

基于交互式主动探测的电力综合数据网故障定位算法

朱彦沛¹, 邢宁哲², 纪雨彤², 李文璟¹, 喻 鹏¹

(1. 网络与交换技术国家重点实验室, 北京邮电大学, 北京市 100876;

2. 国网冀北电力有限公司信息通信分公司, 北京市 100053)

摘要: 针对电力综合数据网对故障定位的准确性和时效性要求, 提出一种交互式故障诊断机制, 并重点解决该机制中故障定位集的选取问题, 提出一种基于交互式主动探测的故障定位集选择算法(IPCA)。建立电力综合数据网与候选定位集的贝叶斯模型, 借助贝叶斯网络条件独立性将候选定位集划分为若干子集, 并引入探测价值衡量探测的诊断能力, 利用探测价值交互更新过程的子模性降低故障定位集选取的时间复杂度。仿真结果显示, IPCA 在确保故障定位准确性的同时平均可缩短 20% 左右的定位时间。

关键词: 电力综合数据网; 交互式主动探测; 故障定位; 贝叶斯网络; 子模性

0 引言

智能电网中, 综合数据网承载着各种电力信息业务, 是保障电力通信的重要通道。然而庞大的网络结构导致故障时有发生, 且发生故障后定位困难, 若无法快速、准确地排查出故障则会引发电力事故。传统网络故障管理大多使用北向接口被动采集设备发出的告警信息, 建立告警-故障关联模型来分析故障根源^[1-2], 但是被动地等待告警会导致故障定位时效性差, 且一旦告警信息出现虚假、丢失和冗余现象则无法保障故障定位的准确性。为了弥补传统网络管理的不足, 主动测量逐步应用于数据通信网运行维护工作中。伴随着某网省电力公司数据通信网的改造, 正在开展利用网络测量的方式提升数据通信网的管理运行维护水平, 为此, 展开利用主动探测技术进行电力综合数据网故障定位的研究, 提高电力综合数据网的管理运行维护水平, 具有重要的应用意义。

国内外在公网中使用网络探测提高网络运行维护水平的研究成果相对较多, 大多是通过主动发送探测包进行网络与业务质量数据的获取, 发现网络的隐患进行故障定位^[3-4]。主动探测旨在选取最佳的探测集, 一般包括预先选择方式与交互式选择方式。前者计算方法简单但执行过程低效, 准确率相对较低^[5]。后者边计算边发送的方式减少了执行探

测的数目, 网络负载更低, 时效性更高^[6-8]。后者低负载、高时效和高准确度的特点, 适用于电力综合数据网复杂的网络结构和快速准确定位故障的需求。

综上所述, 本文基于文献[9]的成果, 构建基于交互式探测选择方法的故障诊断机制, 包括故障检测、故障定位与故障识别三大模块。针对故障定位中探测集合选择的问题建立贝叶斯模型, 利用其条件独立性将定位候选探测集划分为若干探测子集, 并引入探测价值衡量制定候选探测的执行顺序, 利用探测价值的子模性优化制定探测顺序的计算复杂度。

本文的创新之处包含以下几点: ①提出了一种基于交互式探测选择方法的故障诊断机制, 定义了故障检测阶段的终止条件; ②引入探测价值的概念确定探测的执行顺序, 并定义“近似确定节点”以利用贝叶斯网络条件独立性; ③证明本文所述的交互式故障定位集主动选取过程满足子模性的条件; ④设计了一种基于交互式主动探测的故障定位集选择算法(interactive probing choice algorithm, IPCA), 在时间上较同类算法提升了 20% 左右。

1 故障诊断机制

传统通信网的故障诊断大致包括故障检测、故障定位和故障识别三个阶段^[1], 本文基于此提出如图 1 所示的诊断机制, 采用主动探测的故障诊断技术, 在故障检测阶段发送故障检测集实时监测网络状态, 当发生不可忽略的故障后启动故障定位模块, 使用交互式探测选择方法确定故障定位集, 最后综

收稿日期: 2016-06-14; 修回日期: 2016-10-09。

上网日期: 2016-12-14。

国家电网公司科技项目(52010116000W)。

合故障定位集和故障检测集的结果判断网络节点状态的好坏,完成故障识别。

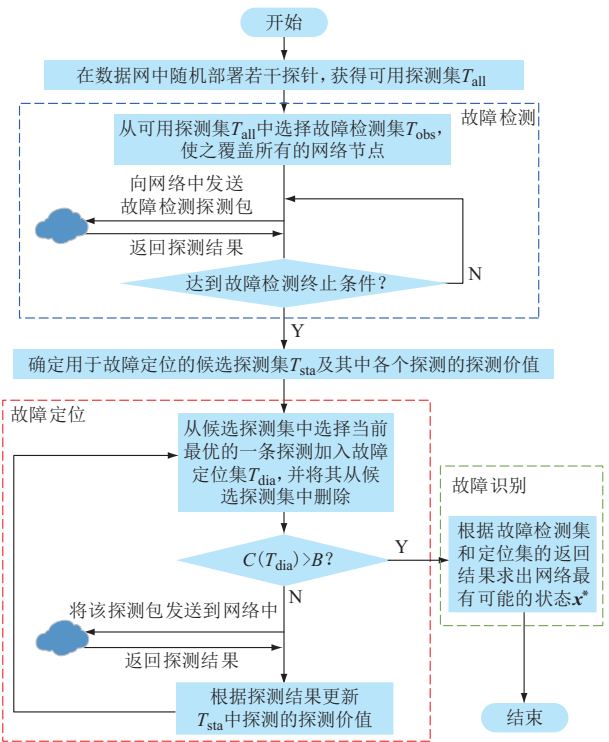


图 1 故障诊断机制
Fig.1 Fault diagnosis mechanism

首先,在数据网中随机选择若干节点部署探针,每一个探针都可以发送主动探测包给数据网中任意的网络设备节点,称之为一个探测,根据探测返回的结果可以推断网络节点状态的好坏。由所有探针到所有网络节点组成的全部探测构成的集合为可用探测集 T_{all} ,下文所述的探测集都是此集合的子集。如附录 A 图 A1 所示的网络拓扑中,节点 2 和节点 4 部署了探针,按照最短路的路由选择方式,可以形成的探测如附录 A 表 A1 所示,即 $T_{all} = \{t_1, t_2, \dots, t_{14}\}$ 。

保障电力综合数据网的可靠运行,不能被动地等待用户发出故障申告,需要实时监测网络运行情况,故障诊断机制的第 2 步是从可用探测集中选择一些探测周期性地发送到网络中,所发送的各个探测综合起来要有能力覆盖网络中的所有节点,由这些探测组成的集合便是故障检测集 T_{obs} ,附录 A 图 A1 示例中 $T_{obs} = \{t_5, t_7, t_8, t_{13}\}$,这 4 个探测的探测路径整体包含了网络中的所有节点。

考虑到电力综合数据网网络规模庞大,若一旦检测到故障就立刻进行定位,会带来较大的网络负荷,因此设置故障检测终止条件可以减轻故障定位带来的系统负担。根据探测中节点的重要程度及发

生故障的探测数目等信息设定故障检测终止条件,如式(1)所示。

$$(\exists \text{Im}(x)=1, \forall x \in t \& \& S(t)=1) | (n_{S(t)=1} \geq B_t) \quad (1)$$

式中: x 表示电力综合数据网的设备节点; t 表示一个探测,它是若干节点的有序集合,代表从起始节点到终止节点的探测路径; $\text{Im}(\cdot)$ 为节点重要度函数,取 1 表示节点重要,取 0 表示节点不重要; S 为探测或数据网节点的状态,值为 1 表示存在故障,值为 0 表示没有故障; $n_{S(t)=1}$ 为故障探测的个数; B_t 为数据网能容忍的故障探测数目的最大值。

式(1)是一个布尔表达式,表示当某条出故障的探测中包含了重要节点,或者发生故障的探测数目达到阈值,则当前网络中出现的故障亟待解决,需要启动故障定位过程。

最后定义故障定位集 T_{dia} ,它是在已经获知故障检测集中各探测返回结果的情况下,从候选探测集 T_{sta} ($T_{sta} = T_{all} - T_{obs}$) 中选择尽可能少的探测达到定位故障的目的。本文选用交互式的探测选择方法,每次选择一条探测将其发送到数据网中,根据返回的结果更新其余探测,周而复始,直到探测代价达到能承受的最大值。

为了衡量候选探测集中探测的优劣,提供选择探测的标准,借鉴文献[9],引入信息熵量化数据网状态的不确定性,定义向量 $\mathbf{X} = [S(x_1), S(x_2), \dots, S(x_n)]$ 表示网络的整体状态,其中 n 为网络节点的数目,则数据网状态的不确定性定义为:

$$H(\mathbf{X}) = \sum_{\mathbf{X}} P(\mathbf{X}) \log_2 \frac{1}{P(\mathbf{X})} = - \sum_{\mathbf{X}} P(\mathbf{X}) \log_2 P(\mathbf{X}) \quad (2)$$

式(2)表示未发送任何探测时数据网的不确定性,其中 $P(\mathbf{X})$ 是网络状态的先验概率,假设 $0 \log_2(1/0) = 0$ 。

若 $H(\mathbf{X}) = 0$ 表示数据网状态是确定的,随着不确定性的上升, $H(\mathbf{X})$ 的值增加。主动探测可以降低网络状态的不确定性,交互式的探测选择过程中数据网状态的不确定性是逐次降低的。定义向量 $\mathbf{T} = [S(t_1), S(t_2), \dots, S(t_m)]$ 表示整体探测的状态,其中 m 是当前已经发送探测的数目,则在获得探测返回结果后,数据网状态的不确定性表示为:

$$H(\mathbf{X} | \mathbf{T}) = - \sum_{\mathbf{X}} \sum_{\mathbf{T}} P(\mathbf{X}, \mathbf{T}) \log_2 P(\mathbf{X} | \mathbf{T}) \quad (3)$$

式中: $P(\mathbf{X}, \mathbf{T})$ 为 $\mathbf{X}$ 和 $\mathbf{T}$ 的联合概率; $P(\mathbf{X} | \mathbf{T})$ 为已知 $\mathbf{T}$ 情况下 $\mathbf{X}$ 的条件概率。

易知 $H(\mathbf{X} | \mathbf{T}) < H(\mathbf{X})$,即探测有助于降低网

络状态的不确定性,可采用信息增益 $G(t)$ 量化单个探测 t 的优劣,即

$$G(t) = H(\mathbf{X}|\mathbf{T}) - H(\mathbf{X}|\mathbf{T} \cup \{S(t)\}) \quad (4)$$

为了保障更重要的数据网节点优先被检测,在比较两个探针的优劣时需要考虑节点的重要度,本文定义 $V(t)$ 表示单个探测的探测价值,其表达式为:

$$V(t) = \alpha G(t) + \beta N_{\text{lm}}(t) \quad (5)$$

式中: N_{lm} 为探测 t 的探测路径中重要节点的个数; α 和 β 为系数,调整 α, β 的值可以平衡信息增益和重要节点在探测价值中的权重,满足不同数据网结构的需要。

因而故障定位集 T_{dia} 的选择就是求候选探测集 T_{sta} 的最小集合 T^* ,使得满足如下公式:

$$T^* = \operatorname{argmax}_{t \in T} V(t) \& \& C(T^*) \leq B \quad (6)$$

式中: $C(T^*)$ 为 T^* 的代价,一般是探针的价格或者完成探测需要的时间; B 为根据实际情况设置的阈值。

求出故障定位集 T_{dia} 后,根据故障检测集和故障定位集中探测返回的结果分析数据网中节点状态,也就是求:

$$\mathbf{x}^* = \operatorname{argmax} P(\mathbf{X} = \mathbf{x} | \mathbf{S}) \quad (7)$$

式中: $\mathbf{S} = [S(T_1), S(T_2), \dots]$ 为已发送探测返回的状态; $\mathbf{x}$ 为网络状态 $\mathbf{X}$ 的一个实例。

2 故障定位集选择算法

2.1 贝叶斯网络模型

贝叶斯网络模型是经典的数据分析模型,近年来,不少研究组织用其解决故障诊断问题。本文建立被监测节点与候选探测集中探测之间的贝叶斯网络,如图2所示。图中: $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示数据网中的节点, $t_j (j=1, 2, \dots, m)$ 表示候选探测集中探测。被监测节点与探测之间的有向边表示该探测的探测路径中包含了此节点。将探测抽象成贝叶斯网络中的一个节点,有效地简化了问题,而节点与探测之间的有向边使得故障定位过程更清晰。

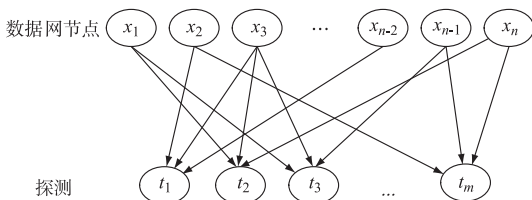


图2 贝叶斯网络模型
Fig.2 Bayesian network model

节点 x_i 有两个状态, $S(x_i) = 0$ 表示该节点没

有故障, $S(x_i) = 1$ 表示该节点存在故障。探测 t_j 的状态与指向它的节点的状态有关,探测路径上的任何一个节点出故障都会导致探测出故障。例如对于图2中的探测 t_2 ,节点 x_1, x_3, x_n 分别有一条指向它的有向边, t_2 的状态与这三个节点的状态是“与”的关系,即

$$S(t_2) = S(x_1) \& S(x_3) \& S(x_n) \quad (8)$$

2.2 条件独立性

在贝叶斯网络中,若节点 z 的状态已知的情况下,节点 x 与节点 y 相互独立,则称节点 x 与 y 是关于 z 条件独立的,如式(9)所示。

$$P(x|y, z) = P(x|z) \quad (9)$$

寻找贝叶斯网络中条件独立的一种简单方法是D-分离技术。在本文所建立的贝叶斯网络中,节点与其相邻节点之间的关系是“tail-to-tail”的分连模式,如 $t_j \leftarrow x_i \rightarrow t_{j+1}$,此类关系下,若节点集合 Z 包含节点 x_i ,那么节点 t_j 与节点 t_{j+1} 被集合 Z 阻隔。一般来说,如果节点 t_j 与节点 t_{j+1} 之间的所有路径都被集合 Z 阻隔,则称 Z 集合D-分离 t_j 与 t_{j+1} ,定理1描述了D-分离与条件独立的关系^[10]。

定理1:节点 t_j 和节点 t_{j+1} 是贝叶斯网中的两个节点, Z 是不包含 t_j 和 t_{j+1} 的节点集合,若 Z 可将 t_j 和 t_{j+1} D-分离,则 t_j 和 t_{j+1} 在给定 Z 的情况下条件独立。

因而要想利用贝叶斯网络条件独立性达到减少探测更新个数的目的,关键便在于如何获知被监测节点的状态。本文根据故障检测集中探测的返回结果,定义“近似确定节点”表示此节点的状态已近似确定,即

$$a_i = \frac{|\{t | t \in T_{\text{obs}} \cap \{t' | x_i \in t', t' \in T_{\text{all}}\}\}|}{|T_{\text{obs}}|} > \lambda \quad (10)$$

$$b_i = \frac{\max(d_0, d_1)}{d_0 + d_1} > \theta \quad (11)$$

$$d_k = |\{t | x_i \in t, S(t) = k, \forall t \in T_{\text{obs}}\}| \quad k = 0, 1 \quad (12)$$

式中: $|\cdot|$ 为集合包含元素的个数; λ 为近似确定节点应被探测的最少次数; θ 为探测返回结果中一致结果至少需要满足的比例, $0 \leq \theta \leq 1$ 。

若被监测节点 x_i 同时满足式(10)和式(11),则认为它的状态是已确定的。那么在获得故障检测集 T_{obs} 的探测结果后,借助D-分离原理可以将大规模的贝叶斯网络转换成若干个相互独立的小规模子贝叶斯网络,在更新候选探测的探测价值时只需要更新同一子网内的其余探测即可,很大程度上节省了计算时间。

2.3 探测价值子模性

子模性^[11]的概念是为了解决复杂的组合优化问题而提出的,它的定义如下。

设集合函数 $F:2^V \rightarrow \mathbf{R}$,为无限集合 V 空间中子集 A 到实数集 $\mathbf{R}$ 上的映射。若对于所有 $A, B \subseteq V$, 都满足

$F(A) + F(B) \geq F(A \cup B) + F(A \cap B)$ (13)

则称函数 F 为子模函数,具有子模性。也可以用定理来判断函数是否是子模函数^[9]。

定理 2:集合函数 F 为子模函数当且仅当对所有的 $A \subseteq B \subseteq V$ 以及 $s \in V \setminus B$ 均满足

$$F(A \cup \{s\}) - F(A) \geq F(B \cup \{s\}) - F(B)$$

(14)

直观来看,若探测价值函数 $V(T)$ 满足子模性,那么当观测到一个新的探测结果后,剩余所有探测的探测价值在更新后均变小,因此仅需更新当前具有最大探测价值的探测即可,若更新后此探测的探测价值比其他探测更新前还要大,则在不更新其余探测的情况下便可确定此探测就是下一轮的最佳选择,大大地节省了时间^[9]。探测选择问题的子模性证明如附录 B 所示。

2.4 算法流程

综合考虑贝叶斯网络的条件独立性及探测选择的子模性,本文设计了一种 IPCA,步骤如下。

步骤 1:建立候选探测集 T_{sta} 与电力综合数据网节点之间的贝叶斯网络。

步骤 2:根据故障检测集 T_{obs} 返回的结果确定数据网节点的状态,按条件独立性将上一步建立的贝叶斯网络划分成若干子网。

步骤 3:计算候选探测集 T_{sta} 中所有探测的信息增益及重要节点个数,得出其探测价值 $V(t)$,按照 $V(t)$ 从大到小排序,选出当前探测价值最大的探测 t_{max} 。

步骤 4:若 $C(T_{dia}) \geq B$ 则转到步骤 8,否则将 t_{max} 发送到数据网中,获得数据网当前该探测的状态,同时将 t_{max} 加入故障定位集 T_{dia} 并将其从候选探测集 T_{sta} 中删除,若候选探测集 T_{sta} 为空集则转到步骤 8。

步骤 5:取出当前探测价值最大的探测 t^* ($t^* = T_{sta,1}$) 并令 $i = 2$ 。

步骤 6:若 t^* 与 t_{max} 在同一子网内则更新 t^* 的探测价值 $V(t^*)$,否则直接转到步骤 7(条件独立性体现)。

步骤 7:若 $V(t^*) \geq V(T_{sta,i})$ 则令 $t_{max} = t^*$,转到步骤 4,否则若 $T_{sta,i}$ 与 t_{max} 在同一子网内则更新 $T_{sta,i}$ 的探测价值 $V(T_{sta,i})$,如果 $V(t^*) <$

$V(T_{sta,i})$,则令 $t^* = T_{sta,i}$, $i = i + 1$,转到步骤 7,否则直接转到步骤 7(子模性体现)。

步骤 8:综合探测的返回结果,计算 $x^* = \operatorname{argmax} P(\mathbf{X} | \mathbf{S})$,得出数据网最有可能的状态信息,从而定位故障节点。

假设数据网中有 N 个节点,备选探测集包含 M 个探测,最终选出的故障定位集中包含 R 个探测。那么将备选探测集划分成相互独立的子网后,每次更新的探测个数经验证平均最多为 2,更新一个探测的探测价值涉及的节点个数是该探测经过的节点个数 n_i ,设 $N_i = \max(n_i)$,则 IPCA 的时间复杂度为 $O(2R \times 2^{N_i})$,而不使用条件独立性和子模性优化的算法时间复杂度为 $O(2^N MR)$ 。

3 仿真及讨论

电力综合数据网是电力公司数据、视频、语音等各类管理信息和业务信息的承载网络,是依据 IP 技术构建的多协议标签交换(MPLS)数据通信网,通过标签交换路径(LSP)可以获知每条探测的路由信息,即每条探测包含的被监测节点的状况,该特性为仿真提供了便利。图 3 所示为电力综合数据网拓扑示例,采用分层部署的方式,包含了接入层、骨干层、汇聚层和核心层四个层次,其中核心层节点为全互联结构,提高了数据传输的可靠性。本实验根据某网省电力综合数据网的拓扑结构,由核心层向接入层的顺序依此向外选择节点进行仿真。

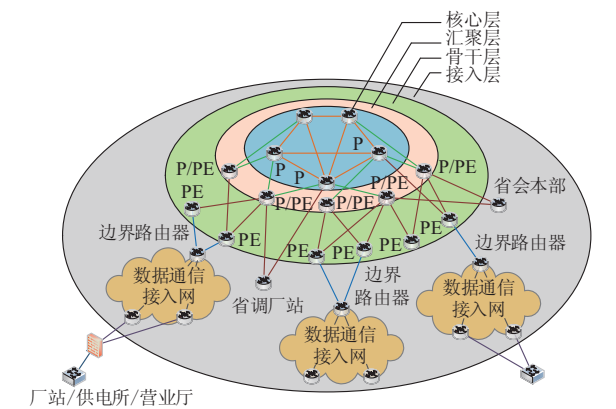


图 3 电力综合数据网络拓扑示意图
Fig.3 Topological diagram of power integrated data network

本文使用 OMNet++ 5.0 和 MATLAB (2014a) 进行仿真。MATLAB 程序负责实现故障定位算法的主程序,具体的流程如 2.4 节所述。OMNet++ 程序主要负责接受主程序的探测执行要求和向主程序返回探测执行结果。本实验的仿真流程如下所述:首先,由 OMNet++ 的 NED 定义

网络拓扑,用C++随机生成探针部署方案,并选择故障检测集,同时生成候选探测集。其次,在OMNet++中执行故障检测集中的探测,获得探测结果,并将网络拓扑信息和故障检测信息生成文件传递给MATLAB工作区。最后,由MATLAB根据网络拓扑和故障检测的结果选择故障定位集并求出网络状态信息,实验过程示例如附录C所示。

文献[8]提出适用于多故障网络探测选择的近似熵置信传播算法(belief propagation for entropy approximation,BPEA),是一种典型的交互式探测选择方法。图4所示为网络规模从100到500时,IPCA与BPEA的故障定位准确度的比较。准确度是指算法计算出的故障节点占实际故障节点的比例。对比实验中,两种算法使用相同结构和相同状态的网络,节点先验概率设定为0.005。IPCA中探测价值使用的参数为 $\alpha=0.83,\beta=0.17$,近似确定节点的阈值参数为 $\lambda=0.14,\theta=0.72$ 。从图4可以看出,随着节点的数目增多,网络的复杂程度随之增加,IPCA的准确度与传统的BPEA近似一样,表明IPCA确保了故障定位的准确度。

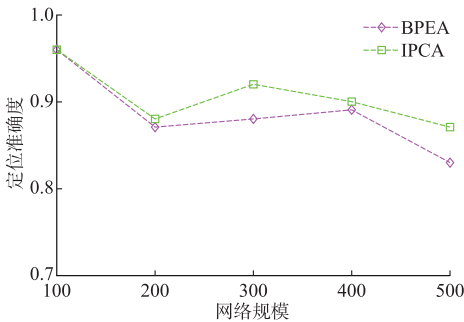


图4 IPCA与BPEA定位准确度对比
Fig.4 Comparison of location accuracy between IPCA and BPEA

本文从4种不同角度对比交互式探测选择算法的时效性,使用的参数与准确度对比实验相同。图5(a)至图5(c)分别显示未使用条件独立性的算法和未使用子模性的算法与IPCA的对比、两种特性都未使用的BPEA与IPCA的对比以及文献[9]中改进的自适应探测算法(improved adaptive probing,IAP)与IPCA的对比。

从图5(a)可以看出,相对来说,子模性的改进效果比条件独立性的改进效果更明显。BPEA每一轮计算都涉及网络中所有节点的状态,计算复杂度。图5(b)中与BPEA的对比表明,IPCA对时间的改进效果随着网络规模的增加更加明显。IAP以信息增益作为探测的诊断能力,而本文的IPCA是

用探测价值作为衡量标准。由图5(c)对比结果可以看出,IPCA平均时效性更好,重要节点的引入提高了故障诊断的时间效率。

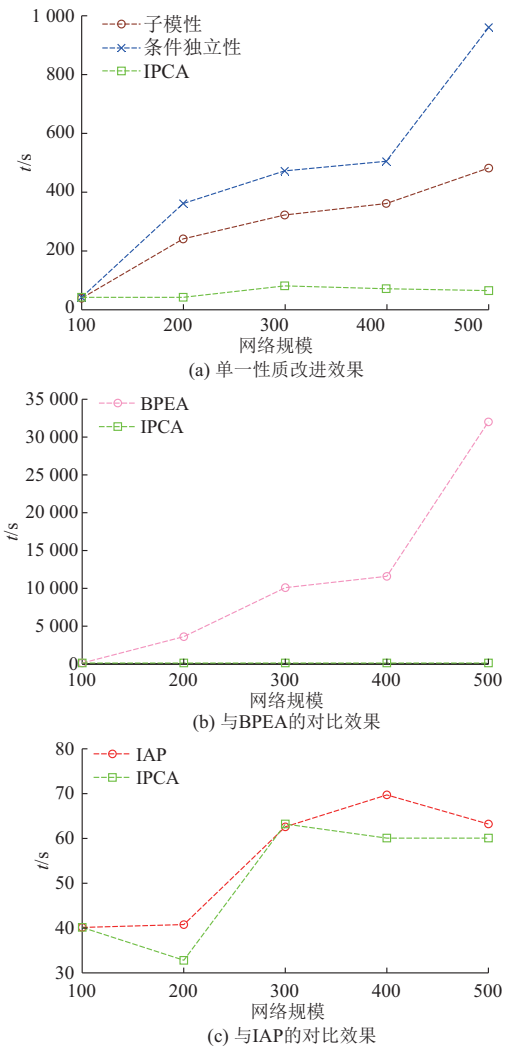


图5 IPCA与其他算法的时效性对比
Fig.5 Comparison of location time between IPCA with other algorithms

4 结语

本文为解决电力综合数据网故障定位的准确性和时效性问题,提出了IPCA。从定位准确度来看,IPCA与朴素的BPEA准确度近似一样;从定位时效性来看,IPCA大大优于BPEA,比IAP快了20%左右。因此,本文所提出的故障定位方法在保障定位准确度的前提下缩短了定位的时间,适用于对故障定位时效性要求高的电力综合数据网,可以有效保障电力综合数据网的可靠运行。下一步将结合国网数据网结构及探针部署,深入研究基于探测的故障综合定位技术的实用价值。

附录见本刊网络版 (<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参 考 文 献

[1] 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. DOI:10.7500/AEPS20141125001.
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. DOI: 10.7500/AEPS20141125001.

[2] 张成,廖建新,朱晓民.基于贝叶斯疑似度的启发式故障定位算法[J].软件学报,2010,21(10):2610-2621.
ZHANG Cheng, LIAO Jianxin, ZHU Xiaomin. Heuristic fault localization algorithm based on Bayesian suspected degree [J]. Journal of Software, 2010, 21(10): 2610-2621.

[3] GUAN L, WANG Y, LI W, et al. Efficient probing method for active diagnosis in large scale network[C]// Proceedings the 9th International Conference on Network and Service Management, October 14-18, 2013, Switzerland: 198-202.

[4] ZHANG Zhengdao, ZHU Jinlin, PAN Feng. Fault detection and diagnosis for data incomplete industrial systems with new Bayesian network approach[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2013, 24(3): 500-511.

[5] BRODIE M, RISH I, MA S. Optimizing probe selection for fault localization [C]// Proceedings the 12th International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management, October 15-17, 2001, France: 1147-1157.

[6] NATU M, SETHI A S. Application of adaptive probing for fault diagnosis in computer networks [C]// Proceedings of IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, April 7-11, 2008, Brazil: 1055-1060.

[7] BELLALA G, STANLEY J, BHAVNANI S K, et al. A rank-based approach to active diagnosis[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(9): 2078-2090.

[8] ZHENG A X, RISH I, BEYGELZIMER A. Efficient test selection in active diagnosis via entropy approximation [C]// Proceedings the 21st Conference in Uncertainty in Artificial Intelligence, July 26-29, 2005, Scotland: 675-682.

[9] 乔焰.基于主动探测的 IP 网故障诊断与丢包率推理方法[D].北京:北京邮电大学,2012.

[10] PEARL J. Fusion, propagation, and structuring in belief networks[J]. Artificial Intelligence, 1986, 29(3): 241-288.

[11] NEMHAUSER G L, WOLSEY L, FISHER M. An analysis of the approximations for maximizing submodular set functions [J]. Mathematical Programming, 1978, 14(1): 265-294.

朱彦沛(1993—),女,硕士研究生,主要研究方向:电力综合数据网运行维护。E-mail: ypzhu@bupt.edu.cn

邢宁哲(1978—),男,高级工程师,主要研究方向:电力信息通信运行维护。E-mail: xingningzhe@163.com

纪雨彤(1988—),女,工程师,主要研究方向:电力通信数据网运行维护。E-mail: 519543347@qq.com

李文璟(1973—),女,通信作者,教授,硕士生导师,主要研究方向:网络管理与通信软件。E-mail: wjli@bupt.edu.cn

(编辑 孔丽蓓)

Fault Location Algorithm of Integrated Data Network for Power System
Based on Interactive Active Detection

ZHU Yanpei¹, XING Ningzhe², JI Yutong², LI Wenjing¹, YU Peng¹

(1. State Key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Information and Communication Branch, State Grid Jibei Electric Power Co. Ltd., Beijing 100053, China)

Abstract: In view of the accuracy and efficiency requirements on fault location in the integrated data network for power system, an interactive fault diagnosing mechanism is proposed. To resolve the fault location set selection problem in the mechanism, an interactive probing choice algorithm (IPCA) is proposed. A Bayesian model is built for the nodes of power integrated data network and the candidate set of location probes. The set is divided into several subsets with the help of conditional independence character of Bayesian networks. The detection value is introduced to measure the diagnostic capacity of the probe and the time complexity of the fault location set selection is reduced using the submodular character in the interaction update process. Simulation results show that IPCA shortens the location time by 20% on average while ensuring the accuracy of fault location.

This work is supported by State Grid Corporation of China (No. 52010116000W).

Key words: integrated data network for power system; interactive active detection; fault location; Bayesian networks; submodular character