

## 基于边缘计算的故障录波主站信息快速智能处理方法

巫聪云, 刘斌, 沈梓正, 颜丽, 廖晓春

引用本文:

巫聪云, 刘斌, 沈梓正, 等. 基于边缘计算的故障录波主站信息快速智能处理方法[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 91-98.

WU Congyun, LIU Bin, SHEN Zizheng, et al. Fast and Intelligent Information Processing Method for Fault Recorder Master Station Based on Edge Computing[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(2): 91-98.

---

## 相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

### 智能分布式加电压-时间型双策略就地故障判别方法

Intelligent Distributed Voltage-time Dual Strategy Local Fault Identification Method

南方能源建设. 2020, 7(z1): 48-52 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.S1.009>

### 基于录波数据的广域电能质量评估系统的设计

Design of Wide Area Power Quality Assessment System Based on Recording Data

南方能源建设. 2019, 6(3): 113-119 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.019>

### 智能电网大数据信息平台研究

Research on Big Data Information Platform for Smart Grid

南方能源建设. 2015, 2(1): 17-21 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.01.003>

### 配变终端在配网故障定位分析快速复电中的设计与应用

Design and Implementation, Fault Location Technology Analysis and Rapid Restoration in Variable Terminal

南方能源建设. 2015, 2(z1): 165-168 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.S1.037>

### 变压器和断路器远程在线监视系统的设计与应用

Design and Application of Remote Online Monitoring System for Transformer and Circuit Breaker

南方能源建设. 2018, 5(1): 132-138 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.023>

# 基于边缘计算的故障录波主站信息 快速智能处理方法

巫聪云<sup>1</sup>, 刘斌<sup>1</sup>, 沈梓正<sup>1</sup>, 颜丽<sup>2,✉</sup>, 廖晓春<sup>2</sup>

(1. 广西电网有限责任公司, 南宁 530000; 2. 武汉华电顺承科技有限公司, 武汉 430071)

**摘要:** [目的] 针对电网调控机构业务集中, 故障决策延时和数据传输开销大的问题, 设计了一种基于边缘计算的故障录波主站信息快速智能处理方法。[方法] 基于故障录波信息处理的边缘计算设计原理和整体框架, 利用 DataSocket 异步并行实时通信和 Hadoop 分布式存储方案保证数据稳定传输和快速存取, 采用改进的 SSDA 算法快速筛选出故障信息进行分析, 电子化报送故障分析结果。[结果] 实验结果表明: 该方法在海量数据处理、故障快速诊断、辅助决策支持等方面有良好的应用效果, 可缓解调控机构信息处理压力和缩短故障决策延时。[结论] 结合广西电网运行案例, 证明了该方法可靠处理海量故障录波信息的有效性和可行性。

**关键词:** 录波信息; 边缘计算; 实时通信; 分布式存储; SSDA 算法

中图分类号: TM7; TM73

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)02-0091-08

开放科学(资源服务)二维码:



## Fast and Intelligent Information Processing Method for Fault Recorder Master Station Based on Edge Computing

WU Congyun<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>1</sup>, SHEN Zizheng<sup>1</sup>, YAN Li<sup>2,✉</sup>, LIAO Xiaochun<sup>2</sup>

(1. Guangxi Power Grid Co., Ltd., Nanning 530000, China;

2. Wuhan Huadian Shuncheng Science Technology Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

**Abstract:** [Introduction] Aiming at the problems of business concentration, fault decision delay and high data transmission overhead for power grid dispatching control center, a fast and intelligent information processing method for fault recorder master station based on edge computing was proposed. [Method] Based on the edge computing design principle and overall framework of fault recording information processing, we used DataSocket asynchronous parallel real-time communication and Hadoop distributed storage scheme to ensure stable transmission, fast storage and retrieval for data, adopted improved SSDA algorithm to sift out the fault information to analysis quickly, and submitted the fault analysis results electronically. [Result] The experimental results show that this method has good application effects in mass data processing, rapid fault diagnosis, auxiliary decision support, etc. It can alleviate the pressure of information processing of dispatching control center and shorten the time delay of fault decision-making. [Conclusion] The proposed method is effective and feasible to handle massive fault recording information reliably combined with the Guangxi power grid operation case.

**Key words:** recording wave information; edge computing; real-time communication; distributed storage; SSDA algorithm

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

目前电力系统处于大力发展以“控大智移”为

目标的阶段<sup>[1]</sup>, 具备继电保护设备信息集成能力的各种系统, 注重中心化, 将各种数据、信息和资源归集至调控机构, 造成传输网络开销大和信息处理延迟的问题, 无法满足电网快速发展业务形态的需求<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2020-12-17 修回日期: 2021-02-01

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目“基于录波源端数据边缘计算的电网故障快速智能诊断技术研究与应用”(GXKJXM20200139)

随着电网规模的持续扩张,录波装置作为基础配套设备,其数量快速增加,录波数据呈爆发式增长,海量录波数据的快速处理成为亟待解决的问题。分析录波数据,发现其存在以下特点:(1)价值密度低:故障数据占比仅为2%;(2)海量骤发性:故障发生时,多个录波装置监测点集中产生海量数据并同时上传,瞬间冲击主站通信、存储和计算资源,考验主站服务器的承载能力;(3)多源异构:异种录波装置产生格式各异的数据,在数据传输过程中出现信息丢失、上传失败等问题<sup>[3-4]</sup>。对海量、异构、骤发录波数据稳定传输、快速存储、提炼出2%故障数据高效诊断的研究,具有极大的价值。

近年来,边缘计算的出现,可减轻云计算中心的负荷,减少网络链路数据传输压力,降低实时性数据处理时延。为了缓解信息中心调控机构的压力,可利用录波主站对海量数据进行预处理,筛选出故障信息进行分析,电子化报送故障报告,支持调控机构直接决策,将调控人员从繁琐的信息处理工作中解放出来<sup>[5-8]</sup>。

本文通过研究调控机构在电网事故实际处理过程中存在的问题,结合边缘计算对数据高效处

理的特点,提出一种基于边缘计算的故障录波主站信息快速智能处理方法,将大量的故障诊断任务下放到录波主站系统进行处理,满足海量录波数据场景的实时处理需求,提高电网故障的诊断效率。

## 1 基于边缘计算的录波信息快速智能处理设计原理

传统故障信息处理模式为调控机构进行故障信息的集中式管理,但调控机构处理信息压力大、人工干预程度高、故障决策延迟问题频发,在故障信息的实时处理方面已呈现局限性。

基于边缘计算的录波信息快速智能处理模式设计原理如图1所示,录波主站作为调控机构边缘的故障信息处理系统,不再局限于信息传递,而是具备扰动数据筛选、故障数据高效诊断和信息快速发布的能力,对厂站侧上传的扰动数据,快速进行数据分析和故障诊断工作,直接将故障信息的分析报告电子化报送至调控机构,可实时处理海量录波数据,极大程度缓解调控机构信息处理压力和缩短故障决策时延。

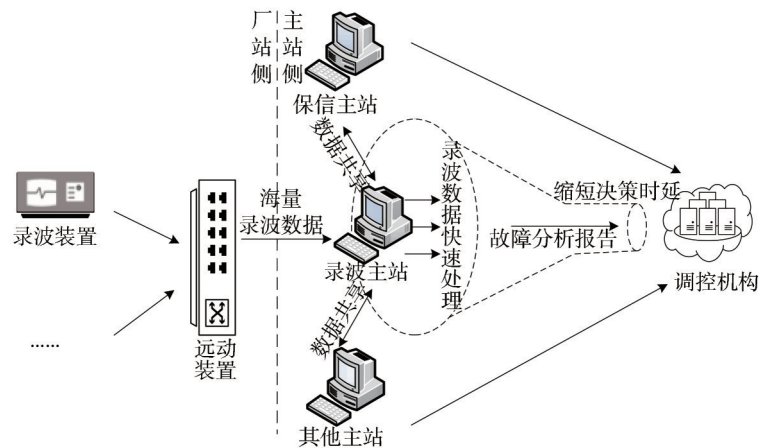


图1 边缘计算设计原理图

Fig. 1 Edge computing schematic diagram

## 2 故障录波信息处理的边缘计算框架

故障录波信息的边缘计算框架如图2所示,从设备、网络、数据和应用四域,利用异步通信、分布式存储和故障快速诊断等技术,实现对海量录波数据的并行处理,提供芯片级的诊断服务并电子化

报送故障结果,提高录波主站系统的综合处理能力,降低实时性数据的处理时延,全面促进电网故障录波信息处理模型的持续优化生长。

### 1) 设备域

设备状态:主要涉及安装在厂站侧的所有录波

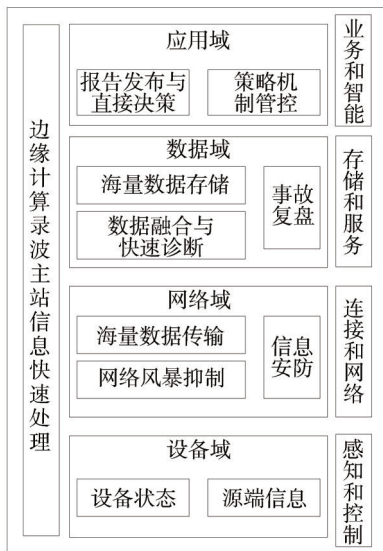


图2 故障录波信息的边缘计算框架

Fig. 2 Edge calculation framework of fault recording wave information

装置, 负责监视电力系统一次设备的正常运行, 当线路发生扰动或故障时, 正常启动并记录模拟量和开关量的变化情况。

**源端信息:** 将采集到的故障电压、电流信号经过隔离、变送、A/D转换后, 形成COMTRADE格式连续的数据量, 按照通道配置和时标转换成故障波形, 清晰再现整个故障过程。

#### 2) 网络域

**海量数据传输:** 录波主站提供通信接口, 与调度数据网建立网络连接, 采用实时通信方式, 提高海量录波数据的通信效率。

**网络风暴抑制:** 通信网络服务器故障、网卡损坏、网络环路等原因造成的网络风暴, 配置风暴抑制特性进行预防, 避免网络丢包、响应迟缓、时断时通、瘫痪等问题的发生, 提高网络性能。

**信息安防:** 录波主站具有网络通信和数据处理能力, 将录波数据进行过滤和处理后传输, 可有效保护敏感数据不被上传到网络中, 保证数据的安全及隐私。

#### 3) 数据域

**海量数据存储:** 利用分布式的存储方式, 扩展录波主站海量数据的存储性能, 提高资源利用率, 达到各存储节点资源的动态平衡。

**数据融合与快速诊断:** 建立录波数据的独立分

析诊断机制, 主站系统对同故障多来源的录波数据深入挖掘, 结合获取到的开关量, 进行故障信息融合和快速诊断, 生成录波故障报告。

**事故复盘:** 保留所有电网相关业务数据, 包含原始数据和故障报告、设备运行有效日志等信息, 在检索线路故障、设备故障及历史回溯等场景时进行信息调取和查看, 对电网事故复盘, 避免同类问题再次发生。

#### 4) 应用域

**报告发布与直接决策:** 录波主站系统将生成的故障报告通过电子化报送方式推至Web、云平台和移动终端, 实现便捷式故障信息查看, 支撑调控机构直接决策。

**策略机制管控:** 设计基于边缘计算的录波故障信息处理策略和共享管控机制, 在保证安全性的同时, 优化信息处理机制, 提高信息共享的范围和深度, 面向调度、检修和运行等人员实现电网故障信息利用价值的最大化<sup>[9-10]</sup>。

### 3 基于边缘计算的故障录波信息快速智能处理关键技术

设计故障录波信息快速处理的边缘计算框架, 其目的就是从设备、网络、数据和应用四域对录波数据进行智能监控、高效处理和有效利用, 降低数据传输网络开销。现阶段重点工作是如何解决录波数据实时通信传输稳定、数据存储和调取便捷以及故障信息快速挖掘和诊断的问题, 这是基于边缘计算的电网故障录波信息快速处理方法研究中的关键。

#### 3.1 基于DataSocket的异步并行实时通信网络

录波主站系统通信端口与厂站侧录波装置之间通过调度数据网进行大量的通信工作。主站系统自有规约库, 可根据当前主流厂商规约的特性, 将非标规约自适应转换成电力系统自动化领域唯一的全球通用标准IEC 61850, 对异种录波装置具有极高的兼容性。然而传统主站服务器局域网TCP/IP通信方式因编程的复杂性, 存在网络链路不稳定导致数据传输失败的问题, 无法满足在高频通信情况下数据实时传输的需求。

基于DataSocket的异步并行实时通信网络设计如图3所示, DataSocket通信方式能够有效地将厂站侧录波装置采集到的大量数据转化为适合于主站

通信网络传输的信号，DataSocket 包含 DataSocket API 和 DataSocket Server，前者提供独立的编程接口，适应不同编程环境下多种数据类型的通读，后者通过封装底层 TCP/IP 协议进行统一管理来控制数据的发送和接收，简化了网络通信方式，且数据传输准确可靠。

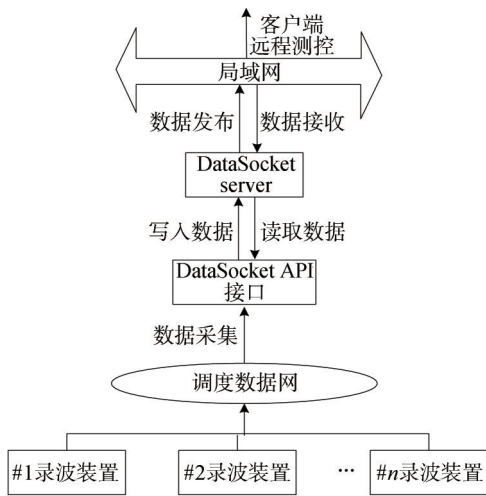


图3 基于DataSocket的异步并行实时通信网络设计

Fig. 3 Design of asynchronous parallel real-time communication network based on DataSocket

基于DataSocket的分布式实时通信网络，充分利用DataSocket API提供的传输信道资源，不受限

于数据格式的差异和网络间通信协议的不同，利用异步并行方式将通信开销时间进行量化，合理分配每条传输信道的通信时间，为实时性要求高、传输性能要求可靠的录波主站系统的数据通信和集成提供便利，将通信开销维持在最小范围内，有效解决录波主站在海量骤发录波数据传输中通信开销大的问题<sup>[11]</sup>。

### 3.2 基于Hadoop的故障录波信息分布式存储

Master/Slave架构的HDFS（Hadoop Distributed File System）系统可用于分布式数据存储，一个名字节点（NameNode）和多个数据节点（DataNode）组成一个HDFS集群，分别负责分配文件存储位置和存储实际数据。

HDFS系统通过NameNode High Availability机制可启动两个Namenode，一个处于active状态，负责所有的客户端操作，另外一个处于standby状态，负责维护数据状态，具备随时切换的条件，其作用是降低NameNode并发访问时单点失败的风险，形成彼此协同的处理模式。

HDFS分布式存储示意如图4所示，系统中数据存储不受单一节点磁盘大小的限制，可将录波文件分散存储到集群的各个节点，而且采用副本存放与读取策略，备份文件分布于不同的DataNode，具有较高的容错性。

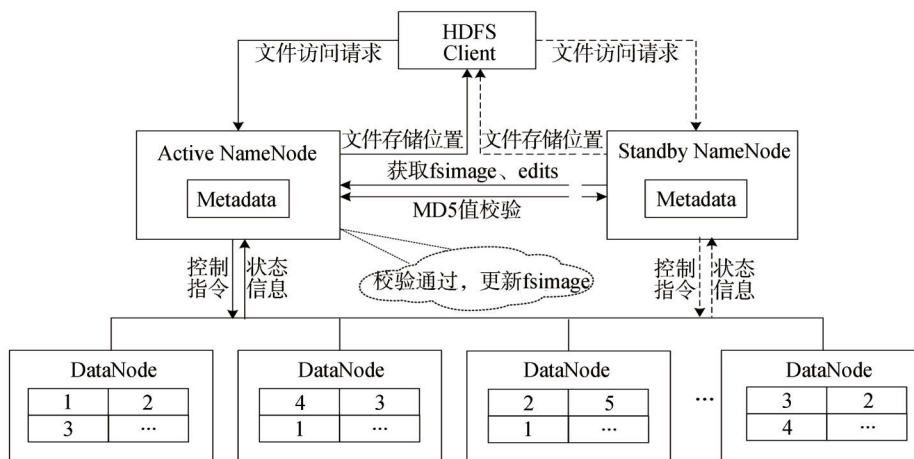


图4 HDFS分布式存储示意图

Fig. 4 Flow chart of HDFS distributed storage

相较于传统 Oracle 数据库的存储仅集中于一台物理服务器节点，磁盘写入时间随存储数据量的不断增加呈线性快速增长而言，HDFS 分布式存储优

势整理如下：

- 1) HDFS 节点管理性能：存储着 HDFS 文件系统目录树和录波数据操作日志的 fsimage 和 edits 大

小直接影响 NameNode 的启动速度, Active NameNode 通过 HTTP 从 Standby NameNode 获取最新的 fsimage 文件命名为 fsimage.ckpt\_txid, 并生成 MD5 文件, 与 Standby NameNode 的 MD5 值比对校验, 在确认收到的 fsimage 文件正确后将其重命名为 fsimage\_txid, 并清理掉旧的 fsimage 和 edits 文件, 以此确保 Standby 和 Active 2 个 NameNode 都拥有最新的 fsimage 和 edits 文件, 从而增强 2 个节点协同管理的性能。

2) 信息存储的安全性: 对所有录波数据复制相同的 3 个副本, 通过机架感知的策略, 将一个副本存放在本地机架的节点上, 一个副本放在同一机架的另一个节点上, 最后一个副本放在不同机架的节点上, 3 个副本有序分开保存于不同的存储节点, 在提高写操作效率的同时, 也保证了数据的安全性。

3) 信息调用的可靠性: DataNode 的存储设备错误、网络错误或者软件 bug 可能造成从某个 DataNode 获取的数据块是损坏的, 在调用数据时, 可对文件的内容进行 checksum 检查, 通过 checksum 一致性匹配, 确认是否为目标调用数据, 如果不一致, 可选择从其他 DataNode 获取该数据块的副本, 减少损坏数据误用的发生, 提高信息调用的可靠性。

4) 信息存储的利用率: HDFS 系统文件切分后分散存储至不同的 DataNode, 满足流式访问数据读取需求, 响应不同任务请求, 按录波启动时间进行数据有序存储, 提高存储数据的使用频率<sup>[12-13]</sup>。

存储数据库分为静态和动态两部分, 静态数据库保存电网拓扑结构、录波装置规格和属性等信息, 一次写入可供多次读取, 后期维护量小; 动态数据库用来记录故障录波波形的变化, 数据存储量大, 采用基于 Hadoop 的录波信息分布式存储方法, 可以快速保存、检索和调用启动时间序列相似的录波数据。

### 3.3 基于改进 SSSA 算法的故障录波信息并行智能诊断

#### 3.3.1 故障录波信息的预处理

1) 智能容错: 读取录波文件, 查验文件中装置 ID、线路名称、模拟量和状态量通道采样信息、线路两侧的 CT/PT 变比等不可或缺的信息是否齐

全。若信息不全或出现乱码, 调取含有错误类型相对应的补偿信息列表, 予以信息补充或更正。对录波文件中经常发生的数据缺失、异常或不识别等问题进行智能容错处理。

2) 无损转换: 不同厂商、不同型号录波装置采集的故障文件格式各异, 通过录波文件查询对应的录波装置型号, 获取对应的文件格式转换接口表, 解析文件格式并读取文件数据, 最终将不同格式的录波文件转换成标准的 COMTRADE 格式的数据文件。将不同采样率的波形通过拉格朗日插值法进行采样率归一化处理, 便于后续对录波波形快速诊断。

#### 3.3.2 基于改进 SSSA 算法的录波信息并行诊断

故障录波数据可靠, 但信息量大, 需要从海量录波数据中提炼出 2% 的故障信息, 传统队列式串行分析不利于故障信息的快速识别。

波形在某种程度上可以视为特定的图形, 只需要提取疑似故障段波形, 将故障波形匹配问题转换为直观的图像匹配问题进行简化。序贯相似度检测匹配法 (Sequential Similarity Detection Algorithms, SSSA) 最主要的特点是图像匹配处理速度快。

基于改进的 SSSA 算法的故障录波信息快速智能诊断详细流程如图 5 所示, 关键步骤介绍如下:

1) 建立故障波形库, 记录常见电网故障 (单相接地、两相短路、两相接地、三相短路) 波形特征信息。

2) 并行计算目标波形和故障库波形之间的绝对误差:  $\lambda(i, j) = |S_m(i, j) - T(i, j)|$ 。

式中:  $S_m(i, j)$  是故障波形库中第  $m$  个波形中的点;  $T(i, j)$  为目标匹配波形中的点。

3) 将故障库波形当作模板, 计算波形库中波形模板与目标待匹配波形点的绝对误差, 并将每一点的误差累计, 计算残差和, 作为初始阈值  $T_k$ 。

4) 阈值选取对于算法的精度有较大影响, 若阈值较大, 运算速度较慢; 阈值过小, 匹配精度会降低, 故采用改进后的自适应阈值进行阈值更新。将故障库波形模板不断移动, 记下一个匹配区域的残差和为  $T_{k+1}$ , 如果  $T_{k+1} \geq T_k$ , 则搜索完成; 如果  $T_{k+1} < T_k$ , 则用  $T_{k+1}$  来更新  $T_k$ , 并记录该区域起始点位置坐标, 当目标波形搜索完成, 则可得目标匹配波形的最佳匹配结果, 记录累加次数  $r_m$ 。

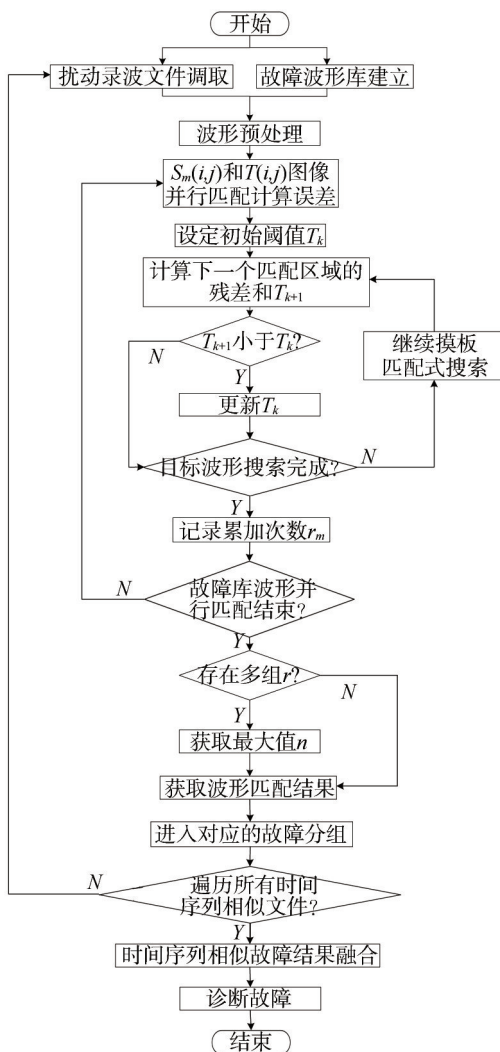


图5 基于改进的SSDA算法的故障录波信息快速智能诊断  
Fig. 5 Fast and intelligent diagnosis for power grid fault based on improved SSDA algorithm

5) 并行计算故障库中波形和目标波形的匹配集合  $\{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ , 最终的匹配结果  $n = \max \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ , 即使得阈值最小且累加次数最多的波形即为最终的故障匹配结果。

对于大部分非匹配点来说, 只需计算波形中的前几个点即可算出残差和超过阈值, 波形不具有故障特征。只有匹配点附近的点才需要扩宽计算, 这样平均起来每一点的运算次数将远远小于实测波形的点数, 从而达到减少整个波形匹配过程计算量的目的<sup>[14]</sup>。

采用SSDA算法并行匹配故障库常见故障波形, 可以满足90%常见故障快速诊断的需求。对于剩余10%特殊故障或复杂故障无法快速识别的情

况, 可以利用与其他主站交互的信息进行交叉验证或采用D-S证据理论进一步融合诊断故障<sup>[15]</sup>。

#### 4 应用实例

为了验证DataSocket实时数据通信传输的稳定性, 在实验室局域网利用5台录波装置、2台PC组建数据采集(发布端)、DataSocket server和测控应用(接收端)3部分, 采用南瑞NEP4A-E1 2 M通道复用装置模拟调度数据网2 M专线进行录波数据传输, 为增强系统的安全性, 可以在计算机之间用防火墙隔离。

利用IEEE 39节点系统Simulink软件对高压输电线路进行仿真, 利用5台录波装置监测仿真产生的故障信号, 采集到的5 000个实时数据通过2 M通信通道传输方式发送到DataSocket server, 不同类型的数据写入不同路径, 接收端从相应的路径中取出数据, 实现分布式数据的实时通信和监控。通过客户端监控显示, 通过2 M通信通道传输的数据发包率和接收成功率均为100%, 表明利用DataSocket异步并行方式可实现通信数据稳定传输。

基于Hadoop集群和Oracle数据库两种存储方式, 在存储硬件配置基本一致的前提下, 进行录波数目量级递增情况下数据读写响应时间的对比实验, 两种存储数据库的硬件环境如表1所示。

表1 Hadoop和Oracle存储数据库配置

Tab. 1 Data base configuration of Hadoop and Oracle storage modes

规格	Oracle	Hadoop集群(2.7.7版本)
操作系统	Linux Server release 6.7	Linux Server release 6.7
服务器数量	6台	6台(2 NameNode+4 DataNode)
网络带宽	100 MB	100 MB
CPU性能	八核	八核
CPU主频	2.80 GHz	2.80 GHz
内存	6×8 GB	6×8 GB

以广西电网历史库中录波数据作为研究对象, 选取100、1 000、10 000、20 000、40 000、60 000、80 000、100 000个大小为0.5~5 MB录波文件, 分别采用传统Oracle与文中所提分布式Hadoop集群两种方式进行数据存储实验, 最终取3次存储响应时间的平均值, 记录结果如图6所示。

从图6可以看出, 当文件数量较少时, Oracle

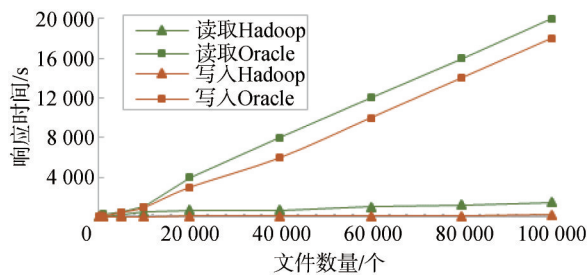


图 6 Hadoop 与 Oracle 存储方式响应时间的比较

Fig. 6 Response time comparison of Hadoop and Oracle storage modes

存储效率比较高, 原因是 Hadoop 集群存储方式涉及到节点的选取, 系统自身开销导致存储响应耗时较长, 随着存储数据量的逐步增加, 在超过临界点 10 000 个以后, Oracle 存储方式响应时间快速增长, 而 Hadoop 通过内部节点协同和分配处理机制, 使得数据写入和读取所需时间显著缩短, 在海量录波数据的存储效率方面显示出了绝对性的优势。

录波数据实时传输和分布式存储都是服务于录波数据快速诊断, 基于改进的 SSSA 算法进行波形匹配, 阈值  $T_k$  的选取非常关键, 本文采用自适应阈值方法, 初始阈值  $T_k$  设定在 0.4 附近, 避免搜索过早结束, 匹配过程中不断自适应修正阈值, 将目标波形与故障库波形模板进行快速匹配, 较少的时间就可以完成海量录波数据诊断工作, 挖掘出 2% 故障信息中的常见故障。相较于传统方法故障特征量提取和精细分析来说, 基于改进的 SSSA 算法更适合于价值密度仅 2% 的故障录波数据快速分析, 可以提高故障诊断效率。表 2 整理了传统和边缘计算两种架构的海量录波数据处理的指标对比数据。

从表 2 可以看出:

1) 录波数据量级递增, 导致传统架构主站性

表 2 传统和边缘计算架构海量录波数据处理的对比指标

Tab. 2 Comparison of edge computing and traditional architectures for processing mass recording wave data

录波数据量/(GB·min <sup>-1</sup> )	传统主站架构				宕机/次	基于边缘计算的主站架构			
	传输耗时/h	存储耗时/min	诊断耗时/min	宕机/次		传输耗时/h	存储耗时/min	诊断耗时/min	宕机/次
10	4.11	13.12	3.56	0	2.22	3.88	1.17	0	
50	7.56	30.24	6.52	0	4.63	9.56	1.64	0	
100	13.69	50.53	15.33	1	6.15	16.52	3.98	0	
200	18.45	98.15	35.68	3	9.34	28.17	5.12	0	

能大幅度衰减, 当录波数据冲击量达到 100 GB/min 时, 已接近传统主站系统的性能极限, 但基于边缘计算架构的主站系统可继续维持系统稳定。

2) 数据存储和诊断耗时受存储方式和诊断算法的影响较大, 分布式存储和并行诊断方法的应用可以大幅度缩减用时, 但数据传输速率受网络带宽限制, 虽然采取 DataSocket 实时通信方式, 传输速率有所提升, 但在海量数据骤增的情况下, 网络开销仍相对较大, 是主站系统故障分析耗时的瓶颈。

## 5 结论

基于边缘计算的故障录波主站信息快速智能处理方法, 利用 DataSocket 异步并行实时通信方式进行数据稳定上送; 采用 Hadoop 分布式存储保证各个存储节点的动态平衡, 便于数据的快速写入和调取; 利用改进的 SSSA 算法快速筛选故障数据, 常见故障可以高效匹配判定, 电子化报送故障报告支持调控机构直接决策。实验证明, 该方法在数据稳定传输、高效存取和故障快速诊断方面有良好的应用效果, 缓解了调控机构信息处理的压力, 解决了数据传输开销大和故障决策延时的问题。

由于网络通信数据传输是录波主站故障快速诊断中的瓶颈, 受网络带宽影响较大, 后续将从源端录波数据处理着手, 进一步优化厂站侧海量录波数据的传输策略, 提高录波数据实时通信效率。

### 参考文献:

[1] 李黎, 华奎, 姜昀芃, 等. 输电线路多源异构数据处理关键技术综述 [J]. 广东电力, 2018, 31(8): 124-133.  
LI L, HUA K, JIANG Y F, et al. Research review on key technology for multi-source heterogeneous data processing for transmission lines [J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(8): 124-133.

[2] 张素香, 赵丙镇, 王风雨, 等. 海量数据下的电力负荷短期预测 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(1): 37-42.  
ZHANG S X, ZHAO B Z, WANG F Y, et al. Short-term power load forecasting based on big data [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(1): 37-42.

[3] 石恒初, 游昊, 李本瑜, 等. 继电保护主站信息融合决策系统的设计与应用 [J]. 电力信息与通信技术, 2021, 19(1): 81-90.  
SHI H C, YOU H, LI B Y, et al. Design and application of information fusion decision system for relay protection main station [J]. Electric Power ICT, 2021, 19(1): 81-90.

[4] 翟海燕, 李本瑜, 廖晓春, 等. 基于容器调度架构的录波信息



- 主站系统的设计 [J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(11): 40-46.
- ZHAI H Y, LI B Y, LIAO X C, et al. Design of wave recording information master station system based on container scheduling architecture [J]. Electric Power ICT, 2018, 16(11): 40-46.
- [5] 施巍松, 张星洲, 王一帆, 等. 边缘计算: 现状与展望 [J]. 计算机研究与发展, 2019, 56(1): 69-89.
- SHI W S, ZHANG X Z, WANG Y F, et al. Edge computing: state-of-the-art and future directions [J]. Journal of Computer Research and Development, 2019, 56(1): 69-89.
- [6] 张聪, 樊小毅, 刘晓腾, 等. 边缘计算使能智慧电网 [J]. 大数据, 2019, 5(2): 64-78.
- ZHANG C, FAN X Y, LIU X T, et al. Edge computing enabled smart grid [J]. Big Data Research, 2019, 5(2): 64-78.
- [7] 祁兵, 夏琰, 李彬, 等. 基于边缘计算的家庭能源管理系统: 架构、关键技术及实现方式 [J]. 电力建设, 2018, 39(3): 33-41.
- QI B, XIA Y, LI B, et al. Family energy management system based on edge computing: architecture, key technology and implementation [J]. Electric Power Construction, 2018, 39(3): 33-41.
- [8] 龚钢军, 罗安琴, 陈志敏, 等. 基于边缘计算的主动配电网信息物理系统 [J]. 电网技术, 2018, 42(10): 3128-3135.
- GONG G J, LUO A Q, CHEN Z M, et al. Cyber physical system of active distribution network based on container [J]. Power System Technology, 2018, 42(10): 3128-3135.
- [9] 邓云书, 李瑞津, 叶文华, 等. 基于录波数据的广域电能质量评估系统的设计 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(3): 113-119.
- DENG Y S, LI R J, YE W H, et al. Design of wide area power quality assessment system based on recording data [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 113-119.
- [10] 陈文睿, 陈创, 廖晓春. 变压器和断路器远程在线监视系统的设计与应用 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(1): 132-138.
- CHEN W R, CHEN C, LIAO X C. Design and application of remote online monitoring system for transformer and circuit breaker [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(1): 132-138.
- [11] 刘志华, 吴韬, 曹瑞明. 基于DataSocket技术的设备状态监测与故障诊断系统 [J]. 微型机与应用, 2015, 34(24): 84-87.
- LIU Z H, WU T, CAO R M. Equipment condition monitoring and fault diagnosis system based on DataSocket technology [J]. Microcomputer & Its Applications, 2015, 34(24): 84-87.
- [12] 张琳波, 李本瑜, 翟海燕, 等. 基于Hadoop技术的批量录波数据高性能处理方法 [J]. 云南电力技术, 2015, 43(2): 135-138.
- ZHANG L B, LI B Y, ZHAI H Y, et al. Research on high-performance treatment of batch wave recording data based on Hadoop technology [J]. Yunnan Electric Power, 2015, 43(2): 135-138.
- [13] 陈锐忠, 魏理豪, 梁哲恒, 等. 基于Hadoop的海量数据处理模型研究和应用 [J]. 电子设计工程, 2016, 24(14): 101-103+106.
- CHEN R Z, WEI L H, LIANG Z H, et al. Research and application of mass data processing model based on Hadoop [J]. Electronic Design Engineering, 2016, 24(14): 101-103+106.
- [14] 陈树峰, 姜斌, 冒泽慧, 等. SSDA波形匹配在高频电源开关控制中的应用 [J]. 电光与控制, 2013, 20(1): 69-73.
- CHEN S F, JIANG B, MAO Z H, et al. High-frequency power supply process control based on SSDA waveform matching [J]. Electronics Optics & Control, 2013, 20(1): 69-73.
- [15] 游昊, 石恒初, 杨远航, 等. 基于改进D-S证据理论的电网故障多源信息智能融合诊断方法 [J]. 广东电力, 2020, 33(11): 16-25.
- YOU H, SHI H C, YANG Y H, et al. Intelligent fusion diagnosis method for multi-source information of power grid fault based on improved D-S evidence theory [J]. Guangdong Electric Power, 2020, 33(11): 16-25.

#### 作者简介:



巫聪云

1979-, 男, 广西宾阳人, 高级工程师, 电气工程硕士, 主要从事电力系统继电保护管理工作 (e-mail) 252644051@qq.com。

巫聪云

#### 刘斌

1986-, 男, 湖北仙桃人, 高级工程师, 学士, 主要从事电力系统继电保护运行维护及专业管理工作 (e-mail) 279777084@qq.com。

#### 沈梓正

1988-, 女, 黑龙江佳木斯人, 高级工程师, 硕士, 主要从事电力系统继电保护管理工作 (e-mail) 1563587491@qq.com。

#### 颜丽 (通信作者)

1984-, 女, 湖北武汉人, 工程师, 物理电子学硕士, 主要从事智能电网、继电保护信息集成技术研究工作 (e-mail) 274237534@qq.com。

(责任编辑 李辉)