS 边缘计算芯片，支持前端图像识别。摄像机在完成常规监控的同时，可对叶片枯黄、病斑、虫害等异常特征进行实时检测，为灌溉与植保的协同调控提供依据。有效监测距离最远可达 150 m，夜间通过红外补光实现全天候工作。

#### 3.3. 执行控制单元

执行控制单元由 STM32 微控制器、电磁阀、流量计及无线控制终端组成。STM32 作为区域控制器，接收云平台下发的灌溉指令，通过继电器控制电磁阀启闭；同时接入流量计，实时监测瞬时流量与累计水量，形成灌溉量的闭环反馈。

为适应园林景观要求，电磁阀采用地埋式安装，阀箱顶部与地面齐平，既便于检修维护，又不影响园林美观。阀门启闭时间可精确控制至秒级，支持脉冲式灌溉(如每 5 分钟喷洒 1 分钟)，提高灌溉均匀度。

## 4. 软件系统与核心算法

#### 4.1. 云边协同软件架构

系统软件平台采用微服务架构部署于云服务器，主要包括数据接入服务、设备管理服务、算法引擎服务与可视化服务四大模块。数据接入服务负责处理网关上传的各类传感数据，执行协议解析与数据校验；设备管理涵盖设备台账与运行状态维护，算法引擎承担 AI 模型推理与灌溉决策计算，可视化服务实现 GIS 地图展示与实时监测看板。

为降低网络延迟并减轻云端计算压力，系统在边缘网关部署轻量级规则引擎。基于预设阈值进行快速响应，如土壤湿度低于警戒值时自动触发灌溉。云端则负责全局优化与模型训练，以一定频率更新边缘策略。

#### 4.2. 基于 LSTM 的土壤湿度预测模型

精准灌溉不仅需要感知当前土壤湿度，更需预判未来变化趋势。系统以长短期记忆网络(LSTM)构建土壤湿度时序预测模型。该网络通过输入门、遗忘门与输出门的门控机制，有效克服了传统循环神经网络的长期依赖问题，适合处理土壤水分随天气与植物蒸腾作用的非线性变化。

模型输入特征包括：过去 72 小时的土壤湿度序列、气象预报数据、植被指数。输出为未来 24 小时

土壤湿度的逐时预测值。模型采用两层 LSTM 结构，隐藏单元数为 128，使用 Adam 优化器进行训练。基于某绿地历史数据验证，模型预测精度(RMSE)达到  $0.032 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ，预测误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。LSTM 的预测结果将作为随机森林决策模型的关键输入之一。

### 4.3. 病虫害智能识别算法

系统拟融合卷积神经网络与迁移学习，构建病虫害图像识别模型。基础网络采用 ResNet-50 架构，在 ImageNet 数据集上预训练后，使用园林植物病虫害图像数据集进行微调。模型可在边缘摄像机端进行轻量化部署，实现前端实时识别。检测到病虫害风险时，系统自动推送预警信息至管理人员，并提示其结合灌溉系统开展水肥药协同调控[10]。

### 4.4. 基于随机森林的灌溉决策模型

系统采用随机森林算法对灌溉时机与水量进行决策。模型输入包括 LSTM 预测的未来土壤湿度、降雨概率、植被指数、植物与土壤类型、蒸散量等特征，输出推荐灌溉时长。训练数据来源于历史监测记录，模型通过集成学习降低过拟合风险。

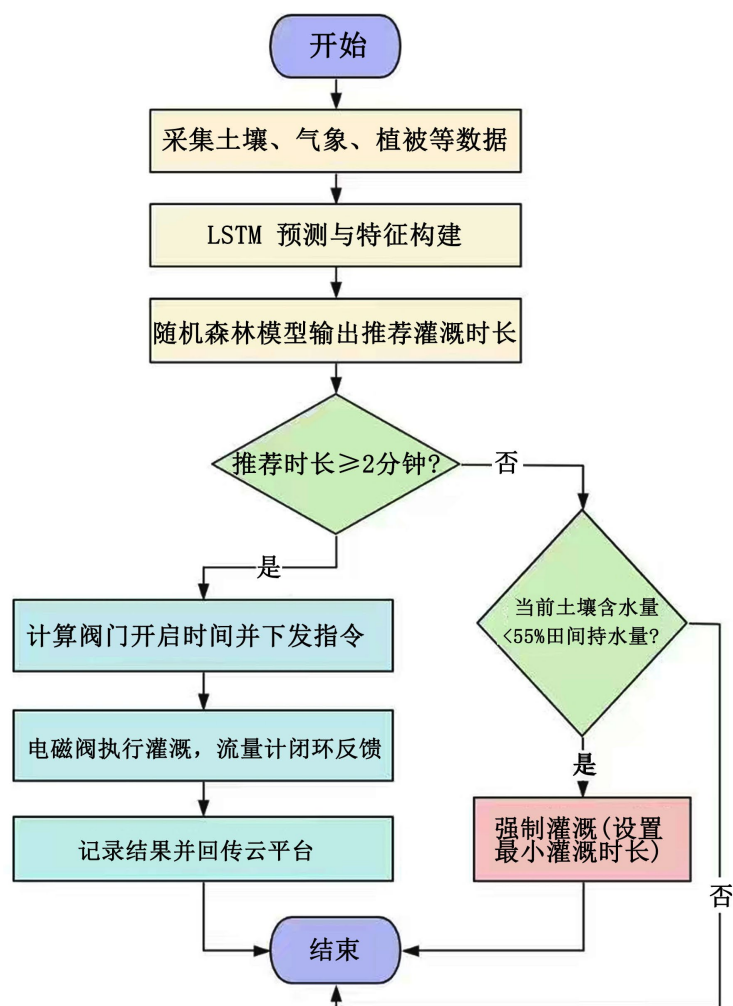


Figure 2. Irrigation decision flowchart  
图 2. 灌溉决策流程图

完整的灌溉决策流程如图 2 所示。流程从多源数据采集开始，经 LSTM 预测、随机森林推理、兜底规则修正，最终生成阀门控制指令并执行，同时将结果回传用于模型更新。

## 5. 应用效益分析

相较于传统灌溉方式，本智能灌溉系统可显著提升水资源利用效率，通过实时感知土壤墒情、植被需水状态等关键参数，实现按需精准供水，从源头减少漫灌、过量灌溉带来的水资源浪费；同时系统可接入气象预报数据，在降雨来临前自动暂停或调整灌溉计划，进一步规避无效灌溉。综合测算，在园林绿地常态化运行条件下，该系统预期可实现节水 30% 以上，节水效益突出。

系统的全流程自动化运行模式，可有效降低园林养护的人工投入与管理成本，依托远程监控与自动控制功能，管理人员可实时获取现场数据并远程下发灌溉指令，大幅减少人工巡检、现场操作等重复性劳动，将养护人员从高强度、低附加值的工作中释放出来，转向景观精细化维护、植物长势调控、设施运维等更高价值的工作内容，实现人力资源的优化配置与养护效率的整体提升。

稳定且适宜的土壤水分供给是园林植物健康生长的重要保障，系统通过精准控制灌溉时机与灌水量，可避免因缺水胁迫或水分过多导致的根系缺氧、烂根等问题，为植物生长营造稳定的水分环境，有效改善植物生长状态、提升植株成活率与群落稳定性；同时适宜的水分条件可增强植物抗逆性，延长观花植物花期、优化色叶植物观赏效果，全面提升园林绿地的景观品质与生态功能。

## 6. 实施挑战与经济性分析

系统的实际落地应用受到多方面因素的制约，可归纳为技术与非技术两个层面。技术层面，传感器长期户外运行易受腐蚀或根系干扰，需要定期校准或更换；LoRa 信号在茂密植被区域可能出现衰减，应合理增设网关或中继节点；边缘计算设备的防水与散热也需专门防护。非技术层面，初期建设成本相对较高、部分园区缺乏专业运维人员、视频监控涉及公众隐私需符合数据安全法规，以及不同管理部门之间的协调难度，均为推广过程中需要正视的问题。

针对上述制约因素，可采取以下应对策略：采用可插拔式传感器以降低更换成本，在信号薄弱区混合使用其他物联网通信方式，选用工业级防护外壳，并探索第三方托管的运维模式。数据安全方面应对视频流进行匿名化处理并实行分级权限管理，同时积极对接地方智慧城市项目以争取资金支持。

从经济性角度初步分析，系统部署涉及硬件采购、安装施工及后续运维等费用，初期投入较传统灌溉方式有所增加。但通过节水、节省人工以及提升植物成活率带来的综合效益，预计在数年内可收回初期投入，全生命周期内具有良好的经济回报。实际投入产出比会因项目规模、地域条件、植物种类等因素存在差异，但总体趋势表明，该系统在降低水资源消耗、减少人工依赖、改善植物生长环境等方面具有显著的应用价值，具备推广潜力。

## 7. 结论

面向城市园林灌溉管理的现实需求，本文围绕 AI 智联与物联网技术，开展了园林绿地精准灌溉及监测系统的研究。系统整合土壤墒情、植被生长、气象环境等多类型感知设备，依托无线网络实现数据实时传输与远程监控，可根据植物需水规律自动调整灌溉策略，完成精准灌溉与动态管控。系统在运行过程中能够持续采集、存储灌溉与环境数据，为园林养护管理提供量化依据，随着数据不断积累，可借助人工智能算法持续优化决策模型，推动灌溉管理向智能化、精细化方向升级。该研究可为缓解城市绿化用水压力、提升园林养护效率提供技术参考，也为智慧园林建设提供可行思路。尽管系统在实际落地过程中仍面临初期建设成本、现场适配及技术维护等方面的挑战，但随着相关技术的不断成熟与完善，上述问题将逐步得到改善，系统具备较好的应用与发展潜力。

## 基金项目

河北工程大学大学生创新创业训练计划资助项目(X202610076174); 河北省高等学校科学研究项目科学技术类青年基金项目(QN2026546)。

## 参考文献

- [1] 陈俊华, 何家敏, 蒋川东, 等. 基于群决策和层次分析法的城市绿地园林植物综合评价体系构建及应用——以成都市主城区为例[J]. 四川林业科技, 2026, 47(1): 31-43.
- [2] 王发亮, 林康. 基于物联网与 GIS 的智慧园林系统设计与实现[J]. 北京测绘, 2021, 35(2): 280-284.
- [3] 陆红飞, 王涛, 乔冬梅, 等. 物联网在农业灌溉中的应用: 从灌溉自动化到智慧灌溉[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(1): 87-99.
- [4] 陈辉江, 方锐. 基于物联网技术的智慧农业大棚监控系统设计与功能实现研究[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(18): 8-10.
- [5] 赵洁, 冯磊. 城市公园绿地中智慧技术的应用研究[J]. 山东林业科技, 2017, 47(2): 103-105.
- [6] 鲁旭涛, 张丽娜, 刘昊, 等. 智慧农业水田作物网络化精准灌溉系统设计[J]. 农业工程学报, 2021, 37(17): 71-81.
- [7] 章玲, 吴文鑫, 陈冬冬. 基于 LoRa 通信的灌溉系统设计[J]. 电脑与信息技术, 2025, 33(4): 97-101.
- [8] 张涛, 樊振兴, 宋青存, 等. 一种基于 LoRa + 5G 的低成本智慧农业物联网系统[J]. 物联网技术, 2021, 11(7): 93-96.
- [9] Wu, S., Meng, H., Zhu, Y., *et al.* (2026) Comparative Analysis of SAR-Based Soil Moisture Inversion Methods for Crop-Covered under Cloudy, Rainy, and Irrigation Conditions. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **65**, Article ID: 103337. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2026.103337>
- [10] 温钢彪, 郑根让, 马元元. 基于智慧农业技术的水肥灌溉与病虫害监测信息系统构建与应用[J]. 乡村科技, 2026, 17(1): 143-146.