

DOI: 10.7667/PSPC151609

基于 IEC 61970 的电网拓扑分析结果共享技术的研究

齐林海, 柳超, 任旭

(华北电力大学控制与计算机工程学院, 北京 102206)

摘要: 随着电网规模和复杂度不断提升, 电网实时拓扑分析已经成为电网高级应用必不可少的一部分。而数据的差异性和系统的封闭性造成现有的拓扑分析多在各系统内部完成, 导致了大量的重复计算和资源浪费, 拓扑结果无法共享。提出了一种基于 IEC 61970 标准的通用拓扑分析算法。根据 IEC 61970 标准中的拓扑包对拓扑分析的结果进行封装, 并通过 Web 服务发布给其他应用系统使用, 以达到分析结果共享的目的。介绍了研究成果在电压合格率智能分析系统中的应用过程。

关键词: IEC 61970; 拓扑分析; 结果数据模型; 封装重用; 发布共享

Research on sharing technology of power grid topology analysis result based on IEC 61970

QI Linhai, LIU Chao, REN Xu

(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: With keeping increase of the power grid in scale and complexity, power grid real-time topology analysis has become an integral part of grid advanced applications. However, topology analysis is usually performed in each system by itself because of the dissimilarity of data and the closure of systems, which makes the topology results cannot be shared and causes much double counting and waste of resources. This paper proposes a kind of topology analysis algorithm based on IEC 61970 and encapsulates the results of topology analysis according to IEC 61970. Then, it releases the result to other applications by Web Service to share the analysis result. A successful application case using the research results is introduced finally.

Key words: IEC 61970; topology analysis; result data model; encapsulate and reuse; release and share

0 引言

随着电网规模和复杂程度的不断提升, 电网安全、稳定运行需要专业分析手段进行保证。在许多电力系统的高级分析应用中, 电网实时拓扑分析是其中必不可少的环节之一。拓扑分析结果可以作为潮流计算、状态估计、扰动源定位、电压凹陷域分析等高级应用的拓扑源来进行后续的仿真或分析^[1-2]。但是, 现有拓扑分析大多嵌入在各个应用系统内独立完成, 结果造成了严重的资源浪费和数据冗余。提高拓扑结果的通用性和重用性成为亟待解决的问题。

本文提出一种基于符合 IEC 61970 标准的 CIM 和 SCADA 数据进行实时拓扑的分析算法, 并且依据 IEC 61970 标准中的拓扑包对拓扑结果进行组织封装, 利用 Web 服务发布给其他应用, 最终形成一个具有一定通用性的软件包, 供其他应用系统调用,

从而实现电网拓扑分析结果的共享。

1 拓扑分析算法研究

1.1 拓扑分析现状

电网模型的拓扑分析, 基于电网模型和实时断面信息, 具有对电网实时量测信息中的不准确数据进行预处理的功能, 生成的拓扑分析结果可用于其他高级应用^[3], 正日益成为电力系统自动化的关键技术之一^[4]。文献[5-7]介绍了稀疏矩阵、改进的邻接矩阵法、节点标记法等多种电网拓扑算法。文献[2, 8-9]将拓扑分析结果用于解决配电网潮流计算、故障定位等实际问题。

1.2 基于 IEC 61970 标准的电网拓扑分析方法

IEC 61970 标准由国际电工委员会提出, 解决了异构系统之间资源共享的难题^[10]。文献[11-12]介绍了国内外针对 IEC 61970 标准展开的研究以及扩展应用, 文献[13]提出了一种基于 IEC 61970 的 CIS

服务可缩放矢量图形(SVG)的图形生成和 Web 交互的系统。

本文研究的基于 IEC 61970 标准的电网拓扑结构分析方法, 以电网静态 CIM 数据和动态 SCADA 数据为基础数据进行连通网络搜索与实时拓扑分析, 具有很强的通用性和普适性, 目的就是在通用数据的基础上将电力网络简化成由拓扑节点和非零阻抗电气元件组成的网络形式, 即负荷 Bus/Branch 模型的简化网络^[14]。Bus/Branch 模型是基于拓扑节点类的模型, 即母线模型, 该模型主要用于网络分析类电力应用。

1.3 基础数据处理

本算法采用基于 IEC 61970 标准的 CIM 和 SCADA 数据作为基础数据。由于 CIM 数据数据量大且数据变化频率不高, 所以我们直接解析 CIM 数据并根据标准格式进行解析转储。SCADA 数据描述了电网实时状态, 这里我们通过 Web 服务从 SCADA 系统实时获取所需数据, 再根据数据格式进行解析, 获得需要的数据。

由于上述数据来自不同系统, 故可能存在电气元件命名不统一等问题, 需要针对数据的一致性进行校验。本文算例利用变电站名和元件名联合唯一确定一个电气元件, 从而达到了消除数据差异的目的。实际工程只需要根据数据实际特征进行“一次性”校验即可。

1.4 网络搜索和拓扑分析

本文提出的拓扑分析算法主要包括网络搜索算法和拓扑分析算法两部分。网络搜索算法用于在确定的边界内进行搜索, 从而确定拓扑分析的范围。拓扑分析算法用于在全电网范围内或网络搜索范围内进行拓扑分析, 并最终形成拓扑分析结果。

(1) 网络搜索算法

网络搜索算法是利用电网中电气元件的节点连接关系, 采用广度优先搜索算法从某个电气元件(多为母线)的节点出发, 结合节点的连接关系, 搜索出与起始电气元件连通的电气网络, 详细步骤如下:

① 为每一类元件建立数据表 dt 和 dtTopo, 分别存放源数据和网络搜索后的分类数据。

② 创建列表 ListCN, 用于存放待分析的节点号(CN)。根据 CIM 数据将起始点连接的节点的节点 CN 存入列表 ListCN 中。

③ 如果 ListCN 不为空, 对于每一个 CN 节点, 将其所连接的电气元件中的非边界元件转至步骤④; 边界元件转至步骤⑤; 若 ListCN 为空则结束。

④ 将该电气元件其他的 CN 节点全部加入列表

ListCN 中, 进入步骤⑤。

⑤ 将该电气元件的信息从数据表 dt 中删除, 数据表 dtTopo 中加入该电气元件信息, 转到步骤③。

至此, 由一个起始点, 再通过联通的线路到达了边界元件, 我们获得了一个“极大网”, 亦即拓扑分析的分析范围。网络搜索为拓扑分析划定了分析范围, 提供了更多业务形式。

(2) 拓扑分析算法

本算法基于电网 CIM 和 SCADA 数据, 进行实时拓扑分析, 形成 Bus/Branch 模型分析结果, 算法过程主要包括两个步骤:

1) 首先遍历所有闭合的隔离开关和刀闸, 合并直接相连的隔离开关与刀闸, 形成拓扑节点;

2) 其次, 针对形成的拓扑节点与其他电气元件信息进行划分, 形成拓扑岛。

拓扑节点和拓扑岛是电力网络拓扑分析的结果模型。其中, 拓扑节点是通过闭合开关合并的一组连接节点; 拓扑岛是电力网络的一个电气连接的子系统, 拓扑岛之间不存在电气连接联系。

在本文研究的拓扑分析算法中, 首先利用无阻抗元件(刀闸, 开关)进行节点合并形成拓扑节点; 对于每一个拓扑节点, 如果拓扑节点中的连接点连接着闭合开关(刀闸)或母线, 那么认为开关另一侧或母线所有相连点都属于相同的拓扑节点, 将这种搜索方式称为“延伸搜索”。将拓扑节点中的所有节点都进行“延伸”后, 将获得该拓扑节点的“极大值”。当将所有拓扑节点都延伸至“极大值”后, 其他延伸不到的节点独立为拓扑节点, 这样就获得了最终拓扑分析的结果。完整的拓扑分析算法流程如图 1 所示。

拓扑分析算法包括生成拓扑节点和拓扑岛划分两个部分。在生成拓扑节点部分:

① 以开关、刀闸等无阻抗元件进行节点合并, 将直接相连的开关和刀闸的所有节点 CN 用统一 TN(拓扑节点编号)命名, 并将节点对<CN, TN>加入到列表 ListCNTN 中。

② 对①中生成的拓扑节点进行“延伸搜索”。将直接相连的节点赋予相同的 TN, 延伸不到的元件 CN, 赋予新的 TN', 并且将节点对<CN, TN'>加入到列表 ListCNTN 中。

至此, 将电网进行了合理的划分和简化, ListCNTN 中保存了全网元件节点信息以及节点的相互关系, 同一拓扑节点中的全部节点属于同一个逻辑节点, 等效于直接相连。接下来通过非零阻抗器件(线路, 变压器等)将拓扑节点连接起来, 最终获得多个彼此隔离的拓扑岛。

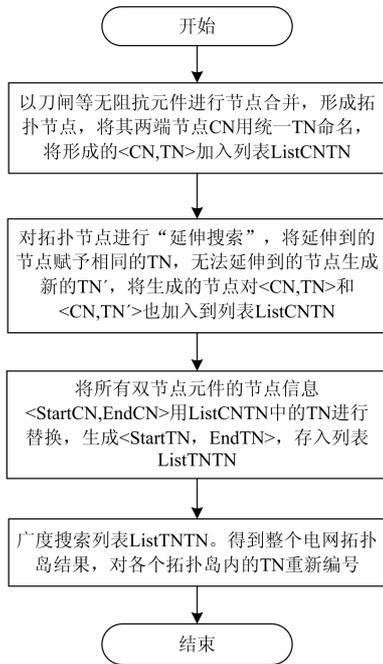


图 1 拓扑分析算法流程图

Fig. 1 Flow chart for topology analysis algorithm

③ 将所有双节点电气元件的节点信息<StartCN, EndCN>全部用 ListCNTN 中对应的 TN 替换, 将替换后的结果用<StartTN, EndTN>表示, 存入列表 ListTNTN。

④ 采用广度优先搜索方法遍历列表 ListTNTN。根据解析的结果, 可以将整个电网分成一个或多个拓扑岛, 对各个拓扑岛内的 TN 全部重新进行统一编号。

搜索完成, 得到所有拓扑岛的信息, 每个拓扑岛就是一个连通的电气网络。

经过电网拓扑结构分析, 可以得出所有阻抗设备之间的相互连接关系、各电气元件的属性信息、实时状态信息。其他高级分析可以利用拓扑分析的结果进行整个电网的分析, 也可以针对关注的某个拓扑岛进行分析。

2 拓扑分析结果发布

在以上拓扑分析结果基础上, 本文将利用 IEC 61970 标准拓扑包对拓扑结果进行解析和封装, 并进行发布。

2.1 基础数据处理

本文提出基于 IEC 61970 的电网拓扑分析结果数据模型, 主要基于 CIM 模型中的拓扑包。该模型数据包括拓扑岛信息、拓扑节点信息与各电气元件的信息。拓扑分析结果的数据模型具体如图 2 所示。

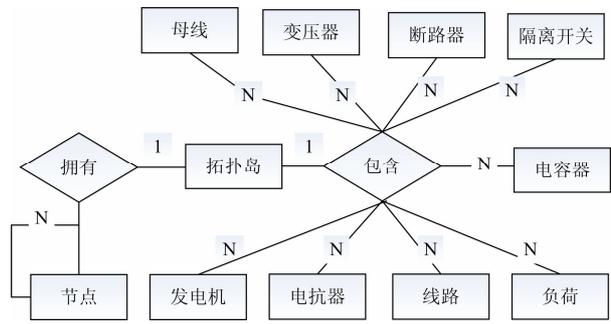


图 2 拓扑分析结果数据模型

Fig. 2 Data model for topology analysis result

拓扑分析结果模型是基于 IEC 61970 标准的, 该拓扑分析结果的公共数据模型主要由拓扑节点、电气元件、拓扑岛三个模块组成。其详细内容如下:

拓扑节点是拓扑分析结果的逻辑节点, 该节点可能直接与一个或多个电气元件相连。拓扑节点具有拓扑节点号、电压等级、所属拓扑岛等属性。

电气元件是各类高级分析的基础, 经过拓扑分析, 电气元件的原始端点 CN 号被替换为 TN 号(拓扑节点号), 这样就可以判断出在实际运行的电网中哪些电气元件在逻辑上是直接相连的。

拓扑分析后, 并非所有的电气元件全部处于同一拓扑岛中。因此, 拓扑分析结果的数据模型还提供拓扑岛的具体信息, 即拓扑岛内包含的电气元件的 ID, 通过元件 ID 就可以在电气元件模块中找到其详细信息。

图 3 中的 Topological Island 表示拓扑岛类, Topological Node 表示拓扑节点类, Equipment 表示核心包中的各电气元件类。一个拓扑岛中至少包括一个电气元件, 同时也至少包含一个拓扑节点; 每个电气元件都至少有一个拓扑节点。

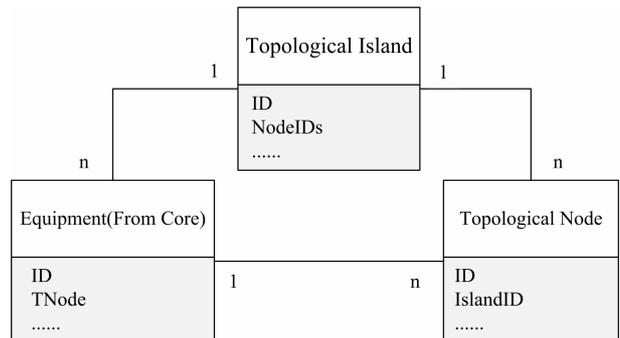


图 3 拓扑分析结果类图

Fig. 3 Class diagram for topology analysis result

经过拓扑分析后的各电气元件的信息包括所有的属性信息与实时运行信息, 分别来自 CIM 和 SCADA 数据, 而这些数据在实际工程中可以进行

扩充, 并不影响模型的整体应用。下面仅列出部分电气元件的部分属性信息和运行数据, 如表 1 所示。

表 1 数据模型的电气元件信息

元件	属性
母线	所属变电站、TN 号、额定电压、电压值、相角值
刀闸	首末端 TN 号、开闭状态
线路	首末端 TN 号、额定电压、电阻、电抗、有功、无功、电流
拓扑节点	拓扑节点 TN 号、节点个数、电压等级、所属拓扑岛

2.2 拓扑分析结果发布

IEC61970 中 CIS 描述的接口主要用于信息交换以及访问公共数据, 从而实现数据的共享^[15]。本文根据提出的统一拓扑分析结果的数据模型, 将该数据模型中各类电气元件的属性值及其实时监测值以 Web 服务形式发布出去, 各厂商可以根据该模型进行开发, 从而达到 IEC 61970 中信息交换的目的, 最终方便了系统的集成与维护。

服务的提供者按照规范格式, 将数据提供给请求者, 请求者从服务端获取数据后, 根据服务的规范格式进行解析, 得到相关信息。下面我们给出拓扑节点的接口格式:

```
<TopologicalNodes>
  <Count>节点个数</Count>
  <TopologicalNode>
    <ID>拓扑节点编号</ID>
    <VolLevel>电压等级</VolLevel>
    <IslandID>所属拓扑岛</IslandID>
  </TopologicalNode>
  <TopologicalNode>
    ....
  </TopologicalNode>
</TopologicalNodes>
```

其他电气元件的信息与拓扑节点类似, 每个标签有各自的含义, 标签内的值为电气元件的属性值。在定义的服务规范中, 包括列出了某些属性及标签, 但是若有需要, 可以对其进行扩充, 并且标签的标记名称也可以根据需要进行修改。

3 工程实例

3.1 拓扑分析系统

本文提出的拓扑分析系统以电网 CIM 和 SCADA 为基础数据, 经过数据获取、一致性处理、拓扑分析等操作后形成拓扑分析结果, 并将拓扑分析结果以 Web 服务的形式发布出去, 供其他系统使用, 最终实现大粒度的数据共享。系统分为数据访问层、

拓扑分析业务处理层与数据接口层, 系统逻辑图如图 4 所示。

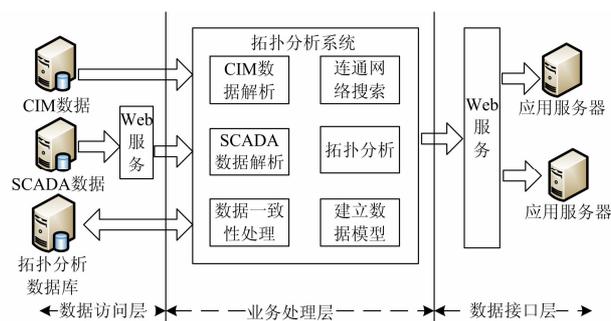


图 4 拓扑分析系统逻辑图

Fig. 4 Logical diagram for topology analysis system

(1) 数据访问层包括服务访问和数据库访问两部分, 主要是基础数据的获取。

(2) 业务逻辑层包括数据一致性、网络搜索、拓扑分析等过程。

(3) 数据接口层主要针对拓扑分析的结果提出数据模型并利用 Web 服务技术对外发布拓扑分析结果数据。

3.2 电压合格率智能分析系统

基于电压合格率的高级智能分析是对电压监测系统分析数据、电网 CIM 和 SCADA 数据进行分析, 从电压不合格的监测点出发, 搜索出在电压不合格时刻, 该监测点所处的电网结构, 并对该连通网络进行拓扑分析与电压不合格原因的分析, 找出电压不合格的原因, 并且提出治理的方案。

其中的网络拓扑分析部分, 我们从拓扑分析系统中获取。向拓扑分析系统提供时间和监测点参数后对返回结果进行解析, 从而获得拓扑分析结果, 在此基础上进行潮流计算以及后续的分析。通过向拓扑系统请求分析结果, 减轻了本地分析系统的压力, 同时提高了数据的重用性。

拓扑分析系统已经在电压合格率系统、电压凹陷域分析系统等多个电力应用中得到利用, 算法的正确性和时效性都得到了验证。由于本算法结果基于 IEC 61970 标准进行封装和发布, 符合现行电力应用数据标准, 必将获得更为广阔的利用和推广。

4 结论

不断扩大的电网规模和不断增长的电力高级应用需求需要电网实时拓扑分析的支撑, 而高效、统一、可复用的电网实时拓扑分析技术成为其中关键。基于 IEC 61970 标准的电网拓扑结果分析技术基于 CIM、SCADA 数据进行实时拓扑分析, 并将拓扑

分析结果按照 IEC 61970 标准的格式进行模型设计, 以 Web 服务的形式发布, 实现了大粒度的数据共享和复用, 解决了拓扑分析和结果复用的问题。

参考文献

- [1] 魏震波, 刘俊勇, 朱冕, 等. 基于网络数字化挖掘的电网拓扑结构辨识[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(4): 12-17.
WEI Zhenbo, LIU Junyong, ZHU Mi, et al. Identification of power topological structure based on network data mining[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(4): 12-17.
- [2] 范瑞娟, 王倩, 罗强. 一种配电网故障恢复快速拓扑和潮流计算方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21): 23-28.
FAN Ruijuan, WANG Qian, LUO Qiang. A fast topology analysis and power flow calculation algorithm for distribution network service restoration[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21): 23-28.
- [3] 安永桥. 电网调度拓扑模型智能校核工具的研究及应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
AN Yongqiao. Research and application on tool of intelligent verification for topology model in power grid dispatching[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [4] 王昊, 夏慧, 陈威, 等. 基于分治策略的分布式调度自动化系统稳态监控网络拓扑分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(18): 101-107.
WANG Hao, XIA Hui, CHEN Wei, et al. Analysis of distributed dispatching automation system stability monitoring of topology based on divide-and-conquer strategy[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(18): 101-107.
- [5] 姚玉斌, 叶爽利, 吴志良, 等. 稀疏矩阵法网络拓扑分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 1-5, 10.
YAO Yubin, YE Shuangli, WU Zhiliang, et al. Analysis of network topology by the matrix method with sparse matrix techniques[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 1-5, 10.
- [6] 王增平, 张晋芳, 张亚刚. 基于主接线图形特征的厂站内拓扑分析新方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 255-260.
WANG Zengping, ZHANG Jinfang, ZHANG Yagang. A novel graphic characteristic based method for topology analysis in substations and power plants[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 255-260.
- [7] 郝广涛, 韩学山, 梁军, 等. 多代理系统和黑板模型结合的全景电网拓扑分析[J]. 电工技术学报, 2014, 29(12): 200-210.
HAO Guangtao, HAN Xueshan, LIANG Jun, et al. Panorama power system topology analysis based on multi-agent system and blackboard model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(12): 200-210.
- [8] 楼宗明, 章坚民, 庄晓丹, 等. 基于在线开关状态和 DG 角色的动态配电网拓扑分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 64-69.
LOU Zongming, ZHANG Jianmin, ZHUANG Xiaodan, et al. Dynamic topologic analysis of distribution network based on on-line switch and DG states[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 64-69.
- [9] 于娜. 矩阵法网络拓扑分析的实用化研究和设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2011.
YU Na. The practical research and design of matrix network topology analysis[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2011.
- [10] 张慎明, 刘国定. IEC61970 标准系列简介[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.
ZHANG Shenming, LIU Guoding. Introduction of standard IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(14): 1-6.
- [11] 方烁, 梁成辉, 徐庆平, 等. IEC61970 标准中 CIS 的 Web 服务定义与实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15): 81-84.
FANG Shuo, LIANG Chenghui, XU Qingping, et al. Using Web services to implement component interface specification in IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(15): 81-84.
- [12] 陶顺, 周双亚, 肖湘宁, 等. 基于 IEC61970 公共信息模型的电压凹陷域分析[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 40-46.
TAO Shun, ZHOU Shuangya, XIAO Xiangning, et al. Analysis of area of vulnerability based on common information model in IEC61970[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 40-46.
- [13] 王志南, 吴文传, 张伯明, 等. 基于 IEC 61970 的 CIS 服务与 SVG 的研究和实践[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(22): 65-68, 85.
WANG Zhinan, WU Wenchuan, ZHANG Boming, et al. Study and implementation of CIS and SVG based on IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(22): 65-68, 85.
- [14] 李盟, 秦立军, 郭庆, 等. 基于 CIM 模型的电网拓扑分析[J]. 电力科学与工程, 2011, 27(9): 18-22.
LI Meng, QIN Lijun, GUO Qing, et al. CIM based network topology analysis[J]. Electric Power Science and Engineering, 2011, 27(9): 18-22.
- [15] Draft IEC61970: energy management system application program interface (EMS-API)-part 301: common information model (CIM) base[S]. Revision 6, 2001.

收稿日期: 2015-09-09; 修回日期: 2015-12-09

作者简介:

齐林海(1964-), 男, 本科, 副教授, 研究方向为计算机网络应用、数据库与信息处理、商务智能; E-mail: qilinhai@ncepu.edu.cn

柳超(1990-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为并发与并行计算; E-mail: gongfu1235@163.com

任旭(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为数据库与信息系统。E-mail: renxu90@126.com

(编辑 魏小丽)