

基于 CIM 的全图形自生成及三维可视化

王 彬¹, 何光宇¹, 董树锋¹, 章 德¹, 刘 锋¹, 张王俊², 张 健²

(1. 清华大学电机系电力系统国家重点实验室, 北京市 100084; 2. 上海市电力公司, 上海市 200122)

摘要: 针对电网图形系统手工维护复杂、交互困难的现状, 提出了全图形自生成的思想, 具有自维护、图模全耦合、不依赖于图形工具的特点。以公共信息模型(CIM)为底层, 提出了包括厂站接线图、单线图在内的拓扑图形自生成的改进方法, 介绍了表征电网运行状态和监视指标的动态图形可视化方案, 在自生成基础上引入三维可视化技术, 形成了面向多指标的预警监视平台。该平台已在实际电网中运行。

关键词: 厂站接线图; 公共信息模型; 全图形自生成; 单线图; 三维可视化

0 引言

电力系统图形可视化是指将电力系统的拓扑结构、运行状态等信息以图形或图像的方式显示, 以利于运行人员及时准确地了解电网的运行状态^[1-3], 是运行人员监视、分析、调控电网的重要平台和手段。传统的图形采用手工生成、手工维护的方式, 随着系统规模的不断扩大, 开发维护的工作量和成本日益增加。此外, 由于图形格式不统一、信息安全级别不同等原因, 不同应用系统之间的图形信息交互十分困难, 往往需要各自维护一套图形系统, 这不但使得开发和维护成本进一步提高, 而且在造成数据冗余的同时, 容易带来信息不一致, 给运行人员日常工作带来不便。

文献[4-5]提出采用空间矢量图形(SVG)作为图形交互的标准格式。SVG 是一种开放标准的文本式矢量图形描述语言, 可扩展性强, 能够描述任意复杂的图形, 但是图形交互并不只是交换图形的一个“快照”, 而是系统间信息的互操作, SVG 只是一种图形格式, 没有针对电气设备的对象定义, 不同系统即使均采用 SVG 格式, 其对于电气设备图元的描述也具有多样性, 给系统间的信息转换带来了较大困难。其根本原因在于模型和图形相对孤立, 彼此间缺乏关联。本文提出的“基于公共信息模型(CIM)的全图形自生成”的思想和方法为解决这一问题提供了全新的思路。

CIM 作为标准的应用程序接口使得应用系统能够不依赖于信息的内部表示而访问公共数据和交换信息^[6], 是目前调度自动化系统信息交互的重要

手段。CIM 包含了图形所要表达的所有信息, 以 CIM 作为图形自生成的信息来源, 不仅保证图形实时地跟踪电网当前的拓扑结构和运行状态, 图形自维护, 节省大量手工开发和维护成本, 而且将图形和模型完全耦合在一起, 交互模型的同时就相当于交互了图形, 实现了更彻底的图模一体化。本文研究的重点在于全图形自生成思想内涵及实现算法。

1 全图形自生成思想

本文将电力系统常见的图形按主题划分为以下 2 种:

1) 拓扑图形: 单线图、厂站接线图、基于地理信息的接线图等, 是电网信息可视化的基础和载体。

2) 动态图形: 分为状态可视化图形和指标可视化图形 2 部分。状态可视化展现电网运行状态; 指标可视化展示预警监视指标。

全图形自生成, 就是在获取必要信息的基础上, 自生成包括拓扑图形、动态图形在内的电力系统常见图形形式, 并围绕指标体系搭建图形系统, 形成面向多指标的预警监视平台, 如图 1 所示。其中, 数据平台以标准化接口的形式提供全图形自生成所必需的信息, 包括网络拓扑、实时运行信息等。

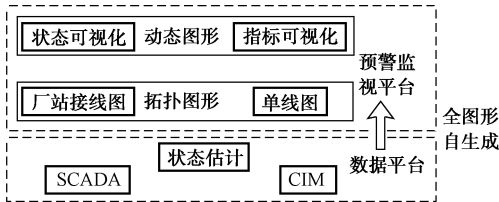


图 1 系统平台框架
Fig. 1 Framework of the platform

通过全图形自生成, 在数据平台的基础上可以直接搭建可视化的监视预警平台, 不存在图形维护

和图形交互的问题,同时遵循 IEC 61970 接口标准规范,便于集成,具有很好的可移植性;图形显示风格可定制,一改全改,可视化效果也可定制。

自生成产生的图形信息实际上是图元及其坐标信息的集合,因此,自生成后图形可以在任意平台上显示,不依赖于平台采用的图形工具,同时图形信息可以灵活地输出为任意的图形格式。利用其对图形工具弱依赖性的特点,可以方便地引入各种先进的可视化技术。本文的预警监视平台采用三维图形开发工具 JOGL,将三维可视化技术和图形自生成技术无缝融合起来。

全图形自生成思想的提出为电力系统图形可视化提供了全新的视角,也为智能调度发展打下了基础。

2 拓扑图形自生成

文献[7-10]尝试通过分析拓扑信息的方法生成厂站接线图和单线图。本文通过读取能量管理系统(EMS)中导出的 CIM 文件,设计搜索算法获取设备连接关系,在此基础上自生成厂站接线图和单线图,自生成算法针对现有算法的不足进行了改进。

2.1 厂站主接线图自生成

基于安全可靠性的考虑,厂站主接线一般采用典型的接线形式;而对于同一种接线形式,接线图中设备的布置模式是固定的,即每种接线形式均存在一个“模版”对应,从而可将厂站主接线图自生成问题转化为模版匹配问题。

基于这一认识,文献[8]提出了厂站主接线图的自生成方法,但其模版匹配算法依赖于 Oracle Spatial 的网络分析功能,不易扩展。本文在此基础上提出了一种新的模版匹配算法,介绍如下。

2.1.1 连接子串定义

在厂站主接线图中,电源、出线往往通过一连串的开关、刀闸、变压器等设备连接到母线上,本文称这样的一串设备为连接子串。容易看出,在电网中,连接子串类型是有限的,可以预定义常用的连接子串;对不常用连接子串,在需要时添加。而对于同一类连接子串,其设备的相对位置是固定的,可以将其封装为一个独立的单元进行匹配和绘制。这样带来如下好处:

1)模版特征可以清晰地划分为母线类型、连接子串类型、母线与连接子串连接关系 3 个方面,模版定义与匹配都变得极其简单。

2)同一类连接子串可在同一模版中多处使用,也可在不同的模版中多处使用,使得厂站主接线图自生成系统具有良好的扩展性。

应指出的是,母联开关、分段开关也可认为是从母线出发的特殊连接子串,排布在母线左右两侧即可。

2.1.2 模版匹配算法

如前所述,模版特征可用母线类型、连接子串类型、连接子串与母线连接关系来进行表达,基于此,即可得到如下模版匹配算法:

1)连接子串类型及连接子串与母线连接关系识别。采用 Eclipse Modeling Framework 读取 CIM 文件^[11],从线路、发电机、负荷等设备出发,采用深度优先搜索的算法,搜索连接子串,并关联到相应的母线。

2)母线类型识别。通过连接子串可自动识别母线类型:同一连接子串关联的不同母线之间为并列运行;不同母线关联的连接子串均不相同为分段运行,由此可区分正母与副母,进一步,通过连接子串的设备类型可区分出旁母。

与文献[8]相比,这一模版匹配方法简单,易于实现,且不依赖于数据库,只需要 CIM 文件作为数据源,更灵活、更轻量。

2.1.3 软件框架

厂站接线图自生成软件框架如图 2 所示。整个系统分为 4 层:①模版层,负责定义模版,形成模版库;②数据读取层,负责读取 CIM 文件以及共享缓存中的实时数据;③分析层,负责搜索拓扑信息并匹配模版,生成设备的网格坐标;④绘图层,负责根据拓扑岛数量和结构对显示区域进行划分,并将网格坐标映射到对应的显示区域中,生成图元,绘制图形。

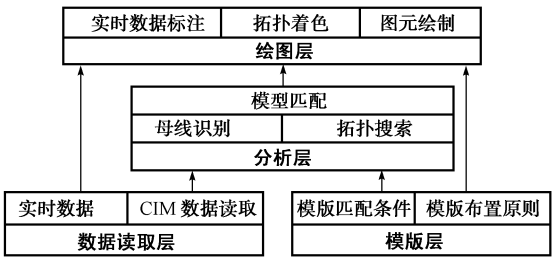


图 2 厂站接线图自生成软件框架
Fig.2 Framework of substation diagrams' self-generation

生成厂站主接线图时,定义了电网中常见的十余种接线形式的模版。附录 A 图 A1 为双母线四分段带双旁路母线接线形式的自生成实例。

2.2 单线图自生成

电力系统单线图是用来表示电力系统各个环节(发电厂、变电站、用户等)相互连接关系的图形。单

线图具有结构清晰、图形规整的特点,为自生成创造了有利的条件。

单线图自生成主要包含厂站布局和自动布线 2 个问题^[9]。本文沿用文献^[9]中的算法思路,并针对文献^[9]中算法在应用中出现的进行了改进,下面对改进部分做简要介绍。

1)厂站布局是组合优化问题,自动布线是路径搜索问题。文献^[9]将这 2 个问题孤立起来单独考虑,简化了自生成的算法,但当厂站数量较多时效果不好,连线交叉过多。因为它在厂站布局的优化目标中只引入线路总长度这样的全局指标(见式(1)),忽略了布局与布线间的耦合关系,即厂站布局的优劣应取决于自动布线后的走线交叉情况。

$$L(P)=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{ij}(|x_i-x_j|+|y_i-y_j|)\tag{1}$$

本文在设计厂站布局的优化模型时引入了直线连线数量最大的优化目标(见式(2)),使得有连接关系的厂站尽可能相邻,布线的折线段尽可能少。

$$D(P)=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{ij}u_{ij}\tag{2}$$

式中: w_{ij} 为节点 i,j 间的连线数量;当 i,j 的 x 轴或 y 轴坐标一致且无障碍节点时 $u_{ij}=1$, 否则 $u_{ij}=0$ 。

同时,引入线路交叉次数最小的优化目标。交叉次数本来是自动布线完成之后才能确定的,如果每次优化步长下都进行一次布线,显然费时费力。本文提出一种简易的计算方法,步骤如下:

步骤 1:用直线 l_{ij} 连接有电气关系的节点 i,j 中心。

步骤 2:引入节点 i,j 的交叉变量 v_{ij} , 搜索其他直线,如果存在与 l_{ij} 相交的直线则 v_{ij} 累加 w_{ij} 。

步骤 3:总交叉次数计算如下:

$$C(P)=\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nw_{ij}v_{ij}\tag{3}$$

模型求解时可以根据不同的需求在优化目标之间进行切换,也可以人工设置权重实现多目标优化。本文提出的这些目标依赖于自动布线的结果,这样就将 2 个问题结合起来考虑,优化了自生成单线图的走线效果。

2)自动布线的排序优化。对于某节点,需要对其同一边上的多个出线端子进行排序,以保证出线不交叉且整齐美观。以上沿的端子为例说明排序的原则:对所有出线连接的另一端厂站按横坐标进行排序,最左边的端子连接横坐标最小的厂站、最右边的端子连接横坐标最大的厂站,当两厂站的横坐标相同时,上方的厂站排序更靠前。排序效果如图 3 所示。

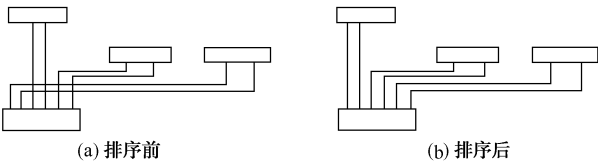


图 3 排序前后对比
Fig.3 Comparison before and after compositor

本文采用改进算法自动绘制了某省级电网的潮流单线图,包含 90 个厂站和 266 条线路,节点布局的优化目标采用式(2)。自生成的单线图具有结构清晰、走线美观的特点,满足工程应用要求。详见附件 A 图 A2。

3 动态图形自生成

动态图形自生成是指从 SCADA、状态估计中抽取运行状态相关数据,计算出监视指标,然后借助于 CIM 中的关联信息,自动将状态数据、监视指标与图形关联起来,直观、生动地进行展现。

3.1 运行状态可视化

运行状态指当前系统中的开关状态、节点电压、线路潮流等实时信息。本文对于运行状态可视化自生成的研究,主要是在自生成拓扑图形的基础上实现电压、潮流数据的实时标注、拓扑着色等功能。

线路潮流标注根据走线路径及折线类型自生成标注坐标;节点电压标注根据厂站或母线位置自生成标注坐标;拓扑着色根据开关、刀闸的实时状态,确定系统中各种电气设备的带电、停电等状态,并在系统单线图和厂站图上用不同颜色表示出来。

3.2 监视指标可视化

本文将监视指标在空间维度上进行划分,分为全局性指标、区域性指标和元件级指标,并针对不同指标设计不同的可视化形式,如表 1 所示。

表 1 监视指标可视化形式分类
Table 1 Classification for visual forms of monitoring indicators

指标		可视化形式
全局性指标	频率	指针式表盘
	网络损耗	二维曲线
	有功裕度	三维柱状图、饼图
	电压稳定裕度	稳定域曲线
区域性指标	分区有功裕度	三维柱状图、饼图
	分区无功裕度	三维柱状图、饼图
	联络线有功	三维箭头图、管道图
	分区负荷预测	二维曲线
元件级指标	发电机出力	三维柱状图、饼图
	母线电压	三维颜色渲染图
	线路越限额	闪烁预警
	遥信变位	填充闪烁
断面可用输电能力		三维柱状图、饼图

监视指标可视化并不是简单地将上述可视化形式进行堆砌,而是形成体系,并且有机地融合到自生成的拓扑图形中去,直观地反映系统的运行状态和控制效果。

4 三维可视化

三维可视化充分利用了空间的第三维,相对于传统的二维可视化在实现更丰富的可视化形式、更灵活的交互式操作、更流畅的可视化画面方面有很大的优势,近几年在电力系统可视化领域中得到了广泛关注,文献[12-13]对于三维可视化的应用作了较为深入的探讨。

传统图形系统如果引入三维可视化等新的可视化技术,需要重新开发和维护,成本很高。而全图形自生成系统不依赖于图形平台和图形工具,兼容所有的可视化技术,便于实现图形系统的在线升级。基于此,本文直接引入新型三维可视化技术(如 JOGL)进行图形绘制。以下列举 2 例。

1)在 $N-1$ 静态安全分析中,利用三维可视化,将表示开断元件的圆柱和表示越限元件的圆锥、“墙”用直线相连,充分展现了开断元件与由此带来的越限元件之间的关联关系,见附录 A 图 A3。

2)采用曲面高度和颜色映射表示节点电压的全局分布,清晰直观,易于捕捉关键节点信息。对节点电压进行全空间插值,得到连续分布的数值,采用三维可视化中的高度和颜色渲染绘制电压曲面图。本文所作的东北-华北-华中-川渝互联电网的电压渲染图见附录 A 图 A4。

5 结语

本文以 CIM 为底层,在获取设备模型信息、实时量测数据的基础上,实现了包括拓扑图形、动态图形在内的全图形自生成,结合三维可视化技术,形成了面向多指标的预警监视平台。系统应用在某省级电网,自生成的厂站接线图覆盖了该电网 90% 以上的厂站,自生成的单线图包含了该电网的全网单线图和 7 个分区单线图,在拓扑图形的基础上自生成预警监视指标的三维可视化。系统已经在调度中心运行,得到了运行人员的高度认可。

随着电网的发展及信息的标准化,图形自生成在图形维护、图形交互、图形工具依赖性等方面的优势将日益显著,必将成为重要的发展趋势。

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

参考文献

[1] WIEGMANN D A, ESSENBERG G R, OVERBYE T J.

Human factor aspects of power system flow animation. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(3): 1233-1240.

[2] WIEGMANN D A, RICH A M, OVERBYE T J. Human factors aspects of power system voltage visualizations// Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences, January 7-10, 2002, Big Island, HI, USA.

[3] WIEGMANN D A, OVERBYE T J. Human factors aspects of three-dimensional visualization of power system information// Proceedings of Power Engineering Society General Meeting, June 18-22, 2006, Montreal, Canada.

[4] 李亚平,姚建国,黄海峰,等.SVG 技术在电网调度自动化系统中的应用.电力系统自动化,2005,29(23):80-82.

LI Yaping, YAO Jianguo, HUANG Haifeng, et al. Application of SVG in the automation system of power network. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23): 80-82.

[5] 袁泉,王康元,张洁,等.基于 SVG 的公共信息交互平台.继电器,2005,33(12):66-68.

YUAN Quan, WANG Kangyuan, ZHANG Jie, et al. Common information interaction platform based on SVG. Relay, 2005, 33(12): 66-68.

[6] DL/T 890.301-2004 能量管理系统应用程序接口(EMS-API)第 301 部分:公共信息模型(CIM).北京:中国电力出版社,2005.

[7] 朱永利,栗然,刘艳,等.电力系统厂站主接线图形的自动生成.电力系统及其自动化学报,2000,12(1):41-44.

ZHU Yongli, LI Ran, LIU Yan, et al. Automated single-line substation diagrams. Proceedings of the CSU-EPSA, 2000, 12(1): 41-44.

[8] 沙树名,林峰.一种基于 CIM 的厂站接线图自动生成技术.电力系统自动化,2008,32(21):68-71.

SHA Shuming, LIN Feng. A technique of automatic generation of substation wiring diagram based on CIM. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(21): 68-71.

[9] 宋适宇,何光宇,徐彭亮,等.输电网单线图的自动生成算法.电力系统自动化,2007,31(24):12-15.

SONG Shiyu, HE Guangyu, XU Pengliang, et al. Automatic generation of single-line diagrams for transmission networks. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(24): 12-15.

[10] 徐彭亮,何光宇,梅生伟,等.基于地理信息的输电网单线图自动生成新算法.电网技术,2008,32(21):19-21.

XU Pengliang, HE Guangyu, MEI Shengwei, et al. Application of geographic information in automatic generation of single-line diagrams for power transmission networks. Power System Technology, 2008, 32(21): 19-21.

[11] 邓显达,何光宇,陈颖,等.上海电网基于 Java 反射机制的 CIM 导入.电力系统自动化,2007,31(18):21-25.

DENG Xianda, HE Guangyu, CHEN Ying, et al. CIM lead-in based on Java reflection mechanism in AEMS of Shanghai power grid. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(18): 21-25.

[12] 陈佳,孙宏斌,汤磊,等.电力系统控制中心三维可视化技术及其实时应用.电力系统自动化,2008,32(6):20-24.

CHEN Jia, SUN Hongbin, TANG Lei, et al. Three-dimensional visualization technique for power system control centers and its real-time applications. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 20-24.

(下转第 74 页 continued on page 74)

earth in the TV secondary circuit. Journal of Electric Power, 2004, 19(2): 153-154.

[8] 张雯, 王勇. 珠番甲线一次线路故障的分析与计算. 长沙电力学院学报: 自然科学版, 2005, 20(2): 31-33.

ZHANG Wen, WANG Yong. Analysis and calculation of the faults of first order in line A of Zhu-Fan. Journal of Changsha University of Electric Power: Natural Science, 2005, 20(2): 31-33.

[9] 邓卫民, 孙扩业, 周宏宇, 等. 一次特别的系统故障分析. 继电器, 2005, 33(23): 68-72.

DENG Weimin, SUN Kuoye, ZHOU Hongyu, et al. Analysis of an unusual system fault. Relay, 2005, 33(23): 68-72.

[10] 许正亚. 输电线路新型距离保护. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 15-26.

陈福锋(1979—), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 高压线路保护. E-mail: fugiant@163.com

魏 曜(1979—), 男, 工程师, 主要研究方向: 高压线路保护。

王 帆(1982—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 高压线路保护。

Zero Sequence Direction Element Adapted to Two-point-ground Fault on Secondary Circuit of Potential Transformer

CHEN Fufeng, WEI Yao, WAN Fan
(Guodian Nanjing Automation Co. Ltd., Nanjing 210003, China)

Abstract: When two-point-ground fault happened in secondary circuit of the potential transformer, and at the same time a single-phase ground fault happened in the primary system, if the zero sequence current directional protection misjudged, the phase difference between the zero sequence voltage and the fault phase voltage is small. But in normal condition this difference is large. Based on this phenomenon, a real-time identification method is proposed to identify the two-point-ground fault in secondary circuit of the potential transformer (“two-point-ground” for short). Under “two-point-ground” situation, according to the characteristics of additional voltage components influence on each single phase voltage, a new zero sequence direction algorithm with healthy phase voltage instead of zero sequence voltage is put forward. Then the real-time identification method and the new zero sequence direction algorithm of “two-point-ground” is combined together to form a new zero sequence direction element, which is not affected by “two-point-ground”. This protective element can effectively avoid malfunction of pilot zero sequence direction protection. And the validity of above method is proved through the analysis of recorded field data.

Key words: potential transformer; secondary circuit; two-point-ground fault; zero sequence direction element

(上接第 58 页 continued from page 58)

[13] 闵勇, 孙希健. 电力系统动态过程的可视化方法研究. 电网技术, 2001, 25(11): 23-26.

MIN Yong, SUN Xijian. Investigation on application of visualization in power system dynamics. Power System Technology, 2001, 25(11): 23-26.

何光宇(1972—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 电力系统经济运行及优化理论在电力系统中的应用。

董树锋(1982—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 电力系统优化和控制。

王 彬(1987—), 男, 通信作者, 博士研究生, 主要研究

Automatic Generation of Diagrams for Power System and Three-dimensional Visualization Based on CIM

WANG Bin¹, HE Guangyu¹, DONG Shufeng¹, ZHANG De¹, LIU Feng¹, ZHANG Wangjun², ZHANG Jian²

- (1. State Key Lab of Power Systems, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

Abstract: Traditional graphical visualization of the power system is with several deficiencies, such as heavy maintenance workload, difficulties in exchange of graphical information. The idea of automatic generation of diagrams characterized with automatic maintenance, full coupling of diagrams and models, and without dependence on graphics tools is put forward. Based on common information model (CIM), the improved method of self-generated topology diagrams including substation and single-line diagrams is proposed. Dynamic diagrams which visualize current state and monitoring indicators of the power system are introduced. Three-dimensional visualization technology is used to draw those diagrams. Then a platform of early-warning and surveillance for multiple indicators is formed. The platform has been put into real operation in the actual grid.

This work is supported by State Grid Corporation of China (No. 20092001130).

Key words: substation diagrams; common information model (CIM); automatic generation of diagrams; single-line diagrams; three-dimensional visualization