

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1026.2012.16.014

基于 SVG 技术的电力系统可视化平台集成与方法库开发

赖晓文¹, 陈启鑫¹, 夏清¹, 赵翔宇¹, 杨明辉², 张健²

(1. 电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室, 清华大学, 北京市 100084;

2. 山东电力调度中心, 山东省济南市 250001)

摘要: 先进的可视化技术是提高电网运行智能化水平的重要途径。文中以可缩放矢量图形(SVG)技术为核心, 开发了统一、兼容、集成的电力系统可视化平台与标准的可视化方法库; 构建了基于 SVG 技术的可扩展的可视化应用平台, 可在一个统一的平台框架内兼容并集成多类可视化资源; 开发了一整套基于 SVG 技术与地理信息图形的空间数据可视化方法, 实现了与电网网架结构和数据模型的高效、自动匹配; 形成了具有标准的面向对象接口的可视化方法库, 具有高度的灵活性和可移植性, 提高了开发效率; 提出并实现了横向集成、纵向挖掘、学习式与预知式的智能人机交互方式, 使可视化技术具有一定的感知能力, 有利于提高电网运行人员对于电网运行数据与信息的感知能力与分析效率。

关键词: 智能电网; 可视化; 可缩放矢量图形; 方法库; 人机交互响应; 电力系统

0 引言

在建设智能电网的背景下, 各种新型传感、监测、通信等软硬件技术的发展, 使得电网的数据信息量迅速增加, 凸显了传统电网在信息处理能力与信息表达方式上的相对滞后性和局限性, 未能满足智能电网对于电网运行状态更加精细化监测、对于电网运行方式更加精准化决策的要求。因此, 如何从电网运行的海量信息中提取电网运行的本征信息, 以符合人类信息感知与思维逻辑的方式实现高效的信息加工, 以直观、生动的可视化方式传递给电网运行人员, 提高电网运行人员对于电网运行数据与信息感知能力与分析效率, 将是未来电网发展中的一项关键技术, 是提高电网运行智能化水平的有效途径, 也是建设智能电网所将面临的关键挑战。

可视化技术在电力系统中的应用始于 20 世纪 90 年代。十几年来, 国内外学者已研究开发了多种可视化展示方法与实现手段。国外的研究起步较早, 典型的应用成果有美国学者 Overbye 教授所在研究小组提出的线路潮流与节点电压可视化^[1-2]、三维可视化^[3]与电力系统地理信息可视化方法^[4-5]; Power World 公司开发的 Power World Simulator 大型电力系统可视化程序^[6]; AREVA 公司的调度管理系统^[7]等。近年来, 国内的电力系统可视化技术蓬勃发展, 出现了许多相关的研究与应用成果。

文献[8]分析了科学计算可视化技术在电力系统中应用的前景, 指出其中的关键问题与基本方法; 文献[9-12]则总结了包括网络结构、线路潮流、节点电压、静态安全分析等方面的电力系统可视化原理和实现方法; 文献[13]实现了三维曲面图、柱状图、管道图、箭头图等可视化表现方式, 开发了能量管理系统(EMS)三维可视化模块, 并应用于多个调度控制中心。此外, 还针对电力系统动态过程与稳定^[14-15]、可视化图形生成与图形数据库^[16-17]等方面进行了相应的研究。此外, 随着可缩放矢量图形(scalable vector graphics, SVG)技术作为标准图形格式在电力系统中得到广泛应用, 基于 SVG 的可视化技术也正逐渐兴起^[18-21], 多应用于电力系统的静态图形展示, 可视化程度不断提高。

然而, 近年来随着智能电网建设节奏的不断加快, 对于电力系统可视化平台的标准化、集成性、开发效率、交互深度等问题的关注日益升温, 已有的可视化技术与应用平台已难以满足新形势下的发展要求, 主要存在以下几方面问题。

1) 现有的 Direct3D, OpenGL, 地理信息系统(GIS)等可视化技术具有各自的特点与优势, 但这些优势未能在一个标准的平台上兼容与集成, 降低了平台的可用性与高效性。

2) 现有的可视化技术(如 SVG), 多处于概念设计与示意性展示阶段, 与实际电网网架结构与数据模型的结合不够紧密, 开发效率较低、实用性不强。

3) 现有包括 SVG 的可视化技术大多缺乏高效、灵活的人机交互方式, 没有把信息表达和人的感知

收稿日期: 2011-10-19; 修回日期: 2012-04-11。

国家自然科学基金资助项目(51107059)。

规律与思维习惯紧密结合,智能度较低。

基于以上分析,本文以 SVG 技术为核心,开发了兼容、集成的电力系统可视化平台与标准方法库。

1 基于 SVG 技术的可视化方法

1.1 SVG 的技术特点

目前,可视化技术已经在多个领域得到了广泛应用。从图形编程方法角度看,主要的实现技术包括 OpenGL、Direct3D、视觉化工具函式库(VTK),GIS 等。其中 OpenGL 和 Direct3D 等高级图形编程技术以及以 VTK 为代表的二次封装图形编程技术具有强大的二维、三维图形处理能力,形式多样、效果出色,而 GIS 天生具备完善的地理信息资源,适合展示地理定位的空间数据,但它们的共同缺点是开发维护难度大、不能充分利用当前电网已有的接口与数据,灵活性不足,开发效率较低。

SVG 作为一种基于可扩展标记语言(XML)开放标准的文本式矢量图形描述语言,支持无级缩放、精确定位、图层管理、动画、交互、动态生成、参数查询等高级功能,适于对格式规范性和交互灵活性有较高要求的可视化场合,目前在电力系统中逐渐得到重视。一些 EMS 和数据采集与监控(SCADA)系统中已经提供了 SVG 接口^[22],能够导出 SVG 接线图、地理信息图和 XML 格式的数据源文件,对以 SVG 为核心的可视化系统开发提供了数据、图形等基础支持,大大降低了数据获取与图形开发的难度。与其他可视化手段相比,SVG 具备以下几方面优势。

1) 矢量图形,易于交互。SVG 是矢量图形,可对矩形、圆形、椭圆、多边形、直线、折线等基本几何形状进行描述和组合,支持无级缩放,可在不同尺度下对电网信息作相应展示;支持光照、阴影、模糊等多种滤镜特效,具有较好的可视化效果;能够协调多种图形元素实现复杂的动画与交互等高级图形特性,从而很好地满足可视化的图形展示需求。

2) 与电网数据模型结合紧密,对电网运行信息的获取与处理非常方便。SVG 与电网公共信息模型(CIM)同样基于 XML 语言规范,SVG 已成为电网拓扑与图形展示的一种基本格式,而 CIM 是目前电网信息交互的重要接口。结合 CIM 模型,一方面可定义线路、发电厂、变电站、地图区域、文字等多种 SVG 对象及其链接、附属关系,具有可扩展能力;另一方面可设计恰当和灵活的元素信息获取、处理与交互编程接口,为 SVG 地理信息图中丰富的信息集成与展示手段提供技术支撑。

3) 接口与数据支持完善,开发与维护工作量较小。目前,EMS 与 SCADA 系统能够以 SVG 的标准格式导出厂站图与地理接线图,且元件 ID 或名称

的定义符合既有的规范,易于进行图形与数据源的匹配,降低开发与维护成本。

1.2 SVG 地理接线图的基本结构

SVG 地理接线图是电力系统空间信息可视化展示的基本载体,文档结构上一般包括元素定义、地理层、厂站层、线路层以及文字层。

1) 元素定义(def)

SVG 地理接线图文档开头的<def>标签对各类重复的图形元素进行了统一的定义,如各类发电厂、各电压等级变电站的图形标志,不同电压等级输电线路的颜色区分等。在厂站层和线路层中,可直接引用相应图元或图形属性,无需重复描述,提高 SVG 的整体一致性以及可维护性。

2) 地理层(geography layer)

在省级电网的 SVG 中,本层以闭合路径(path)绘制各市的边缘轮廓,获得直观的地理图形作为各厂站的定位依据,为分供电局的信息展示打下基础,点击不同地图区块可链接相应市级电网 SVG。

3) 厂站层(node layer)

本层定义了全图范围内的所有发电厂与变电站节点。以<use>标签引用<def>中定义的相应图元,规定其坐标与电压等级;以<metadata>标签定义厂站名称(ObjectName)及与 EMS 模型 ID(ObjectID)的对应关系。示例代码如下:

```
<g id="134006179">
  <use transform="translate(953,715) rotate(0,10,10)
    scale(1,1)" fill="rgb(255,182,10)" xlink:href="#
    SD_500kV 变电站" stroke="rgb(255,182,10)"
    xlink:show="embed"/>
  <metadata>
    <cge:PSR_Ref ObjectID="210000025" ObjectName=
      "济南站" Plane="1" AFMask="32783"/>
  </metadata>
</g>
```

4) 线路层(line layer)

本层主要定义了 220 kV 以上电压等级输电线路。以路径绘制了线路走向,定义线宽、颜色,并标明电压等级; <metadata> 标签定义了线路名称、EMS 模型 ID 及线路首末端厂站 ID。示例代码如下:

```
<g id="31005750">
  <path d="M1984,726 L1832,740 L1679,754" stroke-
    width="3" stroke="rgb(255,182,10)" class=
      "500kV"/>
  <metadata>
    <cge:PSR_Ref ObjectID="240000837" ObjectName=
      "潍泽线" Plane="1" AFMask="32783"/>
    <cge:PSR_Link Pin0InfoVect0LinkObjId=
      "134006194" Pin1InfoVect0LinkObjId="134007347"/>
  </metadata>
</g>
```

5)文字层(text layer)

文字层主要标记了一些必要的文字说明,并在厂站、线路旁标出运行数据,可编程定时刷新。

1.3 基于 SVG 的可视化展示方法

考察 SVG 地理接线图的基本结构,其对于地理区块、厂站、线路等分层、分对象单独定义,具有完善的电压等级及相互链接关系标志,并给出了对应的 EMS 模型设备 ID,易于实现数据源匹配。本文在此基础上采用 Java 语言及 Batik 工具包实现了空间信息的可视化展示,其具体功能与实现方案介绍如下。

1)图层管理

采用 Batik 载入 SVG 文档后遍历所有元素,可更加精细地动态划分图层,如 500 kV 和 220 kV 线路。通过设置地理层、厂站层、线路层、文字层的 visibility 属性进行显示与隐藏,可有效控制画面的复杂度,突出电力系统运行中的关键信息。

2)元素特征属性修改

通过读取 SVG 元素对应的 EMS 模型 ID 进行数据源匹配,根据实际运行数据和既定规则,对线路、厂站的颜色和大小等图形属性(use 或 path 标签中的 stroke,width 等属性)进行实时修改,按照红、黄、绿三色对电网运行的安全状态作出区分,并在二维平面上增加颜色、大小等维度的信息,提高运行人员对于信息的感知能力。

3)元素的动态叠加与画面渲染

采用 Batik 工具包提取输电线路路径,可动态添加移动(animateMotion)元素,根据运行状况在线路上叠加潮流箭头;将合适的几何形状组合成饼图、柱状图,动态叠加在厂站节点附近以表示各类运行信息。此外,可利用节点电压数据,对全地域电压幅值分布进行模拟,根据幅值高低设置颜色渐变,绘制等高线渲染图,从而直观、形象地展示电网的整体运行状况。

4)渐变与动画

预先在<def>层中定义渐变色,即可以引用方式为特定的几何形状设置渐变色属性,提升画面的美观程度; Batik 支持 SVG 的多种动画模式,如 animateMotion、变色(animateColor),以及对于任何属性的逐帧变化(animate)等。由此可实现不同画面状态间的平滑过渡,进行故障模拟、历史状况重演等可视化分析功能。

5)图表展示

针对空间信息的图上展示需求,在深入了解 SVG 各类图形元素的基础上,采用基本几何形状进行组合,可在 SVG 地理接线图中动态生成个性化的

曲线、柱状图、条形图、状态指示灯、表格、标签面板等数据展示控件,以及时钟、按钮、进度条等可视化元素,并可添加事件响应实现灵活交互,从而将 SVG 由简单的电网图形提升为相关信息的高效集中展示窗口。

6)人机交互

Batik 支持对 SVG 中的任何元素添加事件响应,包括点击(click)、指针移入(mouseover)、指针移出(mouseout)等。因此,很容易实现 SVG 地理信息图与 Java 环境或后台数据之间的双向交互,如数图互查、动态绘图、信息关联等。

综上所述,SVG 由于其独特的规范、高效、灵活等优势,十分适于作为电网信息展示的主要手段嵌入到诸多可视化系统单元当中。本文基于 Java 语言及 Batik 工具包,针对 SVG 的可视化展示方法进行了设计、开发与封装,形成了统一、集成、兼容的可视化平台;其以 SVG 作为核心的可视化展示手段,整合其他可视化方法的技术优势,构建标准的可视化方法库,可为不同的可视化应用提供支撑。

2 可视化平台集成与方法库开发

2.1 集成、兼容的可视化平台

考虑到跨平台、网络化的应用需求,本文选择了 Java 作为基础编程语言,其最大的特点是引进虚拟机的原理实现二进制代码的解释执行,因此具有平台无关性,而且在安全性、分布式方面有所增强。此外,Java 提供了对多种可视化技术的直接支持,包括 JOGL 和 Java3D 以及专用于处理 SVG 图形的 Batik 工具包等。

该平台以 SVG 作为核心的展示手段,兼容 Java3D/JOGL 等三维图形编程技术,辅以图表、界面元件等基本的可视化元素,并根据用户需求设计智能的人机交互方式。其结构框架如图 1 所示。



图 1 可视化平台的结构框架
Fig. 1 Framework of visualization platform

围绕 SVG 地理信息图的空间信息展示核心,本文采用开源图表工具包 JFreeChart,根据电力系统数据展示的特点进行深度定制开发与二次封装,为可视化平台集成了丰富的数据展示方式,如各种样式的柱状图、条形图、时序曲线、饼图、仪表盘、雷达图、瀑布图、散点图、色谱图等。这些展示方式都提供了完备的数据与交互接口,能够应对不同场合的

可视化需求,并能够最大限度地与 SVG 地理信息图或者平台的其他部分进行交互,如 SVG 中的线路、厂站、地图块等图形元素与各类图表中的展示对象进行关联对应等。

2.2 标准及可移植的可视化方法库

为减少电力系统可视化的一次开发工作量和重复劳动成本,增强研究成果的可重用性,本文立足于电力系统可视化的需求及其趋势,以 SVG 空间信息展示方法为核心,开发、封装了一套标准化与可移植的电力系统可视化方法库(PVM)。PVM 是包含 SVG 地理信息图、图形展示控件与界面组件的可视化技术封装工具包,可提供丰富的可视化图形元素、灵活的交互响应机制与基于 SVG 的电网地理信息展示功能。PVM 采用面向对象的编程方法,其封装结构与功能描述如表 1 所示。

表 1 可视化方法库的封装结构与功能
Table 1 Encapsulation structure and function of PVM

名称	内容	功能
pvm. chart	图表绘制	绘制图表,包括柱形图、条形图、时序曲线、趋势曲线、饼图、雷达图、散点图、色谱图、仪表盘以及各类图表的样式定义与属性修改方法
pvm. svg. basic	SVG 地理信息图基本元素	定义 SVG 地理信息图中的各基本元素(线路、厂站、地图块、文字)及其属性获取与修改方法,以及图形元素的移动、缩放、颜色渐变、闪烁等动画编程接口
pvm. svg. draw	SVG 地理信息图的绘制工具	在 SVG 图中根据电网运行实际状况进行动态绘制,包括潮流箭头、节点电压、母线负荷等高线,以及支撑信息集成与展示的柱状图、条形图、曲线、表格、状态指示灯、标签面板、进度条、时钟、按钮等各类图形元件
pvm. svg. events	交互事件处理	实现 SVG 地理信息图与平台环境中其他可视化元素之间的交互
pvm. svg. fileio	文件输入输出	将 SVG 载入程序、将修改后的 SVG 存档,或对导出的 SVG 进行预处理
pvm. svg. panel	SVG 面板	以上各项 SVG 功能实现的载体,将 SVG 载入此面板中,以嵌入 Java 程序界面
pvm. ui	界面组件	实现基本的可视化界面,改善可视化效果,提供皮肤定制功能

3 智能的人机交互方法

为提高电网运行人员对于电网运行数据与信息感知能力与分析效率,需要开发符合人类信息感知与思维逻辑方式的可视化技术,并以直观、生动的展示方式展现出来,而灵活、高效的人机交互与动态响应方法无疑是其中的关键。从当前的实际应用情

况看,电力系统的可视化开发大多仅将人机交互的方法限制于简单的点击和输入响应。然而全面、智能的人机交互应不仅能够有效传达并使用户快速感知信息,而且应能够基于深度数据挖掘对当前电网运行的各方面因素进行分析,提出合理的建议以辅助决策。

本文对现有的交互方法进行了拓展,并集成于所开发的可视化平台之上。借鉴人工智能的学习训练方法,以事件交互响应为基础,对海量数据与信息进行高效的再组织与整合,提出并实现了学习式、预知式的智能人机交互方式,使可视化平台初步具备了知识与思维的交互能力,一方面提高了电网运行人员对于电网运行数据的接受能力及对于电网运行状态的感知能力,另一方面则针对电力系统的实际运行状况,通过对大量数据的深入分析定位当前的关键问题与薄弱环节,并提出恰当的调整建议。主要功能与实现方法介绍如下。

1)横向关联扩展的信息集成

当用户关注某一特定的电力系统对象或可视化系统的局部展示内容时,自动通过搜索与匹配找出当前关注焦点的相关信息并予以提醒与展示,如机组检修与备用的关系、线路潮流与机组出力调整的关系等。具体实现上,可定制灵活的关联响应窗口,根据用户当前的关注焦点与后台数据的搜索匹配,自动集成展示相关信息,从而在横向上拓展用户的感知范畴,同时通过有效的筛选避免堆积大量无关信息,以造成认知负担。

2)纵向逐层深入的信息挖掘

当用户需要深入探究特定对象的历史状况与变化趋势、特定运行状态的形成原因与后续影响时,可视化平台应基于大量数据的统计与挖掘,对当前关注焦点的历史与未来进行逐层、多维度的展示,对其原因与结果进行由显入微的剖析,进而为用户提供改善运行状态、接近理想目标的合理建议与决策效果的初级评估,如线路潮流的变化趋势分析、机组出力调整影响模拟等。具体实现上,可设计分层展示、逐层深入的交互模式,当用户深度关注特定对象时,自动对历史数据进行扫描,形成分析结果。

3)学习式交互

由于不同用户或同一用户在不同时间所关注的信息并不一致,可视化平台应具备自学习与自适应的智能交互能力,可根据权限设置或者用户行为,记录、学习、记忆用户的使用习惯。学习式交互的培养过程同时也是一个训练过程,经过一定时间的训练,可视化平台能够把握用户在特定场景与时间断面所关心的不同类型的信息,智能地判断不同场景下各类因素之间的特殊关联关系,继而将这些相互关联

的信息进行定制与整合、实现信息的定向展示。

4) 预知式交互

根据关注时间范畴的不同,可视化系统可分析电网运行的预估态、实时态与历史态。预估态注重预测与模拟,历史态注重分析与评估,而实时态则要求系统能灵敏感知电网状态,根据电网运行数据的变动及与历史状况的比较,辨识出即将发生重要变化或已进入警戒阈值的关键信息,预先突出展示这些信息并给出相应的提醒和适当的引导,为调度人员的运行决策提供有效辅助。

4 应用范例

本文所开发的基于 SVG 的可视化平台,目前已应用于山东电网,应用范例见附录 A 图 A1。所采用数据为 2011 年 9 月 19 日山东电网的实际数据。

在山东电网潮流图中,展示了 500 kV 网架的线路潮流。在全网母线负荷密度图中,分别以线路、母线负荷率进行等色渲染,低负荷率为绿、高负荷率为红,并显著标记负荷率最大的几处,以提醒注意。在全网机组检修状态图中,用不同颜色的圆点标志机组的地理位置与运行状态,如运行、检修、临时停机、检修完毕等。点击该圆点,可进一步查看对应机组的详细信息。在综合分析页面中,以重载线路分析为主题,将重载线路的关联信息在一个页面中进行组合与展示。图中的柱状图以不同颜色展示了全天 96 个时段的越限、临界线路分布,直观反映了不同时段线路潮流紧张状况,引导调度人员的关注重点。而通过点击选择一个具体时刻,则可立即获取该时段重载线路的越限容量、负载率等信息,并在 SVG 地理信息图中显示其地理位置与首末节点,以便于快速、准确定位。若选定一条特定线路,在雷达图中还将通过网络拓扑分析,进一步给出对该线路转移分布因子最大的机组信息,并绘制出该线路全天的潮流曲线。通过以上设计,可实现信息的集成展示与挖掘分析,提高了用户对于电网运行状态的感知能力,并提供相应的辅助决策信息。

5 结语

本文以 SVG 技术为核心,开发了统一、兼容、集成的电力系统可视化平台与标准的可视化方法库,构建了支撑包括 SVG 等多种可视化技术的应用平台,形成了具有标准面向对象接口的可视化方法库,开发了功能丰富的可视化展示方法,提出并实现了横向集成、纵向挖掘、学习式与预知式的智能人机交互方式。

本文所开发的可视化平台与方法库可广泛应用于电力系统的运行、评估、管理等可视化系统之中;

可为电网运行人员提供直观、生动的可视化方式,提高电网运行人员对于电网运行数据与信息的感知能力与分析效率,从而对电网的运行状态进行更精细的监测、对电网的运行方式进行更精当的决策和更精准的控制。此外,本文的研究成果将为可视化二次开发提供高效的开发平台与丰富的开发工具,使开发者能够从繁复的代码编写中解脱出来,提高了可视化系统的开发效率。本文的研究成果已应用于山东电网的工程实践。

附录见本刊网络版(<http://aeprs.sgepri.sgcc.com.cn/aeprs/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] OVERBYE T J, WEBER J D. New methods for the visualization of electric power system information[C]// IEEE Symposium on Information Visualization, October 9-10, 2000, Salt Lake City, UT, USA: 131.
- [2] OVERBYE T J, WEBER J D. Visualization of power system data[C]// Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences, January 4-7, 2000, Maui, HI, USA: 7p.
- [3] OVERBYE T J, SUN Y, KLUMP R P, et al. Interactive 3D visualization of power system information[J]. Electric Power Components and Systems, 2003, 31(12): 1205-1215.
- [4] OVERBYE T J. Wide-area power system visualization with geographic data views[C]// 2008 IEEE Power & Energy Society General Meeting, July 20-24, 2008, Pittsburgh, PA, USA: 3p.
- [5] OVERBYE T J, RANTANEN E M, JUDD S. Electric power control center visualization using geographic data views[C]// Bulk Power System Dynamics and Control, August 19-24, 2007, Charleston, SC, USA: 263-270.
- [6] 卢静. 广西电网规划建设应用可视化技术实践[J]. 电力设备, 2006, 7(11): 58-61.
LU Jing. The application of visualization in planning and construction of Guangxi power grid[J]. Electrical Equipment, 2006, 7(11): 58-61.
- [7] 李瑞庆, 赵筠筠, 陈琰, 等. 电网企业信息可视化建设的探索性研究[J]. 华东电力, 2009, 37(2): 205-209.
LI Ruiqing, ZHAO Junjun, CHEN Yan, et al. Exploration of information visualization for grid enterprises[J]. East China Electric Power, 2009, 37(2): 205-209.
- [8] 韩祯祥, 吕捷, 邱家驹. 科学计算可视化及其在电力系统中的应用前景[J]. 电网技术, 1996, 20(7): 22-27.
HAN Zhenxiang, LÜ Jie, QIU Jiaju. Visualization in scientific computing and its application prospects in power systems[J]. Power System Technology, 1996, 20(7): 22-27.
- [9] 胡之武, 邱家驹, 王康元. 电力系统节点运行数据等高线可视化实现方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 55-59.
HU Zhiwu, QIU Jiaju, WANG Kangyuan. Implementation of contour visualization for the nodal operation data of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8): 55-59.
- [10] 刘娆, 李卫东, 吕阳. 电力系统运行状态可视化技术综述[J]. 电

- 力系统自动化,2004,28(8):92-97.
- LIU RAO, LI Weidong, LÜ Yang. Surveys on power system operating state visualization research [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(8): 92-97.
- [11] 杨光. 电网可视化技术[J]. 国际电力, 2004, 8(2): 45-47.
- YANG Guang. Visualization of electric power systems[J]. International Electric Power for China, 2004, 8(2): 45-57.
- [12] 邱家驹, 钱源平, 刘艳. 基于地理信息系统的电力系统静态安全分析可视化方法[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(5): 63-67.
- QIU Jiaju, QIAN Yuanping, LIU Yan. Visualization of power system static security assessment based on GIS [J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(5): 63-67.
- [13] 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[J]. 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 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 20-24.
- [14] 陈伟, 罗毅, 涂光瑜, 等. 动态监视下电力系统状态的可视化[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(8): 68-71.
- CHEN Wei, LUO Yi, TU Guangyu, et al. Power system status visualization for dynamic monitoring[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(8): 68-71.
- [15] 余贻鑫, 宿吉锋, 贾宏杰, 等. 电力大系统电压稳定可行域可视化初探[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(22): 1-5.
- YU Yixin, SU Jifeng, JIA Hongjie, et al. Study on visualization of voltage stability feasible region of bulk power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(22): 1-5.
- [16] 吴文传, 张伯明. 基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J]. 电网技术, 2002, 26(2): 14-18.
- WU Wenchuan, ZHANG Boming. A graphic database based network topology and its application [J]. Power System Technology, 2002, 26(2): 14-18.
- [17] 刘秀玲, 陈超英, 常光宇. 电力系统可视化图形生成系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13(5): 32-35.
- LIU Xiuling, CHEN Chaoying, CHANG Guangyu. An visual graph creating system for electrical system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2001, 13(5): 32-35.
- [18] 王康元, 张洁, 朱丽娟. 基于 SVG 的电网数据可视化图形描述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5): 84-88.
- WANG Kangyuan, ZHANG Jie, ZHU Lijuan. SVG-based power grid data description and visualization[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2006, 18(5): 84-88.
- [19] 朱丽娟, 王康元, 张洁. 基于 SVG 和 Java 的电力系统节点电压可视化[J]. 继电器, 2006, 34(5): 60-63.
- ZHU Lijuan, WANG Kangyuan, ZHANG Jie. Visualization for nodal voltage of power systems based on SVG and Java[J]. Relay, 2006, 34(5): 60-63.
- [20] 樊淑丽, 王康元, 邱家驹, 等. 基于 SVG 的电力信息可视化框架设计[J]. 继电器, 2007, 35(10): 48-51.
- FAN Shuli, WANG Kangyuan, QIU Jiaju, et al. A frame design of power system information visualization based on SVG [J]. Relay, 2007, 35(10): 48-51.
- [21] 张洁. 基于 SVG 的可视化技术在电力系统中的应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [22] 秦华, 高毅雄, 王康元. 能量管理系统中图形 SVG 导出的实现[J]. 继电器, 2006, 34(8): 70-72.
- QIN Hua, GAO Yixiong, WANG Kangyuan. Export technique based on scalable vector graphics(SVG) in EMS[J]. Relay, 2006, 34(8): 70-72.

赖晓文(1988—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 电力系统可视化、电力系统运行调度。E-mail: laixw06@mails.tsinghua.edu.cn

陈启鑫(1982—), 男, 通信作者, 博士, 助理研究员, 主要研究方向: 电力市场、低碳电力技术、电力系统运行、电力规划。E-mail: qxchen@tsinghua.edu.cn

夏清(1957—), 男, 教授, IEEE 高级会员, 主要研究方向: 电力市场、电力规划、负荷预测。

Development of Power System Visualization Platform and Methods Library Based on SVG Technology

LAI Xiaowen¹, CHEN Qixin¹, XIA Qing¹, ZHAO Xiangyu¹, YANG Minghui², ZHANG Jian²

(1. State Key Laboratory of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipments,

Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Shandong Electric Power Dispatching Center, Jinan 250001, China)

Abstract: Modern visualization technology is an important option to improve the intelligence of power system operation. Based on scalable vector graphics (SVG) technology, a unified, compatible, integrated power system visualization platform and standard visualization methods library are developed. The platform can support various visualization technologies including SVG with better compatibility and integration of different types of visualization tools. A visualization methods library based on SVG and geographic information is developed, which automatically matches the actual power grid model and data format. The methods library is flexible, portable and efficient with a standard object-oriented interface. Moreover, integration is realized of intelligent human-computer interaction in the visualization platform and the method library, implementing technologies of similar information integration, data mining, machine learning and forecasting. The intelligent human-computer interaction is beneficial to improving the perceptive and analytic ability of system operators towards power system operation.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51107059).

Key words: smart grid; visualization; scalable vector graphics (SVG); methods library; human-computer interaction; power systems

附录 A



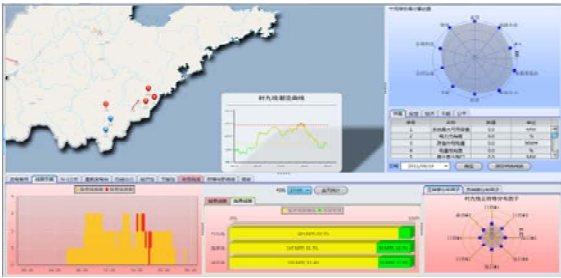
(a) 山东电网 500kV 主网架潮流图



(b) 山东电网母线负荷密度图



(c) 山东电网机组检修状态图



(d) 山东电网重载线路综合分析页面

图 A1 可视化平台应用范例

Fig.A1 Application example of visualization platform