

▪ 灌溉技术与装备 ▪

文章编号: 1672-3317(2022)09-0071-06

基于自适应扰动观察法的光伏灌溉系统设计与验证

施允洋, 李玉龙, 房开拓, 刘方方
(宿迁学院, 江苏 宿迁 223800)

摘要:【目的】解决光伏灌溉系统中水资源浪费、系统效率低等问题。【方法】本文提出一种基于物联网技术的光伏灌溉系统, 实时检测节点处土壤湿度, 通过 Zigbee 技术将检测值传回物联网平台, 平台根据设定阈值控制执行机构完成灌溉; 针对光伏水泵系统组最大功率点跟踪 (MPPT) 算法存在的缺陷, 提出自适应扰动观察法, 通过 Matlab/Simulink 对算法模拟仿真。【结果】自适应扰动观察法较定步长扰动观察法追踪速度提升 340%, 在最大功率点处系统功率损失较低; 对稻田和棉花田 2 种作物土壤湿度进行灌溉控制, 其中稻田误差值控制在 $\pm 3\%$ 、棉花田误差值控制在 $\pm 2\%$, 达到预期效果。【结论】本灌溉系统具有成本低、效率高的优点, 通过物联网技术, 系统更加符合使用需求, 可以远程监控农作物状态, 实现农业智能化。

关键词: Zigbee; 扰动观察法; 光伏灌溉; 物联网

中图分类号: S24

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022020

OSID:



施允洋, 李玉龙, 房开拓, 等. 基于自适应扰动观察法的光伏灌溉系统设计与验证[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(9): 71-76.

SHI Yunyang, LI Yulong, FANG Kaituo, et al. Design and Verification of a PV Irrigation Systems Based on Adaptive Disturbance Observation Method[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(9): 71-76.

0 引言

【研究意义】21 世纪, 人类面临多种全球性挑战, 人口不断增长进一步加剧了粮食短缺和能源危机, 以太阳能为代表的新能源得到了广泛应用。农业是支撑国民经济建设与发展的基础产业, 以现代元素驱动农业已成为农业科技发展的方向, 因此, 精准农业、农业 4.0 等应运而生^[1]。伴随着农业科技的不断发展, 农业用水量需求日益增加, 当前农业灌溉用水量占世界用水量的 70%, 而以大水漫灌为传统的传统农业灌溉技术, 灌溉水利用效率低、水资源浪费严重、电能消耗量高。因此, 亟须开发采用清洁能源或低能耗的智能高效节水灌溉技术与装备, 助力现代农业的发展^[2]。

光伏灌溉是一种利用太阳能实现灌溉的方法, 是一种集光、机、电于一体的灌溉系统, 尤其对偏远地区以及电网覆盖低的地区有着较高的适配性^[3], 为基于智能高效节水灌溉技术的现代农业提供了新的思路。同时光伏灌溉在物联网技术指导下, 实现“决策水网、信息水网、物理水网”的融合, 对整个灌区的“调度管理、状态模拟、预报预测”提供指导, 提升了应对水源风险的能力^[4]。

【研究进展】近年来, 光伏灌溉逐步成为研究的

热点。Krishnan 等^[5]提出了太阳能抽水系统效率估算仿真模型, 该模型以小功率离心泵为例, 根据泵的技术特点, 利用模型参数对系统参数进行调整, 并开发了相应的控制器。所建模型的仿真结果可以应用于太阳能抽水的设计阶段, 可以估算太阳能抽水站的效率特性。Campana 等^[6]建立一种以地下水位、供水量、作物需求水量及作物产量相结合的仿真模型, 通过对模型的优化减少光伏阵列的数量, 降低系统成本, 但系统智能化程度较低。Thakare 等^[7]提出一种基于 Arduino 控制的自动灌溉系统, 通过 Wifi 模块将传感器检测到的 pH 值、温湿度等参数发送至 Arduino 平台, Arduino 平台将收集到的数据与云端连接起来, 从而实现对系统的控制, 但 Wifi 传输距离近、功耗大 (10~50 mA), 不适合偏远地区作物灌溉。Senpinar^[8]提出一种基于 Arduino 控制的光伏自动灌溉系统, 通过光伏电池、直流机泵、水箱、电磁阀、湿度传感器及 Arduino 实现自动灌溉, 该系统通过 Arduino 的以太网卡连接互联网, 可以简单观察灌溉区的实际情况, 但系统较为简单、属于试验方案, 无法用于实际灌溉系统, 但为光伏灌溉提供了一种新思路。邱林等^[9]设计了光伏灌溉系统, 分析系统效率主要影响因素, 通过试验验证了具有自动跟踪的光伏阵列及具备最大功率点跟踪的光伏灌溉系统效率最高、功率输出更稳定、持续时间更长, 但系统智能化程度低, 用户不能远程查看作物状态。徐健^[10]提出了一种基于 DV-Hop 算法实现灌溉区域定位、通过最大功率点跟踪算法实

收稿日期: 2022-01-11

基金项目: 宿迁市科技计划项目 (K202114); 江苏高校自然科学基金研究计划项目 (20KJB210013)

作者简介: 施允洋 (1988-), 男, 实验师, 硕士, 主要从事新能源应用与电气自动化研究。E-mail: syy@squ.edu.cn

现光伏阵列最大功率点跟踪的智能灌溉系统,系统通过传感器节点实时监控环境温湿度及 pH 值,实现自动控制,为灌溉系统设计提供新思路。

【切入点】综上所述,自动化和智能化已经成为光伏灌溉的发展方向。通过传感器和物联网技术,实时监测作物土壤含水率,并自动控制水泵工作状态,从而实现精准灌溉^[11]。目前,国内外学者多采用 Wifi、以太网等联网方式实现作物信息采集、传输以及灌溉系统的精准控制。然而,以太网和 Wifi 受自身性能的影响,无法适用于偏远、缺电地区。【拟解决的关键问题】基于此,以光伏灌溉为研究对象,采用 Zigbee 组网、4G 发送数据的方式,重点研究光伏水泵系统组效率影响因素,设计一种基于自适应扰动观察法的光伏灌溉系统。通过 MATLAB/Simulink 建模仿真,寻找更优的太阳能最大功率点跟踪算法,从而提高太阳能利用率;针对传统灌溉系统智能化低、控制精度差等问题,提出物联网技术与灌溉系统相结合的智能监控系统,研究物联网组网方法、数据采集和传输及搭建云端平台,根据设置阈值控制电磁阀实现自动灌溉,从而提高水资源利用率、节约劳动力及提高农业产能^[12-13]。

1 基于物联网的光伏灌溉系统组成

基于物联网技术的光伏灌溉系统由 Zigbee 无线传感网络、云端、光伏水泵系统组、终端四部分组成,如图 1 所示。其中,Zigbee 无线传感网络负责实时采集节点处土壤湿度传感器信息,并将数据通过协调器和 4G 模块上传至云端,云端对数据分析并执行相应控制,同时用户可以通过移动终端或者 PC 实时查看灌溉网络情况及手动控制系统工作状态。光伏水泵系统组为灌溉网络提供水源,通过 DC/AC 转换实现对光伏电池的最大功率点跟踪,从而提高光伏水泵系统组效率。其中,光伏电池外特性及其受光照及温度影响的输出特性,直接影响水泵转速和效率。

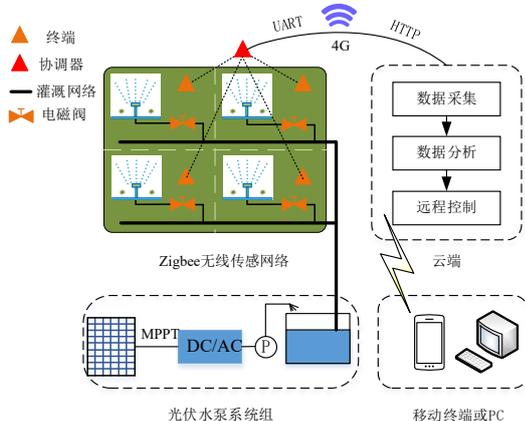


图 1 基于物联网技术的光伏灌溉系统

Fig.1 Photovoltaic irrigation system based on IoT technology

2 光伏电池的外特性模型

光伏电池内部为半导体 P-N 结,当阳光照射到光伏电池后,其内部产生电子-空穴对,从而产生光生电动势^[14]。由于单个光伏电池功率较低,实际使用中往往串、并联阵列使用。对于光伏水泵系统组,只需研究光伏电池的外特性模型,光伏电池外特性模型可以等效为 1 个恒电流源与 1 个二极管并联的回路,如图 2 所示^[15-16]。图中 I_{ph} 为给定辐照下光生电流, I_D 为二极管反向饱和电流, R_s 为光伏电池等效串联电阻, R_{sh} 为光伏电池等效并联电阻, U_{PV} 为光伏电池输出电压, I_{PV} 为光伏电池输出电流。

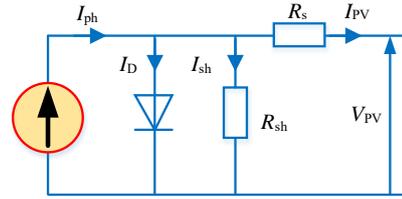


图 2 光伏电池等效电路模型

Fig.2 Photovoltaic cell equivalent circuit model

由基尔霍夫电流定律可得:

$$\begin{aligned} I_{PV} &= I_{ph} - I_D - I_{sh} \\ &= I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(U_{PV} + I_{PV}R_s)}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{U_{PV} + I_{PV}R_s}{R_{sh}}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中: I_0 为光伏电池内部等效二极管的 P-N 结反向饱和电流; q 为电子的电荷量 (1.6×10^{-19} C); k 为玻尔兹曼常数 (1.38×10^{-23} J/K); A 为电池内部 P-N 结的理想因子; T 为环境绝对温度 (K)。

对于式 (1), 由于 $R_s \ll R_{sh}$, 因此, 最后 1 项 $(U_{PV} + I_{PV}R_s)/R_{sh}$ 可略等于 0; R_s 较小, 其分担电流较小可忽略不计, 故短路电流 $I_{sc} \approx I_{sh}$ 。

设 $C_1 = I_0/I_{sc}$, $C_2 = AkT/(qU_{oc})$, 则式 (1) 可以简化为^[17-18]:

$$I_{PV} = I_{sc} \left[1 - C_1 \left(\exp\left(\frac{U_{PV}}{C_2 U_{oc}}\right) - 1 \right) \right]. \quad (2)$$

对于光伏电池来说, 开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最大功率点处输出电压 U_m 、最大功率点处输出电流 I_m 均为已知参数, 将其代入式 (2) 可得:

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \exp\left(-\frac{U_m}{C_2 U_{oc}}\right), \quad (3)$$

$$C_2 = \left(\frac{U_m}{U_{oc}} - 1 \right) \left[\ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{sc}} \right) \right]^{-1}. \quad (4)$$

由于光伏电池的特性主要与光照强度和电池温度有关, 在工作过程中, 光照强度和电池温度是不断变化的, 因此光伏电池性能不可能一直处于上述稳态, 需考虑二者变化带来的影响, 引入光伏电池温度 T 和光照强度 S 后可得:

$$I'_{sc}(T, S) = \frac{I_{sc} S (1 + a \Delta T)}{S_{ref}}, \quad (5)$$

$$I'_m(T, S) = \frac{I_m S (1 + a \Delta T)}{S_{ref}}, \quad (6)$$

$$U'_{oc}(T,S)=U_{oc}(1-c\Delta T)\ln(e+b\Delta S), \quad (7)$$

$$U'_m(T,S)=U_m(1-c\Delta T)\ln(e+b\Delta S), \quad (8)$$

$$\Delta T=T-T_{ref}, \quad (9)$$

$$\Delta S=\frac{S}{S_{ref}}-1. \quad (10)$$

根据式 (5) — 式 (10) 在 MATLAB/Simulink 中搭建光伏电池模型, 如图 3 所示, 以 $U_{oc}=36.3$ V、 $I_{sc}=7.84$ A、 $U_m=29$ V、 $I_m=7.35$ A 为例, 不同光照和温度情况下光伏电池 U - I 曲线、 P - U 曲线如图 4 所示。由图 4 可知, 光伏电池最大功率随着光照强度增加而增加、随着温度升高而降低。因此, 为提高光伏水泵系统组能源转换效率, 需要实时跟踪不同温度和光照强度条件下系统的最大功率点。

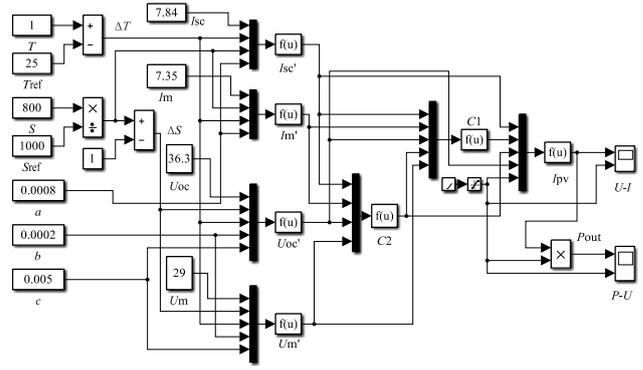
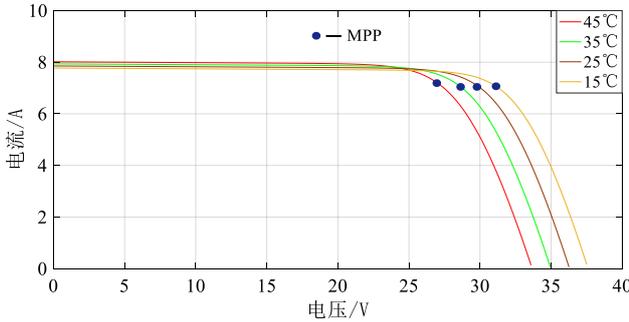
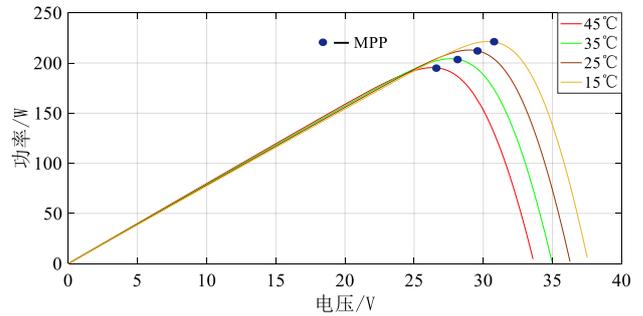


图 3 光伏电池 MATLAB/Simulink 模型

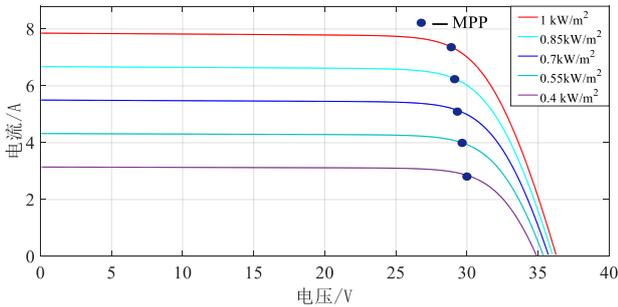
Fig.3 Photovoltaic cell MATLAB/Simulink model



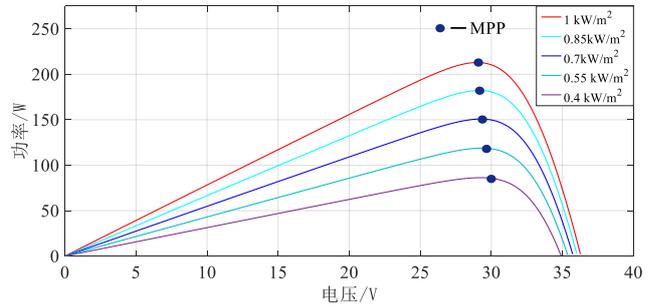
(a) 不同温度情况下光伏电池 U-I 曲线



(b) 不同温度情况下光伏电池 P-U 曲线



(c) 不同光照情况下光伏电池 U-I 曲线



(d) 不同光照情况下光伏电池 P-U 曲线

图 4 不同温度、光强条件下光伏电池输出特性

Fig.4 Output characteristics of PV array under different temperature and light intensity conditions

3 自适应扰动观察法及其仿真

自适应扰动观察法是一种根据 P - U 曲线工况点实时调整步长的算法, 当工况点靠近最大功率点处选用小步长、远离最大功率点处选用较大步长^[19-20]。步长选择标准以 $|\Delta P/\Delta U|$ 值大小作为依据, 由光伏电池 P - U 曲线可知当工作点靠近最大功率点时, 曲线斜率趋于 0, 当 $|\Delta P/\Delta U|$ 大于 i 时, 选择定步长扰动观察法, 步长为 $step1$; 当 $|\Delta P/\Delta U|$ 小于等于 i 时, 选择自适应扰动观察法, 步长为 $step2$, 且以 $|\Delta P/\Delta U|$ 作为迭代因子, 使其越靠近 MPP 时步长越小。将参考电压值与实际电压值差值送入 PI 控制器, 控制器计算占空比控制 Boost 电路中 IGBT, 从而实现对最大功率点的快速稳定跟踪^[21-22]。自适应扰动观察法工作流程如图 5 所示。

为验证算法的有效性, 采用 MATLAB/Simulink 软件进行仿真, 建立自适应扰动观察法仿真模型图 (图 6), 并根据流程图编写 M 函数, 其中 $k=0.8, i=0.5$; Boost 模型参数设置: $C_1=100 \mu\text{F}$ 、 $C_2=80 \mu\text{F}$ 、 $L=0.01 \text{ mH}$ 、负载 $R=10 \Omega$; 光伏电池初始参数: $P_{mpp}=213 \text{ W}$ 、 $U_{oc}=36.3 \text{ V}$ 、 $I_{sc}=7.84 \text{ A}$ 、 $V_{mpp}=29 \text{ V}$ 、 $I_{mpp}=7.35 \text{ A}$ 。在以上条件下对环境温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 光照强度在 0.5 s 时由 1000 W/m^2 降到 600 W/m^2 情况下定步长扰动观察法和自适应扰动观察法进行对比, 仿真结果如图 7 所示, 其中图 7 (a) 为自适应扰动观察法仿真结果, 图 7 (b) 为定步长扰动观察法仿真结果。由图 7 可知, 当采用自适应扰动观察法时, 系统初始化后约 0.095 s 即可追踪到最大功率点, 而定步长扰动观察法则需要约 0.325 s 才能追踪到最大功率点; 而当光照强度发生变化 (由 1000 W/m^2 降到 600 W/m^2) 时,

自适应扰动观察法约 0.12 s 即可再次追踪到最大功率点，而定步长扰动观察法则需要约 0.165 s 才能追踪到最大功率点。

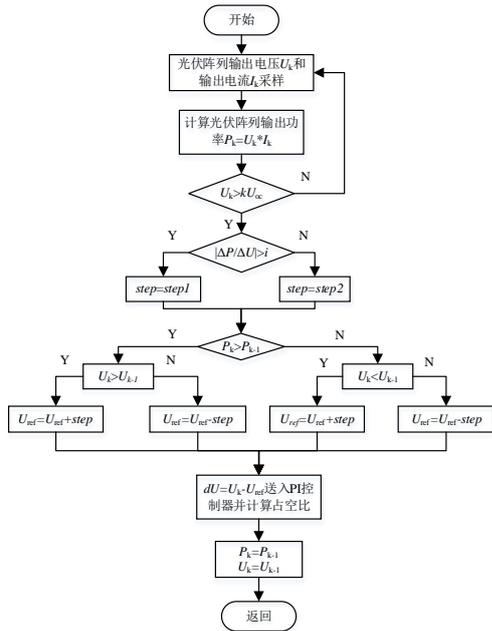


图 5 自适应扰动观察法流程

Fig.5 Flow chart of adaptive perturbation observation method

由仿真可得本文提出的自适应扰动观察法追踪速度更快，由波形可得当系统工作在最大功率点附近时，自适应扰动观察法比定步长扰动观察法追踪精度更高，稳态震荡率较低，系统更加稳定，有效地解决了定步长扰动观察法的弊端。

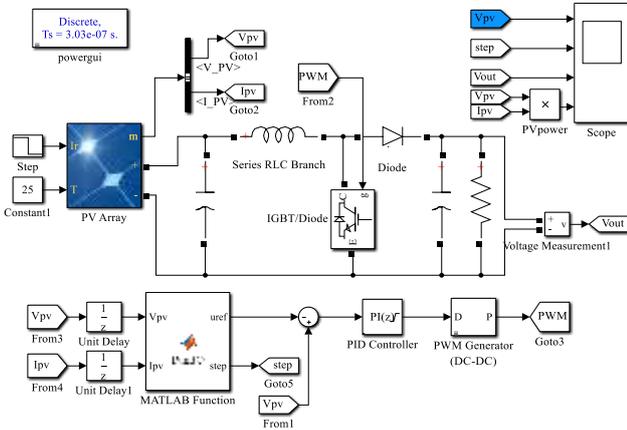
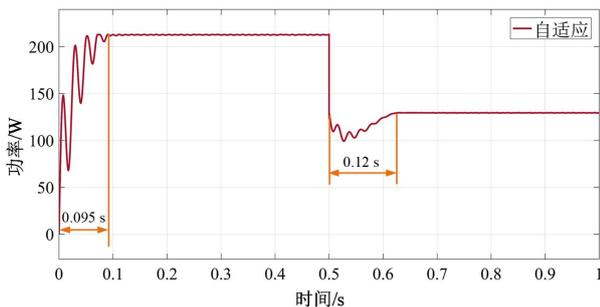
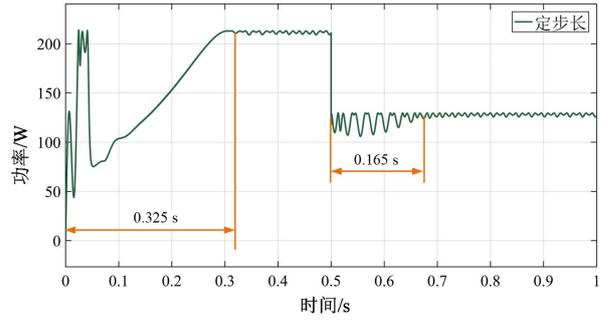


图 6 Matlab Simulink 仿真模型

Fig.6 Matlab Simulink simulation model



(a) 自适应仿真结果



(b) 定步长仿真结果

图 7 仿真结果

Fig.7 Simulation results

4 基于物联网的光伏灌溉系统测试

4.1 光伏水泵系统组效率分析

光伏水泵系统组由光伏电池、控制器、电机、水泵 4 部分组成，该子系统是将地下水通过水泵提出，如图 8 所示。对于理想情况下，可通过泵抽出水获得的能量来分析本系统效率^[23]。

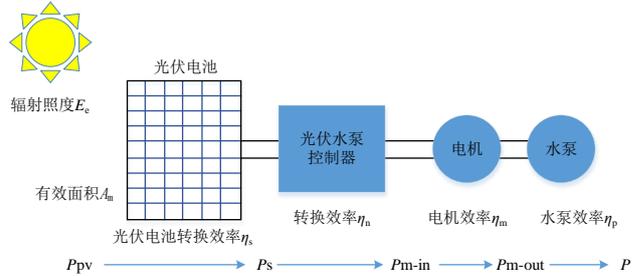


图 8 光伏水泵系统组框图

Fig.8 Photovoltaic water pumping system group block diagram

$$P = \frac{\rho g Q H}{3600} \quad (11)$$

式中： P 为系统所需动力 (W)； ρ 为水密度 (kg/m^3)； Q 为水流量 (m^3/h)； H 为水泵扬程，其为水泵静扬程和水头损失之和 (m)。

可得水泵的轴功率：

$$P_{m-out} = \frac{P}{\eta_p} \quad (12)$$

式中： η_p 为水泵效率。

则电机输入功率 P_{m-in} ：

$$P_{m-in} = \frac{kP}{\eta_m \cdot \eta_p} \quad (13)$$

式中： η_m 为电机效率，系数 k 为电机功率余量系数。在电机选型时，为避免工况点变化而引起系统不稳定，一般选择电机功率大于水泵轴功率 1 个等级，留一定余量。API610 标准中电机选型功率余量系数见表 1。

表 1 功率余量系数

Table 1 Power margin coefficient

电机额定功率/kW	功率余量系数
≤ 22	1.25
22~55	1.15
> 55	1.1

光伏电池输入功率：

$$P_{pv} = \frac{P_{m-in}}{\eta_n \eta_s} = E_c \cdot A_m, \quad (14)$$

式中： η_s 为光伏电池能源转换效率； η_n 控制器转换效率； E_c 为入射太阳的辐射照度 (W/m^2)； A_m 为光伏电池的有效面积 (m^2)。

4.2 实物验证

为了验证系统可靠性及光伏水泵系统组效率，分别以棉花和水稻为研究对象，构建光伏灌溉系统，其中节点1、节点2为棉花区、节点3和节点4为水稻区。设置棉花区最佳湿度为 $(40 \pm 2)\%$ ，水稻区最佳湿度为 $(70 \pm 3)\%$ ，搭建系统测试平台，如图9所示。4块测试区域内垂直挖直径约20 cm、深度约30 cm的坑，将湿度传感器钢针插入坑内并将坑内填埋压实，确保钢针与土壤紧密接触。根据水稻根系的深度一般在20 cm左右、棉花生长盛期蕾期主根深度约为10 cm左右，选择棉花田湿度传感器离地面深度约10 cm、水稻区湿度传感器离地面深度约20 cm。



图9 系统测试环境

Fig.9 System test environment

搭建云端控制平台，Zigbee节点每5 min采集1次土壤湿度并上传至云端，对1 d内不同时刻节点湿度值进行采样，结果如图10所示。由图10可知，系统在工作时始终可以控制目标土壤湿度在设定范围内，系统可以有效地为农作物提供生长环境，当土壤湿度到达设定值下限时，云端下发命令控制节点开启电磁阀，启动灌溉模式。

对光伏水泵系统组效率试验分析，光伏电池选用2块250 w串联，水泵选用3FLD3-35-48-300型号，经测试，光伏水泵系统组效率稳定在62%左右，详见表2，效率明显高于相同电压等级产品（如4SPSC1.3/90-D425），系统工作稳定可靠。

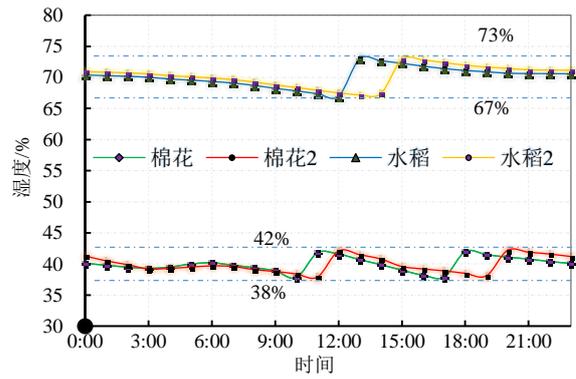


图10 节点湿度记录

Fig.10 Node humidity log

表2 光伏水泵系统组效率

Table 2 Photovoltaic water pumping system group efficiency

时刻	U_{pv}/V	I_{pv}/A	H/m	$Q/(m^3 h^{-1})$	光伏水泵系统组效率/%
10:00	72.4	2.88	25.2	1.89	62.21
11:00	76.7	2.67	24.3	1.92	62.04
12:00	77.2	2.65	24.2	1.92	61.81
13:00	81.0	2.51	23.6	1.96	61.93
14:00	73.4	2.79	24.5	1.91	62.17
15:00	77.8	2.59	23.9	1.93	62.35

5 结论

1) 光伏水泵系统组中采用自适应扰动观察法，该方法较定步长扰动观察法跟踪速度更快，系统启动后，追踪最大功率点速度提高了340%，当光照强度发生变化时，追踪最大功率点速度提高了138%，且在MPP处输出功率波动较小、系统损耗功率较低；采用自适应扰动观察法的光伏水泵系统组综合效率达到62%左右，高于同电压等级产品。

2) 系统根据土壤预设湿度进行控制，检测湿度值与设定值的误差值控制在 $\pm 3\%$ （水稻）、 $\pm 2\%$ （棉花），可以较好地作为作物生长提供条件，满足设计要求。

参考文献：

- [1] VERMA S, MISHRA S, CHOWDHURY S, et al. Solar PV powered water pumping system: A review[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 46: 5 601-5 606.
- [2] 刘杰云, 邱虎森, 张文正, 等. 节水灌溉对农田土壤温室气体排放的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(6): 1-7.
LIU Jieyun, QIU Husen, ZHANG Wenzheng, et al. Response of greenhouse gas emissions to water-saving irrigation in crop-lands: A review[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(6): 1-7.
- [3] 张晨滢, 杨薇, 严德广, 等. 基于物联网的智能光伏水泵灌溉系统[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(11): 95-96.
ZHANG Chenying, YANG Wei, YAN Deguang, et al. IOT-based intelligent PV pump irrigation system[J]. Rural Economy and Science-Technology, 2018, 29(11): 95-96.
- [4] 索滢, 孟彤彤, 马海峰, 等. 水联网智慧灌区节水灌溉技术综合水效率评价研究[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(7): 138-144.
SUO Ying, MENG Tongtong, MA Haifeng, et al. A comprehensive evaluation system for water-saving irrigation projects[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(7): 138-144.

- [5] KRISHNAN R S, JULIE E G, ROBINSON Y H, et al. Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 252: 119-902.
- [6] CAMPANA P E, LI H, ZHANG J, et al. Economic optimization of photovoltaic water pumping systems for irrigation[J]. *Energy Conversion and Management*, 2015, 95: 32-41.
- [7] THAKARE S, BHAGAT P H. Arduino-based smart irrigation using sensors and ESP8266 WiFi module[C]//2018 Second International Conference on intelligent computing and control systems (ICICCS), 2018.
- [8] SENPINAR A. Internet-/Arduino-controlled PV automatic irrigation system for clean environment[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019, 16(9): 5 185-5 196.
- [9] 邱林, 覃江峰. 基于太阳能光伏技术的农田智能化灌溉系统[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(5): 373-376.
- QIU Lin, QIN Jiangfeng. Intelligent irrigation system for farmland based on solar photovoltaic technology[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2016, 44(5): 373-376.
- [10] 徐健. 基于光伏发电技术的农业智能化灌溉系统设计[J]. *农机化研究*, 2020(7): 241-244.
- XU Jian. Intelligent irrigation system based on solar photovoltaic technology[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2020(7): 241-244.
- [11] HAMOODI S A, HAMOODI A N, HAYDAR G M. Automated irrigation system based on soil moisture using arduino board[J]. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 2020, 9(3): 870-876.
- [12] 王丽. 基于移动终端的智能节水灌溉系统设计[D]. 银川: 宁夏大学, 2019.
- WANG Li. Design of intelligent water saving irrigation system based on mobile terminal[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2019.
- [13] 王进, 肖振兴, 梁甜. 农业灌溉光伏水跟踪发电系统的初步研究[J]. *太阳能*, 2020(7): 89-92.
- WANG Jin, XIAO Zhenxing, LIANG Tian. Research on solar power water-tracking generation system for irrigation[J]. *Solar Energy*, 2020(7): 89-92.
- [14] 张洋, 陈荣. 一种分区的 MPPT 变步长扰动观察法[J]. *信息技术*, 2018, 5: 34-38.
- ZHANG Yang, CHEN Rong. A Partitioned mppt variable step perturbation observation method[J]. *Information Technology*, 2018, 5: 34-38.
- [15] BINSHAD T A, VIJAYAKUMAR K, KALEESWARI M. PV based water pumping system for agricultural irrigation[J]. *Frontiers in Energy*, 2016, 10(3): 319-328.
- [16] FARAJDADIAN S, HOSSEINI S M H. Optimization of fuzzy-based MPPT controller via metaheuristic techniques for stand-alone PV systems[J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, 44(47): 25 457-25 472.
- [17] 施健. 基于 AVR 单片机的全自动光伏水泵系统[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.
- SHI Jian. An automatic photovoltaic pumping system based on avr microcontroller[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014.
- [18] 郑年伟, 吉培荣, 刘浩, 等. 自适应变步长扰动观察法在光伏系统 MPPT 中的运用[J]. *电力科学与工程*, 2019, 35(9): 9-14.
- ZHENG Nianwei, JI Peirong, LIU Hao, et al. Application of an adaptive variable step disturbance observation method in photovoltaic system MPPT[J]. *Electric Power Science and Engineering*, 2019, 35(9): 9-14.
- [19] MOTAHHIR Saad, ABOUBAKR El Hammoumi, ABDELAZIZ El Ghzizal. The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm[J]. *Journal of cleaner production*, 2020, 246: 118 983.
- [20] YANG Y, WEN H. Adaptive perturb and observe maximum power point tracking with current predictive and decoupled power control for grid-connected photovoltaic inverters[J]. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2019, 7(2): 422-432.
- [21] ALI M N, MAHMOUD K, LEHTONEN M, et al. An efficient fuzzy-logic based variable-step incremental conductance MPPT method for grid-connected PV systems[J]. *Ieee Access*, 2021, 9: 26 420-26 430.
- [22] AHMED J, SALAM Z. An enhanced adaptive P&O MPPT for fast and efficient tracking under varying environmental conditions[J]. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2018, 9(3): 1 487-1 496.
- [23] 冯进升. 光伏水泵系统动态特性研究及优化设计[D]. 镇江: 江苏大学, 2018.
- FENG Jinsheng. Dynamic characteristics research and optimization of photovoltaic pump system[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2018.

Design and Verification of a PV Irrigation Systems Based on Adaptive Disturbance Observation Method

SHI Yunyang, LI Yulong, FANG Kaituo, LIU Fangfang

(Suqian College, Suqian 223800, China)

Abstract: 【Objective】 PV irrigation system is a new technology that has seen an increased application in helping irrigation management in China. The purpose of this paper is to propose a method to increase water use efficiency and operation efficiency of the PV system. 【Method】 The photovoltaic irrigation system we studied was based on the IOT technology. It detects soil moisture at nodes in real time, transmits the detection value to the IOT platform through a zig-bee technology. The platform controls the actuator to complete irrigation based on a pre-set threshold. For alleviating the disadvantage of the maximum power point tracking (MPPT) algorithm traditionally used for photovoltaic water pumping system, we proposed an adaptive disturbance observation method and solved it using Matlab/Simulink. 【Result】 The adaptive perturbation observation method improved the tracking speed by 340%, compared with the fixed-step perturbation observation method, and reduced the system power at the maximum power point. Application to a paddy field and a cotton field showed that the adaptive method can control soil moisture in the paddy field with $\pm 3\%$ error, and in the cotton field with $\pm 2\%$ error. 【Conclusion】 The proposed adaptive irrigation system has the advantages of low cost and high efficiency. Through the internet technology, the system can be used to remotely monitor soil moisture status of cropping fields and realize intelligent irrigation.

Key words: Zigbee; perturbation observation method; photovoltaic irrigation; Internet of Things

责任编辑: 白芳芳