电网运维大数据背景下的继电保护通信系统故障定位方法

孙梦晨[1],丛 伟[1],余 江[2],郑茂然[2],高湛军[1]
(1. 山东大学 电网智能化调度与控制教育部重点实验室,山东 济南 250061;
2. 中国南方电网有限责任公司,广东 广州 510623)

摘要:针对承载继电保护业务的光纤通信系统频发多通道同时告警事件导致故障定位困难的问题,基于电网运维大数据和贝叶斯网络模型处理方法,提出了一种继电保护通信系统故障定位方法。结合继电保护故障信息管理系统(RPMS)、通信网管系统告警信息和调度运行管理系统(OMS)信息缩小故障定位范围,然后基于由历史运维数据计算得到的先验概率,通过改进的贝叶斯算法进行故障概率计算,推断出故障原因,借助通信资源管控系统信息进行故障定位。算例的计算结果证明了该方法的有效性和准确性。该方法对于多区域并发性故障定位同样适用。

关键词:继电保护;通信;运维大数据;保护通信系统;故障定位;改进贝叶斯算法
中图分类号:TM 77 **文献标识码**:A DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2019.04.021

0 引言

光纤通信系统是高压电网继电保护信息的主要传输方式[1],其负责传输线路两端的电气量信息、保护装置的故障判断信息和开关的位置状态信息等,对高压电网继电保护系统的可靠性有着重要的作用。高压电网继电保护通信系统由传统的两端直连方式逐步发展为当前的多通道复用方式,在提高了通信容量和业务承载能力的同时也使得基于复用技术的光纤通信系统结构日趋复杂,通信路由不再固定,高压保护通信系统将会涉及数量较多、类型各异的通信单元和部件。

高压继电保护通信系统结构和路由的复杂化带来了两方面问题:一是会导致通信系统故障概率和发生率增加;二是若通信系统发生故障,难以快速、准确地确定故障位置和故障元件。因此,快速、准确地确定通信系统故障位置并尽可能地判断出故障原因,是智能电网保护通信系统故障定位的重要功能。

在实际工程应用领域中,主要以环回法进行电力通信网的故障排查[2],该方法主要依靠运维工作经验,会造成正常业务的中断且需调配大量人力资源,工作效率相对低下。当前对于电力通信网故障定位方法的研究主要集中在基于挖掘分析通信告警信息的关联规则相关性进行故障定位,基于依赖搜索树的电力通信告警聚类进行故障定位,以及基于粗糙集和贝叶斯网络方法进行电力通信网络故障定位。文献[3]基于通信网功能分层结构的思想,采用贝叶斯网络建立不同网络层次间的故障传播模型。文献[4]利用粗糙集对冗余信息进行简化,根据运行记录中的词频信息计算获得各特征属性集的条件概率,建立最小属性集的贝叶斯网络故障诊断模型,实现故障的快速定位分析。文献[5]将告警序列中属于一类的告警信息聚合在一起并采用较少的信息进行替代,从而简化海量告警信息,达到故障定位的目的。上述方法主要侧重于研究告警信息与故障之间的关联关系,较少涉及多源信息的整合和利用,给出的故障位置判断结果无法精确到设备板卡或端口层面,与现场运维对故障定位信息的要求还有一定的差距。

本文在分析继电保护通信系统故障定位需求和实现方案的基础上,基于电网运维大数据平台,采用多源信息融合[6]与信息关联方法相结合的方法,利用大数据平台中继电保护故障信息管理系统 RPMS(Relay Protection Management System)、通信网管系统中动态发出的告警信息以及调度运行管理系统 OMS(Operation Management System)和通信资源管控系统中静态存储的台账信息,提出了一种继电保护通信系统的故障定位方法,该方法首先综合 RPMS、OMS、通信网管系统的多源系统信息进行故障区域识别,锁定故障目标区域,缩小故障定位范围[7];然后基于故障目标区域内的通信告警,利用改进贝叶斯算法进行故障概率计算[8-11],最终通过通信资源管控系统确定故障位置。本文对于提高通信系统故障定位的快速性和准确性、提高通信系统运行管理水平和主保护的可靠性具有重要意义。

1 继电保护通信系统故障定位需求

1.1 继电保护通信系统的结构特点

当前高压电网继电保护通信系统已普遍形成集成、高速双向的特点,能够提高通信设备使用效率,但同时也增加了快速、准确判断通信系统故障位置

收稿日期:2018-02-06;**修回日期**:2019-01-23
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51877126,51377100);南方电网公司研究项目(ZDKJQQ00000023)
Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51877126,51377100) and the Research Project of China Southern Power Grid Corporation(ZDKJQQ00000023)

的难度。当前高压电网继电保护通信系统为提高通信可靠性,对于同一输电线路两端保护信息的传输,通常采用直达路由和迂回路由并行的传输方式[12]。直达路由,即两站之间的保护装置直接通过通信设备进行通信,如图1所示。迂回路由,即两站之间的保护装置的通信路径是根据制定的路径串行经过附近若干个站点进行两站间的通信,如图2所示。

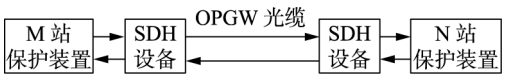

图1 直达路由通信示意图

Fig.1 Schematic diagram of direct routing communication

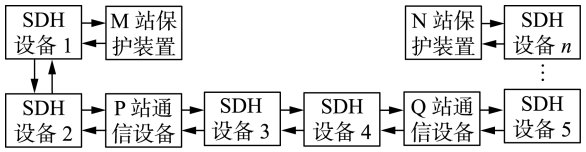

图2 迂回路由通信示意图

Fig.2 Schematic diagram of circuitous routing communication

由图1、2可见,无论是直达路由方式还是迂回路由方式,通信系统可能在多个不同的位置发生故障[13]。按照通信系统在继电保护系统中承担的功能,可将通信系统大致分为两侧保护装置内的通信接口、中间通信设备和光纤这3个部分,3个部分目前分属不同的专业进行管理和运维。本文的继电保护通信系统故障定位思路是先确定故障位于上述3个部分中的哪个区域内,然后再调取相关信息进一步确定故障的具体位置。

1.2 继电保护通信系统故障告警信息

根据电网当前自动监控系统的配置现状,当继电保护通信系统发生故障时,RPMS和通信网管系统均会接收到相关的通信告警和故障信息[14],但在信息的类型及内容上有所差异,这为本文开展继电保护通信系统的故障定位工作提供了前提条件。

表1、2分别为当继电保护通信系统发生故障后,RPMS和通信网管系统中接收到的告警信息示例。

表1 RPMS告警信息

Table 1 Warning information received by RPMS

时刻	装置名称	保护ID	告警内容
13:32:22	L线主一保护	BH2305	通道B无有效帧
13:32:23	N线主一保护	BH3316	通道B异常
13:32:27	L线主一保护	BH2305	通道B严重误码

表2 通信网管系统告警信息

Table 2 Warning information received by communication network management system

时刻	告警内容	告警端口	承载业务	保护ID
13:32	TU_AIS	E换/1盘8端口	M线主一集成辅A保护通道2	BH2581
13:32	TU_AIS	B变/2盘1端口	N线主一保护通道2	BH3316
13:33	TU_AIS	C变/1盘12端口	M线主一集成辅A保护通道2	BH2581

上述告警信息的特点表明,如果RPMS接收到通信故障告警信息,则表示该告警信息与继电保护业务相关,但缺少进一步的关于故障可能位置的信息。

通信网管系统不仅负责监视承载继电保护业务的通信系统,还监视承载电网调控、电能计量、指挥通信和行政办公等多种业务的通信系统。虽然在告警信息中会给出与故障位置信息密切相关的异常通信通道编号、端口编号以及告警的具体原因等信息[15],但受专业和管理方面的限制,仍无法直观、快速地确定故障点在通信链路上的对应位置,无法准确判断该故障对保护的影响。

1.3 继电保护通信系统故障定位的具体需求

为了快速判断继电保护通信系统是否发生故障和准确示出故障位置,本文在电网运维大数据背景下,获取RPMS和通信网管系统的告警信息和管理信息,首先对保护装置内部通信模块故障和通信通道故障进行判断。对于保护装置内部故障,根据运维管理中给定保护装置的唯一ID标识,即可快速给出故障保护装置所在变电站和屏柜编号等位置信息。对于通信系统故障,需先判断出光缆故障和设备板卡故障类型,通过通信资源管理系统进行故障定位,从而快速指导现场运维人员进行合理的检修工作。

在保护装置采用迂回路由通信方式的情况下,当通信系统发生故障时,相关设备发出的告警信息数量大且在物理路径上难以直接确定告警设备间的关系,尤其在多区域复杂故障下,冗余信息和交叉信息更影响故障定位结果的准确度。因此,基于大数据技术中多源信息融合的思想,在故障定位过程中整合多源系统信息,并参考历史运行数据形成的经验数据,有助于实现快速故障定位并确定故障原因。

2 继电保护通信系统故障定位方案

2.1 输入数据源的选择与配合

采用RPMS、通信网管系统、OMS和通信资源管控系统这4个系统的信息为原始信息源。从RPMS和通信网管系统实时发出的告警信息中匹配提取继电保护通信告警信息,对故障位于保护装置内部还是通信系统进行初步判断[16]。若故障位于通信系统且存在多通道同时告警的情况,则调取存档于OMS的告警信息所涉及的每条通信通道的路由走向和对应的设备信息,通过告警设备间路由拓扑的分析进行故障区域识别。进一步地,对故障区域内的告警信息进行分析,得出最终的故障分析结果,通过查询通信资源管控系统中的告警端口位置信息得到故障定位结果。系统间的逻辑配合关系和具体采用的信息内容如图3所示。

2.2 继电保护通信系统故障定位实现流程

以RPMS中出现通信告警信息作为通信系统故

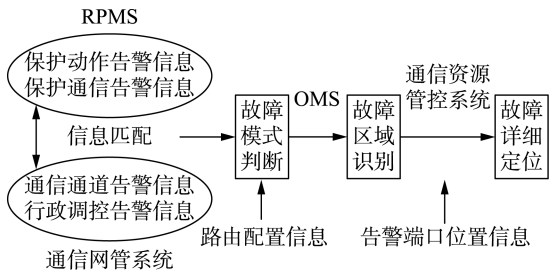

图 3　系统信息逻辑关系图

Fig.3　Logic diagram of system information

障定位流程启动的触发条件。在统一时标中根据告警信息的时序属性查找通信网管系统中与继电保护业务相关的告警信息,对比两系统在同一时段的告警信息内容,初步确定是否发生保护通信系统异常。

如果只有 RPMS 发出通道告警,而通信网管系统并没有发出同时段的告警信息,则此次故障为保护装置发生异常。如果是通信系统故障且只有单条保护通道告警,则确定为该通信通道故障。当有多条通信通道同时告警时,需要通过告警设备间的路由拓扑分析进行故障区域识别。

采用改进贝叶斯算法依据对历史运行数据分析得出的关于故障和告警信息的经验数据进行计算,推断出发生概率最大的故障原因,最终对告警端口进行定位并输出故障定位结果。

3　通信系统故障定位方法

3.1　基于路由拓扑分析的保护通信系统故障区域判断方法

当多条保护通道同时告警时,利用通信网管系统中告警信息的通道名称,调取 OMS 中对应通道的路由走向,形成路由连接拓扑结构。根据通信通道的告警特点,当发生故障时,故障设备和该传输链路上与之有信息收发关系的通信设备均会发出通信告警信息。因此,找到这些告警设备路由连接拓扑的最多交汇部分(可能是 1 个站点,也可能是 1 条线路),则故障设备必然位于该拓扑交汇部分,即该拓扑交汇部分为故障区域。

若干变电站之间输电线路保护通道的部分路由走向如附录中的图 A1 所示。图中,连接线代表实时发出告警信息的保护通道,不同颜色的连接线代表不同保护通道的路由走向。线路 l_{AE}、线路 l_{BC}、线路 l_{DE} 的保护通道均配有直达路由和迂回路由这 2 种类型的路由走向,如:线路 l_{BC} 的直达路由为 B → C,迂回路由为 B → A → E → D → C。

图 A1 中,各条线路的保护通道 1 配置为直达路由,保护通道 2 配置为迂回路由。当线路 l_{BC} 的保护通道 1 和线路 l_{DE} 的保护通道 2 同时发出告警,即 B → C 与 D → C → B → E 这 2 条保护通道同时告警时,告警通道的最多交汇部分(即 B 变、C 变之间的保护通道)存在发生故障的最大概率可能,即故障区域为 B 变、C 变之间的保护通道。

3.2　基于改进贝叶斯算法的保护通信系统故障定位方法

继电保护业务相关的电力通信故障定位机制在于将动态实时监控运行系统 RPMS 和通信网管系统发出的通信告警信息映射至各类可能发生的故障集中,并给出最大概率故障事件的理性分析,属于不确定知识的推理问题[17-19]。

贝叶斯网络是目前不确定知识表达和推理领域最有效的理论模型之一,对应的贝叶斯算法是一种在已知先验概率与条件概率的情况下的模式分类方法。本文采用考虑告警信息频繁度因素的改进贝叶斯算法进行保护通信故障定位,步骤如下。

a. 对从通信网管系统中提取的历史信息进行数据清洗工作。当对历史信息完成发现并纠正数据错误后,获取到的是可以直接用于数据分析处理的优质数据样本资源。通过对这些数据样本的进一步挖掘可以统计计算出每种疑似故障的发生概率,以及当发生故障时产生相关告警信息的条件概率,最终形成故障对应于告警信息的若干故障告警模式,即对应于贝叶斯网络的二级网络结构,如图 4 所示。

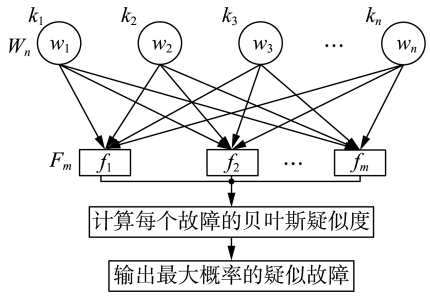

图 4　贝叶斯二级网络应用图

Fig.4　Application diagram of Bayesian secondary network

其中,疑似故障的发生概率为疑似故障的发生次数与所统计的通信通道总故障次数的比值,而发生故障时产生相关告警信息的概率为发生故障时产生该种告警信息的故障次数与所统计的发生故障的次数的比值,可通过公式表达为:

$$p(f_j)=\frac{n(f_j)}{n(f)} \qquad f_j \in f \tag{1}$$

$$p(w_i \mid f_j)=\frac{n(f_k)}{n(f_j)} \qquad f_k \in f_j(w_i) \tag{2}$$

其中,w_i 为告警信息;$p(f_j)$ 为疑似故障 f_j 发生概率;$n(f_j)$ 为疑似故障的发生次数;$n(f)$ 为所统计的通信通道总故障次数;$p(w_i \mid f_j)$ 为发生故障时产生相关告警信息的概率;$n(f_k)$ 为发生故障 f_k 时产生该种告警信息的故障次数。

b. 对取自通信网管系统的告警信息按照时序

属性进行处理,生成故障的原始告警信息集 W_0,从原始告警信息集 W_0 中依次搜索出告警信息 w_i 的频繁项,最终由搜索出的 n 个频繁度为 k_i 的告警信息 w_i 组成告警信息集 W_n。

由步骤 **a** 确定与告警信息集中所有告警信息对应的 m 个相关故障 f_j,从而构成疑似故障集 F_m,并调取由历史数据分析得到的疑似故障发生概率 $p(f_j)$ 以及与该故障对应产生告警信息的条件概率 $p(w_i|f_j)$。其中,由与单个故障相关的告警信息构成特征告警信息集 W_{fj},特征告警信息集为告警信息集的子集。

c. 利用改进贝叶斯算法对步骤 **a**、**b** 获得的各类数据信息进行计算,即可得出故障定位结果。

将 W_n、W_{fj}、F_m、$p(f_j)$、$p(w_i|f_j)$ 输入图 4 所示的贝叶斯二级网络进行贝叶斯疑似度的计算,其中疑似故障发生概率作为的先验概率。

首先对于告警信息集 W_n 中的每个告警信息 w_i 计算该告警信息下疑似发生故障 f_j 的概率:

$$p(f_j|w_i)=\frac{p(w_i|f_j)p(f_j)}{\sum_{f_j\in F_m}p(w_i|f_j)p(f_j)} \tag{3}$$

再对每个疑似故障 f_j 计算其贝叶斯可疑度:

$$C(f_j)=\sum_{w_i\in W_n}k_i\,p(w_i|f_j) \tag{4}$$

通常情况下,取可疑度最大的疑似故障作为故障定位的结果输出。

改进贝叶斯算法既保证了应用大数据思想对于决策不确定事件的指导作用,又因地制宜地应用继电保护通信系统故障与告警信息频繁度之间的紧密关系,可建立起多维度信息间的关联关系,最终在综合权衡多方数据关系后给出中肯的故障定位结果。

4 算例仿真

4.1 多源异构数据处理

在数据库中,对不同类型的数据需按照数据库存储规则进行存储和管理,从而实现统一数据建模[20]。对于结构化数据,对所需数据信息按照存储规则进行存储。对于非结构化数据,如故障工单,对原文件进行解析、信息抽取后再进行存储。以 RPMS 告警信息为例的数据模型如表 3 所示。

表 3 RPMS 告警信息数据存储格式

Table 3 Storage format of RPMS alarm information data

名称	数据类型	长度/Byte	注释
time	TIMESTAMP	默认值	告警时间
protectname	VARCHAR	50	装置名称
pt_id	VARCHAR	50	保护 ID
message	VARCHAR	50	告警内容

将数据按照表 3 所示的格式统一存储后,根据业务应用需要,需对数据库中的数据按照关联关系进行管理。本文采用关系型数据库 MySQL 表达多系统数据间的关联关系,将以上不同系统的数据按照本文故障定位的主题域进行组织,表达为事实表与维度表。事实表汇总了数据库中的所有数据实体,各数据实体通过维度表存储关联关系,从而形成一条完整的信息记录,数据库建模示意图见图 5。

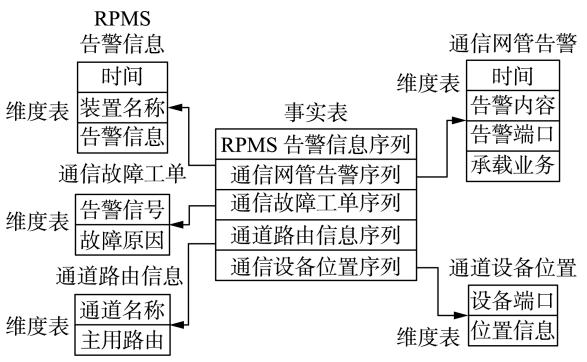

图 5 数据库建模示意图

Fig.5 Schematic diagram of database modeling

在具体业务实现层面,为实现多源异构数据之间在应用层的自动集成,本文根据各种数据的结构特点,将关键数据分为告警数据和混合数据 2 类,分别进行数据建模,以实现信息的准确关联。

告警信息包括 RPMS 告警信息和通信网管系统的告警信息,采用的数据模型如表 4 所示。

表 4 告警信息数据模型

Table 4 Data model of alarm information

名称	数据类型	长度/Byte	M/O	注释
id	INT	11	M	自增序列
time	TIMESTAMP	默认值	O	告警时间
pt_id	VARCHAR	50	O	保护 ID
channel	VARCHAR	255	O	告警通道
alarm_port	VARCHAR	255	O	告警端口
RPMS_alarm	VARCHAR	50	O	RPMS 告警内容
CNMS_alarm	VARCHAR	50	O	网管告警内容

注:M/O 表示此项为强制项(Mandatory)或可选项(Optional),后同。

统一的数据模型为 2 类告警信息的可靠关联奠定了基础。为尽可能地降低告警信息缺失或信息错误对故障定位的影响,本文采取了 2 种关联方法:一种方法是根据 RPMS 告警信息和通信网管告警信息中共同包含的“保护 ID”信息进行关联,保护 ID 作为信息标识具有指向唯一的特点,因此可直接进行关联操作;另一种方法是为防止“保护 ID”信息缺失或配置错误对信息关联的影响,本文同时采用了基于静态配置信息的关键字检索匹配方法,对 RPMS 告警信息中的“装置名称”和通信网管告警信息中的“承载业务”进行关键字检索,从而实现信息关联。

混合数据包括路由配置信息、设备位置信息等静态配置信息,采用的数据模型如表 5 所示。

通信网管系统告警信息与 OMS 中的路由信息进行关联时,对告警信息的“承载业务”与 OMS 路由

表 5　混合数据模型

Table 5　Hybrid data model

名称	数据类型	长度/Byte	M/O	注释
id	INT	11	M	自增序列
time	TIMESTAMP	默认值	O	告警时间
CNMS_alarm	VARCHAR	50	O	网管告警内容
alarm_port	VARCHAR	255	O	告警端口
channel	VARCHAR	255	O	告警通道
pt_id	VARCHAR	50	O	保护 ID
routing	VARCHAR	255	O	主用路由
location	VARCHAR	255	O	设备位置信息

信息中“保护通道名称”进行关键字检索匹配。同理,对通信网管系统中告警信息的“告警端口”与通信资源管控系统中的“设备端口”进行关键字检索匹配,实现通信设备位置信息的关联。

4.2　光缆中断故障算例分析

2017 年 9 月 14 日 13:32 左右,调控中心 RPMS 接收到 500 kV 线路通信告警信息,根据运维经验,以 3 min 作为一次告警事件时间间隔,对数据库中的 RPMS 告警信息进行时间检索,根据数据库维度表可以获取数据库中关于 RPMS 告警信息维度的所有数据信息,检索结果整理如表 6 所示。

表 6　RPMS 告警信息

Table 6　Warning information received by RPMS

时刻	装置名称	保护 ID	告警内容
13:32:22	L 线主一保护	BH2305	通道 B 无有效帧
13:32:23	N 线主一保护	BH3316	通道 B 异常
13:32:27	L 线主一保护	BH2305	通道 B 严重误码
13:32:34	N 线主一保护	BH3316	通道 B 严重误码
13:32:37	L 线主一保护	BH2305	通道 B 无有效帧
13:32:42	N 线主一保护	BH3316	通道 B 异常
13:32:45	L 线主一保护	BH2305	通道 B 严重误码
13:32:56	N 线主一保护	BH3316	通道 B 严重误码

考虑到实际现场各系统的时钟同步误差,以 RPMS 获得通信告警信息的时间为参考,在此基础上加入 $\Delta t=2$ min 的时间裕度作为通信网管系统中通道告警的起止时间,整理检索结果如表 7 所示。

表 7　通信网管系统告警信息

Table 7　Warning information received by communication network management system

时刻	告警内容	告警端口	承载业务	保护 ID
13:32	TU_AIS	E 换/1 盘 8 端口	M 线主一集成辅 A 保护通道 2	BH2581
13:32	TU_AIS	B 变/2 盘 1 端口	N 线主一保护通道 2	BH3316
13:32	TU_AIS	C 变/1 盘 12 端口	M 线主一集成辅 A 保护通道 2	BH2581
13:33	TU_AIS	D 变/2 盘 1 端口	L 线主一保护通道 2	BH2305
13:33	R_LOS	A 站/2 盘 1 端口	L 线主一保护通道 2	BH2305
13:33	R_LOS	A 站/2 盘 1 端口	L 线主一保护通道 2	BH2305
13:33	AU_AIS	A 站/2 盘 3 端口	N 线主一保护通道 2	BH3316
13:33	TU_AIS	D 变/2 盘 4 端口	P 线主一集成辅 A 保护通道 2	BH2517
13:34	TU_AIS	A 站/2 盘 3 端口	N 线主一保护通道 2	BH3316

根据以上 2 组信息,对其进行如表 4 所示的告警信息统一建模,并以“告警通道”为基本属性,对“RPMS 告警”和“网管告警”进行检索匹配后,可确定发生了保护通道故障,且故障位于通信系统侧。

根据通信网管系统的告警信息对 OMS 路由信息和通信资源管控系统的设备信息进行如表 5 所示的混合数据建模,可知相关保护通道名称和主用路由信息,查询结果整理如表 8 所示。

表 8　相关告警保护通道的路由走向

Table 8　Routing of relevant warning protection channels

保护通道名称	主用路由
M 线主一集成辅 A 保护通道 2	C 变→A 站→D 变→E 换
N 线主一保护通道 2	B 变→A 站→G 变
L 线主一保护通道 2	A 站→D 变→E 变→F 变→H 变→G 变
P 线主一集成辅 A 保护通道 2	D 变→A 站→B 变

基于表 8 的信息内容进行故障区域判别,由于告警区域可能位于厂站,也可能位于联络厂站间的通信通道。因此,对于告警通道的路由信息进行基于这 2 种告警区域源的涉及告警频次统计。

共同比较厂站和联络厂站间的通信通道涉及告警频次,确定告警通道路由最大交叉重叠部分,即 A 站为此次异常的故障区域。下面通过贝叶斯网络方法进行详细的故障定位。

根据故障区域识别给出的识别结果“A 站”,在上述通信网管系统告警信息的检索结果中抽取“A 站”相关告警信息。在数据库的通信故障工单信息中顺次统计某一告警内容对应的所有故障原因,考虑到偶然性因素,选取其中出现频次较高的故障原因作为疑似故障集,如附录 B 中的表 B1 所示。

根据式(1)、(2)计算确定通信故障工单中疑似故障集中每项故障的先验概率及其与告警内容间的条件概率,分别如附录 B 中表 B2、B3 所示。

运用式(3)、(4)进行计算,得到各个疑似故障的可疑度如表 9 所示。

表 9　疑似故障发生可疑度

Table 9　Suspicious degree of probable faults

疑似故障	可疑度	疑似故障	可疑度
对端发送单元故障	0.598 2	业务交叉配置异常	0.162 6
光纤中断	1.135 0	由 R_LOS 等告警引发	0.317 7
光纤通道衰减增大	0.384 6	对端发送 AU_AIS	0.746 1
本端接收单元故障	0.653 2		

由表 9 可知,“光纤中断”的故障可疑度最大,所以推断本次通道异常原因是“光纤中断”。对应查找疑似故障集,指向“光纤中断”故障的告警信息内容为“R_LOS”,在原始信息样本表 7 中检索告警内容为“R_LOS”的告警信息,查询出其告警端口为“A 站/2 盘 1 端口”。由混合数据模型的数据信息抽取告警端口“A 站/2 盘 1 端口”对应的设备地理位置,

通知运维人员前去消缺。基于本文方法开发的“保护通道故障判断与定位”功能软件给出的判断结果如附录中图C1所示,告警信息提取与内容解析、先验概率及疑似故障计算过程如附录C中图C2—C6所示。对应查找当日的故障工单记录“故障原因为500 kV L线某塔检查接续盒内部纤芯被蚂蚁破坏导致光路中断”,验证了本文算法的正确性。

4.3 通信设备板卡故障算例分析

2017年4月5日12:59左右,调控中心RPMS接收到500 kV线路通信告警信息,如表10所示。

表10 RPMS告警信息

Table 10 Warning information received by RPMS

时刻	装置名称	保护ID	告警内容
12:59:02	Q线辅B保护	BH421	通道A异常
12:59:02	Q线主一保护	BH428	通道A无有效帧
12:59:02	Q线主二保护	BH429	通道A无有效帧
12:59:28	Q线主一保护	BH428	通道A严重误码
12:59:28	Q线辅A保护	BH420	通道A异常
12:59:32	Q线主二保护	BH429	通道A严重误码
12:59:33	Q线主一保护	BH428	通道A严重误码
12:59:33	Q线主二保护	BH429	通道A无有效帧

对应查找通信网管系统中保护业务相关的通道异常告警信息,如附录D中的表D1所示。

根据表10、表D1中的信息,能够确定故障位于通信系统侧,且故障区域为Q线的保护通道。每种疑似故障的发生可疑度,如表11所示。

表11 疑似故障发生可疑度

Table 11 Suspicious degree of probable fault

疑似故障	可疑度
对端发送单元故障	2.974 3
本端接收单元故障	1.765 8
上游网元下插的AIS信号	1.249 0
业务交叉配置异常	0.793 2

由表11可知,“对端发送单元故障”的发生概率最大,所以推断本次通道异常原因是“对端发送单元故障”。在告警信息中同时给出告警端口位置信息,可查找告警端口的地理位置。基于本文方法开发的“保护通道故障判断与定位”功能软件给出的判断结果如附录E中的图E1所示,告警信息提取与内容解析、先验概率及疑似故障计算过程如附录E中的图E2—E4所示。最终,通过查找当日的故障工单记录的故障原因为“故障为BA光输入过低”,确定此次故障为某通信设备发生故障导致通信告警产生,验证了本文算法的正确性。

5 结论

本文提出了一种融合多源系统信息进行继电保护通信系统故障定位的方法,该方法能实现对复杂通信故障精确定位的功能,具有以下特点:

a. 基于多源信息,能够给出准确的故障位置;

b. 对信息进行分层处理和判断,先确定故障区域,再确定故障具体位置,能保证较高的可靠性和正确性;

c. 采用贝叶斯算法判断故障位置,以概率的形式给出判断结果,能充分确保故障位置判断结果的正确性和适用性;

d. 通过历史数据获得先验概率,确保算法具有良好的适应性。

附录见本刊网络版(http://www.epae.cn)。

参考文献:

[1] 彭秀葵. 继电保护光纤通信技术应用探讨[J]. 通讯世界,2017(17):203-204.
PENG Xiukui. Application of relay protection optical fiber communication technology[J]. Communications World,2017(17):203-204.

[2] 陈庆忠. 光纤电力通信系统故障诊断方法及应用实践分析[J]. 科技经济导刊,2017(20):37-38.
CHEN Qingzhong. Fault diagnosis of optical fiber power communication system and its practical analysis[J]. Science and Technology Economic Guide,2017(20):37-38.

[3] 邓歆,孟洛明. 基于贝叶斯网络的通信网告警相关性和故障定位模型[J]. 电子与信息学报,2007,29(5):1182-1186.
DENG Xin,MENG Luoming. Bayesian networks based alarm correlation and fault diagnosis in communication networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology,2007,29(5):1182-1186.

[4] 陈硕,赵永彬,刘明,等. 基于RS-BN的电力信息通信系统故障定位方法[J]. 控制工程,2015,22(6):1212-1217.
CHEN Shuo,ZHAO Yongbin,LIU Ming,et al. Fault diagnosis method of electric power information and communication system based on RSBN[J]. Control Engineering of China,2015,22(6):1212-1217.

[5] 王保义,郭雅薇,史占成,等. 基于依赖搜索树的电力通信网络告警关联方法的研究[J]. 继电器,2008,36(6):59-64.
WANG Baoyi,GUO Yawei,SHI Zhancheng,et al. Research of alarm correlation method based on dependency search tree in electric power communication network[J]. Relay,2008,36(6):59-64.

[6] 高振兴,郭创新,俞斌,等. 基于多源信息融合的电网故障定位方法研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(6):17-23.
GAO Zhenxing,GUO Chuangxin,YU Bin,et al. Study of a fault diagnosis approach for power grid with information fusion based on multi-data resources[J]. Power System Protection and Control,2011,39(6):17-23.

[7] 何小飞,童晓阳,周曙. 基于贝叶斯网络和故障区域识别的电网故障定位研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(12):29-34.
HE Xiaofei,TONG Xiaoyang,ZHOU Shu. Power system fault diagnosis based on Bayesian network and fault section location[J]. Power System Protection and Control,2010,38(12):29-34.

[8] 朱大奇,刘永安. 故障诊断的信息融合方法[J]. 控制与决策,2007,22(12):1321-1328.
ZHU Daqi,LIU Yongan. Information fusion method for fault diagnosis[J]. Control and Decision,2007,22(12):1321-1328.

[9] 邓歆,孟洛明. 基于贝叶斯学习的告警相关性分析[J]. 计算机工程,2007,33(12):40-42.
DENG Xin,MENG Luoming. Analysis of alarm correlation based on Bayesian learning[J]. Computer Engineering,2007,33(12):40-42.

[10] 郭玉鹏,巢蕾. 通信装备定位贝叶斯网络结构构建方法研究[J]. 现代电子技术,2010,33(23):99-101.
GUO Yupeng, CHAO Lei. Method to construct Bayesian network structure for diagnosis of communications equipments[J]. Modern Electronics Technique,2010,33(23):99-101.
[11] 张成,廖建新,朱晓民. 一种基于增量贝叶斯疑似度的事件驱动故障定位算法[J]. 电子与信息学报,2009,31(6):1501-1504.
ZHANG Cheng,LIAO Jianxin,ZHU Xiaomin. Heuristic fault localization algorithm based on Bayesian suspected degree[J]. Journal of Electronics & Information Technology,2009,31(6):1501-1504.
[12] 李峥峰,杨曙年,喻道远,等. 继电保护中光纤通信技术应用[J]. 电力自动化设备,2007,27(2):75-79.
LI Zhengfeng,YANG Shunian,YU Daoyuan,et al. Application of optical fiber communication in relay protection[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(2):75-79.
[13] 林志波,赵建宁,李俊华,等. 影响光纤保护正常运行的若干原因分析[J]. 电力自动化设备,2004,24(1):98-100.
LIN Zhibo,ZHAO Jianning,LI Junhua,et al. Analysis of factors impacting on operation of optic protections[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(1):98-100.
[14] 李彤岩,李兴明. 稀疏贝叶斯方法在通信告警序列预测中的应用研究[J]. 计算机应用研究,2010,27(4):1427-1429.
LI Tongyan,LI Xingming. Sparse Bayesian method applied to telecommunication alarm sequences forecasting[J]. Application Research of Computers,2010,27(4):1427-1429.
[15] 王洋. 信息通信网络告警数据多维度分析方法研究[J]. 网络新媒体技术,2015,4(4):9-13.
WANG Yang. Research on multi-dimension analysis methods of communication network alarm[J]. Journal of Network New Media,2015,4(4):9-13.
[16] 刘清泉,郝晓光,何磊. 基于故障影响域和预想集的变电站综合定位方法研究[J]. 电气应用,2017,36(15):25-29.
LIU Qingquan,HAO Xiaoguang,HE Lei. Research on substation integrated diagnosis method based on failure domain and expected set[J]. Electrotechnical Application,2017,36(15):25-29.
[17] 徐彪,尹项根,张哲,等. 基于拓扑图元信息融合的电网故障诊断模型[J]. 电工技术学报,2018,33(3):512-522.
XU Biao,YIN Xianggen,ZHANG Zhe,et al. Power grid fault diagnosis model based on information fusion of topological graph element[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2018,33(3):512-522.
[18] 王翔,代飞,高维忠,等. 基于集合运算和组合式模糊条件的电力通信网故障定位[J]. 电力系统自动化,2014,38(24):114-118.
WANG Xiang, DAI Fei, GAO Weizhong, et al. Fault location for electric power communication network based on intersection operation and combined fuzzy condition[J]. Automation of Electric Power Systems,2014,38(24):114-118.
[19] 王开选,杨峥,邱雪松. 面向影响分析的电力通信网故障定位算法[J]. 北京邮电大学学报,2014,37(增刊):55-59.
WANG Kaixuan,YANG Zheng,QIU Xuesong. Algorithm of fault locating on impact analysis in power communications network[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications,2014,37(Supplement):55-59.
[20] 孙鑫斌,赵俊峰,姜帆,等. 基于实时关联分析算法及 CEP 的大数据安全分析模块研究与实现[J]. 电力信息与通信技术,2017,15(12):47-53.
SUN Xinbin,ZHAO Junfeng,JIANG Fan,et al. Research and implementation of big data security analysis module based on real time correlation analysis algorithm and CEP[J]. Electric Power ICT,2017,15(12):47-53.

作者简介:


孙梦晨

孙梦晨(1993—),女,山东临沂人,硕士研究生,通信作者,主要研究方向为电力系统继电保护(**E-mail**:mengchensunsdu@163.com);

丛　伟(1978—),男,山东文登人,副教授,博士,主要研究方向为电力系统继电保护(**E-mail**:weicong@sdu.edu.cn);

余　江(1975—),女,湖北宜昌人,高级工程师,博士,主要研究方向为继电保护运行管理及研究(**E-mail**:yujiang@csg.cn)。

Fault locating method based on big data of power grid operation and maintenance for relay protection communication system

SUN Mengchen[1], CONG Wei[1], YU Jiang[2], ZHENG Maoran[2], GAO Zhanjun[1]

(1. Key Laboratory of Power Grid Intelligent Dispatch and Control Ministry of Education, Shandong University, Jinan 250061, China;
2. China Southern Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510623, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of fault location caused by frequent multi-channel simultaneous warning events of optical communication subsystem carrying relay protection service in power system, a fault locating method for relay protection communication system is proposed based on big data of power grid operation and maintenance and the Bayesian network model processing method. Combining with the warning information of RPMS (Relay Protection Management System) and communication network management system, combined with information of OMS (Operation Management System), the fault locating area is reduced. Then based on the prior probability calculated by historical operating data, the fault probability is calculated by the improved Bayesian algorithm to infer the cause of fault, and the fault is located by means of the information of communication resource management system. The results of case study prove the validity and accuracy of the proposed method. The proposed method is also suitable for multi-zone fault locating simultaneously.

Key words: relay protection; communication; big data of operation and maintenance; communication system of protection; fault location; improved Bayesian algorithm

附录 A

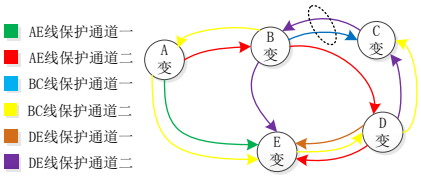

图 **A1** 故障区域识别示意图

Fig.A1 Schematic diagram of fault area identification

附录 B

表 B1 告警信息与疑似故障对应表

Table B1 Warning information corresponding to suspected failure

告警内容	疑似故障
R_LOS	对端发送单元故障
R_LOS	光纤中断
R_LOS	光纤通道衰减增大
R_LOS	本端接收单元故障
TU_AIS	上游网元下插的 AIS 信号
TU_AIS	业务交叉配置异常
TU_AIS	对端发送单元故障
TU_AIS	本端接收单元故障
AU_AIS	由 R_LOS、R_LOF、MS_AIS 告警引发
AU_AIS	业务交叉配置异常
AU_AIS	对端发送 AU_AIS
AU_AIS	对端发送单元故障
AU_AIS	本端接收单元故障

表 B2 疑似故障先验概率

Table B2 Prior probability of probable faults

疑似故障	先验概率
对端发送单元故障	0.23
光纤中断	0.31
光纤通道衰减增大	0.17
本端接收单元故障	0.23
业务交叉配置异常	0.08
由 R_LOS 等告警引发	0.39
对端发送 AU_AIS	0.32

表 B3 疑似故障引发告警条件概率

Table B3 Probability that probable faults trigger warning

$P(w_i \mid f_j)$	TU_AIS	R_LOS	AU_AIS
对端发送单元故障	0.68	0.54	0.49
光纤中断	0.83	0.79	0.75
光纤通道衰减增大	0.53	0.48	0.47
本端接收单元故障	0.61	0.58	0.74
业务交叉配置异常	0.78	0.21	0.83
R_LOS 等告警引发	0.04	0.03	0.86
对端发送 AU_AIS	0.76	0.33	0.78

附录 C

图 C1 保护通道故障判断结果界面

Fig.C1 Interface of result of protection channel fault judgment

图 C2 保护通道故障分析报告界面

Fig.C2 Interface of protection channel failure analysis report

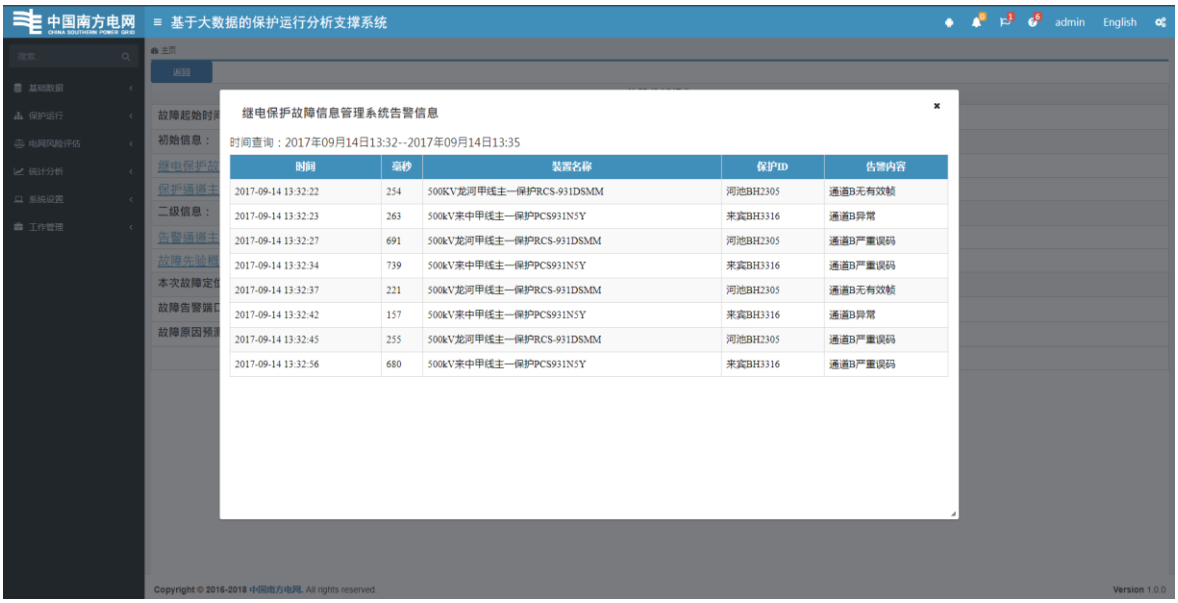

图 **C3** RPMS 告警信息界面

Fig.C3 RPMS warning information interface

图 **C4** 通信网管系统告警信息界面

Fig.C4 Warning information interface of communication network management system

图 C5 告警与故障关联界面

Fig.C5 Interface of association between warning and fault

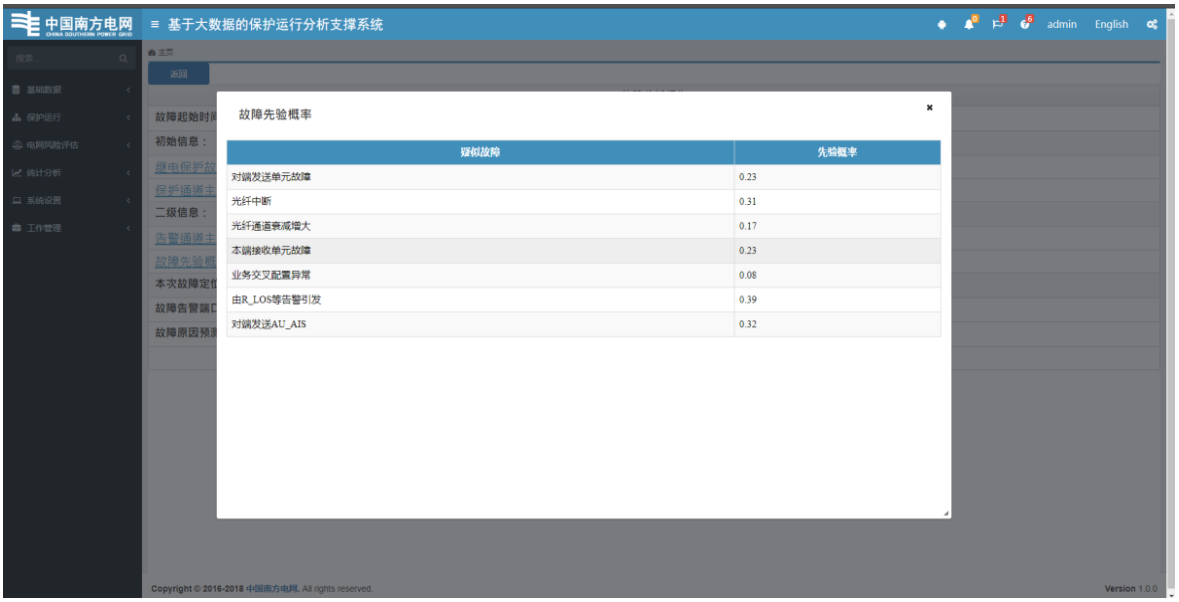

图 C6 故障先验概率界面

Fig.C6 Interface of fault prior probability

附录 D

表 D1 通信网管系统告警信息

Table D1 Warning information of communication network management system

时间	告警内容	告警端口	承载业务	保护 ID
12:59	高阶通道远端缺陷指示	M 站/125 盘 1 端口	Q 线主一保护通道一	BH428
12:59	高阶通道远端缺陷指示	M 站/125 盘 1 端口	Q 线辅 A 保护通道一	BH420
12:59	低阶通道远端缺陷指示	M 站/113 盘 3 端口	Q 线主一保护通道一	BH428
12:59	低阶通道远端缺陷指示	M 站/113 盘 4 端口	Q 线辅 A 保护通道一	BH420
12:59	低阶通道远端缺陷指示	M 站/113 盘 5 端口	Q 线主二保护通道一	BH429
12:59	通道中断告警	N 变/113 盘 7 端口	Q 线辅 A 保护通道一	BH420
13:00	通道中断告警	N 变/113 盘 8 端口	Q 线主二保护通道一	BH429
13:00	通道中断告警	N 变/113 盘 9 端口	Q 线辅 B 保护通道一	BH421
13:00	低阶通道远端缺陷指示	M 站/113 盘 6 端口	Q 线辅 B 保护通道一	BH421
13:00	通道中断告警	N 变/113 盘 2 端口	Q 线主一保护通道一	BH428

附录 E

图 **E1** 保护通道故障判断结果界面

Fig.E1Interface of result of protection channel fault judgment

图 **E2** RPMS 告警信息界面

Fig.E2 RPMS warning information interface

图 **E3** 通信网管系统告警信息界面

Fig.E3 Warning information interface of communication network management system

图 **E4** 保护通道故障分析报告界面

Fig.E4 Interface of protection channel failure analysis report