

农田灌溉水泵群智能控制方法研究

陶心雅¹, 程文瑞¹, 宋建成²

1.山西水利职业技术学院, 山西 太原 030032

2.太原理工大学, 山西 太原 030024

DOI: 10.61369/SSSD.2025060028

摘要：农田灌溉作为农业种植与生产过程中的关键环节, 对提高作物产量起着决定性的作用。然而, 我国当前的农业灌溉系统普遍存在精确调控不足、劳动强度大以及缺乏人机交互等问题, 这些问题严重影响了农作物的品质和产量。针对上述问题, 本研究设计了一套农田灌溉水泵群监测监控系统。该系统以农田灌溉水泵群设备为对象, 首先基于D-S证据理论对各个湿度传感器的数据进行融合, 获得该灌溉田地最终的土壤湿度值, 并据此调节电动机的转速。电动机带动水泵从水源抽水, 在需要灌溉时, 电磁阀自动开启, 通过主管道和支管道向喷头供水, 喷头根据各自的旋转角度自动旋转, 实现无人值守自动化灌溉的目标, 从而提高了农田灌溉的生产效率。此外, 采用基于径向基函数神经网络对水泵健康状态进行实时监测和分析, 实现对水泵系统运行状态的智能控制。

关键词：农田灌溉; D-S理论; 基于径向基函数神经网络; 自动化灌溉; 水泵健康监测

Research on Intelligent Control Methods for Farmland Irrigation Pump Groups

Tao Xinya¹, Cheng Wenrui¹, Song Jiancheng²

1.Shanxi Conservancy Technical Institute, Taiyuan, Shanxi 030032

2.Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030027

Abstract : Farmland irrigation, as a critical component in agricultural planting and production processes, plays a decisive role in enhancing crop yields. However, current agricultural irrigation systems in China generally suffer from issues such as insufficient precise regulation, high labor intensity, and a lack of human-computer interaction, which severely impact crop quality and productivity. To address these challenges, this study designs a monitoring and control system for farmland irrigation pump clusters. Targeting irrigation pump cluster equipment, the system first fuses data from multiple humidity sensors using the D-S evidence theory to obtain the final soil moisture value of the irrigated field, thereby adjusting the motor speed. The motor drives the pump to extract water from the water source. During irrigation, solenoid valves automatically open to supply water to sprinklers through main and branch pipelines. The sprinklers rotate automatically according to their respective angles, achieving unattended automated irrigation and improving production efficiency. Additionally, a radial basis function neural network is employed to monitor and analyze the health status of pumps in real time, enabling intelligent control of the pump system's operational state.

Keywords : farmland irrigation; D-S theory; based on radial basis function neural network; automated irrigation; pump health monitoring

引言

习近平总书记在山西视察时指出, 有机旱作是山西农业的一大传统技术特色, 应坚持走有机旱作农业的路子, 完善有机旱作农业技术体系, 这就为新形势下山西的现代农业发展提供了方向。因此农田灌溉就成为农业种植与生产过程中的关键环节, 对提高作物产量起着决定性的作用。

我国在农业灌溉方面, 还存在一些问题: (1)仍以传统生产经验为主, 缺乏精确调控手段, 农田灌溉精度难以保证, 造成水资源浪费严重; (2)灌溉技术落后, 监测与控制都采用人工管理, 缺乏技术创新, 存在劳动强度大、人机交互能力差等弊端, 严重影响农作物品质和产量。因此, 依靠人工智能算法合理计算灌水定额的高效、智能灌溉技术成为解决水资源不足, 缓解农业用水供需矛盾的有效途径。由于任何作物的生长都离不开水的实时适量供应, 而水泵作为现代农业灌溉的主要设备, 会遍布农作物的各个地方, 其智能化水平

尤其重要，特别是随着物联网技术的发展，多地多水泵的协调运行已成为基本的灌溉模式，因此研究其水泵群的自动化方法非常必要，具有重要的理论意义和实用价值^[1-2]。

本文设计了农田灌溉水泵群监测监控系统，该系统综合利用计算机技术、微处理器技术、自动控制技术、数据库技术、网络技术、数字电子技术和信号处理等多种新型技术，以农田灌溉水泵群设备为对象，首先基于 D-S 证据理论对各个湿度传感器的数据进行融合，获得该灌溉田地最终的土壤湿度值，并据此调节电动机的转速。电动机带动水泵从水源抽水，在需要灌溉时，电磁阀自动开启，通过主管道和支管道向喷头供水，喷头根据各自的旋转角度自动旋转。同时，采用基于径向基函数神经网络对水泵健康状态进行实时监测和分析，对水泵系统运行状态进行实时监控。

一、系统介绍

本文就农田灌溉水泵群自动控制系统进行了设计，由于要实现多区、多片和多地的集中、远程监测和控制，因此该系统具有三层网络架构：感知层、网络层、应用层。感知层是用传感节点单元来获取农田的实时情形数据，为自动控制和预警提供最直接的数据；网络层是以现场总线和 vpn 网络数据传输通道，完成数据的可靠传输；应用层是基于分析、控制和预警平台。系统主要包括信息感知、信号通讯与智能控制三部分。

（一）信息感知

信息感知是本文所设计系统三层网络架构的感知层，是用传感节点单元来获取农田的实时情形数据，为自动控制和预警提供数据依据。本系统采集的信息包括农田的湿度、水泵电动机电流、水泵轴端振动信号，这些信息由前端实时环节采集并传输到后台开发平台，由后台软件进行分析并给出控制命令。后台开发平台是 PowerBuilder，每一水泵的实时控制核心是 PLC，由于农田灌溉水泵群包括多区、多片和多地的水泵设备，所以该平台连接的 PLC 设备比较多，通过 vpn 网络进行数据传输和通讯^[3-5]。

（二）信号通讯

信号通讯是本文系统三层网络架构的网络层，是以现场总线和 vpn 网络数据传输通道，完成数据的可靠传输。

每一个 PLC 设备有一个 IP 地址，本文数据通讯在 PowerBuilder 开发平台中采用 Winsock 三方控件，PowerBuilder 的 Winsock 与实时控制核心 PLC 采用 UDP 方式，UDP 协议是一种无连接的通讯协议，在通讯之前，只需要绑定 remotehost、remoteport 属性和 localport 属性，无需像 TCP 一样，有客户端和服务端，只有先启动服务端开始监听，客户端才能启动连接，否则就会出错，在实时监控系统中，往往某一设备断开再接入也是常常发生的事件，在 TCP 模式下就是意外状态，而在 UDP 方式下就没有任何问题。本文中，开发平台用 PowerBuilder 开发，则 localport 为开发平台电脑的端口^[6]，remotehost、remoteport 为水泵群 PLC 的 host 和 port，有多少个 PLC 就调用多少个 Winsock，设水泵群中有 N 个水泵，则有 N 个 PLC 控制器，在后台的 PowerBuilder 中，就要调用 N 个 ole 三方控件，由于 PowerBuilder 开发环境没有三方控件，因此本开发软件使用的是 VB 的三方控件。

（三）智能处理

由于本控制系统所涉及的水泵设备和传感器数量较多，需要将被灌溉田地、田地安装传感器和灌溉所用水泵进行分组编号，以便进行针对性的监测和控制。

被灌溉田地用 td 表示，田地安装传感器信息用 sd （湿度信号）、 i （水泵电机电流信号）、 zd （振动信号）表示，则第 p 个被灌溉田地各量值表示为 td_p 、 sd_{pk} ($k=1 \sim 9$)、 i_p 、 zd_p 。本文通过 D-S 理论对这些信号进行分析，给出水泵启停控制命令，并通过神经网络监测水泵的运行状态^[7-8]。

1. 自动控制

湿度信号是水泵自动控制的依据，湿度传感器的湿度单位为 %RH，测量范围为 0~100%RH。对于第 p 个被灌溉田地，由于其不是非常平整，仅仅依靠单个或几个湿度传感器的简单平均或加权运算，难以得到真正的综合湿度，需要将所有安装配置的湿度传感器数据融合，为此本文利用基于 Dempster-Shafer (D-S) 证据理论的数据融合方法，对每个被灌溉田地的 9 个湿度传感器数据进行传感器数据级融合。

这样，在水泵是正常状态的情况下，当湿度融合值 $0 < sd_p \leq 20\%RH$ ，则启动负责此田地的水泵抽水浇灌，且控制球阀的开度为 100%；当湿度融合值 $20 < sd_p \leq 40\%RH$ ，则启动负责此田地的水泵抽水浇灌，且控制球阀的开度为 80%；当湿度融合值 $40 < sd_p \leq 60\%RH$ ，则启动负责此田地的水泵抽水浇灌，且控制球阀的开度为 60%；当湿度融合值 $60 < sd_p \leq 80\%RH$ ，则启动负责此田地的水泵抽水浇灌，且控制球阀的开度为 40%；当湿度融合值 $80 < sd_p \leq 95\%RH$ ，则启动负责此田地的水泵抽水浇灌，且控制球阀的开度为 20%；当湿度融合值 $sd_p > 95\%RH$ ，控制球阀关闭，则停止负责此田地的水泵运行。

2. 智能识别

PowerBuilder 程序对湿度、电流和振动信号的处理方式是不同的。对湿度的处理是实时的，根据各片田地的湿度按前述自动控制的规则送出水泵启/停和阀门开度的命令^[9-10]，实现每片天地湿度的适宜控制。由于电流和振动信号是用来判断水泵状态的，需要进行频谱分析，然后根据频谱含量进行智能分析，本文对水泵设备的健康状态监测采用基于径向基（Radial Basis Function, RBF）神经网络的人工智能技术，PowerBuilder 前端开发平台当采集的实时数据达到 1024 个数据时，将保存着 1024 个数据的

表格，转化成 Matlab 识别的数据格式，本文中，将数据转化为 Excel 格式：dw_1.SaveAs('databack1.xls',Excel!,true), dw_2.SaveAs('databack2.xls',Excel!,true)，其中 dw_1 和 dw_2 数据窗口就是连接电流和振动信号采样值的数据窗口，转成 databack1.xls（电流）和 databack2.xls（振动）的数据文件，作为频谱分析的输入信号。本文中频谱分析采用的小波包分析方法，然后小波包分析后得到的小波包能量作为 RBF 神经网络的输入向量，输出是水泵的运行状态，包括正常状态，水泵电机轴承滚珠故障、内圈故障、外圈故障，鼠笼断条故障，气隙偏心故障，水泵叶轮机构故障，离心泵不出水故障，水泵汽蚀故障，基础松动故障等状态。

三、结论

本文以农田灌溉水泵群设备为对象，首先基于 D-S 证据理论各个湿度传感器的数据进行融合，获得该灌溉田地最终的土壤湿

度值，据此调节电动机的转速，并通过主管道和支管道向喷头供水，喷头根据各自旋转角度自动旋转^[10]。同时，采用基于径向基函数神经网络对水泵健康状态进行实时监测和分析。通过上述方法达到了以下目标：

(1) 通过 VPN 进行数据传输和通讯，确保了田地多传感器信息的实时、安全传输；

(2) 基于 D-S 理论的信息融合技术，实现了对田地土壤湿度的高精度测量。根据融合后的湿度值，系统能够自动调节球阀开度，实现无人值守的自动化灌溉。这不仅提升了农田灌溉的生产效率，还促进了多个区域、片区乃至不同地点间水泵设备群的协同工作，优化了整体灌溉管理效果；

(3) 采用基于 RBF 神经网络模型，实现了对工况参数及设备状态的在线监测。该模型能够实时监控、分析并控制水泵系统的运行状态，提供有效的故障预警和维护建议，增强系统的可靠性和稳定性。

参考文献

- [1] 侯振, 陈鲜展, 沈易成. 丁集煤矿主排水泵能效测试研究 [J]. 山东煤炭科技, 2024, 42(03):113-117.
- [2] 段海鹏, 张林伟. 煤矿主排水泵采用变频前置泵提高运行效率试验研究 [J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(09):885-890.
- [3] 徐加瑞, 李哲, 王广生. 浅析煤矿井下中央泵房主排水泵及排水系统检测检验的重要性 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (03):165-167.
- [4] 袁野. 矿井主排水泵自动化吸水系统设计 [J]. 西部探矿工程, 2023, 35(12):123-125+128.
- [5] 赵任栋, 孟宪营, 刘永生, 等. 基于粒子群算法的矿山串级排水系统喂水泵调速技术研究 [J]. 煤炭工程, 2023, 55(05):86-90.
- [6] 左为东. 煤矿井下主排水泵变频调速系统研究 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(12):249-250+253.
- [7] 左彩彪. 矿井主排水泵自动控制系统的设计 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(11):248-250.
- [8] 李晨. 矿井排水泵自动化智能化控制系统的应用 [J]. 机械管理开发, 2022, 37(10):255-257.
- [9] 高帅. 哈拉沟煤矿主排水泵自动化控制系统及监控系统研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2022, (16):37-39.
- [10] 李伟. 基于 ARM 处理器的远程灌溉控制系统设计 [D]. 西北农林科技大学, 2011.