

文章编号: 2095-4980(2025)05-0461-07

基于模糊集合的电网运行多源信息融合方法

孙俊, 叶露, 汤弋, 胡莉娜, 陈璞

(国网湖北信通公司, 湖北 武汉 430074)

摘要: 由于现代电网规模的不断扩大和复杂化, 应对这种大规模、高复杂度的信息处理需求, 需要一种能够整合和处理多源信息的技术, 以提高电网运行的效率和安全性。为此, 设计了一种基于模糊集合的电网运行多源信息融合方法。通过电力传感器、压力传感器、湿度传感器等多种传感器实施电网运行多源信息采集, 传感器采集方式不可避免地给采集数据带来噪声, 通过小波去噪方法对电网运行数据实施降噪处理和提取有效信息; 结合模糊集合论中的模糊相似矩阵与 D-S 证据理论的多源信息融合方法, 实现电网运行多源信息融合。实验测试结果表明, 随着数据种类的增多, 该方法的最大置信度处于增长阶段, 多源信息融合最大置信度为 0.94, 多源信息融合结果可靠, 适用于多种数据的信息融合。在加入 5 dB、10 dB、15 dB、20 dB、25 dB 噪声后, 所设计方法的多源信息融合最大置信度降幅很低, 多源信息融合鲁棒性良好, 且信息熵值较高, 说明其融合后信息丰富度更高。

关键词: 模糊集合; 传感器; 电网; 多源信息融合

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

DOI: 10.11805/TKYDA2024045

A method of multisource information fusion for power grid operation based on fuzzy sets

SUN Jun, YE Lu, TANG Yi, HU Lina, CHEN Pu

(Information & Communication Branch of Hubei epc., Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: With the continuous expansion and increasing complexity of modern power grids, there is a need for a technology that can integrate and process multi-source information to meet the demands of large-scale and highly complex information processing. This is essential to enhance the efficiency and security of power grid operations. To this end, a multi-source information fusion method for power grid operation based on fuzzy sets is designed. The collection of multi-source information for power grid operation is implemented through various sensors, including electric sensors, pressure sensors, and humidity sensors. The data collection methods of these sensors inevitably introduce noise into the collected data. To address this, wavelet denoising methods are employed to reduce noise and extract effective information from the power grid operation data. A multi-source information fusion method combining the fuzzy similarity matrix in fuzzy set theory and the Dempster-Shafer(D-S) evidence theory is designed to achieve the fusion of multi-source information in power grid operation. Experimental test results indicate that as the number of data types increases, the maximum confidence level of this method is in a growth phase. The maximum confidence level of multi-source information fusion reaches 0.94, demonstrating that the fusion results are reliable and applicable to the fusion of various types of data. After adding noise levels of 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, and 25 dB, the maximum confidence level of multi-source information fusion using the designed method only experiences a minimal decrease. This

收稿日期: 2024-01-20; 修回日期: 2024-03-18

引用本文: 孙俊, 叶露, 汤弋, 等. 基于模糊集合的电网运行多源信息融合方法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2025, 23(5): 461-467. DOI: 10.11805/TKYDA2024045.

Citation format: SUN Jun, YE Lu, TANG Yi, et al. A method of multisource information fusion for power grid operation based on fuzzy sets[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2025, 23(5): 461-467. DOI: 10.11805/TKYDA2024045.

indicates that the method has good robustness in multi-source information fusion. Additionally, the high information entropy values suggest that the fused information is richer in content.

Keywords: fuzzy sets; sensors; power grid; multi-source information fusion

电网运行过程中需要考虑多种因素,如电力供需、设备状态、环境气象等,这些因素之间相互影响,难以用单一的数学模型描述。同时,随着智能电网的建设和发展,电网运行过程中产生的大量信息也给信息管理和分析带来了挑战^[1]。因此,如何有效整合和利用这些信息,成为亟待解决的问题。

多源信息融合技术作为一种有效方法可对不同来源、不同形式的信息实施综合分析和处理,为电网运行管理提供更全面、准确的决策支持。作为解决该类问题的有效方法之一,多源信息融合技术已获得了广泛应用^[2]。在电力领域,国内外学者已对多源信息融合技术在电网运行管理中的应用进行了大量研究。文献[3]提出一种基于边缘计算的智能配电网多源数据处理与融合技术,并证明了该技术的有效性。文献[4]提出一种基于映射的数据融合方法,该方法实用性较强,但现有的方法并没有充分考虑电网运行的复杂性和不确定性,这可能导致融合结果的不准确性和不可靠性。因此,本文设计了一种基于模糊集合的电网运行多源信息融合方法,旨在对不同来源、不同形式的电网运行信息实施综合分析和处理。

1 电网运行多源信息融合方法设计

1.1 电网运行多源信息采集

通过多种传感器采集电网运行多源信息,将电力传感器安装在电力变压器、开关设备等关键位置,确保实现电网电力数据的全面监测^[5]。图1为系统模型示意图。

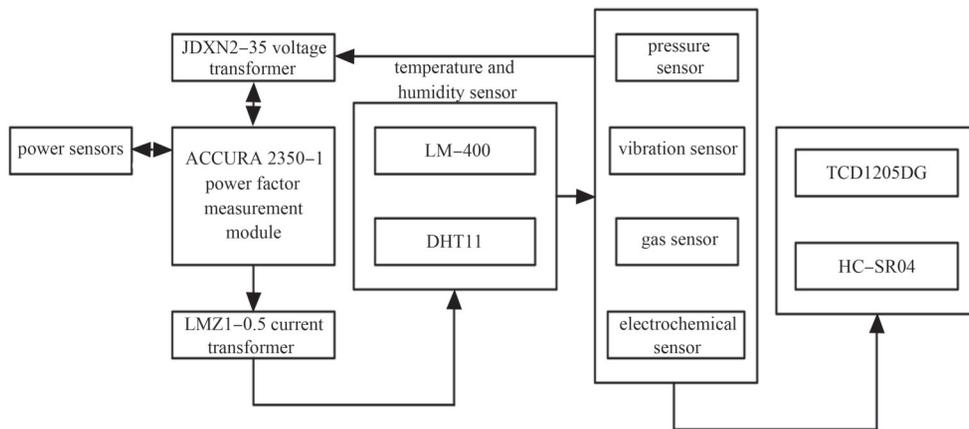


Fig.1 Diagram of system model

图1 系统模型示意图

该系统中使用的电力传感器包括 JDXN2-35 电压互感器、LMZ1-0.5 电流互感器以及 ACCURA 2350-1 功率因数测量模块。通过温度传感器采集电网中设备的工作温度数据,温度传感器可检测设备的表面温度、内部温度以及环境温度等;通过湿度传感器采集电网中的湿度水平数据,在电网运行过程中,湿度水平会对设备的性能和运行状态产生影响^[6]。选用的温度传感器和湿度传感器型号为 LM-400、DHT11。通过压力传感器采集电网中设备的压力状态数据,在供水、供气或供热等系统中,压力状态对系统的正常运行至关重要;通过振动传感器采集电网中设备的振动状态数据,设备的振动状态可反映其运行状态和潜在故障;通过气体传感器采集电网中设备周围的气体成分和浓度数据,在电力变压器等设备中,气体泄漏或气体成分异常可能是设备故障的迹象^[7]。对于电网气体检测,选择对气体具有较高敏感度和响应速度的敏感器件^[8],选择电化学传感器。对于传感器的信号处理,采用差分信号放大和滤波相结合的方式。同时,采用模数转换将模拟信号转换为数字信号。考虑到电网气体检测的应用场景和安全性要求,选择 Wi-Fi 这一无线通信接口方式实现数据无线传输和远程监控。通过图像传感器采集电网中的设备外观和运行状态数据,如设备的外观、运行状态、位置等。通过对图像实施分析和处理,可以及时发现异常情况和潜在故障;通过超声波传感器采集电网中设备的内部状态数据^[9]。超声波可以检测设备的内部缺陷、松动或其他异常情况,采用的图像传感器与超声波传感器型号为 TCD1205DG、HC-SR04。

1.2 电网运行多源信息小波降噪处理

传感器采集方式不可避免地给采集数据带来噪声。小波去噪是一种利用小波变换对信号实施去噪处理的方法。在电网运行多源信息处理中，小波去噪可用于对电网运行数据实施降噪和提取有效信息。小波去噪的详细过程为：

- 1) 信号的小波分解：对采集数据实施小波分解，将信号分解成多个小波系数序列。小波分解可实现对信号的多尺度分解，能够捕捉到信号中的不同频率成分。
- 2) 噪声的小波系数分析：在小波分解后，需对各个小波系数序列实施分析。通过分析小波系数的分布和特征估计噪声的频率和范围。
- 3) 小波系数的阈值处理：在实施小波去噪时，需对小波系数施行阈值处理。阈值处理是一种根据小波系数的幅值大小确定其是否保留或抑制的处理方法^[10]。通常情况下，对于噪声的小波系数，可设置一个较大的阈值将噪声抑制或置零；而对于有效信号的小波系数，则可设置一个较小的阈值，尽量保留信号的细节信息。
- 4) 信号的小波重构：经过阈值处理后，重构各个小波系数序列，以恢复原始信号：

$$Y = waverec(\beta, \chi, \delta) \tag{1}$$

式中：*waverec* 为离散小波变换重构函数；*Y* 为重构后的信号； β 为小波系数矩阵； χ 为尺度系数矩阵； δ 为小波基函数。

通过以上步骤，可实现对电网运行多源信息的有效去噪处理。通过对小波系数的分析和阈值处理，可去除噪声和干扰，提取出真实、有效的信息。

1.3 基于模糊集合的多源信息融合

模糊集合是一种用于描述不确定性问题的数学工具，通过模糊隶属度刻画元素与集合之间的模糊关系，能更好地处理实际问题中的模糊和不精确性，提高对复杂多源信息的融合处理能力，并能有效地应对电网运行中存在的噪声和不确定性问题。本文设计了一种结合模糊集合论中的模糊相似矩阵与 D-S(Dempster-Shafer) 证据理论的多源信息融合方法，实现电网运行多源信息融合。具体融合步骤如下：

- 1) 冲突证据数据模型处理。对电网运行多源信息数据实施归一化处理，使其成为局部决策值，作为 D-S 证据。

设共有 *n* 种电网运行数据^[11]， $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ ；运行目标为 *m* 个， $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ 。通过 mass 函数求取各组电网运行数据对于各目标的局部决策值，如表 1 所示。

表 1 电网运行数据对于各目标的局部决策值
Table 1 Local decision values of power grid operation data for each target

item	power grid operation data				
		z_1	z_2	...	z_n
operational objectives	a_1	$z_1 a_1$	$z_2 a_1$	...	$z_n a_1$
	a_2	$z_1 a_2$	$z_2 a_2$	...	$z_n a_2$
	\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots
	a_m	$z_1 a_m$	$z_2 a_m$	...	$z_n a_m$

可将各组电网运行数据对于各目标的局部决策值视为一组证据，则各组电网运行数据对应的证据为：

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \tag{2}$$

式中 f_n 为第 *n* 组电网运行数据对应的证据：

$$f_n = (z_n a_1, z_n a_2, \dots, z_n a_m) \tag{3}$$

将第 *m* 个运行目标共同置入一个识别框架：

$$V = (R_1(f_1), R_2(f_2), \dots, R_m(f_n)) \tag{4}$$

式中 $R_m(f_n)$ 为第 *n* 个证据对应的焦元^[12]。

n 个焦元的基本分配函数如表 2 所示。

表2 m 个焦元的基本分配函数
Table2 m basic allocation functions for each focus element

item	evidence corresponding to the operation data of each group of power grids			
	f_1	f_2	...	f_n
$R_1(f_1)$	$c_1(R_1(f_1))$	$c_2(R_1(f_2))$	...	$c_n(R_1(f_n))$
$R_2(f_2)$	$c_1(R_2(f_1))$	$c_2(R_2(f_2))$	...	$c_n(R_2(f_n))$
⋮	⋮	⋮	...	⋮
$R_m(f_n)$	$c_1(R_m(f_1))$	$c_2(R_m(f_2))$	...	$c_n(R_m(f_n))$

确定证据后, 实施如下处理:

a) 确定模糊特性指标矩阵

将证据 f_1, f_2, \dots, f_n 视为对象 p_1, p_2, \dots, p_n , 则对象的集合为:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \quad (5)$$

将 $c_n(R_m(f_n))$ 对应到 P 的 m 个特性指标上, 则 m 维特性指标向量为:

$$P_m = \left(p_{c_1(R_1(f_1)), \dots, c_1(R_m(f_1))}, p_{c_2(R_1(f_1)), \dots, c_2(R_m(f_2))}, \dots, p_{c_n(R_1(f_1)), \dots, c_n(R_m(f_n))} \right) \quad (6)$$

可使用式(6)构建特性矩阵 P^* ^[13]。

b) 构建模糊相似矩阵

通过最大最小法, 代入特性矩阵 P^* 中对应的数值, 求出模糊相似矩阵:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{m1} & q_{m2} & \dots & q_{mm} \end{pmatrix} \quad (7)$$

式中 q_{ij} 为各证据间的支持程度, 表示证据 i 与 j 之前是完全支持的^[14]。

c) 求证据 f_n 的可信度 $W(c_n(R_m(f_n)))$

$W(c_n[R_m(f_n)])$ 反映了 f_n 的可信程度, 在确定 $W(c_n[R_m(f_n)])$ 之前, 计算 f_n 的支持度 $G(c_n[R_m(f_n)])$ 。对于模糊相似矩阵 Q , 将其各行相加获得 $G(c_n[R_m(f_n)])$ 。2 个证据越相似, 则二者相互支持的程度就越高^[15]。

对 $G(c_n[R_m(f_n)])$ 实施归一化处理获得 $W(c_n[R_m(f_n)])$ 。

2) 应用 D-S 证据理论实施信息融合

将 $W(c_n[R_m(f_n)])$ 视为 f_n 的权重, 则 f_n 加权平均后证据的对应基本分配函数值为:

$$\bar{c}_n(R_m(f_n)) = \sum_{n=1}^n c_n(R_m(f_n)) W(c_n[R_m(f_n)]) \quad (8)$$

根据式(8)计算结果, 通过 D-S 基本合成规则实施信息融合, 获得电网运行多源信息的信息融合结果。

2 实验测试

2.1 实验过程

利用某电网运行中的多源信息融合, 测试本文方法的融合性能。实验中选择—个基于 Matlab/Simulink 平台搭建的仿真环境进行测试, 仿真时长为 24 h, 传感器类型包括电力传感器、压力传感器、湿度传感器等, 具体见表 3, 分别加入 5 dB、10 dB、15 dB、20 dB、25 dB 的高斯噪声, 模糊相似矩阵阈值为 0.7, D-S 证据融合阈值为 0.6。通过以上实验测试平台和参数设置, 能够模拟出复杂多源信息融合情况下的电网运行场景, 评估方法的效果和性能。

表3 采集频率
Table3 Collection frequency

sensor type	data collection project	data sampling frequency
power sensor	grid voltage, current, and power factor	sample 5 times per second
temperature sensor	equipment surface temperature, motor temperature, transformer temperature	sample once per minute
humidity sensor	environmental humidity, equipment humidity, SF6 gas humidity	sample once per hour
pressure sensor	pipeline pressure, equipment pressure, hydraulic system pressure	sample twice per second
vibration sensor	equipment vibration, bearing vibration, and rotational speed	sample 10 times per second
gas sensor	the composition and concentration of gases such as H ₂ S, CO, CO ₂ , O ₂ , SO ₂ , etc	sample once per minute
image sensor	equipment appearance, insulator appearance, environmental monitoring	sample once per minute
ultrasonic sensor	internal defects, flow rate, thickness of equipment	sample 5 times per second

利用所提方法进行电网多源信息融合处理。使用多种传感器进行多源信息采集，采集频率如表3所示。对采集数据实施小波降噪处理，处理后的电压数据如图2所示。

2.2 评价指标

测试中，将最大置信度与鲁棒性作为测试中的评价指标；并将文献[3]的基于边缘计算的智能配电网多源数据处理与融合技术(简称方法1)与文献[4]的电网多源大数据融合方法(简称方法2)作为对比方法，进行性能对比测试。

2.3 测试结果分析

首先测试所提方法与方法1、方法2的最大置信度，测试结果如图3所示。由图3可知，随着数据种类的增多，方法1、方法2的最大置信度呈现先上升后下降趋势，而所提方法的最大置信度则一直处于上升阶段；所提方法的多源信息融合最大置信度为0.94；方法1、方法2的多源信息融合最大置信度分别为0.79、0.77。说明所提方法的多源信息融合结果更加可靠，更适用于多种数据的信息融合。

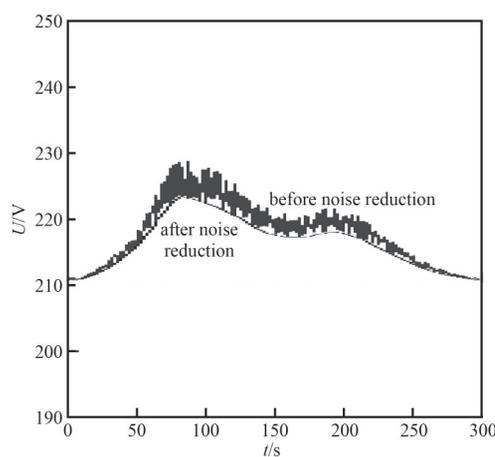


Fig.2 Voltage data after noise reduction processing
图2 降噪处理后的电压数据

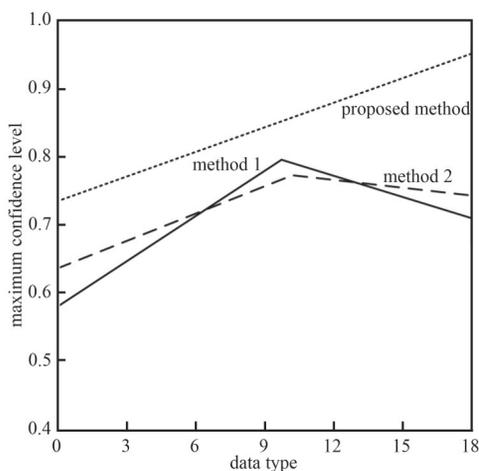


Fig.3 Test results of maximum confidence
图3 最大置信度测试结果

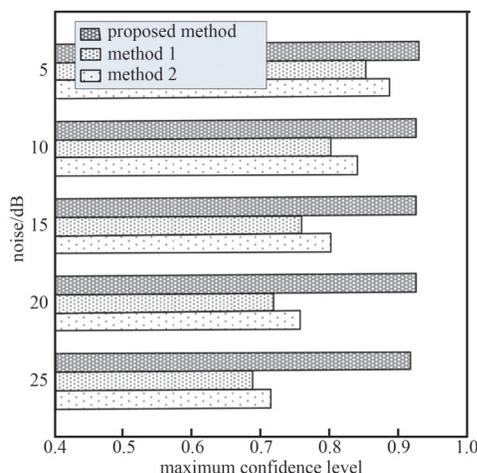


Fig.4 Robustness test results
图4 鲁棒性测试结果

对3种方法的多源信息融合鲁棒性进行测试。在采集数据中分别加入5 dB、10 dB、15 dB、20 dB、25 dB噪声，测试加入噪声后3种方法的多源信息融合的最大置信度，测试结果如图4所示。由图4可知，在加入5 dB、10 dB、15 dB、20 dB、25 dB噪声后，所提方法的最大置信度降幅很低，而方法1、方法2的最大置信度降幅则较大，表明所提方法的鲁棒性更好。

为进一步验证所提方法的信息融合性能，选取信息熵作为实验指标。信息熵用于评估融合后信息的多样性和丰富度，信息熵值越大，表示信息量越丰富，其计算公式为：

$$H(X) = -\sum x_i \log_2 x_i \tag{9}$$

式中： X 为随机变量； x_i 为第 i 个取值对应的概率。

根据式(9)计算3种方法的信息熵，结果如表4所示。由表4可知，所提方法的信息熵最大值为1.53，而方法1和方法2的信息熵最大值分别为0.75和1.05。所提方法的信息熵值更大，说明其在该方法融合后信息的多样性和丰富度更高。

表4 不同方法的信息熵对比结果
Table4 Comparison results of information entropy for different methods

number of data types	information entropy		
	proposed method	method 1	method 2
3	1.53	0.75	1.05
6	1.45	0.72	0.97
9	1.40	0.70	0.89
12	1.37	0.69	0.83
15	1.26	0.68	0.78
18	1.15	0.68	0.76

3 结论

为提高电网运行的效率和安全性，本文提出一种基于模糊集合的电网运行多源信息融合方法。该方法通过整合电力传感器、压力传感器、湿度传感器等多种传感器数据，实现对电网运行多源信息的全面采集和处理，提高了数据的全面性和可靠性；采用小波去噪方法对电网运行数据进行降噪处理，提取有效信息，增强了数据的质量和准确性，有助于提升多源信息融合结果的可靠性。将模糊集合论中的模糊相似矩阵与D-S证据理论相结合，能够更好地处理电网运行过程中的大规模、高复杂度数据，提高信息处理效率和准确性。实验测试结果表明，该方法的多源信息融合最大置信度较高，在面对增加噪声的情况下，该方法的多源信息融合性能保持稳定，表现出良好的鲁棒性，适用于实际电网运行环境中的数据处理和决策需求。由于本研究尚未充分考虑复杂系统下的实时优化调度问题，未来研究将着重于在实现实时性和可靠性的基础上进一步提升其智能化水平。

参考文献：

- [1] 贺馨仪,董明,刘文君,等. 面向调控领域多源数据融合的电力变压器态势感知与预警方法研究[J]. 电工电能新技术, 2023, 42(4):48-58. (HE Xinyi,DONG Ming,LIU Wenjun,et al. Research on power transformer situation awareness and warning method based on multi-source data fusion in power network dispatching field[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2023,42(4):48-58.) DOI:10.12067/ATEEE2204045.
- [2] 汪文达,张伟. 基于多源非健全信息融合的配电网主动故障研判方法[J]. 电气传动, 2021,51(12):47-51. (WANG Wenda, ZHANG Wei. Active fault diagnosis method for distribution network based on multi-source imperfect information fusion[J]. Electric Drive, 2021,51(12):47-51.) DOI:10.19457/j.1001-2095.dqed21236.
- [3] 潘志新,翟学锋,王成亮,等. 基于边缘计算的智能配电网多源数据处理与融合技术研究[J]. 电气传动, 2021,51(22):74-80. (PAN Zhixin,ZHAI Xuefeng,WANG Chengliang,et al. Research on multi-source data processing and fusion technology of smart distribution grid based on edge computing[J]. Electric Drive, 2021,51(22):74-80.) DOI:10.19457/j.1001-2095.dqed21954.
- [4] 覃松涛,黄超,田君杨,等. 电网多源大数据融合方法的研究与应用[J]. 电子器件, 2021,44(2):480-485. (QIN Songtao,HUANG Chao,TIAN Junyang,et al. Research and application of multi-source big data fusion in power grid[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2021,44(2):480-485.) DOI:10.3969/j.issn.1005-9490.2021.02.040.
- [5] 尤渺,刘育,葛嘉,等. 基于振摆信息融合的水电机组状态预测及符号化表征研究[J]. 电网与清洁能源, 2023,39(7):127-133. (YOU Miao,LIU Yu,GE Jia,et al. Research on prediction and expression for running states of hydroelectric generating set based on the information fusion of vibration signal[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2023,39(7):127-133.) DOI:10.3969/j.issn.1674-3814.2023.07.016.
- [6] 赵维兴,熊楠,宁楠,等. 基于多源信息融合的电网多层智能故障诊断方法[J]. 南方电网技术, 2021,15(9):9-15. (ZHAO Weixing,XIONG Nan,NING Nan,et al. Multi-layer intelligent fault diagnosis method of power grid based on multi-source information fusion[J]. Southern Power System Technology, 2021,15(9):9-15.) DOI:10.13648/j.cnki.issn1674-0629.2021.09.002.
- [7] 李腾飞,郝玉杰,袁方,等. 基于多源特征信息融合的油浸式变压器故障智能诊断模型[J]. 电工电能新技术, 2023,42(1):48-57. (LI Tengfei,HAO Yujie,YUAN Fang,et al. Intelligent transformer fault diagnosis model based on multi-source feature information fusion[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2023,42(1):48-57.) DOI:10.12067/ATEEE 2201047.

- [8] 张逸,黄佳铭,林鸿伟,等. 基于多源数据融合的省级电网电压暂降互动平台[J]. 电力自动化设备, 2023,43(3):196–203. (ZHANG Yi,HUANG Jiaming,LIN Hongwei,et al. Voltage sag interactive platform of provincial power grid based on multi-source data fusion[J]. Electric Power Automation Equipment, 2023,43(3):196–203.) DOI:10.16081/j.epae.202209001.
- [9] 代燕杰,荆臻,孙永全. 基于多源信息融合的智能电能表质量综合评价方法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2023,28(2):34–42. (DAI Yanjie,JING Zhen,SUN Yongquan. Comprehensive quality evaluation method of smart electricity meters based on multi-source information fusion[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2023,28(2):34–42.) DOI:10.15938/j.jhust.2023.02.004.
- [10] 刘喆林,王成山,李鹏,等. 多源量测数据融合的配电网状态估计及应用[J]. 中国电机工程学报, 2021,41(8):2605–2615. (LIU Zhelin,WANG Chengshan,LI Peng,et al. State estimation of distribution networks based on multi-source measurement data and its applications[J]. Proceedings of the CSEE, 2021,41(8):2605–2615.) DOI:10.13334/j.0258–8013.pcsee.201416.
- [11] 石宜金,谭贵生,赵波,等. 基于模糊综合评估模型与信息融合的电力变压器状态评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(21):167–176. (SHI Yijin,TAN Guisheng,ZHAO Bo,et al. Condition assessment method for power transformers based on fuzzy comprehensive evaluation and information fusion[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(21): 167–176.) DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.220008.
- [12] 郑翔,王慧芳,姜宽,等. 机理与数据融合驱动的含IIDG配电网短路电流计算方法[J]. 电力自动化设备, 2021,41(1):41–48. (ZHENG Xiang,WANG Huifang,JIANG Kuan,et al. Mechanism and data-driven combined short circuit current calculation method for distribution network with IIDG[J]. Electric Power Automation Equipment, 2021,41(1):41–48.) DOI:10.16081/j.epae.202010018.
- [13] 王春明,李杰,徐正清,等. 基于暂态信息融合的输电线路单端故障定位方法[J]. 电力科学与技术学报, 2022,37(2):62–71. (WANG Chunming,LI Jie,XU Zhengqing,et al. Research on single-ended fault location of transmission line based on transient information fusion[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2022,37(2):62–71.) DOI:10.19781/j.issn.1673–9140.2022.02.008.
- [14] 郭国栋,龚雁峰,吴迪,等. 引入HoloLens进行信息融合与数据挖掘的新型巡检方式及体验[J]. 中国电力, 2021,54(7):208–216. (GUO Guodong,GONG Yanfeng,WU Di,et al. New inspection method and experience by introducing HoloLens into information fusion and data mining[J]. Electric Power, 2021,54(7):208–216.) DOI:10.11930/j.issn.1004–9649.201909115.
- [15] 王成,李敏. 容积信息粒子多传感器融合算法[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2021,19(6):1097–1102. (WANG Cheng,LI Min. Cubature information particle multi-sensors fusion algorithm[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2021,19(6):1097–1102.) DOI:10.11805/TKYDA2020182.

作者简介:

孙俊(1984–),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为信息通信技术.email:SUN47315@163.com.

叶露(1982–),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为信息通信技术.

汤弋(1981–),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为信息通信技术.

胡莉娜(1982–),女,硕士,高级工程师,主要研究方向为信息通信技术.

陈璞(1980–),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为信息通信技术.