

变电运维中电力信息故障处理的方法研究

王璐, 王文, 戴佳宁

(国网宣城供电公司, 安徽 宣城 242000)

摘要: 针对变电运维过程中故障信息识别不精确、识别效率低等问题, 文章采用基于传统运维安全处理系统, 设计出先进的多层安全防护系统; 通过利用压缩感知和贪婪匹配等数据融合算法对电力信息识别进行改良, 引入超声波信号网格定位方法对故障点进行定位; 结果是在硬件与软件方面通过层次化设计进一步提升系统效率; 试验表明, 所设计的系统比传统电力信息系统拥有的精确度高, 故障检测识别率高达 100%, 时延为 27 ms。

关键词: 变电运维; 故障信息; 数据融合算法; 网格定位; 层次化设计

Research on Methods of Power Information Fault Handling in Substation Operation and Maintenance

WANG Lu, WANG Wen, DAI Jianing

(State Grid Xuancheng Electric Power Supply Company, Xuancheng 242000, China)

Abstract: Aiming at the problems of inaccurate identification of fault information and low identification efficiency in the process of substation operation and maintenance, the method adopted in this paper is based on the traditional operation and maintenance safety processing system, and an advanced multi-layer safety protection system is designed. The power information identification is improved by using data fusion algorithms such as compressed sensing and greedy matching, and the ultrasonic signal grid positioning method is introduced to locate the fault point. The result is to further improve system efficiency through hierarchical design in terms of hardware and software. Experiments show that the designed system has higher accuracy than traditional power information systems, with a fault detection and recognition rate of up to 100%, and a delay of 27 ms.

Keywords: substation operation and maintenance; fault information; data fusion algorithm; grid positioning; hierarchical design

0 引言

变电运维主要内容为面对变电站等大型设施的维护与监督工作。电力信息故障在变电运维作业过程中对作业进度与用电安全等方面的影响巨大, 因此, 本研究针对变电运维过程中电力信息的故障处理进行研究与讨论^[1-5]。

针对电力系统中变电运维处理的应用, 现有技术进行了相关研究。文献 [1] 提出了利用数据融合对变电运维中的安全防护进行监控, 通过多传感器技术对数据信息进行互补, 这一方法扩展了数据监控的范围, 但现有算法无法完整实现这一技术。文献 [2] 基于硬件模块化设计对电力信息的安全防护进行监控, 但是该技术方案只能实现硬件监控范围内的保护, 无法对变电运维系统的整体进行检测。

针对上述研究的技术缺陷, 本研究提出了基于数据融合的算法创新, 通过软件平台设计的云平台服务, 主要将现场安全防控平台与集中管理平台相结合, 对变电运维中

的电力故障进行综合处理。

1 基于数据融合和定位的算法创新

压缩感知算法在电力信息故障数据信息采样过程中对数据进行压缩, 通过对稀疏可压缩的故障信号进行迭代, 可以使用较少的运算量对故障信息信号进行处理^[3]。

1.1 压缩感知算法在变电运维中的应用

变电运维过程中, 主要考虑对故障地点的排查与故障形式的确定, 以此能够用最快速度对故障的处理方式与处理过程进行规划, 这一点在运维处理过程中尤为重要。

传统运维定位系统算法由于数据的精细度不高, 算法模糊值过多导致最终计算出的定位也有较大的差异^[5]。故障信息的特点, 将压缩感知算法应用于定位系统中去, 通过权值的设置将故障信号定位进行精细化处理, 具体算法架构如图 1 所示。

如图 1 所示, 压缩感知算法中, 通过故障信号的算法定位和多传感器定位给出基础定位信息, 然后将基础定位

收稿日期:2021-03-04; 修回日期:2021-03-29。

作者简介:王璐(1991-),男,安徽旌德人,大学本科,工程师,主要从事变电运维方向的研究。

引用格式:王璐,王文,戴佳宁. 变电运维中电力信息故障处理的方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(10): 50-54.

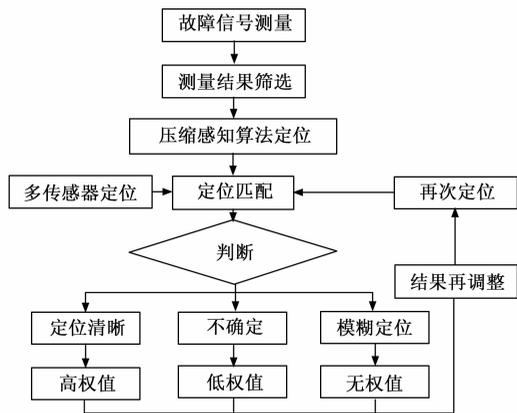


图 1 压缩感知算法架构

信息进行权值判断, 定位信息清晰的赋予高权值, 定位信息模糊的赋予零权值, 定位信息规定区域但不确定的赋予低权值, 将权值赋予后的信息可以再次调整定位, 反馈到定位匹配中, 将信息更加精细化, 从而使得定位的准确性得到保证^[1-5]。

在故障信息定位过程中, 假设从获取的数据信息中输出多种信号矩阵, 设定信号矩阵为 $\Phi \in R^{M \times N} (M \leq N)$, 然后再定义未知信号的定义域和属性, 则未知信号可以记作为 $X \in R^N$, 在其他数据信息中, 假设信号矩阵的线性测量值可以定义为 $Y \in R^M$, 那么对于 Y 的计算公式可以定义为:

$$Y_{M \times 1} = \Phi_{M \times N} X_{N \times 1} \quad (1)$$

在公式 (1) 中, Y 为信号 X 在故障信息矩阵 Φ 下的投影, 通过压缩感知算法, 将已知投影结果 Y 的信息, 通过压缩算法还原出 X 信号。因为初始 X 信号中, X 信号的维数要远大于 Y 信号的维数因此公式 (1) 的解有无数个, 但在压缩感知算法的理论之下, 对故障信号进行求解时, 能够通过最小最优化问题来进行精确重构, 因此在面对故障信息处理的问题下使用压缩感知算法能够大大增加计算的精确度。

在公式 (1) 中, 也可以作为测量矩阵进行计算, 比如 $\Phi_{M \times N} X_{N \times 1}$, 必要时, 需要对数据信息进行压缩, 假设测量矩阵记作为:

$$y = \Phi x \quad (2)$$

则 y 表示压缩后的数据信息, 其中数据维度可以为 M 等。由于电力数据在运行过程中容易出现多种数据信息, 在进行压缩感知时, Φ 矩阵需要满足约束等距原则, 该规则通过以下关系式进行表达:

$$(1 - \delta) \| P \alpha P \|_2^2 \leq \| P \Phi \alpha P \|_2^2 \leq (1 + \delta) \| P \alpha P \|_2^2 \quad (3)$$

公式 (3) 中的 δ 需要满足最小值能够使约束等距原则的应用达到最佳值。

1.2 贪婪匹配重构算法对压缩感知算法的补充

贪婪算法主要面向于定位模糊和不确定定位的故障信

号。将这些低权值甚至无权值的故障信号通过贪婪算法所拥有的筛选机制, 对原信号库进行选择整理, 利用迭代逐步逼近设定的阈值, 从而达到原始信号在一个压缩后的稀疏感知域的模糊表示^[6]。本研究主要通过正交匹配和跟踪采样相结合的贪婪匹配重构算法, 将计算的复杂度降低, 减少对运算速度的要求, 由于经过多次迭代, 计算得出较为适合的系数, 通过系数区域阈值的选择渐渐缩小故障信号间的线性组合, 从而产生高速的重建效率和非常优秀的重建效果, 并且在变电运维中的电力信息故障进行处理的过程中, 能够保证信息计算的稳定性^[3-6]。

假定给出稀疏度为 1 的一个故障信息样本, 在算法中输入研究中的故障信息矩阵 $P_{M \times N}$ 和测量结果 $Y_{M \times 1}$, 输出重构信号为 X , 则求解稀疏度的公式可以表示为:

$$z = \operatorname{argmax} \frac{y', Pz}{\| Pz \|_2} \quad (4)$$

式中, z 为稀疏度为 1 的故障信息的列向量, 且 $z \neq 0$, 则经过故障信号重构的结果即为 X 。通过凸松弛法将算法定位设计进行处理, 在处理过程中, 将公式 (5) 的步骤代入公式 (4) 中, 在公式 (4) 中执行一遍, 进行一次迭代, 迭代训练如公式 (5) 所示:

$$y' = y' - Pz, X = X + z \quad (5)$$

式中, y' 为匹配的余量, 公式 (4) 和公式 (5) 通过算法将测量的电力故障信息矩阵中每个信息的关联性利用信号逼近与余量更新等途径进行处理, 保证每一次迭代都处于最优解。

基于上述理论分析, 下面对步骤进行以下说明。

1) 实现对输入的电力信息故障数据信息进行初始化处理, 以测量矩阵 $y = \Phi x$ 作为输出对象, 为了计算方便, 在初始化时, 将数据模型内部的列向量进行施密特正交化处理, 其中数据的采样信号为 y , 稀疏度记作为 k , 完成初始化后, 进行下一步工作。

2) 在多种电力信息数据集合中找出索引集 Λ_i , 则存在以下关系式:

$$\Lambda_i = \operatorname{arg}_{i=1,2,\dots,N} \quad (6)$$

完成数据索引后, 进行下一步的数据计算。在完成索引后, 数据结合最大值满足以下条件: $\max |1 < r_{i-1}, \varphi_i > 7|$ 。

3) 然后进行数据计算, 则满足以下条件则表示计算完成:

$$b_i = \langle r_i - 1, \Phi \rangle 10, r_i = Y - b_i \quad (7)$$

4) 然后进行迭代计算, 则在 $t = t + 1$ 情况下, 当 $t < k$ 时, 则返回第 2) 步重新进行计算。通过上述计算实现了信号的完整保存, 避免了数据失真。

1.3 超声信号网格定位算法对故障精细化定位的处理

超声信号因传播速度快, 在测量精度方面能够达到微秒级别的测量精度。因此, 在变电运维中, 通过使用超声信号对不易定位的故障信号进行网格定位, 网格大小的初

始值选择根据运维区域的大小进行选择，每次筛选将网格平均分为 4 分，细化到其中的 1 份，如图 2 所示。

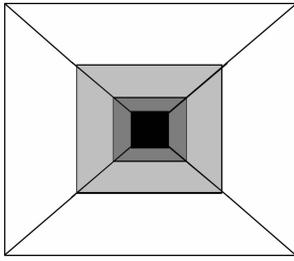


图 2 网格细化定位图

如图 2 所示，将网格沿着对角线进行划分，能够划分为 4 块相同的区域，通过 4 个角与中心点连线的中点，可以连接成一个面积为原网格四分之一的新区域，对目标网格的细分最小偏差计算公式：

$$\min \sum_i W_i \|d_i - d_0\|^2 \quad (4)$$

如公式 (4) 所示， W 为权重值， d_i 为测量之后得出的故障点与原点的距离， d_0 为上次测量得到的故障点与原点的距离，此迭代的终止条件为距离值或精细值达到压缩感知算法中得到的阈值^[5]。

超声波网格精细算法就是利用此方法将故障信号集合比作一个网格，不断对其进行精细化，辅助压缩感知算法对故障点的精细化过程进行处理，进而使得最终结果的精细度更加稳定^[7]。

2 电力信息故障监测平台的设计

变电运维的电力信息故障因素具有多样性与不确定性^[1]，因此本研究通过搭建安全防护平台对电力信息故障进行监测^[8-10]。

2.1 平台的功能设计

本研究平台主要通过对传统安全防护平台进行创新，从而设计一款能够面对变电运维过程中故障发现与处理的实用型平台^[10]。该平台将作为变电运维工作中的核心，通过对现场的安全管理作为切入点，突出安全管理的及时性与准确性^[11]。功能设计图如图 3 所示。



图 3 功能设计图

如图 3 所示，在平台的功能设计中，选择物联网技术

作为平台的搭建技术，通过 GitHub 技术添加 web 交互，利用移动应用终端技术的引进扩大电力信息的调控，使得变电运维人员能够通过专用的移动终端实时地对电力情况进行监视与调控^[12]；在可视化的方面，本研究运用可视化图表与 GIS 三维建模等方法，将每个信息进行可视化处理，努力改进传统电力信息监控平台对数据分析不明显，解释度不足的情况，通过可视化的引入，在实时数据的处理方向增加效率。在网络通信服务方面，运用服务调度框架、系统总线与异步通信框架相结合的网络通信方式，对系统整体提供网络支持^[13-14]。

2.2 平台的架构设计

平台架构主要分为硬件架构与软件架构，在硬件架构方面主要通过对服务器的架构与通信设施的架构支撑系统的硬件架构，具体硬件架构如图 4 所示。

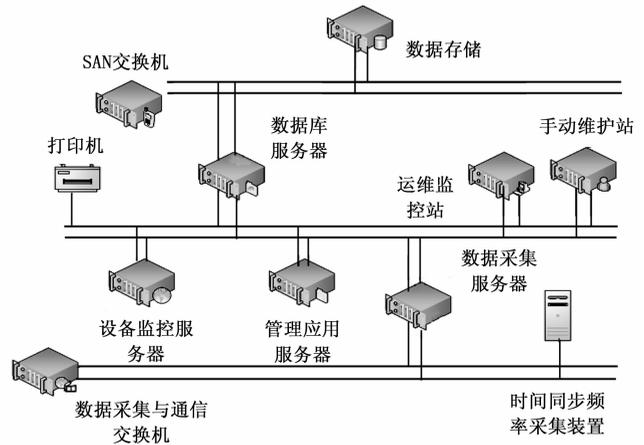


图 4 运维系统硬件架构

如图 4 所示，硬件架构的平台布局分为三层，第一层为数据存储和 SAN 交换机，主要实现对实时数据的保存；第二层主要包含数据库服务器、数据监控服务器、管理服务器、运维监控站和手动维护站，通过第二层的部署，实现实时的数据处理功能，同时对异常数据的报警、数据的统计和数据的采样等功能均有所安排，在整个硬件系统中处于决策执行的一层；第三层通过数据采集与通信交换机和时间同步采集装置，将信息处理结果第一时间反馈到运维人员手中，实现系统的实时性与稳定性^[15-20]。

2.3 运维系统的软件架构

运维系统的软件架构也分为三层，这三层分别为应用层、核心层和传感层^[21]。应用层主要提供运维过程中的应用服务和应用持久化服务；核心层通过前端通信及计算中心对信号进行处理，同时核心层作为中间层，向上面对应用层有服务作用，向下面对传感层有调控作用，同时利用前端通信能够将信息及时反馈，因此核心层需要支持多通道和持久化的服务；传感层主要通过超声波对故障进行定位传感，将故障信息传递到核心层处理，是整个系统“五

官”的代表^[22-24]。软件系统的三层设计如图 5 所示。

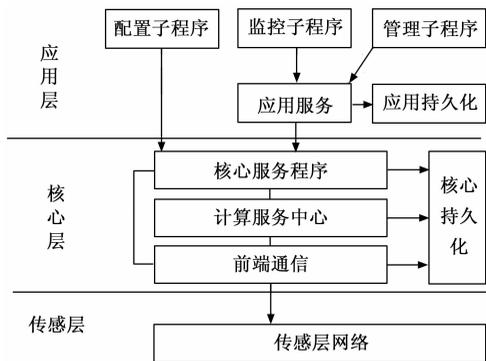


图 5 软件监控平台的设计

如图 5 所示, 变电运维过程中的电力故障信息经由传感层网络采集交由前端通信, 核心层计算甄别, 最后交由应用层对处理后的信息进行应用可视化, 对故障信息进行报警, 运维人员通过应用操作, 能够选择不同的运维信息作为关注点, 针对不同权值的信息也具有不同的报警方式。保证了大故障与小故障处理缓急程度的排序^[24]。

3 仿真结果与分析

3.1 试验环境

在试验时, 采用的硬件计算机操作系统为 Microsoft Windows 2020, 64 位。运行环境硬件参数为 CPU: Inter (R) Core (TM) i7; 主频为 2.59 GHz; 内存 128 G。

本研究通过模拟湖南省长沙市岳麓区国际企业港的变电运维配置来验证本研究的技术优越性。据初步了解, 长沙市在十五年内预计将变电站提高到五百余座, 其中包括两座一千千伏特高压变电站、十五座五百千伏变电站、一百余座 220 千伏变电站和四百余座 110 千伏变电站, 因此, 在变电运维方面压力巨大。

3.2 试验过程

给定一个含有变电运维中故障信息的信息集, 分别输入本研究系统(下文简称系统 a)的传感层与文献 [1] 系统(下文简称系统 1)及文献 [2] 系统(下文简称系统 2)中, 通过对比 3 种系统对故障信息的检测概率和信息反馈的延迟来对比传统变电运维安全防护系统与本研究设计的电力信息检测系统方案的技术优越性。

本试验实验对象选择一百组含有简单故障原因的故障信息的数据建立数据群一号, 再选择一百组含有多种复杂故障信息的数据群信息建立数据群二号, 每隔一定的时间对变电运维安全防护系统输入一次故障信息数据, 检查数据输入后系统的报警情况, 通过系统的报警次数和报警的时间延迟来对比 3 种系统面对故障的反应情况及反应时间, 建立对照组。最后将仿真结果列为表格。

3.3 试验结果

将故障数据集一号分别输入系统 a、系统 1 和系统 2

中, 对 3 种系统的报警结果进行整理, 最终列出表格如表 1 所示。

表 1 一号数据集检测结果对比

系统	一号数据集数据个数/组	故障信息判别报警次数/次
系统 a	100	100
系统 1	100	95
系统 2	100	98

检测故障个数结果分析如图 6 所示。

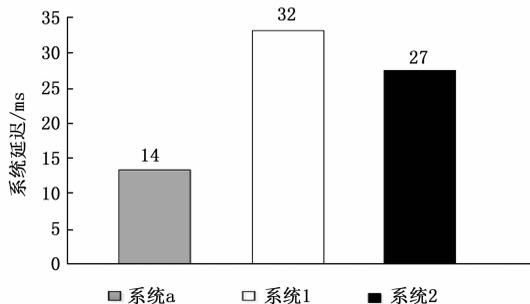


图 6 一号数据群检测系统延迟柱状图

由表 1 和图 6 可得, 本研究所设计的系统对单个元器件故障检测识别率高达 100%, 并且平均延迟在 14 ms; 而系统 1 对单个元器件的故障识别率仅为 95%, 在系统延迟上也达到了奖金 32 ms 的延迟; 系统 2 在判别率上比系统 1 高出 3 个百分点, 达到 98%, 但是仍然比系统 a 判别率低, 在延迟方面, 系统 2 比系统 1 优化了 15.6%, 达到 27 ms 的延迟, 但是仍超系统啊大概一倍的时间。经过上述实验结果的分析, 明显看出在面对简单的系统故障, 本研究在甄别准确率和甄别时间上都有很大的优势。

对数据集二号的输入后的系统反馈结果进行整理, 最终列出表格如表 2 所示。

表 2 数据集二号检测结果对比

系统	一号数据集数据个数/组	故障信息判别报警次数/次
系统 a	100	98
系统 1	100	84
系统 2	100	93

检测故障个数结果如图 7 所示。

由表 2 和图 7 可知, 本研究所用的系统在面对复杂的故障信息时仍有 98% 的检测识别率; 系统 1 在故障信息变得复杂的情况下, 识别准确率只有 85%, 系统延迟也增加至 65 ms; 系统 2 在故障检测中识别率为 93%, 对比简单故障识别率下降明显, 比系统 1 的识别率高九个百分点, 但是仍比系统 a 的识别率低, 在延迟上也是, 优于系统 1 的延迟, 但是比系统 a 的延迟高。

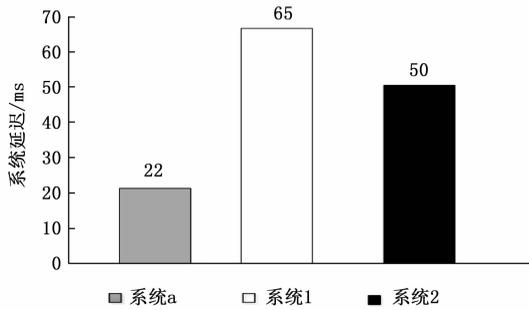


图 7 二号数据群检测系统延迟柱状图

3.4 结果分析

由上述试验可以得出结论,不论是在检测准确度上还是延时问题的处理上,本研究所设计的系统都要优于文献[1]的系统与文献[2]的系统。在面对复杂故障信息的处理甄别时,文献[1]系统无法准确进行报警,且报警反馈延时过长,文献[2]系统虽然有所改良,但仍然有不小的误差,本研究所用系统不仅能准确地对故障信息进行检测与定位,并且延迟短,效率高,更有利于运维人员对故障进行处理与记录。

4 结束语

本研究基于变电运维中的电力信息故障处理技术、通过贪婪匹配算法对压缩感知算法进行改良,让其更适用于电力信息的处理中,使用超声信号网格定位算法对区域内的故障点进行定位。构建出新型的三层运维系统物理模型与三层软件模型,进一步改进了传统变电运维系统精度不高与时延过长等缺点,实现了简单迅速且高准确率对区域内变电运维的安全运行与检修,这使得变电运维电力信息故障处理领域提升了一个新的技术高度。

通过对安全防护系统的研究,进而对整个变电运维领域进行研究,增加了变电运维的安全性也就是减少了停电事故的发生,这能够直接体现在日常的生产与生活之中。

参考文献:

[1] 卜能源,李霖. 变电运维一体化方案研究[J]. 河南科技, 2020, 39(34): 46-48.

[2] 黄军辉. 变电运维技术中智能化技术的应用探析[J]. 无线互联科技, 2020, 17(24): 87-88.

[3] 文国卫. 变电运维管理系统对变电运行的革新影响[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(16): 30-31.

[4] 渠志江,秦福宁,张忠蕾,等. 基于移动互联网的变电带电检测运维系统[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(2): 69-71, 79.

[5] 黄超,吴亚娟. 基于压缩感知理论的分块压缩感知算法[J]. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2020, 20(4): 21-25.

[6] LAN S, HU H Q. Research on the coupling relationship between manufacturing technology innovation and energy consumption based on intelligent algorithms [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2021: 1-8.

[7] 沈伟,戴飞,沈建强,等. 电力系统变电运维安全管理与设备维护[J]. 石河子科技, 2020(4): 10-11.

[8] 李刚,米琛浩,郑顾平,等. 隐式半马尔科夫模型下的变压器故障诊断方法[J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(5): 36-40.

[9] 王国忠. 220 kV 变电运维的危险点及其对策探讨[J]. 电力设备管理, 2020(8): 53-55.

[10] 迟龙云,张海,赵晨旭. 基于局部单应性矩阵的图像拼接与定位算法研究[J]. 导航定位与授时, 2020, 7(3): 62-69.

[11] 李宜才. 物联网技术在配电网运维管理中的应用及研究[J]. 南方农机, 2020, 51(16): 162-163.

[12] 吕彩艳,程若发,杨宏超,等. 关于网络故障脆弱性优化评估仿真[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(5): 275-277, 281.

[13] 王翔宇. 油色谱在线监测系统在特高压变电运维的应用[J]. 科学技术创新, 2020(32): 80-81.

[14] 姜美玲. “无人化”变电智能技术在 220 kV 变电站中的应用[J]. 自动化应用, 2020(7): 120-121, 124.

[15] 赵红. 智能变电站变电运维安全与设备维护探讨[J]. 中国设备工程, 2020(14): 30-31.

[16] 沈银海,蔡剑强. 变电运维存在的安全隐患及解决措施研究[J]. 石河子科技, 2020(3): 37-38.

[17] 蒋超利,吴旭升,孙军,等. 舰船综合电力系统机内测试研究[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(8): 5-9.

[18] LIU J X, ZHANG X R, ZHANG F Q. Research on communication network configuration and simulation of smart substation based on ethernet [J]. Energy and Power Engineering, 2020, 12(4): 14-24.

[19] 黄家豪,包威,阳祎,等. 基于 500 kV 变电站倒闸操作风险管控工具的变电运维员工培训体系设计[J]. 机电信息, 2020(11): 122-123.

[20] 杨文. 电网变电运维风险与技术检修措施探讨[J]. 技术与市场, 2020, 27(3): 95-96.

[21] 蒲天骄,乔骥,韩笑,等. 人工智能技术在电力设备运维检修中的研究及应用[J]. 高电压技术, 2020, 46(2): 369-383.

[22] 郑天齐,王永刚,沈永良,等. 继电保护故障信息系统应用分析[J]. 数字技术与应用, 2019, 37(12): 24-25.

[23] 张珂珩,彭晨辉,赵康. 基于全息时标量测数据挖掘的配电网设备健康状态诊断分析[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(3): 29-34.

[24] 刘积慧,刘振宇,杨政,等. 电力系统故障的微弱信号检测方法的研究[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(1): 76-79.