

# 基于多传感器融合的变电站多节点数据传输方法

黄琪训, 李海强, 周锴鹏, 蔡东涛, 叶美强

(广东电网有限责任公司汕尾供电局, 广东 汕尾 516600)

**摘要:** 变电站多节点数据传输过程中错传、漏传情况较多, 导致丢包率过高, 为此, 提出基于多传感器融合的变电站多节点数据传输方法。通过自适应加权算法对传感器观测数据展开融合处理, 引入卡尔曼滤波算法去除融合数据中存在的噪声; 利用传输节点的阵元分布阵列, 构建多径道传输模型, 对信号传输过程中的脉冲响应展开计算, 结合多层通信协议对通信信道展开均衡处理, 实现变电站多节点数据传输性能的优化。实验结果表明, 所提方法能够有效提高数据的传输效率, 减少数据传输过程中错传、漏传情况的发生。

**关键词:** 自适应加权算法; 卡尔曼滤波算法; 多径道传输模型; 脉冲响应

中图分类号: TP274 文献标识码: A 文章编号: 1003-7241(2025)06-0080-05

## Substation Multi-node Data Transmission Method Based on Multi-sensor Fusion

HUANG Qi-xun, LI Hai-qiang, ZHOU Kai-peng, CAI Dong-tao, YE Mei-qiang

(Shanwei Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Shanwei 516600, China)

**Abstract:** In the process of substation multi-node data transmission, there are many mistransmission and leakage, resulting in high packet loss rate. Therefore, a multi-node data transmission method based on multi-sensor fusion is proposed. The sensor observation data is fused with the adaptive weighted algorithm, and the Kalman filter algorithm is introduced to remove the noise in the fused data. The multi-channel transmission model is constructed by using the array distribution array of transmission nodes, and the impulse response is calculated in the process of signal transmission. The communication channel is equalized in combination with the multi-layer communication protocol, so as to optimize the data transmission performance of the multi-node substation. Experimental results show that the proposed method can effectively improve the efficiency of data transmission and reduce the occurrence of mistransmission and missing data transmission.

**Keywords:** adaptive weighting algorithm; kalman filtering algorithm; multipath transmission model; pulse response

### 0 引言

随着能源技术的更新发展, 电网系统迎来技术方面的重要转折, 变电站作为保障电力平稳传输与电网安全运行的核心技术节点, 不但需要对多节点信息展开采集, 还需承担能量分配与相关数据传输的工作。国外对于变电站的信息多点采集与传输研究起步较早, 目前已经研发出大批量电力数据采集设备, 通过 e-Breaker 等数据无线传输平台的搭建<sup>[1]</sup>, 实现上机位与传感器的通信通道的建立, 提高数据的传输效率。近年来, 我国虽在配电站的数字化智能发展中取得一定成绩, 但是由于传感器采集信号的种类、数量过多, 导致变电站信号出现漏报误报的情况。基于以上原因, 部分相关领域研究人员, 针对变电站多节点数据的传输方法展开研究。

王毅<sup>[2]</sup>等人利用分簇算法对网络节点内的全部目标展开分簇处理, 为优化数据传输效率, 收集目标点的位置信息, 通过最优簇头的遍历选取, 采集节点数据。结合粒子群算法, 对数据的最佳传输路径展开寻优, 进而完成数据的快速回传。但此方法在数据传输中延迟过高。陈明亮<sup>[3]</sup>等人在传统单线程数据传输方法的基础上, 利用字节代换法实现数据库内待传输数据的分组加密, 结合位移代换法对数据实施解密分析, 实现数据传输路径由单到多的转变; 引入嵌入式重组数据流理念, 重新定义数据传输过程中的加密及解密系数, 利用更新后的加密、解密系数对传输期间的网络运行状态展开实时监控。但此方法数据传输过程中, 网络节点能耗过大。束平<sup>[4]</sup>等人首先在通信网络中制定数据安全传输协议, 在对数据库信息展开全面分析后, 利用云计算方法, 实现网络数据传输模型的构建, 通过网络传输节点在通信数据传输模型上的

\*基金项目: 南方电网公司科技项目资助 (031500KK52220010)

收稿日期: 2023-11-21

一一映射,实现数据的安全传输。但此方法在实际应用中,丢包率过高。

基于上述方法中存在的问题,提出基于多传感器融合的变电站多节点数据传输方法。首先,利用自适应加权算法对传感器输出信号展开融合,然后对传感器输出信号进行去噪处理,最后,构建多径信道传输模型,在无线传感器网络中建立通信传输链路,实现变电站无线传感网络中的多节点通信信道均衡处理,优化变电站多节点数据传输性能。

## 1 传感器数据预处理

### 1.1 信号融合

变电站的数据收集与分析,主要依靠传感器与控制中心形成的联动实现,由于工作环境中存在多个传感器同时运行的情况,收集到的大量数据通常具备多样化特点,为了实现传感器多维度、多级别输出信号的有效处理,利用自适应加权算法对传感器输出信号展开融合。

对于变电站传感器系统中存在的任意两个传感器 $r$ 、 $s$ ,设其输出信号分别为 $Y_r$ 、 $Y_s$ ,考虑到传感器输出信号中通常伴随部分误差信号,设传感器 $r$ 、 $s$ 输出信号中的误差信号为 $W_r$ 、 $W_s$ ,则传感器输出信号与误差信号的关系满足式(1)条件:

$$\begin{cases} Y_r = W_r + Y \\ Y_s = W_s + Y \end{cases} \quad (1)$$

式中, $Y$ 表示真实值,误差信号 $W_r$ 、 $W_s$ 可被视作零均值噪声,此时两个传感器含误差的输出信号方差 $\varepsilon^2$ 可通过式(2)计算:

$$\begin{cases} \varepsilon_r^2 = E(W_r^2) \\ \varepsilon_s^2 = E(W_s^2) \end{cases} \quad (2)$$

式中, $E(\cdot)$ 表示传感器误差信号的平均值。

由于变电站传感器系统中的传感器皆为相对独立状态,因此传感器的输出信号之间不存在相互影响关系,由此推导出传感器 $r$ 的自相关函数 $T_{rr}$ 计算公式,以及传感器 $r$ 与传感器 $s$ 间的相关函数 $T_{rs}$ 计算公式如式(3)所示:

$$\begin{cases} T_{rs} = E(Y_r \cdot Y_s) \\ T_{rr} = E(Y_r \cdot Y_r) = E(Y^2) + E(W_r^2) = E(Y^2) + \varepsilon_r^2 \end{cases} \quad (3)$$

为使 $T_{rr}$ 与 $T_{rs}$ 的计算结果更加精准,需参考传感器系统中传感器放置点的观测平均值 $\bar{T}_{rs}$ 。设传感器系统中共放置 $n$ 个传感器,同时变电站内共有 $m$ 个传感器测量点,则 $l$ 时刻第 $m$ 个测量点的传感器相关函数计算过程如下:

$$\begin{cases} T_{rr}(l) = m^{-1} \sum_{m=1}^l Y_r(m) \cdot Y_r(m) \\ \quad = \left(1 - \frac{1}{m}\right) T_{rr}(l-1) + m^{-1} Y_r(l)^2 \\ T_{rs}(l) = m^{-1} \sum_{m=1}^l Y_r(m) \cdot Y_s(m) \\ \quad = \left(1 - \frac{1}{m}\right) T_{rs}(l-1) + m^{-1} Y_r(l) \cdot Y_s(l) \\ \bar{T}_{rs}(l) = (n-1)^{-1} \sum_{s=1, s \neq r}^n T_{rs}(l) \end{cases} \quad (4)$$

设 $\hat{\varepsilon}_r^2(m)$ 为 $m$ 测量点输出信号的方差, $\hat{\varepsilon}_r^2(l)$ 为 $l$ 时刻传感器 $r$ 的无误差输出信号方差估计值。结合式(1)~式(3)可推导出 $\hat{\varepsilon}_r^2(l)$ 与 $\hat{\varepsilon}_r^2(m)$ 之间的相互影响关系如下:

$$\hat{\varepsilon}_r^2(l) = (l-1)^{-1} \sum_{m=1}^l \hat{\varepsilon}_r^2(m) \quad (5)$$

此时传感器 $r$ 的估计权值 $\hat{X}_r^*$ 可通过式(6)计算如下:

$$\hat{X}_r^* = \frac{1}{\hat{\varepsilon}_r^2 \sum_{m=1}^n (\hat{\varepsilon}_m^2)^{-1}} \quad (6)$$

设 $n$ 个传感器融合后的输出值为 $\hat{Y}$ ,则此时 $\hat{Y}$ 的计算过程如下:

$$\hat{Y} = \sum_{r=1}^n \frac{Y_r(l) \hat{X}_r^*}{\hat{\varepsilon}_r^2 \sum_{m=1}^n (\hat{\varepsilon}_m^2)^{-1}} \quad (7)$$

### 1.2 信号去噪

经过上述内容融合后的传感器输出信号中仍然包含部分噪声信号,影响后续的信号传输,因此所提方法选择采用卡尔曼滤波算法<sup>[5]</sup>对融合后的传感器输出信号展开去噪处理,具体操作如下:

(1) 分析 $l-1$ 时刻传感器系统中各传感器的运行状态 $Y_{[l-1|l-1]}$ 。以 $A$ 为单位矩阵,建立状态转移矩阵 $C$ 、运行测量矩阵 $D$ ,结合 $l-1$ 时刻的传感器运行状态 $Y_{[l-1|l-1]}$ ,对当前 $l$ 时刻的传感器运行状态 $Y_{[l|l]}$ 展开预判, $l$ 时刻的传感器运行状态的判断过程可用式(8)表示:

$$Y_{[l|l]} = CY_{[l-1|l-1]} + DV_{[l]} \hat{Y} \quad (8)$$

式中, $V_{[l]}$ 为 $l$ 时刻的传感器系统控制总量。式(8)对 $Y_{[l|l]}$ 的判断以传感器系统的运行状态不变为前提,即 $V_{[l]}=0$ 。

(2) 设当前时刻为 $l$ ,以 $l-1$ 时刻传感器协方差矩阵 $R_{[l-1|l-1]}$ 为依据,设过程协方差矩阵为 $S$ ,结合式(8)对当前时刻传感器系统内的含噪协方差矩阵展开更新,更新过程如式(9)所示:

$$R_{[l|l]} = CR_{[l-1|l-1]}C^2 + SY_{[l-1]} \quad (9)$$

(3) 设 $F$ 为 $C$ 、 $D$ 噪声矩阵的协方差, $I$ 为总体测量矩阵,根据卡尔曼滤波原理,可设 $L_{[l]}$ 为卡尔曼增益,利用式(10)

对当前传感器系统内传感器运行状态  $Y_{[l]}$  展开预测:

$$\begin{cases} Y_{[l]} = Y_{[l-1]} + L_{g(l)}(J_{(l)} - IY_{[l-1]}) \\ L_{g(l)} = (I \cdot R_{[l-1]}) / (I \cdot R_{[l-1]} + F) \end{cases} \quad (10)$$

式中,  $J_{(l)}$  为  $l$  时刻的信号测量值。

(4) 利用单位矩阵  $A$ , 对方差矩阵展开更新, 更新后的协方差矩阵  $R_{[l]}$  的计算过程如下:

$$R_{[l]} = (Y_{[l]}A - L_{g(l)}I)R_{[l-1]} \quad (11)$$

通过以上运算向下一时刻的反复迭代, 即可实现去噪后协方差矩阵的更新及输出。

## 2 多节点数据传输方法

### 2.1 多径信道传输模型

经过传感器数据预处理后, 对传感器多节点数据进行传输, 为此, 需构建多径信道传输模型。根据无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)传播信道特征可知, 无线传感器网络采用多进多出技术(MIMO)多径信道传播模式展开数据的传输<sup>[6]</sup>, 无线传感器网络内存在  $n$  个传输节点, 每个传输节点内包含  $2q$  个阵元, 获取多尺度传输节点的不同带宽处理器输出, 并以此构建波特间隔均衡的阵元分布阵列。在实现传感器数据的融合及去噪处理后, 将无线传感器网络中阵元分布的径向距离设为  $d$ , 阵元设为  $o$ , 此时可通过式(12)建立无噪数据传输过程中的数据接收模型  $x_o(t)$ 。

$$x_o(t) = \sum_{j=1}^L u_j(t)^2 + n_o(t) \quad (12)$$

式中,  $u_j(t)$  表示  $t$  时刻第  $j$  个多径输入分量的相位偏转信息,  $n_o(t)$  为  $t$  时刻阵元  $o$  在第  $n$  个无噪数据传输节点的混叠谱模糊度函数。此时无线传感器网络中的信道冲击响应  $i(t)$  计算方法如下:

$$i(t) = \sum_j b_j u_j(t)^{\delta_j(t)} \eta(jT) + x_o(t) \quad (13)$$

式中,  $\eta$  为多普勒相移,  $\delta_j(t)$  为扫频带宽,  $b$  表示衰减因子,  $T$  为线性调频时段长度。无噪数据传输过程中共经历两次互易的 WSN 自适应扩展<sup>[7]</sup>, 设无线传感器网络中存在  $x$  条重组多径信号传播通道,  $a_n(t)$  为传播通道上的传播损失,  $\tau_n(t)$  为传输时延。此时的无线传感器网络的通信信道传输模型  $f(\tau, t)$  可表示为:

$$f(\tau, t) = \sum_j a_n(t) \cdot u_j(t) \eta[i(t)T - \tau_n(t)] \quad (14)$$

### 2.2 信道均衡算法

为了提高变电站无线传感器网络多节点数据传输性能, 需要基于通信信道模型对通信信道展开均衡设计。考虑到变电站在数据传输过程中容易受到电磁信号影

响, 基于 GOSSE 通信技术利用多层通讯协议栈对通信信道展开优化处理的同时, 结合干扰抑制算法<sup>[8]</sup>对通信信道展开抗干扰设计。设变电站通信中存在两个有界函数  $g_y(Y, t)$  和  $g_\delta(Y, t)$ , 利用 IEEE802.1P 通信协议在无线传感器网络中建立通信传输链路, 此时数据传输过程中存在的误差可通过函数  $\hat{g}_y(Y, t)$  和  $\hat{g}_\delta(Y, t)$  求解得到。当误差函数和有界函数满足式(15)前提下, 此时误差函数与有界函数之间存在式(16)所示关系:

$$|\Delta g_y(Y, t)| \leq G_y(Y, t) \cdot |\Delta g_\delta(Y, t)| \leq G_\delta(Y, t) \quad (15)$$

$$\begin{cases} g_y(Y, t) = \hat{g}_y(Y, t) + \Delta g_y(Y, t) \\ g_\delta(Y, t) = \hat{g}_\delta(Y, t) + \Delta g_\delta(Y, t) \end{cases} \quad (16)$$

在变电站组网模式下, 设  $e$  为节点间信号传输距离<sup>[9-10]</sup>, 空间指向性增益  $d(w)$  可通过式(17)计算:

$$d(w) = \int_0^w g_y(Y, t) + g_\delta(Y, t) \cos\left(\frac{\pi y^2}{2}\right) dy \quad (17)$$

结合信道传输模型与 P2P 通信协议对无线传感器网络中的数据链路展开优化, 通过 GOOSE 通信技术得到多径信道的脉冲响应, 进而实现脉冲重构, 信号传输过程中的脉冲响应推导函数如式(18)所示:

$$|t(g)| = \left\{ [d(w_1) + d(w_2)]^2 + [t(g_1) + t(g_2)]^2 \right\} \cdot \sqrt{2} \quad (18)$$

通过被动时反镜对变电站通信通道展开均衡传输优化, 优化后  $l$  时刻下信道均衡状态方程如式(19)所示:

$$\begin{cases} x_l = g(x_{l-1}) + d(w_l) \\ y_l = I(x_l) + e_l |t(g)| \end{cases} \quad (19)$$

式中,  $I(x_l)$  为接收滤波器、发出滤波器以及信道的联合传递函数<sup>[11-12]</sup>,  $x_l$  为  $l$  时刻的变电信息传输状态,  $y_l$  为  $l$  时刻的输出幅值。利用无线网络传输信道中检测信号与输出信号之间的卷积, 构建多层通信协议栈, 实现变电站无线传感网络中的多节点通信信道均衡处理。

## 3 实验结果与分析

为检测基于多传感器融合的变电站多节点数据传输效率, 选用 MATLAB 软件为实验平台, 硬件配置为 3.20 GHz CPU、4.00 GB 内存, 软件配置为 Windows 7 SP1 的 PC 机, 运行环境为 Visual Studio 2010。在 MATLAB 平台搭建实验环境, 在相同数据服务器前提下, 分别利用所提方法、文献[3]提出的基于嵌入式技术的电力监控网络数据安全传输方法(文献[3]方法)及文献[4]提出的基于云计算技术的网络通信数据安全传输方法(文献[4]方法)对变电站系统数据展开传输测试, 并分析不同方法的信道的传输延迟情况, 具体分析结果如图 1 所示。

分析图 1 可知, 所提方法在数据节点增加的前提下, 传输延迟均低于文献[3]方法及文献[4]方法, 因为所提方

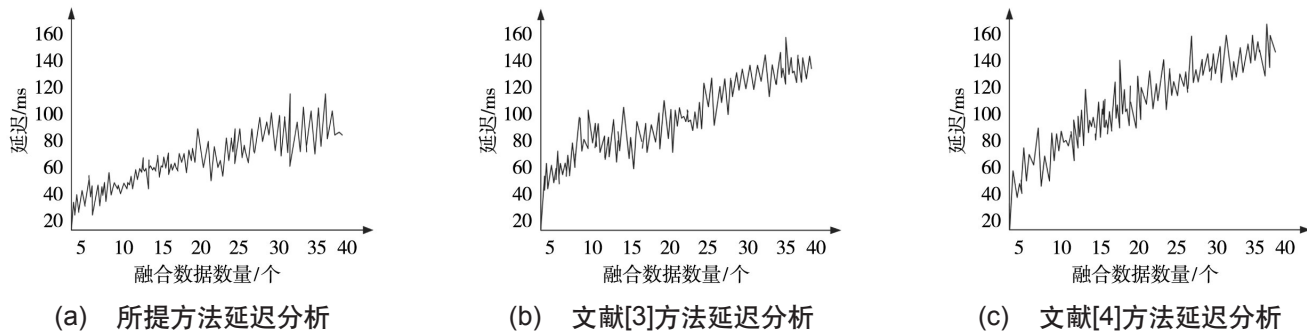


图1 不同方法延时对比

法利用卡尔曼滤波算法去除融合后传感器数据中存在的噪声,在后续无线传感器网络的数据传输过程中,提高数据的传输效率,降低多节点传输中存在的时延。

选取一个50 GB的数据包,其中包含SV、MMS、GOOSE三种报文类型,基于OPNET软件,利用所提方法、文献[3]方法、文献[4]方法展开数据传输测试,测试结果对比如表1所示。

表1 报文传输情况对比结果

报文类型	报文传输方法	错传率/%	丢包率/%
SV	所提方法	0.2	0.0
	文献[3]方法	1.2	1.8
	文献[4]方法	3.4	2.0
MMS	所提方法	0.3	0.1
	文献[3]方法	2.1	2.7
	文献[4]方法	1.6	1.4
GOOSE	所提方法	0.0	0.4
	文献[3]方法	0.6	1.6
	文献[4]方法	2.7	3.5

分析表1可知,所提方法对于三种报文的传输错传率及丢包率最低,因为所提方法通过波特间隔均衡的阵元阵列构建,实现建立数据传输系统中的多径信道传输模型的建立,通过信道的均衡设计,实现错传率与丢包率的大幅度减小。

为了验证所提方法的有效性,现将无线网络中剩余能量为0的节点定义为死亡节点,网络中死亡节点分布越均匀,则证明该网络数据传输中的耗能越均衡,即网络的传输性能更高。以无线网络中死亡节点数在总节点数中占比约为50%为前提,分别对所提方法、文献[3]方法、文献[4]方法中的死亡节点分布情况展开分析。具体对比情况如图2所示。

分析图2可知,所提方法在数据传输过程中,产生的死亡节点分布最均匀。因为所提方法在利用GOSSE技术对通信信道展开优化处理的同时,结合干扰抑制算法对通信信道展开抗干扰设计,实现变电站无线传感网络中的多节点通信信道均衡处理。

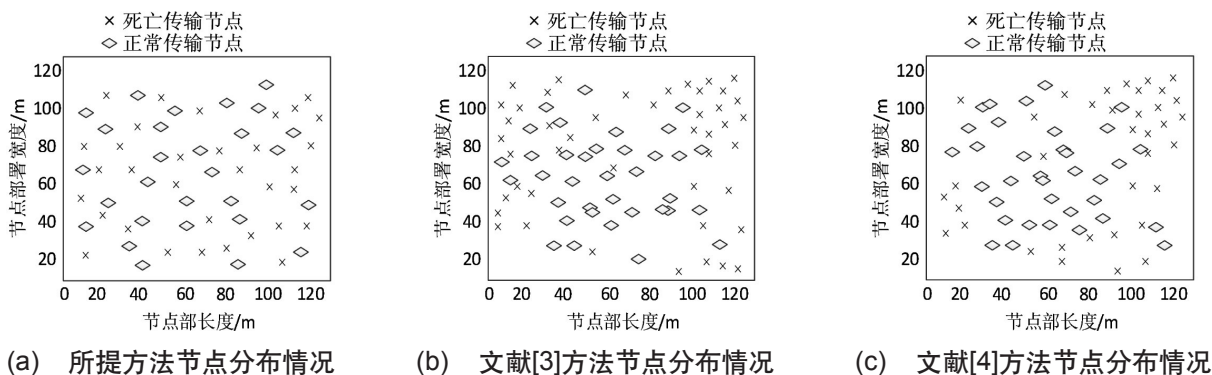


图2 死亡节点分布情况对比

## 4 结束语

随着变电站信息化、智能化全面发展,变电站的多节点数据传输方法成为研究重点。本文方法在对多传感器采集数据障碍融合处理后,考虑到噪声对数据传输的影响,对融合数据展开去噪处理。采用直接序列扩频法建立多径信道传输模型,结合GOSSE技术实现通信信道均

衡处理。保障变电站多节点数据的稳定传输,提高数据的传输效率。

### 参考文献:

[1] 严紫薇,陈少华,张宝朋.采用RS编码的改进高速数据传输平台实现[J].单片机与嵌入式系统应用,2021,21(5):79-83.

[2] 王毅, 杨照. 船联网智能数据传输与通信算法研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2021, 51(7): 108-114.

[3] 陈明亮, 李鑫, 谢国强. 基于嵌入式技术的电力监控网络安全传输方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2022, 22(6): 33-37.

[4] 束平, 唐晓东. 基于云计算技术的网络通信数据安全传输方法[J]. 长江信息通信, 2022, 35(11): 172-174.

[5] 巫春玲, 胡雯博, 孟锦豪, 等. 基于最大相关熵扩展卡尔曼滤波算法的锂离子电池荷电状态估计[J]. 电工技术学报, 2021, 36(24): 5165-5175.

[6] 廖希, 黄晨曦, 王洋, 等. 室内毫米波3D-MIMO无线信道参数提取与多径簇特性研究[J]. 电子学报, 2022, 50(11): 2698-2706.

[7] 邓斌, 汪维清. 基于多混沌映射的企业人资档案信息自动加密系统[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(1): 73-76.

[8] 徐迎菊, 王娜, 花玉. 线性离散系统状态未知干扰的递归滤波算法研究[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(5): 8-11.

[9] 高艳. 基于分簇算法的传感器网络大数据传输优化方法[J]. 传感技术学报, 2022, 35(9): 1262-1267.

[10] 栾学德, 段翠翠. 基于数据传输成功率的光纤传感器物联网节点部署研究[J]. 激光杂志, 2022, 43(4): 135-139.

[11] 李永杰. 基于多数据融合的智能定位传感器避障算法研究[J]. 自动化与仪表, 2023, 38(1): 48-52.

[12] 蔺万科, 宋华, 南新元, 等. 一种基于最优聚类中心与权重欧氏距离的多源异质传感器数据融合方法[J]. 传感技术学报, 2022, 35(1): 49-56.

作者简介: 黄琪训(1988—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 变电设备维护。

(上接第21页)

联分析方法设计了一个新的预测算法, 主要是将灰色关联分析方式对分布式光伏发电的因素和特征进行提取, 可以更加贴合分布式光伏发电的特性, 以此获取的出力短期预测结果更加精准, 能够进一步提高对光伏发电出力的短期预测。但由于此次时间有限, 在研究过程中对相关数据特征和所在场景的选择不够全面, 而算法的具体应用和实现可能会因为数据造成不同的预测结果, 为此后续在实际应用中, 仍会进一步对算法进行调整和优化, 为满足更加全面的需求和条件提供理论支持。

#### 参考文献:

[1] 宋子博, 葛曼玲, 谢冲, 等. 基于改进CSO算法的光伏系统发电功率短期预测[J]. 电源技术, 2022, 46(2): 182-185.

[2] 高博, 茆超, 张冲标, 等. 基于时空图网络的分布式光伏发电出力预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(3): 125-133.

[3] 周家亿, 赵双双, 王忠东, 等. 结合用户画像的DTW-MANN-FM分布式光伏短期出力预测模型[J]. 太阳能学报, 2023, 44(9): 187-193.

[4] 王晓霞, 俞敏, 霍泽健, 等. 基于近邻传播聚类与LSTNet的分布式光伏电站群短期功率预测[J]. 电力系统自动化, 2023, 47(6): 133-141.

[5] 董志强, 郑凌蔚, 苏然, 等. 一种基于IGWO-SNN的光伏出力短期预测方法[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(1): 131-138.

[6] 张凌浩, 张明, 嵇文路, 等. 基于灰色关联理论和BP神经网络的分布式光伏电站运维数据虚拟采集方法[J]. 电力建设, 2021, 42(1): 125-131.

[7] 常东峰, 南新元. 基于改进麻雀算法的深度信念网络短期光伏功率预测[J]. 现代电子技术, 2022, 45(17): 135-140.

[8] 成珂, 张璐, 杨力人, 等. 灰色关联与麻雀优化算法预测光伏

发电量研究[J]. 电源技术, 2022, 46(7): 797-801.

[9] 叶家豪, 魏霞, 黄德启, 等. 基于灰色关联分析的BSO-ELM-AdaBoost风电功率短期预测[J]. 太阳能学报, 2022, 43(3): 426-432.

[10] 倪安安, 王育飞, 薛花. 基于混沌特征改进鲸鱼优化算法-相关向量机的超短期光伏发电输出功率预测[J]. 现代电力, 2021, 38(3): 268-276.

[11] 时珉, 许可, 王珏, 等. 基于灰色关联分析和GeoMAN模型的光伏发电功率短期预测[J]. 电工技术学报, 2021, 36(11): 2298-2305.

[12] 刘志超, 袁三男, 唐万成. 基于BLSTM-随机森林的短期光伏发电输出功率预测[J]. 电源技术, 2021, 45(4): 495-498.

[13] 解海翔, 陈芳芳, 刘易, 等. 基于改进灰色关联分析和CMP-SO-LSSVM算法的短期电力负荷预测[J]. 现代电子技术, 2021, 44(8): 177-181.

[14] 王涛, 王旭, 许野, 等. 计及相似日的LSTM光伏出力预测模型研究[J]. 太阳能学报, 2023, 44(8): 316-323.

[15] 徐耀松, 王德兴. 基于加权灰色关联投影的Bagging-Blending多模型融合短期电力负荷预测[J]. 信息与控制, 2022, 51(2): 188-200.

作者简介: 朱齐(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 电网调控运行。