

基于 SVG 的可视化技术在继电保护定值在线校核系统中的应用

周特军^{1,2}, 邱建³, 王春艺¹, 曾耿晖³, 朱林¹, 石东源¹

(1. 强电磁工程与新技术国家重点实验室(华中科技大学), 湖北 武汉 430074; 2. 国家电网公司输变电设备防冰减灾技术重点实验室, 湖南 长沙 410007; 3. 广东电网公司电力调度通信中心, 广东 广州 510600)

摘要: 随着越来越多的电力自动化系统集成于调度自动化平台, 图形系统的标准化与图形共享是电力自动化系统研究的重要方向之一。针对目前继电保护定值在线校核系统图形建模存在的问题, 提出了从整定计算系统、故障信息系统中导出图形文件再导入到定值在线校核系统的方案, 实现了上述系统图形之间的无缝连接, 达到了图形共享的目的。在简要分析继电保护定值校核图形交互、数据可视化需求的基础上, 采用 .Net 平台反射机制与 JavaScript 函数之间相互通信, 实现了继电保护定值校核结果的动态刷新与良好交互。通过采用多种展示手段, 很好地实现了告警功能。目前, 所采用的方案在某省级电网公司在在线校核系统中得到了成功应用。

关键词: 继电保护; 定值在线校核; 图形建模; 可扩展向量图形; 反射机制

Application of visualization technology based on SVG in on-line relay settings verification system

ZHOU Tejun^{1,2}, QIU Jian³, WANG Chunyi¹, ZENG Genghui³, ZHU Lin¹, SHI Dongyuan¹

(1. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology (Huazhong University of Science and Technology), Wuhan 430074, China; 2. Power Transmission and Distribution Equipment Anti-icing & Reducing-disaster Technology Key Lab of State Grid of China, Changsha 410007, China; 3. Guangdong Power Dispatch Center, Guangzhou 510600, China)

Abstract: As more and more electric power automation system integrated to dispatch automation platform, standardization of power graphics system and graphics sharing technology is one of the most important field of research of power automation system. The problems encountered in graphic modeling of on-line relay settings verification for protective relay are analyzed. A scheme which exports graphic files from protection relay setting coordination system, fault information system with the format of scalable vector graphics then the files are imported into the given value online checking system is presented. The goal seamless link between power automation systems is reached. Based on the requirements analysis of graphical interaction and data visualization in on-line relay settings verification for protective relay, by the way of realizing intercommunication between of .net and JavaScript, the graphics in on-line relay settings verification system can be dynamically refreshed. The proposed method has been successfully applied in multiple provincial-level power dispatch center.

Key words: relay protection; on-line relay settings verification; graphic modeling; SVG; reflection mechanism

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)16-0112-06

0 引言

随着电网结构变化越来越频繁, 通过离线整定计算确定的继电保护定值能否满足电网实际方式要求的要求, 成为关系电网安全运行的重要问题, 在近年来日益得到重视, 使得继电保护定值在线校

核系统的建设成为电力系统自动化发展的重要方向之一^[1-6]。继电保护定值在线校核系统通常采用 EMS 系统的一次设备模型与拓扑, 从整定计算系统中获取零序参数、互感参数以及二次系统模型, 从故障信息系统和定值管理系统获取运行定值, 通过快速的在线计算, 校核各保护装置的定值在电网实

际运行方式下能否满足灵敏度和选择性要求, 并具备足够的躲负荷能力。随着现代电网信息化水平的提高, 将继电保护定值在线校核系统这一应用集成于电网调度中心的在线应用系统是大势所趋。

目前大部分电力自动化系统是基于独立的图形系统建立模型, 且图形格式多样, 可移植性差, 导致了系统之间图形互操作困难。SVG 技术作为国际范围内电力行业的图形标准, 已经在国内的很多系统中成功应用^[7-13]。其中文献[7]将 SVG 作为电力系统图形可视化的基础, 以 Java 作为电力系统可视化的开发平台, 利用等高线算法实现大区域电力系统节点电压的可视化显示。文献[8]针对能量管理系统中源图形的缺点, 介绍了所设计的能量管理系统中图形导出方案, 重点介绍了在导出过程中所采用的关键技术和应注意的问题。文献[9]结合 ASF(Apache Software Foundation)的开放源码项目 Batik, 对电力图元库模块应用面向对象的方法进行了分析和设计, 基于 Java 开发平台实现了基于 SVG 的电力图元库系统。文献[10]结合 SVG 转换技术实现了全网的在线监控, 为全网的状态估计、调度员培训模拟系统的联合反事故演习等提供了模型和画面支持。

继电保护定值在线校核系统通过与其他电力自动化系统进行数据、图形交换来建立并维护数据模型^[14-15]、图形模型, 其中图形模型的建立和可视化面临以下困难:

1) 由于各个异构信息系统之间数据模型不完全相同, 如何实现在线校核系统的一二次系统图模数一体化以及准确反映电网实时拓扑是一大难题。

2) 继电保护定值在线校核系统每五分钟从 EMS 系统导入运行方式信息, 当电网拓扑不断变化时, 要求系统实现 JavaScript 函数与 .Net 平台相互通信, 以实现 SVG 图形的实时刷新。

3) 为了实现厂站内部元件状态的可视化以及保护装置的可视化, 需要从故障信息系统导入厂站内部图形实现复用。

4) 继电保护定值校核系统数据量大, 校核结果展示繁琐, 要求系统具有较高的可视化水平和多种数据展示手段。

基于上述分析, 本文以继电保护定值校核系统为背景, 以 SVG 文件作为图形交互、展示手段, 将实现整定计算系统图形的导出导入, 通过采用反射技术实现定值在线校核系统中 SVG 图形的交互操作与实时数据的动态刷新, 并拟完成对故障信息系统厂站内部图的复用。通过实现继电保护定值在线校核系统的可视化, 可以提高定值在线校核系统信

息展示的有效性 with 直观性。

1 SVG 的技术特点与电力系统图形建模

1.1 SVG 的技术特点

SVG 作为 W3C 组织提出的可扩展矢量图形语言描述规范, 与 GIF、PNG 等其他格式的图形相比, 具有显著特点, 主要表现在以下几个方面: 首先, SVG 技术基于 XML 的标准, 具有可重用性高、跨平台性好和易于扩展性的特点。其次, SVG 图形具有无极缩放的特点, 能提供更加清晰的画质以及打印功能。同时, SVG 本身提供动画、滤镜等高级渲染功能, 能通过简单的定义与应用即可实现动画等高级功能, 大大减少开发人员的工作量。SVG 文件表示同样复杂的数据时, 其数据量小, 能比较好地在网络上传输。最后, SVG 文件可以嵌入 JavaScript 语言来访问、改变节点属性, 同时支持鼠标、键盘等事件的输入, 能更好地实现系统对图形的交互。

1.2 电力系统图形建模

继电保护定值在线校核系统作为实时校核电网定值性能的系统, 为电网安全运行辅助决策提供指导意见, 系统的交互性和可视化显得尤其重要。本文中所示系统在 SVG 图形中采用图层控制、分层查看、动画、滤镜等技术, 为电网数据的管理、方式的设置等复杂而频繁的操作提供了方便, 同时使继电保护定值在线校核结果展示的直观性得到了提升。根据继电保护在线校核系统交互性与可视化的要求, 本文方案中自定义了图元描述模型。

本文中继电保护定值在线校核系统的图形系统的 SVG 文件 DOM 结构如图 1 所示。

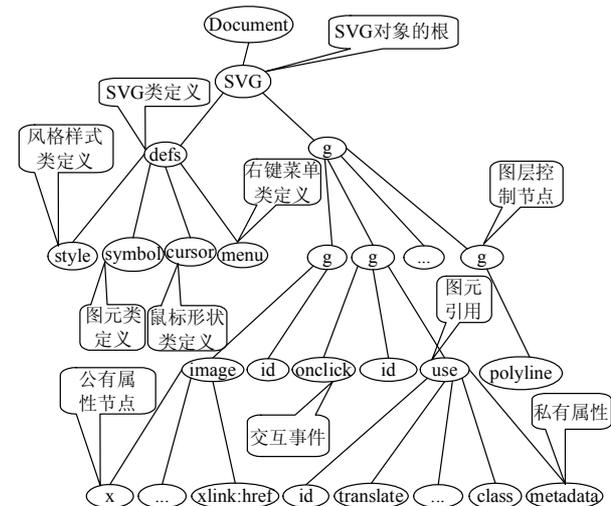


图 1 SVG 文件 DOM 树

Fig. 1 DOM tree of SVG file

以上模型中页面描述功能元素包括：文字元素(text)、图像元素(image)、路径元素(path)。应用属性定义分为公有属性和私有属性。为了添加图形的背景而添加backgroundlayer,需要描述图像元素模型。

根据以上 DOM 树所描述的模型，可以定义如下代码作为示例详细说明。

```

<g id="Station" onclick="GetStationID(evt)"
    cursor="url(#MyCursorPointer)"
    onmouseover="ShowName(evt)">
  <use id="15" x="1210" y="472"
    xlink:href="#symbolStation"
    class="kV220" name="丹江"
    <metadata>
      <common:ObjRefObjectID="21000028"/>
      .....
    </metadata>
  </use>
  .....
</g>

```

上述代码定义了厂站图层，该图层的 id 为“Station”，单击厂站图层中任何一个厂站元素能获得该站的统一资源 id 并赋值给 JavaScript 函数中的全局变量。当鼠标停留于厂站图层的任一元素上时，系统自动识别并将鼠标图标显示为用户自定义图标，以方便用户准确交互。同时，在厂站图层中通过 use 引用厂站图元“symbolStation”，示例中厂站在整定计算系统中的统一资源标识符 id 为“15”，厂站位于图形中的坐标为“(1210, 472)”，其风格样式属性定义为“kV220”。自定义私有属性厂站名称“丹江”，<metadata>元素可以定义数据对象与私有信息，通过<metadata>元素的描述内容可以与整定计算系统数据模型文件中厂站相关联。

2 定值在线校核系统图形获取与可视化

2.1 定值在线校核系统图形获取

图形系统作为用户交互与获取信息最直接的途径，其表达方式须尽量满足用户操作以及可视化的需求。EMS 系统具备导出系统一次接线图形的功能，但是该图形繁琐复杂且不能很好地表达整定计算时设备之间的配合关系。为了尽量准确完整地显示厂站内部元件及保护装置信息，当故障信息系统子站配置有该厂站时，则直接采用故障信息系统的 SVG 图形，若故障信息系统没有配置该厂站，则导出整定计算系统中厂站内部图。不管是系统一次接线图还是厂站内部元件图，都需要根据图形交互的需求定义交互事件，并将对应的交互事件与相应的图形相关联，实现系统的交互操作。

经过上述分析，对于在线校核系统一次接线图不直接解析 EMS 系统导出的 SVG 图形，而是从与继电保护定值在线校核系统功能更加接近的离线整定计算系统中导出 XML 图形文件。综合数据平台中的图形生成模块，根据章节 1.2 节描述的图形扩展模型读取该 XML 文件自动生成 SVG 图形。继电保护定值在线校核系统的单线图 SVG 文件包括有背景层(background)、厂站层(stationlayer)、线路层(linelaye r)、文字名称层(namelayer)等 7 个<g>元素来控制单线图的分层显示与控制。此时整定计算系统中的 SVG 图形中元数据包含有整定计算系统数据模型的厂站、设备名称、id 等静态基本信息，然后根据该 id 关联数据模型文件或者连接数据库获取更多参数信息。

对于厂站内部图，可以通过复用故障信息系统厂站内部图实现交互与可视化。根据整定计算系统与故障信息系统数据匹配关系，导入故障信息系统厂站内部保护装置配置图，予以展示并供用户交互，大大的方便了用户的操作，并为厂站内部数据的可视化提供了可能。同时，需要根据 EMS 系统、整定计算系统与故障信息系统数据匹配关系读取到开关状态并动态修改故障信息系统厂站内部图的开关状态。

继电保护定值在线校核的综合数据平台提供 EMS 系统与整定计算系统数据自动、人工匹配的功能。EMS 系统中的所有厂站和设备都能在整定计算系统中对应。SVG 图形元素根据统一资源 id 与整定计算系统数据关联信息，然后根据整定计算系统与 EMS 系统数据的匹配关系即能确定设备的投停状态等信息，程序再自动根据该状态设置 SVG 图形中元件的属性从而实现在线校核系统元件的可视化，具体实现如图 2 所示。整定计算系统与故障信

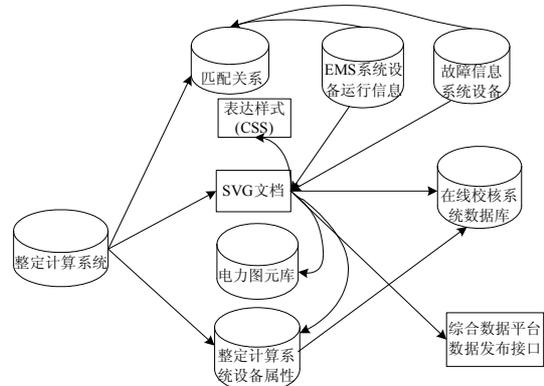


图 2 定值在线校核系统图形生成方式

Fig. 2 Graph generation of online verification for protective relay

息系统数据的数据关联类似于整定计算系统与 EMS 系统的数据关联方法。

另外,当故障信息系统 SVG 图形中的 text 节点内容为中文且在 Adobe SVGViewer 上显示为乱码时,需要动态修改字体属性。

通过匹配 EMS 系统、故障信息系统与整定计算系统数据并导出 EMS 系统图形、故障信息系统厂站内部图与整定计算系统图形为同一图形格式标准,能方便地实现上述三个系统之间的图形互操作。当这些图形在同一个系统中使用时,相当于实现一对多图的功能,为继电保护定值在线校核系统可视化提供了方便。

2.2 JavaScript 与 .Net 基于反射机制的相互通信

目前主流的浏览器都直接支持 SVG 格式图形的显示,本文中继电保护定值在线校核系统在 .Net 平台下开发,其图形系统在 SVG Document 控件上展示。Adobe SVGViewer 中内嵌有 JavaScript 解析运行引擎,当实时数据刷新或者用户操作时需要实现 VB.Net 函数与 JavaScript 函数相互通信。通过调用 System.Reflection 中 Assembly 类的函数来加载由元数据(metadata)和代码组成的装配件。本文采用的 .Net 反射机制实际上就是采用反射跨平台调用类型或者触发方法,得到程序集中的属性和方法,实现 VB.Net 与 JavaScript 的双向通信。例如校核系统中使用的函数 SWin.InvokeMethod("GetStationId"),该函数功能是通过 SVG 文件内嵌的 JavaScript 脚本 GetStationId() 函数获取在交互操作中选中的厂站 id 并将该 id 赋值给 VB.Net 平台中的变量。又如当一个定值校核过程完成后,通过自动调用函数 SWin.InvokeMethod("TwinkleLine",arrUnsatisfy),将 .Net 平台定义的数组存储校核结果不满足的定值及详细校核结果信息传递给 JavaScript 脚本,然后通过调用 JavaScript 脚本中 TwinkleLine 函数,将不满足校核需求的线路 id 以数组元素形式传递给 JavaScript 控制引擎,使不满足校核结果的线路元素闪烁,以达到满足告警的目的。

其动态刷新和用户交互通信原理如图 3 所示。包括有以下几个步骤:

① 用户在人机交互界面操作,调用 SVG 文件的 JavaScript 控制函数;

② JavaScript 控制函数获取到 SVG 文件中节点属性信息,并根据操作类型对应 .Net 平台的函数名,并将这些信息作为参数传递给 .Net 平台。

③ .Net 平台根据该函数名以及函数参数查询在线校核系统数据库并将相应数据封装,返回 JavaScript 控制器。

④ JavaScript 控制器读取这些数据并执行回调函数,将数据信息在 SVG 图形上显示。

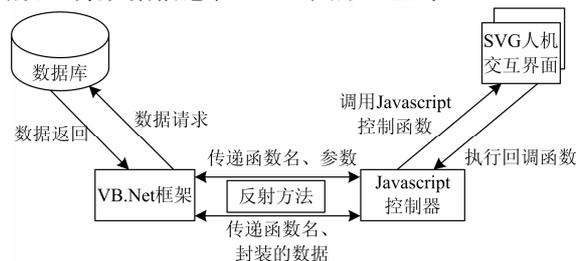


图 3 动态刷新数据原理图

Fig. 3 Schematic of dynamic refreshing graph

另外,针对继电保护定值在线校核系统的具体功能,有必要实现对故障信息系统导出的 SVG 图形进行动态节点添加、节点属性修改、动态事件添加等操作。基于上述反射机制的相互通信,可以在 VB.Net 中创建用于读取 SVG 文件的类,进而使用该完全控制故障信息系统导出的 SVG 图形,实现代码的简易化。

```

Dim objDefDisconElement As RelayASV3.Element
objDefDisconElement=svgDoc.createElement("symbol")
objDefDisconElement.setAttribute("id","Disconnector:
闭合刀闸_1")
objAppendDiscon= svgDoc.createElement("rect")
.....
objDefDisconElement.appendChild(objAppendDiscon)
  
```

上述代码在 VB.Net 平台下使用定义的类 RelayASV3 动态地在故障信息系统导出 SVG 图形上添加断路器的图元 symbol,并为新定义图元赋予相应 id,最后为图元附加了矩形框等元素,使得当有元件引用该图元时显示在该处定义的图元。对 SVG 图形其余的控制操作类似。

3 工程应用

下面简要介绍某省电力公司继电保护定值校核及预警系统中的基于 SVG 技术的图形生成、交互与可视化的成功应用。通过综合数据平台中在线方式获取模块解析并导入 CIM 文件,然后自动匹配整定计算系统与 EMS 系统厂站和一次设备名称建立匹配关系。通过定值获取模块导入故障信息系统数据并自动与整定计算系统数据建立匹配关系。继电保护定值在线校核系统提供图形、列表以及文档输出生成等方式展示设备运行状态。

当用户选中继电保护定值在线校核系统的一个校核过程时,SVG 图形实现动画显示定值在线校核系统结果:对于后备保护定值校核结果不满足的一

- LI Jianghua, SONG Wei, ZHOU Qingjie, et al. Research on setting calculation data center based on splicing of graph and model[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(20): 9-13.
- [5] 蒙亮, 黄超, 陈金富. 基于 EMS 的继电保护智能在线校核系统[J]. 广西电力, 2012, 35(2): 20-23.
- MENG Liang, HUANG Chao, CHEN Jinfu. EMS based intelligent on-line relay protection checking system[J]. Guangxi Electric Power, 2012, 35(2): 20-23.
- [6] 梁立凯, 韩学山, 王艳玲, 等. 输电线路载荷能力在线定值[J]. 电工技术学报, 2013, 28(2): 279-284.
- LIANG Likai, HAN Xueshan, WANG Yanling, et al. Online valuation of transmission line loadability[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(2): 279-284.
- [7] 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. Power system voltage visualization based on SVG and Java[J]. Relay, 2006, 34(5): 60-63.
- [8] 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.
- TAI Hua, GAO Yixiong, WANG Kangyuan. Implementation of exporting energy management system SVG graph[J]. Relay, 2006, 34(8): 70-72.
- [9] 徐冲, 王康元, 邱家驹, 等. 基于 GML 和 SVG 的电力图形系统研究[J]. 继电器, 2008, 36(9): 64-68.
- XU Chong, WANG Kangyuan, QIU Jiaju, et al. Study of power graphics system based on GML and SVG[J]. Relay, 2008, 36(9): 64-68.
- [10] 米为民, 韦凌霄, 钱静, 等. 基于 CIM XML 的电网模型合并方法在北京电力公司调度系统中的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(10): 33-37.
- MI Weimin, WEI Lingxiao, QIAN Jing, et al. Network model with method of CIM based on XML used in the dispatching system of Beijing Electric Power Corporation[J]. Power System Technology, 2008, 32(10): 33-37.
- [11] 郭挺, 谢敏, 刘明波, 等. SVG 和 Ajax 技术在电网分析与辅助决策支持系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 83-89.
- GUO Ting, XIE Min, LIU Mingbo, et al. Application of SVG and Ajax technique into power network analysis and decision support systems[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(4): 83-89.
- [12] 石东源, 卢炎生, 王星华, 等. SVG 及其在电力系统软件图形化中的应用初探[J]. 继电器, 2004, 32(16): 37-40.
- SHI Dongyuan, LU Yansheng, WANG Xinghua, et al. Study on SVG and its application in power system graphic software[J]. Relay, 2004, 32(16): 37-40.
- [13] 刘莉, 屈志坚, 王健. 基于 SVG 和 Web Service 的监控图库关联组件柔性重构[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 179-182, 219.
- LIU Li, QU Zhijian, WANG Jian. Graph-database component flexible reconstruction of monitoring based on SVG and Web service[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 179-182, 219.
- [14] 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.
- [15] 张兆云, 陈卫, 张哲, 等. 一种广域差动保护实现方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 297-303.
- ZHANG Zhaoyun, CHEN Wei, ZHANG Zhe, et al. A method of wide-area differential protection[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 297-303.

收稿日期: 2014-11-04; 修回日期: 2014-12-01

作者简介:

周特军(1988-), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事电力系统继电保护整定; E-mail: zhoutejun1988@126.com

邱建(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护整定工作。

(编辑 张爱琴)