



摘 要

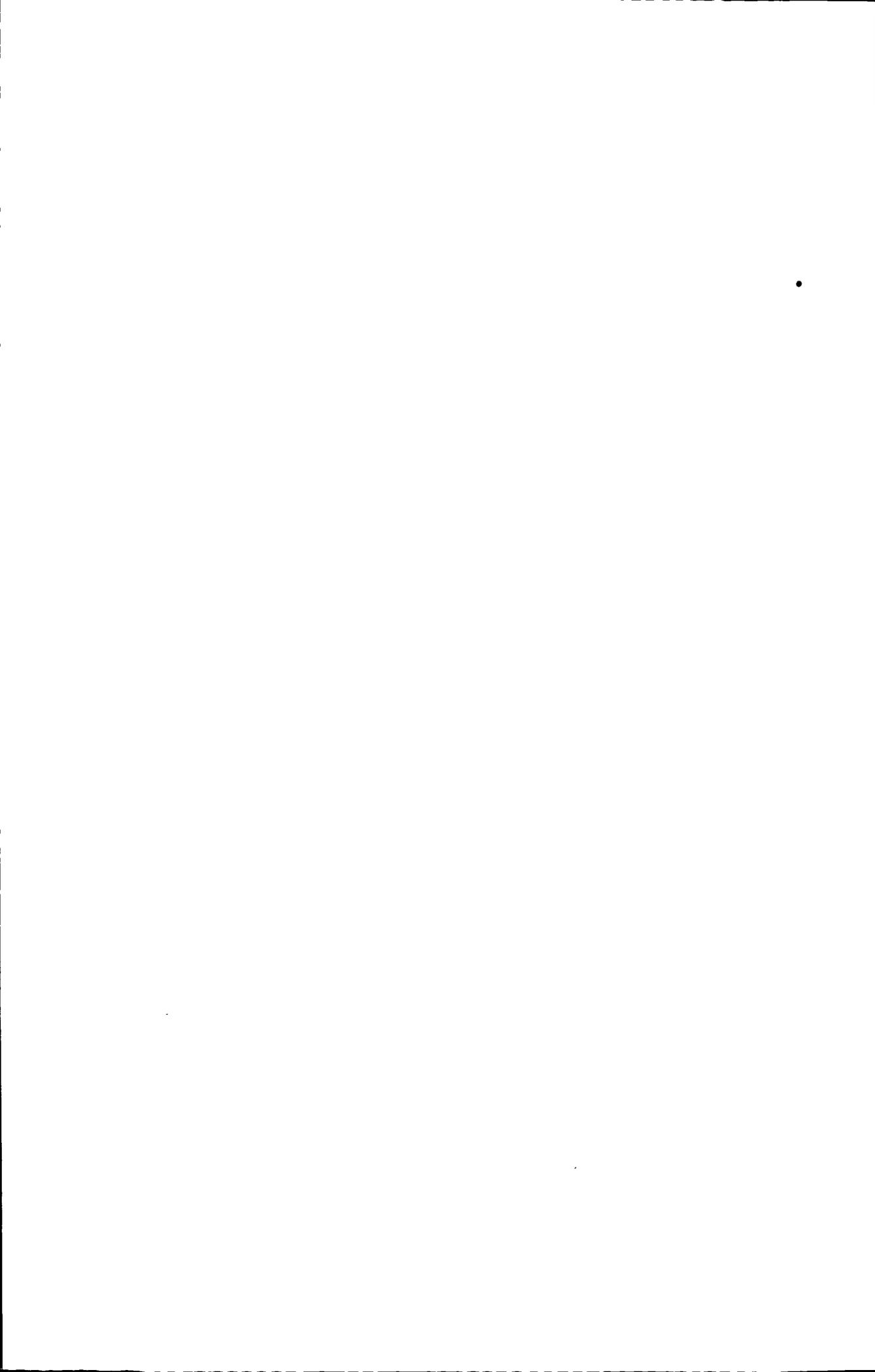
电网调度的目的是保障电网的安全、优质、经济运行，作为 EMS 能量管理系统中的核心功能之一，随着电网规模的扩大和监视要求的提升，传统的 Web 服务已逐渐不能适应新时代的要求。论文从 Web 的工作机理以及电网调度系统中 Web 的工作性质入手，分析电网调度 Web 的发展趋势，并在此基础上开展论文的研究工作。论文首先就 SVG 的电网图形做技术上的分析，就图形实现方法做了详尽研究，并给出基本的设计方法。然后针对传统 Web 客户端的缺点，提出使用 Ajax 技术作为客户端的技术框架，结合 SVG 实现数据传输上的优化，并实现电网信息的可视化。最后通过实例分析，验证了本文的设计是可行且有效的。

关键词：电网调度，EMS，Web，SVG，Ajax，可视化

ABSTRACT

The aid of power grid is to protect the security of power grid, so as it can high quality, economic operate. As one of the core functions of EMS, with the expansion of the scale grid and upgrading of monitoring requirements, traditional web services had not been gradually adapt to the new demands of the times. The thesis' work start from the researching of web's working mechanism, and the nature of web working in power System dispatch. Soon the thesis has also analyzed of the development trend of dispatch power system web. The thesis begin with analysis of SVG figure applying on power system, after researching the way of SVG realization, it proposes a design method. Later, against the shortcomings of the traditional Web client, thesis proposes to use Ajax technology and SVG to resolve problem of data transmission. Finally, through an example analysis, this thesis validate the correctness and effect of the design.

KEY WORDS: power system dispatch, Web, SVG, Ajax, Visualization



目 录

中文摘要	
英文摘要	
第一章 绪论	1
1.1 选题背景及其意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.3 本文的主要工作内容	3
第二章 电网调度中的 Web 技术	5
2.1 Web 技术	5
2.1.1 Web 定义	5
2.1.2 Web 的工作原理	5
2.1.3 Web 系统的组成	6
2.2 电网调度系统中的 Web	7
2.2.1 电网调度 Web 的结构	7
2.2.2 电网调度 Web 的作用	8
2.2.3 电网调度 Web 中的可视化技术发展	8
第三章 基于 SVG 的 Web 发布技术	10
3.1 SVG 技术	10
3.1.1 SVG 的定义	10
3.1.2 SVG 的特点	10
3.1.3 电网调度 Web 使用 SVG 图形的必要性	11
3.2 SVG 电网图形的设计	11
3.2.1 基本图元设计	11
3.2.2 电力图元设计	13
3.2.3 电网图形设计	15
3.2.4 图形数据获取	16
3.3 SVG 图形的 Web 发布	17
3.4 本章小结	18
第四章 基于 Ajax 和 SVG 的 Web 综合应用	20
4.1 Web 客户端技术分析	20
4.1.1 传统的 Web 客户端技术	20
4.1.2 需要解决的问题	21
4.2 Ajax 技术	21
4.2.1 Ajax 的定义	21
4.2.2 Ajax 的优点	22
4.2.3 Ajax 的工作原理	22
4.3 Ajax 对 SVG 图形的优化	24
4.3.1 数据封装	24
4.3.2 实时数据刷新	25
4.3.3 历史数据处理	27
4.3.3 图形互操作	28
4.4 基于 Ajax 和 SVG 的可视化技术	29
4.4.1 可视化技术	29

4.4.2 可视化技术分类.....	30
4.4.3 潮流动画实例.....	31
4.5 本章小结.....	33
第五章 实例分析.....	35
5.1 定西调度 Web 存在的问题	35
5.2 实例应用.....	35
5.2.1 SVG 图形的 Web 发布	35
5.2.2 基于 SVG 和 Ajax 的数据查询.....	36
5.2.3 基于 SVG 和 Ajax 的潮流动画设计	39
5.3 本章小结.....	40
第六章 结论与展望	41
6.1 结论.....	41
6.2 展望.....	41
参考文献.....	43
致 谢	46
在校期间发表的学术论文和参加科研情况	47

第一章 绪论

1.1 选题背景及其意义

随着电网规模的日益增大,电网实时运行状况越来越受到电力系统相关技术、管理人员的关注,电网调度 Web 发布通过网页形式,将电网实时运行情况通过动态可视化图形传输给电网分析和管理人员,使相关人员更清楚的掌握电网实时运行情况已成为亟待解决的问题。但是,传统 Web 技术已不能满足这种功能需求,需要研究新技术,实现电网调度 Web 服务的可视化。

作为一种多用途图形,SVG 可以使用浏览器直接查看,这意味着 SVG 也可作为 Web 发布实时监视的图形。但是,采用单一 SVG 图形技术来实现电网图形的可视化还存在数据刷新效率低下、图形互操作性差的问题。因此,SVG 技术在 Web 上的应用,还有待于进一步研究。

Ajax 是一种新的 Web 客户端技术,它以数据封装、异步传输的方式提高 SVG 图形的数据刷新效率,因此,本论文引入到 Ajax 概念用于改善 Web 客户端,尤其是使用 Ajax 技术结合 SVG 图形技术,对电网调度的 Web 发布实现图形可视化具有重要的改进作用。

1.2 国内外研究现状

本文所涉及的三种关键技术:SVG、Ajax、Web。就目前国内外的研究而言,对每种技术单独的研究较多,但是很少有将之综合并用于电力系统中的研究,总的来说,目前的研究状况如下:

1)、SVG 图形技术

SVG 作为电力系统所应用的图形,有两个方面的特点:首先它是电力图形标准化的关键;其次,SVG 可延伸到电力技术许多其他领域,如电力系统的可视化等。

目前对 SVG 的标准化工作研究主要集中于它与 IEC61970 规范的两个核心,即 CIM (公共信息模型)和 CIS (组件接口规范)之间的图形、数据交互方法。研究包括如何从 CIM 中导出形成电网图形所需的信息,包括各个设备信息、连接点信息、元数据信息等;以及如何从 CIS 中获取实时数据和历史数据。

如文献[1]是浙江省电力公司于 2006 年发布的 SVG 电网图形的交互规则,该文献中详细规定了基于 SVG 的 EMS 系统间的交互规则及 EMS 系统与生产管理信息系统其他应用系统的图形交互规则。该规定中,制订了 SVG 元数据的交换方式,导出 CIM 模型中的拓扑/连接关系的方法,以及 SVG 电网图形的具体描述细节,该规定奠

定了 SVG 图形的标准化工作的基础。

文献[4]则论述了如何基于 CIM 和 SVG 进行电网建模。在 IEC-61970 标准的基础上结合 CIM 和 SVG 建立电网模型, 并采用图模一体化技术构建图形建模系统。论述了基于设备模型完成拓扑结构自动生成和完整性检查的功能, 并对图形数据和模型数据分别采用 SVG 格式和 XML 语言进行标准化存取。

作为电网图形, 图形结构和数据来源都是必不可少的。目前对于 SVG 数据接口的研究集中于 SVG 如何从 CIS 接口中获取数据。在 CIS 的接口定义中, 规定了通用数据访问、高速数据访问、通用事件订阅和时间序列数据访问四种数据获取方法。通用数据访问用来提供历史数据, 而高速数据访问则提供实时数据。文献[5]分析了 SVG 图形所需要的数据接口问题, 对通用数据访问和高速数据访问的所有组件接口的实现方法作了相关研究, 这种数据访问方式可在 IEC61970 框架下为 SVG 电网图形提供实时数据和历史数据的接口。

CIS 组件接口规范提供了四种数据中间件的方法来实现异构系统之间的数据共享, 分别为 CORBA、EJB、COM 和 Web service。这四种中间件各有优势, 由于 Web service 属于 Web 技术, 采用 Web service 作为数据中间件提供数据接口, 即解决了 SVG 图形数据来源的问题, 也可以作为中间件通过 Web 服务器向其他应用系统提供数据。

文献[6]在分析能量管理系统(EMS)Web 服务特点的基础上, 提出了一种基于 SVG 和 Web Service 技术的 Web 监视新方案。该方案以 SVG 作为 EMS 图形系统的 Web 发布和显示格式, 阐述了 SVG 图形的生成和使用方法, 对于 SVG 从 Web Service 中获取数据有一定指导意义。但是该方案没有对 SVG 图形中各图元按照数据刷新率分类, 以提高数据传输效率。

除了图形标准化之外, SVG 图形的另一个主要目的就是实现电网信息的可视化。实现基于 SVG 的电网信息可视化, 首先要建立 SVG 格式的电力图元库。文献[8]在基本的 SVG 文档规范的基础上确立电力系统图形系统的构成和交换方式, 建立基于 SVG 的电力图元库, 并阐述了设备图元属性的定义方法。结合图形开发工具, 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。

在实现 SVG 电力图元的基础上, 进一步以图元为单位, 构建完整的电网图, 并能正确显示电网结构和电网数据。文献[10]中提出了基于 SVG 的电网数据可视化图形描述方案, 应用于电网数据可视化系统的设计。该方案结合电力系统中图形资源的特性, 利用 SVG 的特点给出了电力系统图形资源的组织结构和可视化图形的渲染方法, 在此基础上提出电网数据可视化系统的设计方案。

这些基于 SVG 的电网信息可视化研究提供了一些 SVG 可视化实现的有效方法, 不过它们都不是在 Web 中实现, 与使用 Web 来发布 SVG 电网图形的可视化核心技术

还是有一定差别。

2)、Ajax 与 Web 的研究

目前,对于 Ajax 和 Web 绝大多数的研究停留在在计算机领域,对于这种网络技术在电力系统中的应用研究,还处于探索阶段。

传统 Web 发布实时监视画面是通过控件实现。文献[22] 根据对网络技术和组态软件的最新研究与开发,设计了一种网络环境下的组态软件系统,并利用 ActiveX 技术将 Internet 技术与电力监视系统结合起来,从而形成了一种基于浏览器的电力监视组态软件。这种技术是典型的传统 Web 实现电网监视可视化的工作手段,虽然目前已逐渐被淘汰,但其对实时电网监视的原理还是有一定实用指导意义。

SVG 已成为可视化发布的图形标准,但是如何通过 Web 发布 SVG 格式的实时监视画面,采用什么技术实现图形的刷新,是目前的研究重点。文献[24]研究了基于 Ajax 的变电站嵌入式 Web 发布系统。该研究者为了适应对变电站 Web 数据频繁更新的需求,提高嵌入式 Web 服务器的响应效率,简化服务器端回发的数据,增强 Web 应用功能,设计了以 Ajax 技术为基础的变电站嵌入式 Web 发布系统。该研究创新的将 Ajax 技术引入了电力系统应用中,但其关注的只是数据问题,而 SVG 还包括图形操作问题亟待解决。

如上所述,目前对于 SVG、Ajax 在电力 Web 中的应用研究,国内外学者已做了不少的探索,但这些研究都是零散的,独立的,没有将这些技术融合到一起,以形成一个功能更强大的基于 SVG 图形的 Web 发布技术。

要基于 SVG 和 Ajax 构建电网调度的 Web 发布系统,应满足以下要求:

1.能够以 SVG 来描述电网中的各个图元,通过连接关系使之组织为一个完整的电网图形,并通过 Web 来发布。

2.能够处理 SVG 电网图形中的各种相关信息和数据,对于历史数据和设备信息,当客户查询时能够得到正确的结果。对实时数据则要求其须具有良好的时效性,数据刷新时间必须满足系统要求。

3.使用 Ajax 处理 SVG 图形,需保证这种综合性应用能够实现电网信息的可视化。实时采集上来的遥信、遥测等数据,能以动画或图形的方式显示电网功率分布和电压分布情况,并且在其中显示出线路功率越限情况和节点电压越限情况。

1.3 本文的主要工作内容

针对目前采用 SVG 技术实现 Web 发布可视化的问题,以及 Web 发布中 SVG 图形数据传输效率的改进方法,本文做了以下工作:

1)、在对 SVG 的技术特征进行深入研究之后,结合电网调度中的数据特性和图形特性,提出并设计了 SVG 电网调度图形的程序实现方法。

2)、针对传统 Web 客户端技术的缺点,提出了以 Ajax 技术作为客户端的技术框架,以改善 SVG 图形的数据传输效率。

3)、综合 Ajax 技术与 SVG 图形,设计了动态潮流的实现程序,以探讨该综合技术在电网信息可视化中的应用。

4)、将基于 SVG 和 Ajax 的 Web 系统应用于甘肃定西电网,举例验证了该系统的可行性。

第二章 电网调度中的 Web 技术

2.1 Web 技术

2.1.1 Web 定义

World Wide Web, 简称 WWW, 是英国人 TimBerners-Lee 1989 年在欧洲共同体的一个大型科研机构任职时发明的。通过 Web, 互联网上的资源, 可以在一个网页里比较直观的表现出来; 而且资源之间, 在网页上可以链来链去。简而言之, Web 就是通过网页浏览, 来获取我们需要的信息。

2.1.2 Web 的工作原理

提到 Web 应用, 许多人都会立刻想到网页。网页的确是当今最普遍也是最成功的 Web 应用形式, 然而 Web 应用的含义却远不止如此。Web 应用除了网站应用以外, 还可以构建动态的程序, 通过英特网在客户端与服务器之间传递信息。从原理上讲, Web 应用首先由客户端向服务器端发出浏览请求, 然后由服务器以文本的方式将信息返回客户端。这些文本按照一定的规范构成, 这种规范便是超文本标记语言 (HTML)。有了 HTML 协议, 就相当于在服务器和客户端之间建立了一个双向的通道, 信息可在其中以固定的格式传递。

以下是 Web 应用的运行过程:

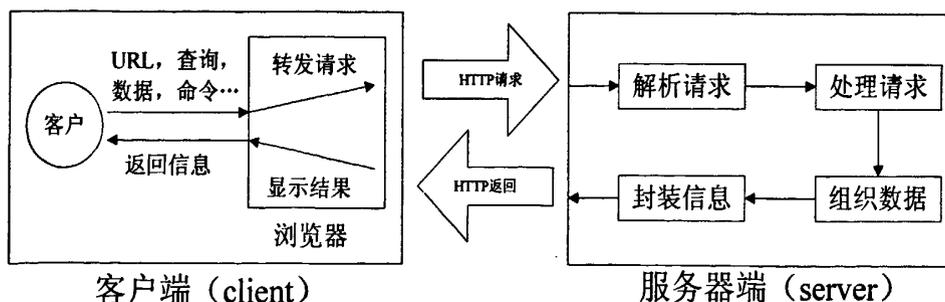


图 2-1 Web 运行原理图

如图, 首先由客户端发起请求, 该请求通常是按照 HTTP 协议进行封装信息; 服务器接收到客户端发来的信息后, 按照 HTML 协议解析信息, 取出其中的有效请求; 然后根据这一请求调用相关程序处理数据, 接着再将数据按照 HTML 协议封装完毕后发送给客户端; 当信息被传送到客户端后, 客户端的浏览器按照 HTML 协议解析出数据, 并以相应的表现形式将其展示出来, 这就是我们通常看到的 Web 界面。

随着 Web 应用技术的不断发展,除了用于构建网站外,越来越多的企业也开始构建基于 Web 技术的应用系统。Web 属于 B/S (浏览器/服务器)结构,与 C/S (客户端/服务器)结构相比,B/S 结构具备以下优点:

1)、具有分布性特点。只要客户与 Web 服务器处于一个网络,可随时随地通过浏览器进行查询、浏览。而 C/S 结构必须在客户端安装配套软件,才能从服务器获取信息。

2)、业务扩展简单方便。要增加或改变某个功能,只需在 Web 服务器做改动,客户端则通过网页浏览时会自动增加该新功能。

3)、维护简单方便。维护只针对 Web 服务器,不必像 C/S 结构对服务器和客户端都要进行维护。

2.1.3 Web 系统的组成

一个基本的 Web 系统应包括两个部分,即 Web 服务器、Web 客户端。

1)、Web 服务器

目前,应用最多的 Web 服务器是由 Microsoft 的 IIS 或开放性的 Apache 两个服务器软件来实现的,这两个服务器软件的基本作用有以下三点:

1. 负责与 Web 客户端交流,处理客户请求并返回信息
2. 完成对服务器语言的解析
3. 管理服务器脚本语言

Web 服务器的脚本语言主要有 Php、Jsp、Asp 等,这些语言的共同特点就是只能在 Web 服务器侧执行,对语言的解析工作是由 IIS 或 Apache 来执行完成。这些语言具有强大的开发功能,数据库连接等重要操作均由服务器语言完成。

2)、Web 客户端

Web 客户端,简言之即为浏览器。即通过浏览器与 Web 服务器通信,以获取需要的数据,图形等信息。目前主要的浏览器为微软 Internet Explorer,即人们最熟悉的 IE,此外还有 Firefox (火狐)、Navigator 等浏览器。

Web 客户端语言包括 JavaScript、VBScript 等,它们的特点是在客户端执行,由浏览器负责对该语言的解析。

Web 系统的组成如下图:

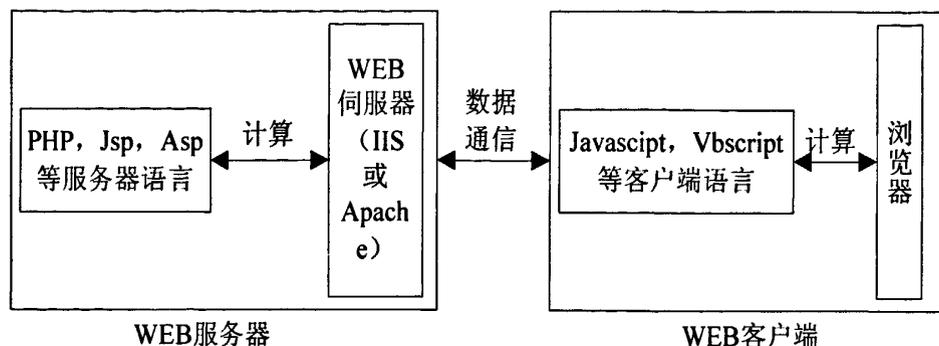


图 2-2 Web 组成结构图

2.2 电网调度系统中的 Web

2.2.1 电网调度 Web 的结构

EMS 系统即能量管理系统，是实现电网调度自动化的关键。EMS 由前置机 (RTU)、实时监视系统 (SCADA)、历史数据系统、电力系统应用软件 (PAS) 以及 Web 系统组成。

在 EMS 系统中，RTU 负责将各变电站采集来的数据解包，为整个 EMS 系统提供数据来源。SCADA 则负责处理实时数据，并向调度员提供实时监视画面，历史数据系统用于定时存放电网的断面数据，形成历史数据库，以供日后查询。

出于电力系统安全性的考虑，依据电力二次系统的特点，各相关业务系统的重要程度，数据流程和安全要求等，整个电力二次系统分为四个安全区。其中 Web 服务器单独位于安全三区，而 EMS 的其他的服务器则位于安全一区，Web 服务器与这些服务器之间由安全隔离装置进行单向隔离。在 EMS 系统中，SCADA 负责向调度员提供实时监视画面，但是除调度员外，还有许多职能部门也需要查看实时画面，由于隔离装置的存在，这些职能部门无法连接到 SCADA，因此需要 Web 服务器向他们提供实时画面。

在 EMS 系统中，Web 服务器是位于安全三区的组成模块。SCADA 通过安全隔离装置 (物理隔离装置) 向 Web 服务器单向发布实时数据，Web 服务器通过网页形式将电网实时运行信息再发布给与 Web 服务器同处安全三区的任何网络节点的客户端，结构如下：

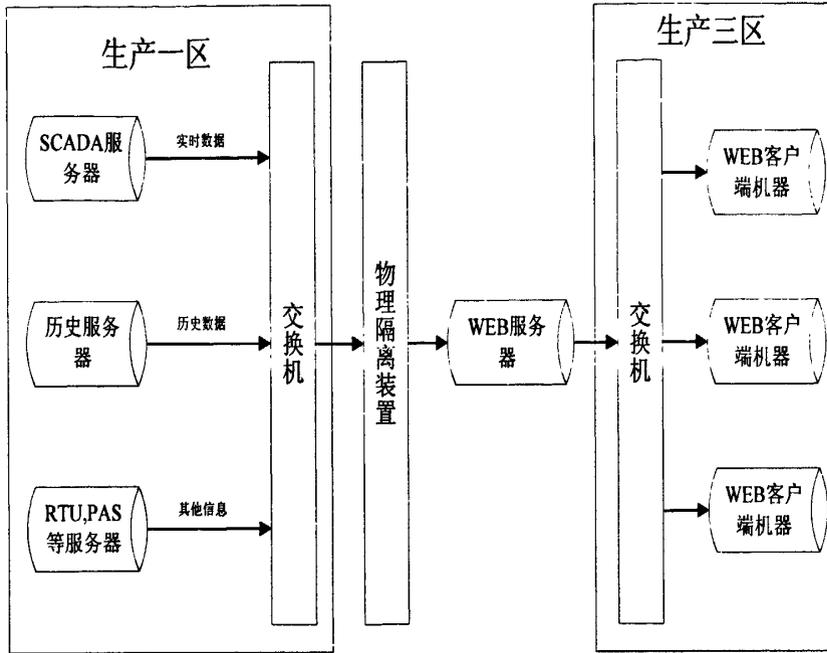


图 2-3 EMS 系统组成图

2.2.2 电网调度 Web 的作用

作为 EMS 系统的模块，Web 系统用来实现 SCADA 与外部系统共享实时/历史数据、图形、报表等。Web 服务器具有与 SCADA 主服务器完全一致的数据库结构，提供基于浏览器访问的标准格式的所有图形、报表、事项、微机保护事件等信息。

Web 通常可提供如下功能：

- 1)、实时接线图、曲线、帮图、报表、饼图的实时显示
- 2)、历史数据的查询，包括历史事项的查询
- 3)、报警事项的实时显示
- 4)、前置信息的显示，包括通道状况等
- 5)、网络拓扑、状态估计的结果显示
- 6)、设备属性的查询，包括设备参数、保护定值、遥测遥信号号、设备相关的统计数据（如开关的故障跳闸次数、设备越限运行时间等）

2.2.3 电网调度 Web 中的可视化技术发展

随着 EMS 系统的发展，Web 功能也得到了巨大提升，这其中，最重要就是通过 Web 发布实时监视的方式发生了重大变化。传统的 Web 发布实时监视画面，多是采用控件形式来实现，而目前所最新应用的 Web 服务，则是采用 SVG 图形作为实时画面的监视图形。

传统的 Web 实时画面监视通常采用 Activex 或是 Applet 技术。这两种技术都属于

控件技术，它们的工作原理是当 Web 客户端首次登录 Web 服务器以查看实时监视画面时，必须将该控件下载并安装到本客户端的浏览器中，之后由该控件作为通信终端与 Web 服务器通信，以获取实时监视的数据和画面。

控件技术在传统的 Web 应用中起到举足轻重的作用，但随着电力系统的发展，该技术也受到了多方面制约。首先，控件技术带来了电力生产安全上的巨大隐患。由于客户端在访问该 Web 服务器时，为了数据通信必须把浏览器安全级别设置很低并将该 Web 服务器站点添加到信任区域，一旦有病毒入侵或是受到攻击，将会给 Web 服务器带来很大的安全隐患。其次，这种控件技术须把与实时监视系统相关的图元信息如厂站图、设备图等图元下载到本客户端，控件负责对图形进行接收并对实时监视画面做相应刷新，这意味客户端必须时刻与服务器的图元保持一致，如果客户端图元未及时更新，将会带来不准确的监视画面。

随着用户对可视化要求的提高，控件技术逐渐显示出其局限性。除了显示电网的基本信息，电力系统的发展已要求 Web 客户端必须具有一定计算功能，以实现潮流动画、电压等位图等。然而，由于控件技术只是负责图形的显示，并不具备任何计算功能，它靠频繁从服务器获取图形来实现可视化的功能，这种方式不能满足动画图形的显示速度，因此需要新的技术实现基于 Web 的图形计算可视化。

第三章 基于 SVG 的 Web 发布技术

3.1 SVG 技术

3.1.1 SVG 的定义

SVG (Scalable Vector Graphics, 可伸缩矢量图形) 是 W3C (因特网联盟) 推出的一种开放标准的文本式矢量图形描述语言, 它是基于 XML 的、专门为网络而设计的图像格式。SVG 是一种采用 XML 语言来描述二维图形的, 可以在网页上显示出各种各样的高质量的矢量图形。SVG 既是一种 XML 文本, 也是一种图形。

3.1.2 SVG 的特点

1)、基于 XML

SVG 是完全基于 XML(可扩展置标语言), SVG 并非仅仅是一种图像格式, 由于它是一种基于 XML 的语言, 也就意味着它继承了 XML 的跨平台性和可扩展性, 从而在图形可重用性上迈出了一大步。如 SVG 可以内嵌于其他的 XML 文档中, 而 SVG 文档中也可以嵌入其他的 XML 内容, 各个不同的 SVG 图形可以方便地组合, 构成新的 SVG 图形。

2)、采用文本来描述对象

与传统的图像格式不同的是, SVG 采用文本来描述矢量化的图形, 这使得 SVG 图像文件可以像 HTML 网页一样有着很好的可读性。当用户用图像工具输出 SVG 后, 可以用任何文字处理工具打开 SVG 图像, 并可看到用来描述图像的文本代码。

3)、具有交互性和动态性

由于网络是动态的媒体, SVG 要成为网络图像格式, 必须要具有动态的特征, 这也是区别于其它图像格式的一个重要特征。SVG 是基于 XML 的, 它提供良好的动态交互性。可以在 SVG 文件中嵌入动画元素(如运动路径、渐现或渐隐效果、生长的物体、收缩、快速旋转、改变颜色等), 或通过脚本定义来达到高亮显示、声音、动画等效果。

4)、完全支持 DOM

DOM(Document Object Model 文档物件模型)是一种文档平台, 它允许程序或脚本动态的存储和上传文件的内容、结构或样式。由于 SVG 完全支持 DOM, 因而 SVG 文档可以通过一致的接口规范与外界的程序打交道。SVG 以及 SVG 中的物件元素完全可以通过脚本语言接受外部事件的驱动, 例如鼠标动作, 实现自身或对其他物件、图像的控制等。

3.1.3 电网调度 Web 使用 SVG 图形的必要性

有四个原因:

1)、便利性

SVG 图形可直接使用浏览器查看,是以前所有电力应用图形都无法实现的。如前所述,传统的 Web 使用控件查看监视画面时,需要将所监视画面的图形先下载到本客户机,再使用该控件解析后浏览。SVG 图形的优势就在于它是使用 XML 文本来描述图形格式的,因此它的解析工作由浏览器来完成。即只要客户端安装有浏览器,就可以看到该 SVG 电网图形。

2)、安全性强

安全生产一直是电力部门的重中之重,然而,传统 Web 使用控件技术需要 Web 服务器开放专用端口,这将带来安全上的严重隐患。由于 SVG 是使用浏览器直接查看的图形,对服务器端口没有特殊要求,确保了 Web 服务器的安全。

3)、可操作性强

SVG 由于是一种使用 XML 语言来描述图形样式的图形格式,因此,SVG 可以方便的生成、操作、销毁。利用该功能可以动态的生成 SVG 电网图形,以及在各个图之间进行热点切换。而这一切,只需要把该 SVG 的内容作动态修改,就可以改变 SVG 的图形显示。例如,上文中的 SVG 圆的实例,假设把它想象成为一个负荷饼图,负荷重载时,触发代码将该 SVG 的代码块 fill="blue"改为 fill="red",则该饼图将变为红色。

4)、图形的标准化

SVG 作为电力图形被称为公共交互图形,即它属于通用图形。过去的电网图形由于其图形格式的私有性,在不同的系统交互中无法实现图形共享。由于 SVG 使用 XML 语言来描述图形样式,与图形有关的信息都是可读的,这意味着 SVG 可实现电网图形“即插即用”的功能。

3.2 SVG 电网图形的设计

3.2.1 基本图元设计

SVG 图形是用 XML 语言描述的,因此,从代码的角度讲,设计 SVG 图形,实际是在写特殊的 XML 文档。XML 语言的特点就是它是用树状结构对各个元素进行分层,这棵树包括了根、树干、树枝、树叶。比如:做一个 SVG 的圆,首先,由它的根部编写,这个根就是<xml>,即指明 SVG 也是属于 XML 文档的一种:

```
<?xml version="1.0" standalone="no"?>
```

之后,它的树干<svg>进一步阐明这是 SVG 图形:

```
<svg width="100%" height="100%">
```

width 和 height 属性用来设置 SVG 文档的宽和高。

最后，是树枝<circle>元素，它用来描述 SVG 圆：

```
<circle cx="100" cy="50" r="40" stroke="black" stroke-width="2" fill="blue"/>
```

树叶就是这个圆中的元素：cx 和 cy 属性定义了圆中心点的 x、y 坐标，r 属性定义了圆的半径，Stroke 和 stroke-width 属性控制图形的外轮廓。在这里给圆设置了一个宽 2px 的黑色边框，fill 属性指出了图形为蓝色，其效果如下图：

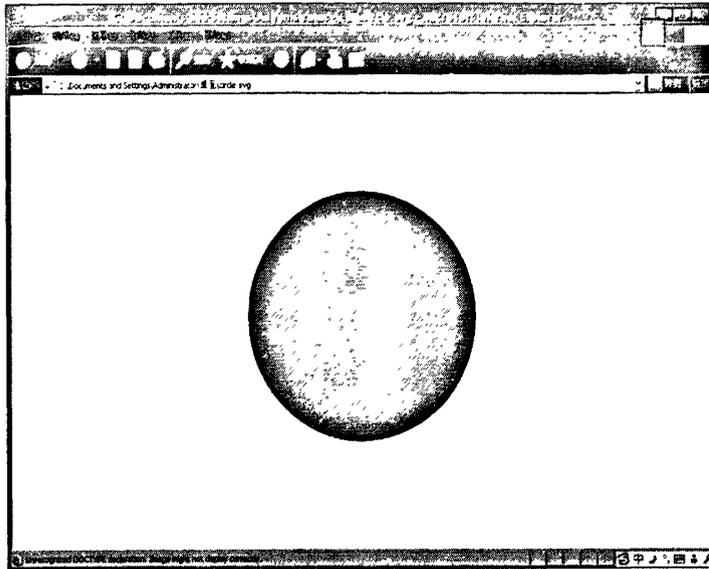


图 3-1 SVG 圆示例图

SVG 图形有六种基础元素，每一种元素都可以与电力图形紧密结合，实现特定的可视化功能，如下表：

表 3-1 SVG 元素在电力系统中的应用

SVG 元素	子项及描述	电力中的应用
基本图形	线段: line 矩形: rect 圆: circle 椭圆: ellipse 折线: polyine 多边形: polygon	组成各种电力的基本图元, 如输电线路可用线段 line 表述; 两项变压器用两个圆 circle 表示。
路径	移动到点: moveto 绘制直线: lineto 路径闭合: closepath 贝赛尔曲线	通过对直线或贝塞尔曲线的动态绘制, 可用于生成实时、历史曲线等
坐标系统	缩放属性: viewBox 位置属性: transform	对缩放属性, 可用于客户端 SVG 图形缩放; 利用位置属性, 可实现如潮流箭头换向等功能
色彩渐变	线性渐变 放射渐变 带色彩渐变效果的箭头	可用于实现动态的负载饼图、电压等位图等
文字和声音	文字: text 声音: audio	文字可用于显示各种 SCADA 值 声音可用于智能报警
动画	动画: animate	可用于潮流动画等

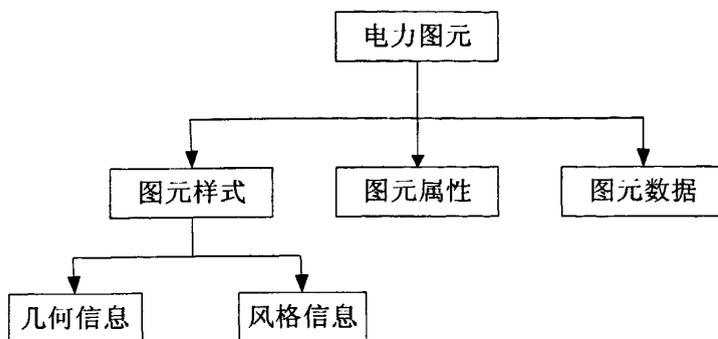
3.2.2 电力图元设计

IEC61970 标准推荐将 SVG 作为电力系统图形交互的标准格式, 但 SVG 仅仅是一种图形的技术标准, 并不附带任何的电力背景, 要把它运用到电力系统当中, 就要把它和具体的电力设备联系起来, 使它带上电力系统特有的性质。一个完整的电网图形是由许多单独的电力图元组成的, 因此, 电力图元的设计是 SVG 应用于电力系统的基础。

使用 SVG 描述一个完备的电力图元, 应该满足以下要求:

- 1)、能够充分地表达图元的几何形状;
- 2)、能够方便地定义图元的应用属性, 且易于扩充;
- 3)、能够方便地定义图元与外界的交互功能;
- 4)、能够对图元的几何形状和应用属性进行存取和显示。

电力图元的描述表示如下:



由上图可看出，电力图元应包括三个部分的信息：图元样式、图元属性、图元数据。其中图元样式的定义应包括几何信息、风格样式。几何信息是指电力图元形状，它应包含图形类型，坐标位置和坐标单位。图元属性应该包含属性名和属性值。图元数据则描述该电力图元所对应的实测数据。

下面以两项变压器的实现为例叙述：

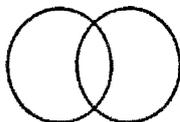
1)、图形样式设计

如前所述，在 SVG 中提供了六种基本元素，电力系统中的设备图元样式可有这些元素单独描述或组合描述。对于组合的图元，使用<g>将各个单独元素组合，以形成较复杂的图形，在<g>中设置的样式风格等特性将会应用到它所包含的所有子元素当中，例如，两项变压器由两个简单的圆组成：

```

<g>
<circle cx="150" cy="150" rx="30" r="30" fill="none" stroke="#000000" />
<circle cx="190" cy="150" rx="30" r="30" fill="none" stroke="#000000" />
</g>
  
```

通过<g>的定义，两个圆被组合为一个新的图形，如图：



2)、图形属性设计

定义了图元的样式，只是直观的显示出形状，然而，作为电力系统中的设备，其必须包含图元所对应的各种设备信息。比如：作为两项变压器，应包含高低压端电压等级、额定容量、短路阻抗等信息，这些信息，应定义到这个图元元素中，以便客户查询该变压器时，能得到相关参数。

定义设备参数到图元中，需结合该图元样式的定义，例如要定义该变压器的高低电压等级到图元中，在<g>中进行定义：

```

<g highvoltage="220kv" lowvoltage=35kv">
  
```

这样，就定义了该变压器的高压为 220kv，低压 35kv。

3)、图元数据

图元样式所反应的是电力元件的形状，图元属性则是反应的该电力元件的设备信息，然而，对于处于电网中的电力元件，它并不是一个孤立的图形，它不仅仅要向用户提供自己的设备参数，对于许多设备，还要反应出设备的测量数据，如变压器有变压器温度、高低压实测电压等参数。

SVG 所描述对象的图元数据有两种表示方法：

1. 内嵌法。即在 SVG 文档中直接标注，将属性数据和所对应的描述对象放在同一分组中。SVG 并没有提供用于厂站、输电线路等对象的属性描述元素，一些简单的属性可以用<desc>元素来描述，但是较为复杂的属性信息则需要自己定义属性描述元素来满足要求，或者用<metadata>元素引入其他 XML 命名空间的元素来描述属性信息。

2. 外联法。属性数据存储在外部文件或数据库中，通过一定的对应关系将所描述的对象与其属性相关联。例如通过 SVG 文件中所描述对象的 ID 属性进行关联。相较第一种方法而言，这种方法中图形文件和属性数据模型文件相分离，简化了对象 ID 编码的复杂程度，对于同一对象图形和属性数据采用相同的也不会发生冲突，并可以使 SVG 文件更为简洁，重用性更好，特别是对于一些实时数据，用这种表示方法能够更为方便的获取外部数据库中的数据信息。

3.2.3 电网图形设计

电力图元的设计对象主要是指各个电力系统中的物理资源，如断路器、母线、出线、闸刀、电容、电抗、发电机、变压器、负荷等。按照电力系统图形的特性，可将图元分为静态和动态两大类

1)、静态图元

各种电力设备如发电机、变压器、线路，负荷等，这些图元的共同点就是在电网图形中，它们的图元样式是不发生变化的。作为静态图元，这些设备在 SVG 电网图形的初始化中即以完成，它们反映出的更多的信息是该设备的参数，所起到的连接作用。

2)、动态图元

与静态图元相对是动态图元。在电网图形中，常见的动态图元有实时量测，潮流箭头等，这些图元的特点就是更新速度快，它们通常是某个设备的 SCADA 量测值，如开关电流等；

对于一个完整的电网图形，既包括静态图元，也包括动态图元，且它们之间并不是孤立的。对于一个电网，首先它是由各个静态图元如各个设备：发电机、变压器、开关、刀闸、线路等组成的。这些设备之间，要形成连接关系，才能组成完整的电网。在 SVG

中, 实现图形的连接关系, 可通过对端点和连接线之间的关系进行判断, SVG 是一种使用像素值来描述图形所处位置的图形, 因此, 如果两个图形有各自的热点, 当这两个热点在像素上发生区域重合, 则这两个图形将被判断为已连接。

连接关系的实现流程图如下:

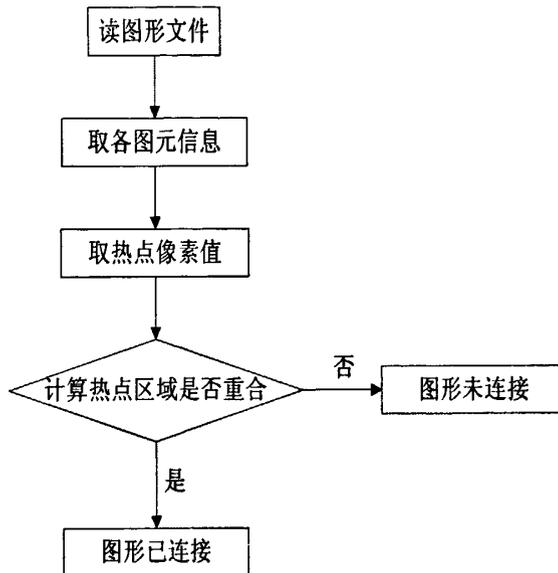


图 3-3 连接关系流程图

3.2.4 图形数据获取

对于数据动态发布而言, 关键的两点是如何得到数据, 及如何表现动态效果。SVG 不仅要显示出电网图形, 还要显示与电网图形相关的数据, 但就它本身而言, 只是一个静态的文件而已, 无法取得实时数据, 必须借助于其他技术。总的来说, 按照电力图元类型的不同, 图形数据获取方式也不同。

本文将电力图元分为静态图元和动态图元两大类。就图元形成情况来看, 静态图元在 SVG 图形初始化的阶段, 向数据库请求该图元相关信息, 待信息返回后, 将信息写入到 SVG 的元素中, 之后这些信息将不再做任何修改。而动态图元则不同, 在初始化完成之后, 每隔一段时间图形将更新一次数据, 这意味着该图元将再次请求数据。

按照这种图元分类, 静态与动态图元本质上对应的是历史数据接口和实时数据接口。静态图元多是电力设备, 如线路、变压器等, 客户所关心的设备参数等都存放在历史数据库中, 因此在页面初始化时需连接历史数据接口以获取相关信息。而对于动态图元, 由于其刷新速度的要求, 需要连接实时数据库, 频繁对该动态图元进行数据读写。如下图:

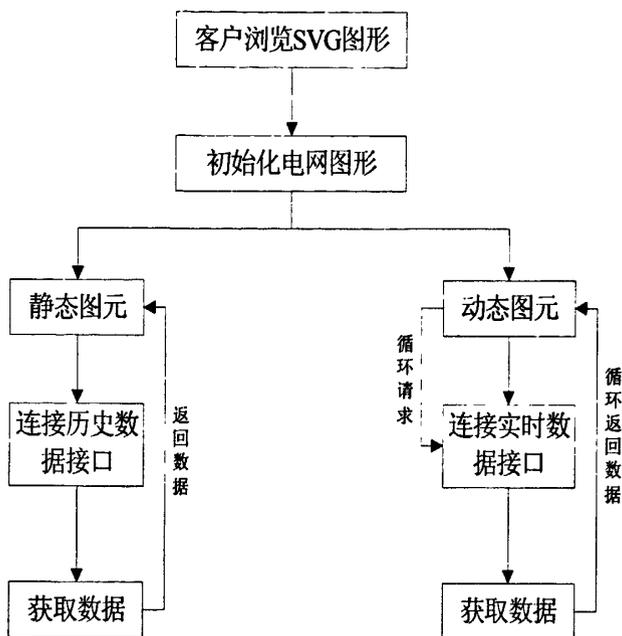


图 3-4 数据获取流程图

3.3 SVG 图形的 Web 发布

目前，在 Web 客户端访问 SVG 图形，必须通过浏览器来查看。在常用的浏览器中如 IE, Firefox, Opera 中，SVG 文件可通过以下标签嵌入 HTML 或其他网页文档中：<embed>、<object>或者<iframe>。例如，使用<embed>标签将前文中所画的 SVG 圆文件 circle.svg 包含在 html 文档中，只要在 html 文档中固定 SVG 图形所处的位置，既可以正确显示 SVG 图形，如下：

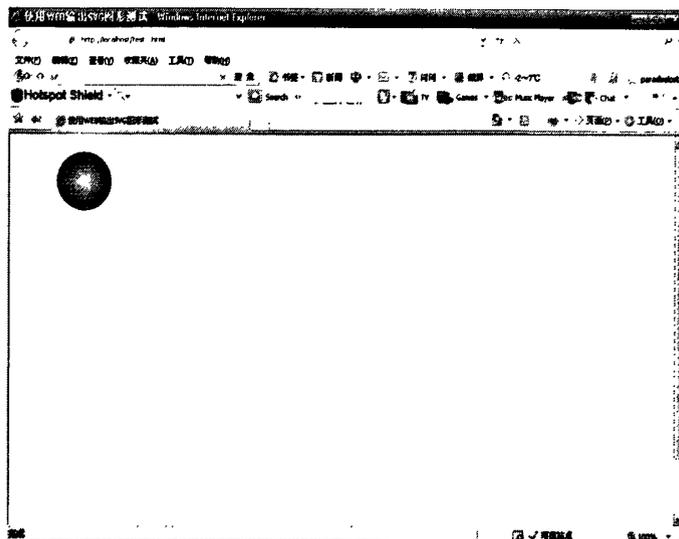


图 3-5 Web 发布 SVG 图形示例图

基于 SVG 电网图形的 Web 发布，在原理上与传统的 Web 有本质的区别。

传统系统从 Web 客户端浏览电网图形时，是通过 Activex，applet 控件先从 Web 服务器下载该电网图形到本客户端机器，之后使用浏览器显示图形。在这个发布体系中，Web 服务器处于主导地位，只能当 Web 服务器端判断电网图形有变化时，才会将电网图形自动发送到 Web 客户端，客户端仅仅是起到一个显示图形的作用。

使用 Web 发布 SVG 电网图形，是由客户端向服务器发出图形查看请求，当数据返回，由客户端自行绘制而生成 SVG 图形。即电网图形并不是从服务器端以整个图片的格式发给客户端，而是在客户端根据用户具体操作，触发相应程序，通过客户端代码动态生成 SVG 电网图。它的工作原理如下：

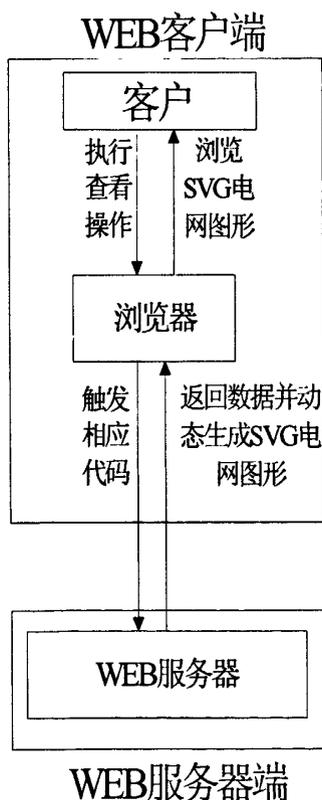


图 3-6 Web 发布 SVG 电网图形流程图

3.4 本章小结

SVG 电网图形的设计是实现电网调度 Web 可视化的前提。

本章首先对 SVG 的定义和特点进行详尽研究，并针对电网调度 Web 的发展情况，探讨使用 SVG 作为电网调度 Web 发布图形的必要性。在此基础上，研究了 SVG 的基本图元设计，并结合电力系统的特征，提出了电力图形的 Web 发布设计。此外，提出

将电力图元按照数据刷新频率的区别分为静态图元和动态图元,并分别连接相应数据接口,从而实现集图形与数据为一体的 SVG 电网图形。

第四章 基于 Ajax 和 SVG 的 Web 综合应用

4.1 Web 客户端技术分析

4.1.1 传统的 Web 客户端技术

Web 客户端技术,是指客户端解析由服务器传来的数据、信息,并将之反映在浏览器的技术。客户端最常用的处理是浏览器使用 javascript 或 VBScript 语言来处理接收来的数据,并完成对页面的加载。此外,控件浏览也是客户端的技术手段,通过控件与服务服务器通信,是网络间大数据传输的有效方法。

在电力调度中,传统 Web 都使用控件技术实现实时监视画面的显示。随着 SVG 在电力中的应用,控件技术由于无法与 SVG 图形相结合而被舍弃。

目前 Web 发布 SVG 实时监视图形,是采用隐藏框架法来实现。隐藏框架法的基本原理如下:

将一个浏览器页面分为两个框架

```
<frameset>
```

```
<frames>框架 1 (包含 SVG 图形的网页) </ frames>
```

```
<frames>框架 2 (请求数据的网页) </ frames>
```

```
</frameset>
```

要使浏览器页面中只显示框架 1 中包含 SVG 图形的页面,则通过对框架<frames>的属性设置,如将框架 1 的尺寸设为 99%,框架 2 的尺寸设为 1%,则包含有框架 1 和框架 2 的框架集<frameset>在视觉上只有框架 1,就实现了对框架 2 的隐藏。

以实时数据的刷新为例,隐藏框架法实现方式如下:

首先指定一个 XML 文档,作为临时文件存放实时数据。当 Web 客户端打开包含有 SVG 电网图形的网页时,页面初始化的同时向 Web 服务器请求实时数据,之后将返回实时量测数据存放于该 XML 文档中。在请求实时数据的过程中,每隔一段时间,使用隐藏框架法刷新一次 SVG 页面,如果存放实时数据的 XML 文本中的数据并未改变,则 SVG 实时画面的数据也不变化,只待 XML 文本中的实时数据改变之后,此刻 SVG 所刷新的实时数据才发生改变。如下图:

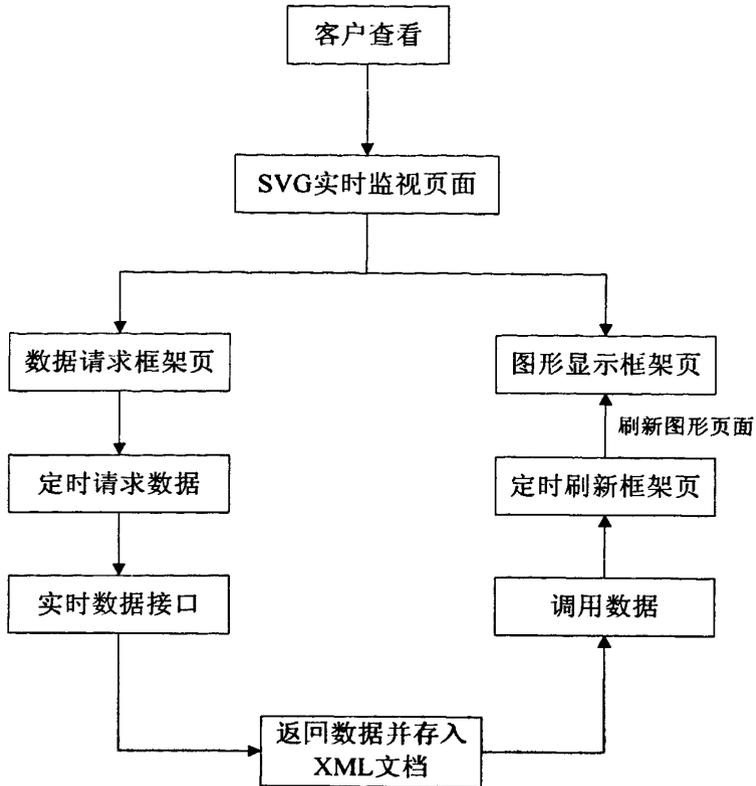


图 4-1 隐藏框架法刷新数据流程图

4.1.2 需要解决的问题

以 SVG 作为电网图形在 Web 中发布，需要解决以下问题：

1)、Web 客户端刷新 SVG 电网图形效率低下。采用隐藏框架法种刷新方式会带来数据传输上的资源浪费，对于电网图形，每次刷新只需改变部分数据，而隐藏框架法则通过刷新页面将所有数据刷新。

2)、客户端互操作性差。传统 Web 客户端单纯使用 DOM 功能处理 SVG 图形，该功能处理 SVG 图形效率较差，解析速度慢，当 SVG 图形中包含信息量较大时，将带来较长的图形处理时间。

3)、由于 Web 服务是属于 B/S（浏览器/服务器）结构，这意味着海量的数据计算将放在 Web 服务器之上，当有许多用户登陆到 Web 服务器时，频繁的计算将给 Web 服务器带来沉重的计算压力。

4.2 Ajax 技术

4.2.1 Ajax 的定义

Ajax (Asynchronous JavaScript and XML)，即异步 JavaScript 与 XML 技术，它不是一种新的编程语言，它是一种综合了 Javascript, XHTML, CSS, DOM, XML, X

XMLHttpRequest 的全新 Web 客户端设计方式, 用于创建更好更快以及交互性更强的 Web 应用程序。其中:

- 1)、使用 XHTML 和 CSS 实现标准化的呈现界面。
- 2)、使用 DOM 实现动态的显示和交互。
- 3)、使用 XMLHttpRequest 实现与服务器的异步通信。
- 4)、使用 Javascript 将 XHTML, CSS, DOM, XML, XMLHttpRequest 绑定。

4.2.2 Ajax 的优点

Ajax 具有如下三个优点:

1)、HTTP 请求是异步的。Ajax 通过异步方式处理请求, 请求由脚本通过后台发送, 用户不会感觉到发送的过程。当发送请求后, 客户端不需要等待服务器响应。对服务器响应内容的处理由 Javascript 脚本在后台进行处理。

2)、服务器返回的响应内容只包括需要的那部分数据, 不包含无用的数据, 减少了处理数据的时间。

3)、浏览器不需要刷新整个页面, 而是通过 Javascript 更新页面中的部分内容, 且在更新页面内容的过程中不影响其他操作。

4.2.3 Ajax 的工作原理

Ajax 的工作原理相当于在用户和服务器之间加了一个中间层, 使用户操作与服务器响应异步化。并不是所有的用户请求都提交给服务器, 像一些数据验证和数据处理等都交给 Ajax 引擎自己来做, 只有确定需要从服务器读取新数据时再由 Ajax 引擎代为向服务器提交请求。

以下为 Ajax 的应用周期示意图:

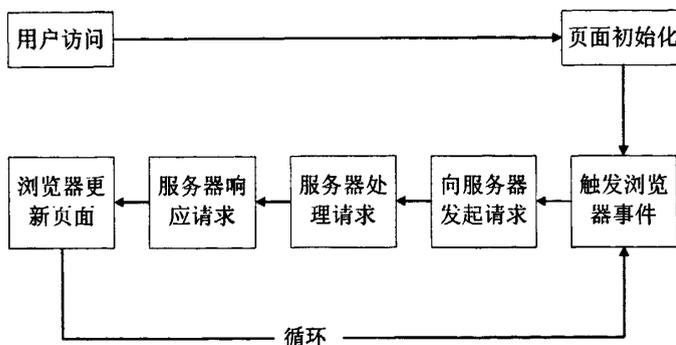


图 4-2 Ajax 应用周期图

Ajax 能与 SVG 图形很有效的结合, 并通过 Web 发布图形, 步骤如下:

1)、JavaScript 事件触发：用户操作 Web 页面中的 SVG 图形的某个控件或文字链接，触发一个 JavaScript 事件。比如双击遥测数据，弹出遥测曲线图。

2)、JavaScript 事件处理函数执行，调用 getUrl 函数：JavaScript 事件被触发后，相应的事件处理函数被调用。在 getUrl 函数中，XMLHttpRequest 被初始化，并根据情况向服务器发送电力设备数据或信息的查询请求，将用户的请求提交到服务器。

3)、服务器接收用户请求：这个步骤与传统的 Web 应用程序交互模式一致。服务器收到用户请求后，根据 URL 地址判断用户行为，响应用户行为，并将相应结果以 HTML/XHTML/XML 格式返回。

4)、XMLHttpRequest 接收服务器的响应数据，XMLHttpRequest 检测到服务器已经将响应结果以文本 (Text) 或 XML 格式返回，使用 XMLHttpRequest 的方法 responseText 和 responseXML 解析返回数据。

5)、JavaScript 调用 DOM 处理解析的数据，将解析出来的电网数据写入到 SVG 图形的相应节点中，从而更新页面。

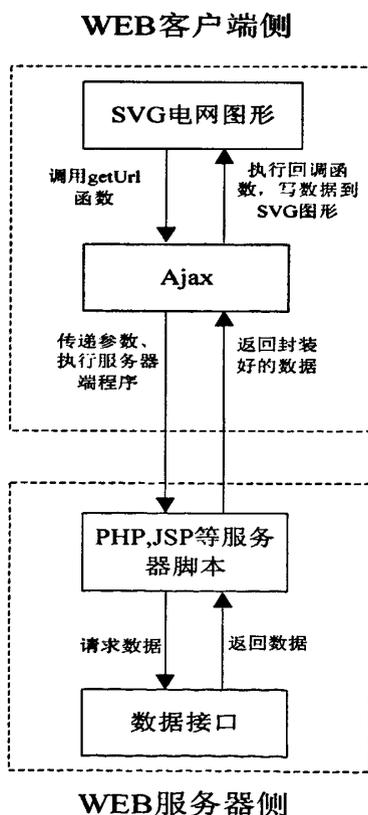


图 4-3 Ajax 与 SVG 交互示意图

4.3 Ajax 对 SVG 图形的优化

如前所述,使用传统的客户端技术对 SVG 图形进行数据操作和图形操作时,存在着数据利用率低的缺点,利用 Ajax 技术,可有效提高数据传输效率,增强界面互操作的友好型。

Ajax 最大的优点体现在数据的可封装性和数据传输异步性,利用数据可封装性,将 SVG 电网图形不同图元的数据进行封装,对于基本图元类,在页面初始化的时候将数据一次请求完成,而对于要频繁更新的动态图元,则频繁请求该封装数据。

利用数据传输的异步性,可大大提高数据在网络带宽中的传输效率。数据传输异步性意味着在客户发出请求之后,客户不需要一味等待数据返回,在数据请求发出之后,客户可执行其它任何操作,而当数据最终返回时,客户端后台程序会自动接收并将内容显示在 SVG 图形上。

正是由于这种数据的可封装性和传输方式的异步性,Ajax 还可进一步优化图形的操作。由于数据是封装的,因此,当数据以异步的方式返回之后,Ajax 将只更新该数据对应的图元,而其它图元并不需要操作,这样就带来了图形操作效率上的提升。

因此,本文依照这三个模块的改进方法,提出 Ajax 对 SVG 图形的处理方法,以优化 SVG 电网图形中数据传输效率和图形操作性。

4.3.1 数据封装

按照电力系统数据类型的不同,并结合电力图元的特点,将数据分为实时类数据和历史类数据。这两个数据类型在接口上是完全不同的,对于历史类数据,它是保存在历史数据库中,是直接从历史数据库中获取。而实时数据因为其时效性要求较高,且绝大部分实时信息并不需要全部存入历史数据库中,因此,客户端多是通过实时数据接口的访问,来获取实时数据。

因此,本论文依据这两种数据类型的区别,再结合 SVG 图形的结构特征,将数据分为三种封装类型:

1)、实时数据类。包括实时遥测、实时遥信、实时事项等动态参数。通过实时数据接口来获取,特点是更新频率快,需要不停的对数据接口进行访问,并频繁的将获取的实时数据写入到 SVG 图形中。

2)、设备信息类。包括设备参数、连接关系等静态参数。它们是通过历史数据库的访问获取,特点是在页面初始化完成,并将这些设备信息写入到 SVG 各个元素中,以备客户对该图元进行设备信息查询。

3)、历史数据类。包括历史数据、历史事项等静态参数。它也是通过对历史数据库的访问获取数据,与设备信息类不同的是,由于历史查询日期和查询对象的不确定性,

历史数据类并不需要在页面初始化的过程中写入 SVG，而只是在客户进行查询操作之后，才将数据写入到 SVG 图形中。

4.3.2 实时数据刷新

Ajax 究其代码原理，类似在客户端浏览器中注册一个 Activex 控件，这个控件就是 XMLHttpRequest 对象，XMLHttpRequest 能够在后台发送 HTTP 请求并获取和处理服务器响应内容。

通过 XMLHttpRequest 对象提供的 open、send 方法，可以向服务器发送请求，open 方法可以将请求设置为异步方式，在服务器处理请求的过程中，客户端不需要等待；不影响客户端的其他操作。当接收到服务器响应后，javascript 脚本通过 XMLHttpRequest 对象的 responseText 或者 responseXML 获取响应内容。结合 DOM、javascript 可以将响应内容添加到当前 SVG 图形中的指定位置，例如将某开关返回遥测值写入到该开关的相应显示位置。因为服务器响应内容是通过 javascript 脚本添加到 SVG 图形中的，所以服务器返回的内容可以只是那些封装了的需要更新的请求内容，而不需要返回完整的 HTML 文档，浏览器也不需要刷新整个页面，而只是通过 javascript 脚本更新需要更新的内容。

以定时刷新 SVG 电网图形中的遥测显示为例，论述 Ajax 的实现过程：

1)、在客户端创建 XMLHttpRequest 对象

当客户端在浏览器地址栏输入网页地址，或者提交表单时，便通过浏览器向 Web 服务器发送了 HTTP 请求。HTTP 协议规定了 Web 浏览器如何向 Web 服务器请求文档，浏览器如何提交表单；Web 服务器如何响应客户端请求，以及客户端如何接收及处理服务器响应。

通过脚本处理 HTTP 请求的能力是基于浏览器提供的 XMLHttpRequest 对象，该对象提供对 HTTP 协议的完全访问，对过对该对象提供的方法，能够向服务器发送 POST 或者 GET 请求，并且，能够很容易的获取服务器返回的请求结果。因此，要建立 Ajax 请求，首先要在客户端侧浏览器中建立 XMLHttpRequest 对象：

使用 JavaScript 语言，建立 XMLHttpRequest 实例：

```
var xmlHttp = new XMLHttpRequest();
```

在客户端打开包含 SVG 电网图形的网页的同时，由该对象向服务器请求数据。

2)、请求数据

Ajax 请求数据的方式有两种，一：OPEN 方式；二：SEND 方式。本文以 OPEN 方式为例，阐述 Ajax 获取响应信息的过程。OPEN 方法包含的属性为：method,url,asynchronous。其中：method 表达了请求的方式，可以是"GET","POST","HEAD";url 则描述了获取存放数据文本的地址，例如：如果把历史数

据存放于一个名字为 Hisdata.xml 的 XML 文档中，通过 GET 和 POST 该文档，即可获取相关信息。

```
xmlHttp.open("GET", "Hisdata.xml", true);
```

最后一个参数 true 表明了 asynchronous 的性质，即请求是异步的。同样，把设备信息，历史数据都放置于不同的 XML 文档中，在对该 SVG 文档操作时，利用各自的封装函数请求相应 XML 文档即可获取对应的数据信息。

3)、返回数据，并刷新 SVG 图形

当请求数据的状态为完成时（即 XMLHttpRequest 的属性 readyState=4），将通过 XMLHttpRequest 的另一个重要属性 responseXML 解析返回的 XML 文档。即：

```
if (xmlHttp.readyState == 4) {
    if (xmlHttp.status == 200)
        { handleServerResponse(); }
}
```

此处，当状态完成时，调用 handleServerResponse() 函数，在该函数中，定义使用 responseXML 解析返回的 XML 文档，并利用 JavaScript 的 DOM 功能，对该树状数据结构解析重构，得到需要的相关数据，并将之写入到 SVG 电网图形的相应位置。SVG 电网图形的遥测数据，在初始化的同时由 Ajax 向 Hisdata.xml 发出请求获取初始数据，如果每隔 5 秒要刷新一次数据，只需将请求历史数据的函数使用 setInterval() 方法每隔 5 秒重新请求即可。其程序流程图如下：

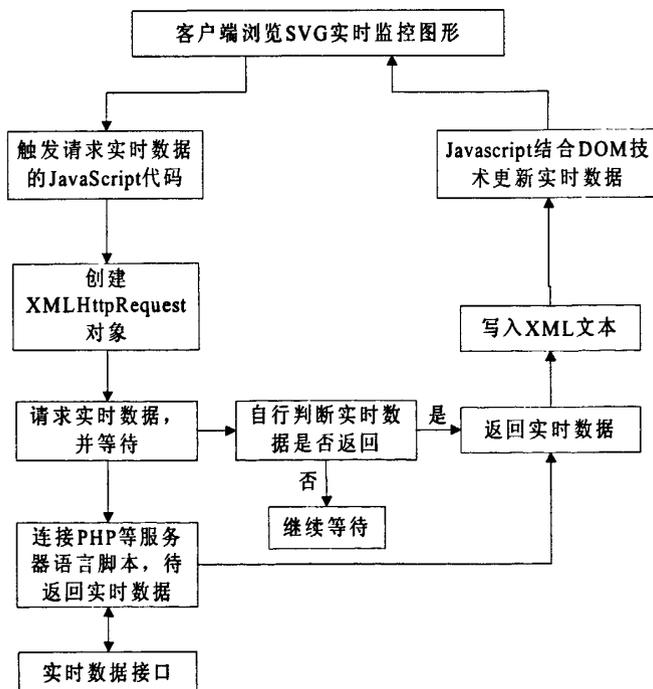


图 4-4 Ajax 刷新实时数据流程图

4.3.3 历史数据处理

历史数据的处理分为设备参数处理和历史数据查询处理，它们的处理方式是不同的。

1)、设备参数处理

如前所述，SVG 是一种使用 XML 语言来描述图元的，对于一个电网图形，它的所有图元样式、设备参数都是被保存在 SVG 的元素中。而就数据类型来看，某个设备的参数是不会发生变化的，因此，在客户查看 SVG 图形时，初始化的过程中将利用 Ajax 技术从历史数据库中获取该电网图形中所有设备的参数信息，并结合将之写入到与对应的 SVG 图元元素中。这样，当有客户需要查询设备信息时，并不需要再连接历史数据库，而是直接对该 SVG 进行解析，从而获取需要的信息。流程如下：

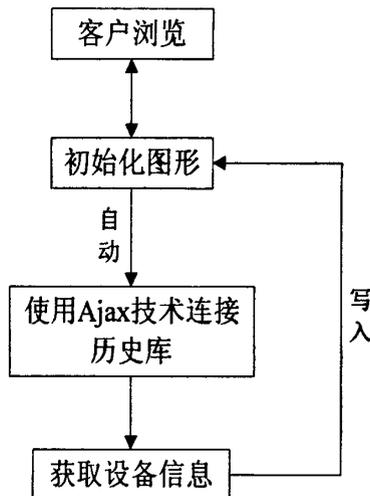


图 4-5 设备参数处理流程图

2)、历史数据查询处理

在电力系统中，有许多数据需要保存到历史数据库，以供日后查询或是计算分析使用。历史数据的特点就是数据量特别大，因此，根本无法像设备信息一样直接将信息存放在 SVG 中。此外，历史数据的查询还有很多不确定性，当客户打开某个 SVG 电网图形时，在初始化的阶段可以确定要使用哪些设备，但是无法确定下一步客户要查询哪个设备的历史数据、哪天的历史数据。

因此，只有在客户手动发出查询请求之后，才会通过 Ajax 技术连接历史数据库，来获取历史数据。流程如下：

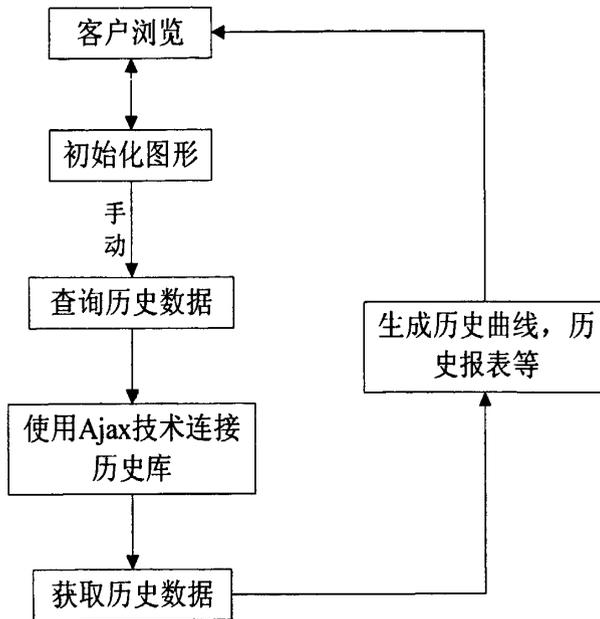


图 4-6 历史数据获取流程图

4.3.3 图形互操作

就一般电网图形而言，常用的互操作有设备信息查询，历史数据，及历史曲线查询，遥信置位，热点切换图，图形放大缩小，各类按钮操作，右键快捷键导航等。

在 Web 客户端，对 SVG 图形最常用的操作方法就是 DOM 方法。DOM 是 Document Object Model 文档对象模型的缩写，是一种与浏览器、平台、语言无关的接口，提供了一种通过分层对象模型来访问 XML 文档信息的方式，这些分层对象模型 XML 的文档结构形成一颗节点树。无论 XML 文档中所描述的是什么类型的信息，即便是实时数据、厂站列表或一个文档，利用 DOM 所生成的模型都是节点树的形式。也就是说，DOM 强制使用树模型来访问 XML 文档中的信息。由于 XML 本质上就是一种分层结构，所以这种描述方法是相当有效的。

由于 SVG 本身就是使用 XML 语言来描述的图形，因此，DOM 对 XML 文档的操作同样适用于 SVG 图形。但是，如果单纯使用 DOM 来操作 SVG 图形，它也是有缺陷的，主要表现在：效率低，解析速度慢，内存占用量过高，对于大文件来说尤其明显。另外效率低还表现在大量的消耗时间，因为使用 DOM 进行解析时，将为文档的每个节点、元素、节点值都创建一个对象，这样在 DOM 机制中所运用的大量对象的创建和销毁无疑会影响其效率。

因此，如果在 Ajax 技术的框架之下使用 DOM，将避免 DOM 的缺陷。

按照图形操作类型的特征，可将 SVG 图形操作分为以下两类：

- 1)、数据库操作类：设备动作、历史数据查询等。
- 2)、图形操作类：热点调图、设备属性查询、图像缩放、复制等

总的来说, 这个分类是依据该客户端动作是否会连接数据库来分类。对于数据库操作类, 往往需要连接历史数据库; 而图形操作则只对 SVG 图形动作, 并不需要与数据库连接。因此, 在使用 DOM 结合 Ajax 进行互操作时, 需考虑这两类的区别, 将两类的互操作代码及 Ajax 代码封装在两个 JS 文件中, 进行分类调用, 其工作流程图如下:

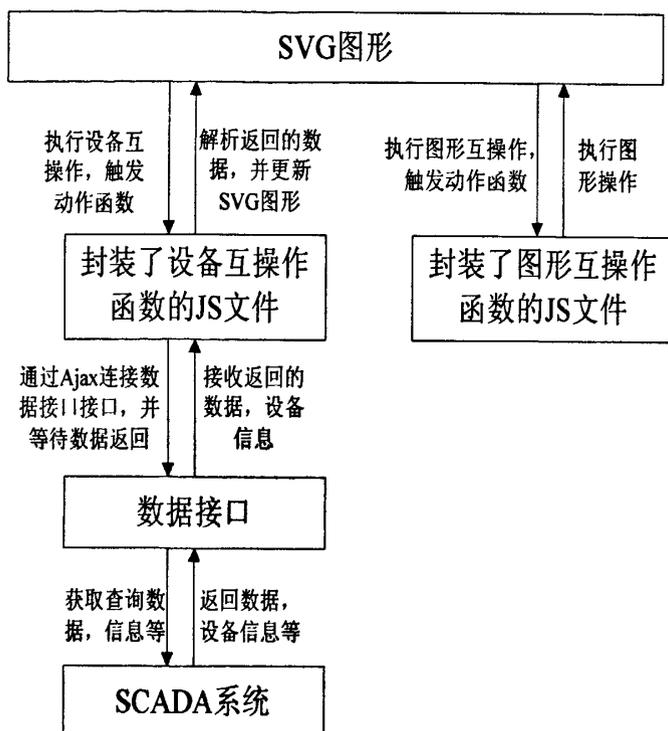


图 4-7 Ajax 实现 SVG 图形互操作示意图

4.4 基于 Ajax 和 SVG 的可视化技术

4.4.1 可视化技术

可视化技术, 又称为科学计算可视化, 它是随着计算机技术发展而出现的一门技术。其主要做法就是把各种繁杂的数据转换成直观的图形和图像, 从而有利于人们正确理解数据的含义, 使其采取的运行控制措施更为有效、更具有针对性。电网可视化的特点在于将大量数字表达的信息用图形方式表示出来, 而且更重要的是, 数字间的潜在联系也通过图形信息更清楚的体现, 对计算所得到的海量数据进行数据挖掘和综合, 发现其内部的本质联系以得到可以准确反应系统状态的间接指标, 并以正确的方式予以可视化显示。

除了电网图形基本信息的显示, 可视化还用于一些高级分析领域, 主要是图形的拓扑着色、潮流动画等。结合 SVG 和 Ajax 技术, 对这两种应用的实现方法进行分析:

1)、拓扑着色

拓扑着色的基本思想是根据不同的电压等级，预定义不同的颜色显示。根据拓扑分析结果，将带电的设备和线路高亮显示，并赋予所属电压等级的颜色，不带电的统一显示一种颜色。当系统状态改变时，根据新的拓扑分析结果重新渲染。

实现拓扑着色的指导思想有两个：判断连接关系；带电颜色渲染。如前所述，SVG 电网图形的连接状态可通过对各个电力图元端点热点区域的判断得出，判断连接关系之后，结合从 SVG 文档中解析出的各电力图元的电压属性，利用 DOM 技术和 CSS 样式表，改变电网的各种带电特质。

2)、潮流动画

潮流动画的目的是通过计算得出线路、变压器及母线上的有功、无功功率及电压，将线路数据可视化，在输电线路路上叠加箭头显示潮流，其中箭头方向对应潮流走向，箭头大小反应潮流数量，形成流动效果。因此，潮流动画实现的关键技术在于计算。

传统的 Web 客户端技术只是负责对图形和数据的显示，不具有计算功能，而 Ajax 的优点正是可实现在客户端侧计算。通过 Ajax 技术，首先获取潮流计算的原始数据，带数据返回由客户端自行计算，并将之显示在 SVG 电网图形中。特别需要指出的是，对于一般的图形，实现潮流箭头是一件比较复杂的工作，但是 SVG 有自带的动画元素 `animate`，可以很方便的实现潮流动画。

4.4.2 可视化技术分类

可视化技术在调度中的应用着重于对电网实时运行状况的直观显示，本论文结合 SVG 和 Ajax 的技术特点，以及实现可视化的功能，以 Web 客户端计算功能为区别，将其分类为：电网实测信息可视化；电网计算信息可视化

1)、电网实测信息可视化

电网实测信息可视化是指对系统中 SCADA 反映出的所有实时量测、遥信以及设备状态等信息要能准确、及时的通过 Web 发布。实测信息可视化是调度信息可视化最基本的要求，也是 SVG 电网图形要实现的最基本的功能。

电网实测信息可视化实现的关键在于实时数据的传输，以及客户端 SVG 图形的动态刷新。它并不需要在 Web 客户端重新组织电网数据以进行计算，而只是负责接收实时数据，显示实时信息，包括节点数据、设备状态等。

2)、电网计算信息可视化

电网计算信息可视化是指通过对采集的各种实时数据的进行整理分析，就各种可视化高级应用的要求，在 Web 客户端通过对数据的组织计算，得出计算结果并将结果以相应方式显示在 SVG 电网图形中。电网计算信息可视化的核心就是客户端计算，这也是传统 Web 客户端不具备的功能。

4.4.3 潮流动画实例

电网的潮流分布动画是电网可视化中的重要组成部分，它属于电网信息可视化的范畴。成千上万条母线和支路上的这些数据传统上是列表或单线图的形式显示，查看这些数据显然给电网运行人员带来了不少的工作量。可视化技术的加入使得这些数据直观、生动，也大大减少了工作量。运行人员通过可视化的潮流可以轻松的了解系统的功率流向及不同线路的潮流大小对比。

潮流动画包括了两种动画技术，一种是采用箭头动画方式显示线路潮流，用动画箭头的大小、方向及速度显示线路上的功率；第二种技术是采用动态饼图显示输电线路接近其热稳定极限的程度。就这两种动画技术，综合 SVG 和 Ajax 技术，对潮流动画的实现做技术上的研究：

1)、动画箭头的实现

动态箭头的实现需要三个特定功能。首先是绘制静态箭头的功能，其功能就是在确定的线路上根据线路长短绘制箭头，并根据所表示物理量的大小确定箭头的大小和颜色，箭头的移动方向依据线路中物理量的流动方向。第二个功能是设置定时功能，用于设置动态箭头的移动刷新频率。第三个功能是定时响应功能，用于在定时结束时修改箭头的位置坐标。后两个功能是实现箭头动态的核心，这3个功能相互配合，实现了箭头的动态效果。这种动态箭头在系统中可表示为电流、有功潮流以及无功潮流等流动的物理量。

电网潮流箭头的形成的程序原理如下图：

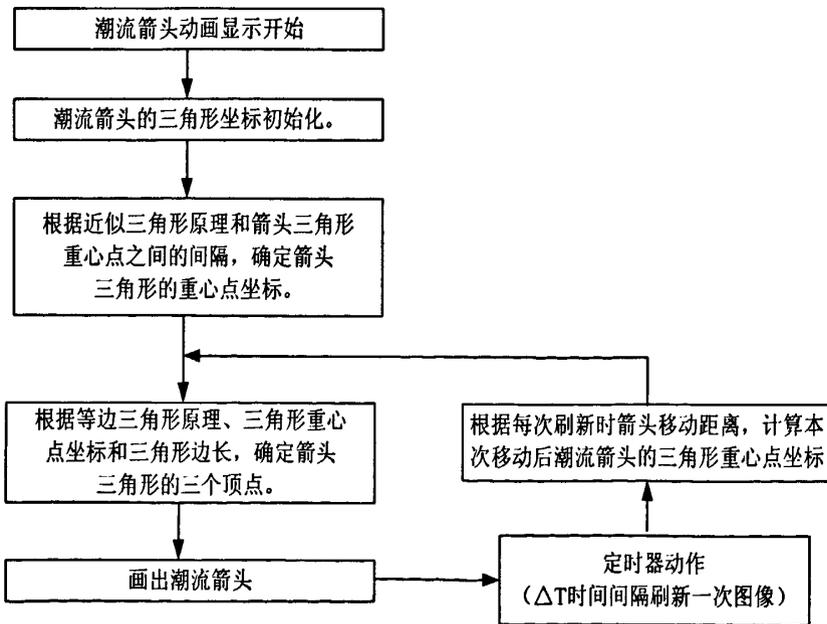


图 4-8 潮流箭头实现流程图

待箭头初始化完成之后，设置定时器，每隔一段时间对这些数据进行数据请求，之后，待数据返回，由客户端机器计算潮流流向，形成动态潮流箭头。

2)、动态饼图显示技术原理与实现

动态饼图显示技术的目的就是有助于运行人员快速了解网络过负荷。每个单线图的百分比动态饼图表示输电线路接近其热稳定极限的程度。动态饼图还可以通过色彩变化和分割尺寸的标记来生动的显示系统的临界点。在程序中，可以设定一个警戒值和事故值，当百分比没有超过这个值时，饼图中表示百分比的扇形是蓝色的；当超过警戒值时，扇形变为橙色；当超过事故值时，扇形变为红色。程序流程如下图。

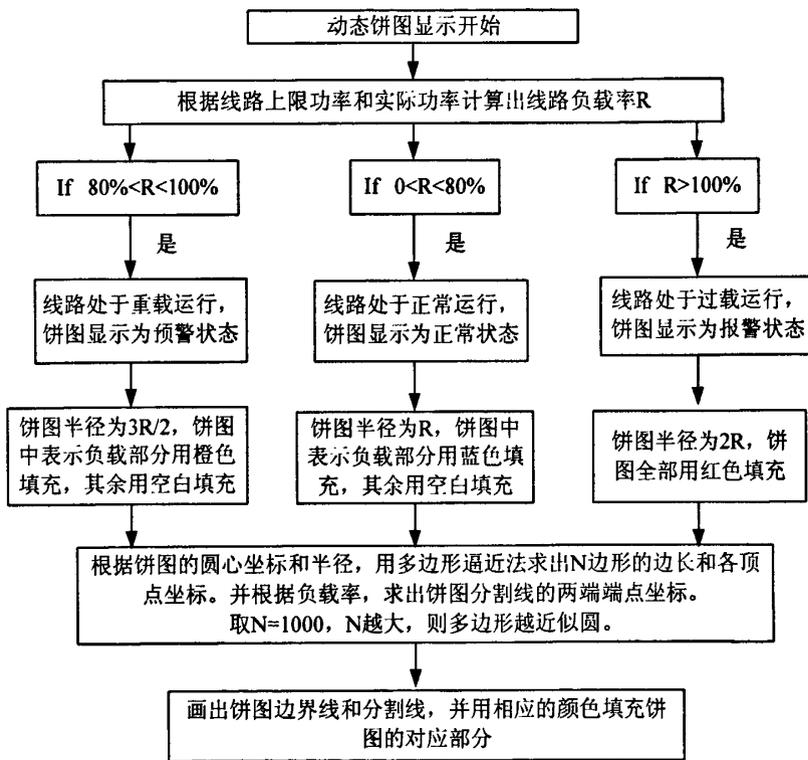


图 4-9 负荷饼图实现流程图

动态饼图技术不仅可以用来表示线路潮流与额定值的百分比，还可以表示其他一些物理量变化的百分比，如母线电压。

使用 SVG 和 Ajax 综合运用以实现潮流动画箭头，其重点是实现线路功率计算和箭头指向的结合。进行线路功率计算之前，首先要使用 Ajax 技术对实时数据进行请求。在请求时，只将潮流计算所用到的原始数据进行请求，则数据返回时不包含其他无用数据。待客户端接收数据完成之后，进行潮流计算，并结合 SVG 中的动画元素 animate，指定动画箭头的起点和终点，绘制出动态的潮流箭头。

利用 Ajax 动态绘制 SVG 电网图形中的饼图，需要 3 个参数：位置参数、百分比参

数和颜色阈值参数。客户端得到返回的数据后，计算线路功率与额定值的百分比，之后，结合 CSS 层叠样式表在 SVG 图形上动态显示饼图的负载情况。

综合动态潮流箭头与线路负载饼图，使用 Ajax 在 Web 客户端生成 SVG 电网潮流图的流程如下图：

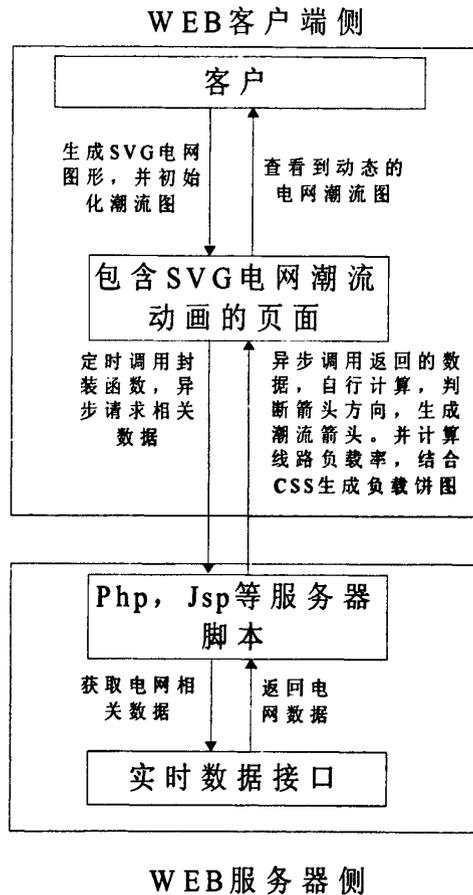


图 4-10 SVG 实现潮流动画示意图

4.5 本章小结

一个完整的电网模型应该包括图形和数据，本章重点论述了使用 Ajax 技术对 SVG 电网图形进行优化的方法。首先，针对传统 Web 客户端刷新方法的低效率，提出了以 Ajax 技术进行数据封装，对不同类型的数据进行分层次的请求，通过异步传输方式实现数据传输效率的提高，并在此基础上，提出利用 Ajax 技术结合 DOM 提高 SVG 图形互操作的友好性。

实现电网信息可视化是 SVG 图形最主要的目的，结合 Ajax 技术，本章按照可视化功能的实现是否需要客户端计算为界限，将可视化分为电网实时信息可视化和电网计算信息可视化。并以潮流动画的实现为例，通过对潮流动画实现的两大元素，潮流箭头和

动态饼图实现方法的研究,进一步表明 Ajax 技术在改善 SVG 电网图形,实现电网信息可视化中具有积极意义。

第五章 实例分析

以下实例分析均来源于甘肃定西电网的实际应用，采用的 EMS 数据平台为华北电力大学的 DR6000 智能调度决策支持系统，其中，数据库使用 Oracle 9i，使用 Apache 作为 Web 伺服器。Web 服务器脚本语言使用 PHP，客户端语言则使用 javascript。

5.1 定西调度 Web 存在的问题

定西电网智能调度决策支持系统接入综自厂站 22 座，遥测量 3749 个、遥控量 728 个，一个月的存盘数据占用数据库 2GB。定西调度系统中的 Web 服务器为 IBM 老款机型，且其所应用的 Web 服务已使用多年，无法满足未来的电网需求，主要存在以下问题：

- 1)、Web 可视化采用 Activex 控件实现，带来安全上的严重隐患。
- 2)、图形、数据格式采用私有格式，无法满足标准化应用。
- 3)、机器老旧加 Web 客户端设计不合理，导致客户查询历史数据时间太长。
- 4)、Web 客户端实时数据刷新效率低下，常出现实时数据显示“死数”现象。
- 5)、Web 客户端可视化程度低，只能对调度所需的基本电网信息进行显示。

针对这些问题，论文结合现场实际运行状况，以 SVG 图形和 Ajax 技术为技术核心，设计并用于该调度系统

5.2 实例应用

5.2.1 SVG 图形的 Web 发布

定西电网主要由三块区域组成：①北部电网以 330kV 定西变为中心，供电给 110kV 安定变、南川变等站；以安定变为电源点供 35kV 内官变等站，以南川变为电源点供电给 35kV 阳坡变、宁远变等站；以谗口变为电源点供电给 35kV 梁坪变、鲁沟变等站。②西部电网以 330kV 临洮变为中心，供电给 110kV 新添变、洮阳变等站，同时也是海甸峡等水电站的接入点。③南部电网以 330kV 陇西变为电源点，供电给 110kV 漳县变、岷县变等站，同时也作为古城、清水等水电站的接入点。

SVG 图形最基本的目的就是实现电网实时信息的可视化，下图为以 SVG 为图形格式，构建定西电网的一次接线图：

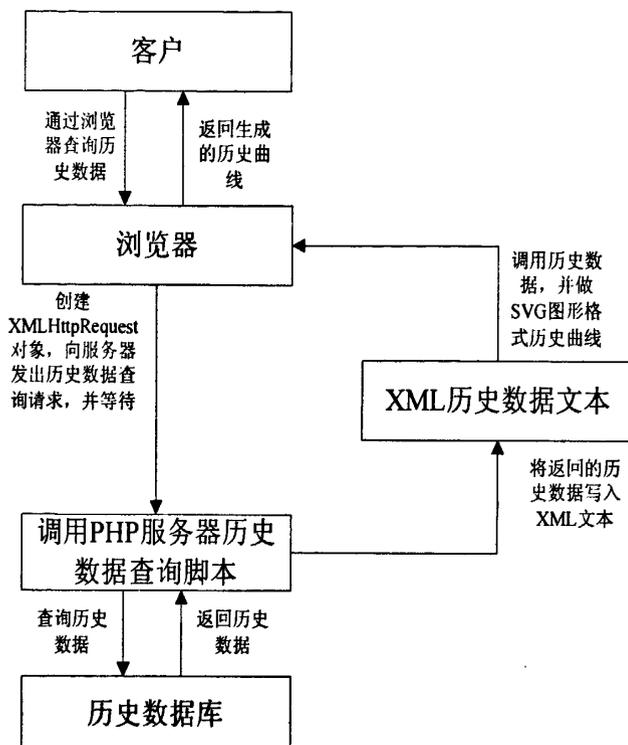


图 5-2 历史数据查询系统流程图

如下图，笔者在采用传统的隐藏刷新框架法查询该日数据，从查询开始到绘制 SVG 历史曲线共用时 4.122S。

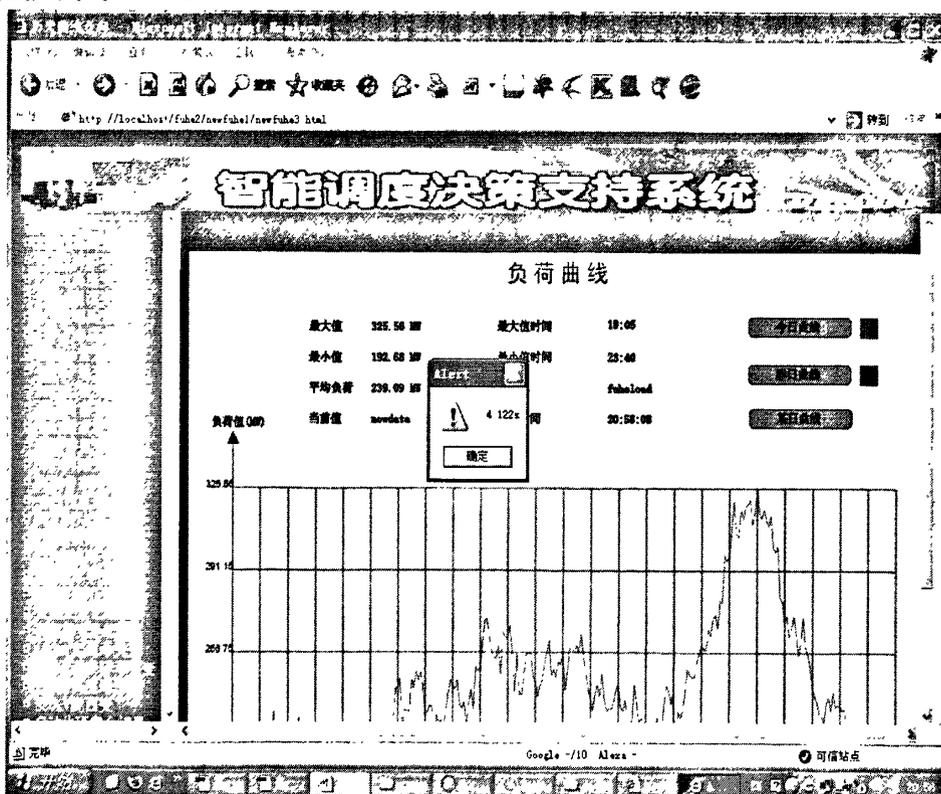


图 5-3 使用隐藏框架法读取某日负荷

采用 Ajax 技术后, 查询同日数据, 时间缩短到 1.572s,效率有了大幅度提高。如下图:

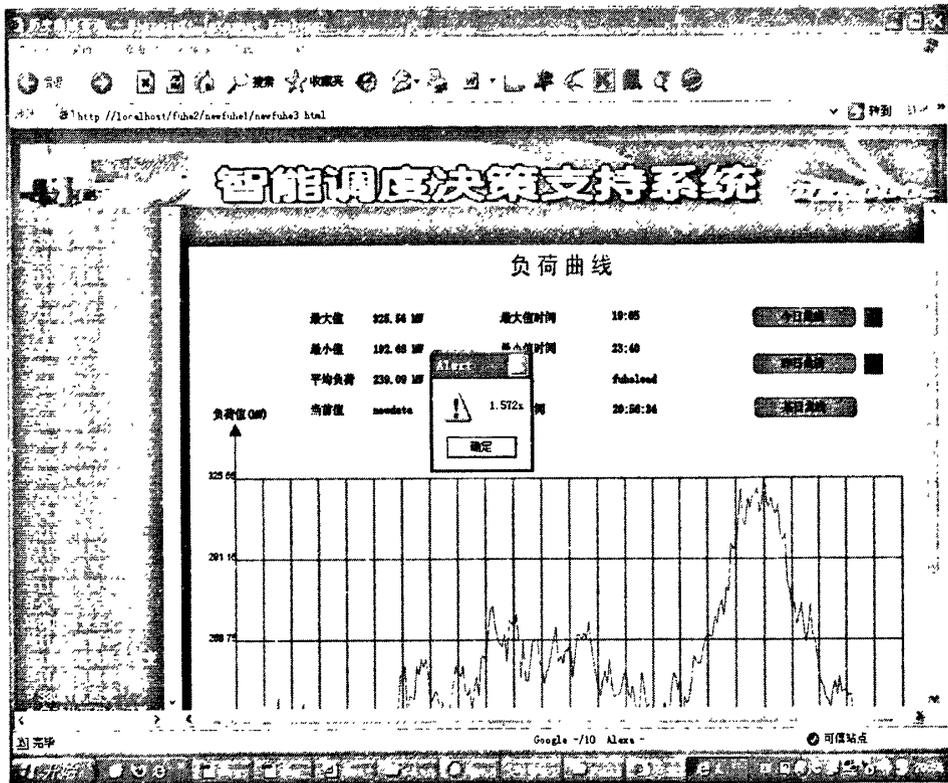


图 5-4 使用 Ajax 技术读取某日负荷

按照该方法, 分别查询该月 10 日内的历史数据, 得到时间对照表如下:

表 5-1 Ajax 与隐藏框架法查询历史数据时间对照表

日期	隐藏框架法查询时间	Ajax 查询时间
2008-12-10	3.783 s	1.112 s
2008-12-11	5.321 s	1.546 s
2008-12-12	4.122 s	1.572 s
2008-12-13	3.654 s	0.950 s
2008-12-14	3.332 s	1.286 s
2008-12-15	3.668 s	0.963 s
2008-12-16	4.232 s	1.325 s
2008-12-17	4.556 s	1.545 s
2008-12-18	3.558 s	1.221 s
2008-12-19	3.986 s	1.652 s
平均	4.021 s	1.316 s

经多次测试,使用 Ajax 技术之后,数据查询的时间平均缩短了 67%之多。此外,连接的客户端越多,处理的数据量越大, Ajax 的优势越明显,因为无论客户端有多少,计算总是在客户端侧,不会给服务器带来额外负担。

5.2.3 基于 SVG 和 Ajax 的潮流动画设计

SVG 与 Ajax 的综合,在 Web 客户端不仅可实现电网基本信息可视化,还可以在高级应用中得以拓展,即电网分析计算结果的可视化。本论文以定西电网的地理接线图为基础,动态绘制了 SVG 格式的定西电网潮流动画。

其正常潮流动画如下图:

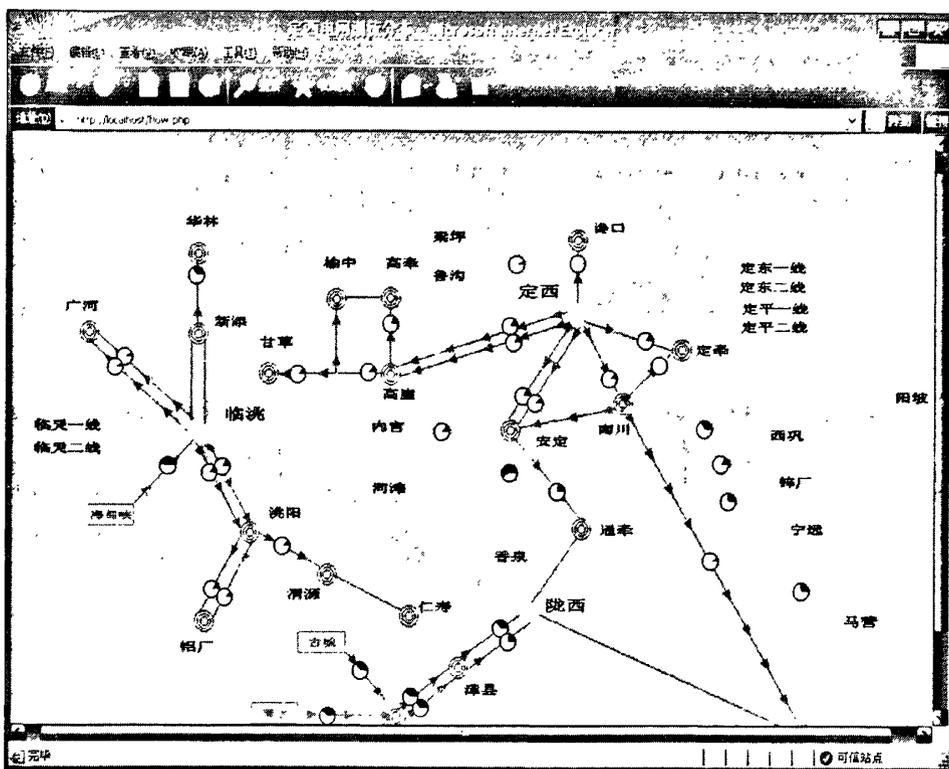


图 5-5 正常运行时的动态潮流

该电网潮流每隔一段时间,利用 Ajax 技术自动更新实时数据,由客户端自行计算,以判断潮流箭头方向,以及线路是否重载,一旦有异常情况,将在图形上显示出问题所在。

例如,在某次事故中,漳岷二线断开,漳岷二线的功率骤降为零,而漳岷一线则由于潮流转移承担了以前漳岷二线的功率输送,使得本来分配在两条相同交流线上的功率全部转移到漳岷一线上,导致本来只有不到 50%的负载度升至接近 100%。此时,负载饼图由正常色变为橙色预警信号,为调度运行人员及时提供了判断和分析故障的依据。

第六章 结论与展望

6.1 结论

随着电网规模的扩大,电力系统结构也更为复杂,因此对电力系统监视 EMS 系统的各种硬性要求也越来越高。而随着 Internet 技术的不断发展,尤其是 Web2.0 理念的应用,使以前只是单纯用于发布 SCADA 监视图形的电力 Web 的功能越来越强大。而随着 Web 功能的更强大,海量的电网数据处理,以及电网信息可视化的需求,迫切需要新的技术来进一步改进当前在 Web 中所应用的一些 SVG 电网图形的应用模式。

因此,本文综合了 Web、SVG、Ajax 的概念,将其有机结合,提出以 Ajax 技术为基础,改进 SVG 电网图形 Web 发布效率,并实现电网信息的可视化。论文研究得到以下成果:

1.在对 SVG 图形的技术特点做了详细分析之后,提出了基于 SVG 电网图形的 Web 发布设计流程。为实现电网信息 Web 发布可视化,奠定了基础。

2.针对传统 Web 客户端数据传输效率低下,互操作性能差的缺点,提出了使用 Ajax 技术优化 SVG 电网图形。

研究并设计了使用 Ajax 处理 SVG 图形的详细步骤,提出了以 Ajax 为框架实现对 Web 客户端请求数据的封装,并给出了实时数据刷新、历史数据处理和图形互操作的详细方法,研究证明,这种数据处理改善方法是行之有效的。

3.在综合 SVG 和 Ajax 两种技术的基础上,提出采用 Ajax 可提高数据传输效率,并以潮流动画的实现为例,进一步证明 Ajax 技术在改善 SVG 电网图形,实现电网信息 Web 发布可视化的重要作用。

4.将基于 SVG 和 Ajax 的电网信息 Web 发布设计应用于甘肃定西电网,证明该设计是实用和可行的。

6.2 展望

随着互联网技术的迅猛发展,电网调度的 Web 可实现的功能越来越强大,但是,目前在电力系统中对于 Web 的研究相对较少,而实际中 Web 有很大的拓展空间,尤其是结合 SVG 图形和 Ajax 技术,Web 可实现许多其他的应用,这些应用的实现还有待进一步研究,主要包括有:

1)、根据现代电网运行的要求,继续研究基于 Web 的电网运行可视化的新技术,更好地满足人的视觉效果,给数据赋予生命力,使其更加满足人性化的要求。

2)、通过 Web 服务,以 SVG 图形为基础,实现与其它异构系统的图形交换,并通过 Web 服务器向其它系统提供实时和历史数据的接口,以解决各种异构系统之间数据

图形交换难的问题。

3)、以 Ajax 为基础,结合 IEC61970 规范,实现从 CIM 模型中导出所需的 SVG 图形,并从 CIS 接口中获取数据。

4)、以 Ajax 技术为框架,设计基于 Web 客户端的高软计算功能。Ajax 的技术特征之一就是其在客户端侧强大的计算功能,利用该技术,可将原本只有 PAS 才能实现的高软功能拓展到每一个 Web 客户侧。

参考文献

- 1) 浙江省电力公司企业标准. 基于SVG的公共图形交互规则. Q/ZDJ 48—2006
- 2) 浙江省电力公司企业标准. 基于CIM的信息命名规范. Q/ZDJ 47—2006
- 3) 能量管理系统应用程序接口(EMS-API)第401部分: 组件接口规范(CIS)框架. 中国电力出版社.
- 4) 董朝霞, 戴琦, 杨峰. 基于CIM和SVG的电网建模技术. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5), 58-61.
- 5) 王志南, 吴文传, 张伯明等. 基于IEC61970的CIS服务与的SVG研究和实践. 电力系统自动化. 2005, 22(29), 60-63.
- 6) 冒宇清, 唐晓莉, 姜彬. 基于SVG/ Web Service 的Web 监视技术在EMS中的应用. 电力系统自动化. 2007, 31(4), 91-96.
- 7) 钱锋, 唐国庆, 顾全. 基于CIM 标准和SVG的分散式图模合并. 电力系统自动化. 2007, 31(5), 84-87.
- 8) 徐冲, 王康元, 邱家驹, 樊淑丽. 基于GML和SVG的电力图形系统研究. 继电器, 2008, 36(9), 64-66
- 9) 王健, 陈剑云, 屈志坚. 基于SVG的电力图元库的设计与实现. 继电器. 2008, 36(8), 79-83.
- 10) 刘遵雄, 况志军, 高玉柱. 基于SVG的电力图形系统的实现. 继电器. 2005, 33(21), 69-73.
- 11) 王康元, 张 洁, 朱丽娟. 基于SVG的电网数据可视化图形描述. 电力系统及其自动化学报. 2006, 18(5), 84-89.
- 12) 郭创新, 齐旭, 朱传柏, 刘波, 曹一家, 秦杰. 基于SVG的电力调度图形支撑平台设计与实现. 电力系统及其自动化学报. 2007, 19(2), 28-33.
- 13) 樊淑丽, 王康元, 邱家驹, 王杰. 基于SVG的电力信息可视化框架设计. 继电器. 2007, 35(10), 48-52.
- 14) 侯晓静, 苑津莎, 李中, 徐良燕. 基于SVG的电网WebGIS实现方案. 电力系统通信. 2006, 27(163), 41-46.
- 15) 王杏. SVG在电网线损管理系统中的应用研究. [硕士学位论文]. 华中科技大学, 软件工程, 2006.
- 16) 黄凯伟. SVG开发实践. 电力工业出版社.
- 17) SVG中国. <http://www.chinasvg.com/>.
- 18) W3C在线教程. <http://www.w3school.com.cn/>

- 19) IBM中国研究中心. <http://www.ibm.com/developerworks/cn>
- 20) 谢亦才, 杨群生. 基于SVG和Ajax的WebGIS设计与实现. 计算机技术与发展. 2009, 5, 249-251.
- 21) 刘云峰. 基于Web服务的电力系统实时监视技术的研究. [硕士学位论文]. 华北电力大学, 通信与信息系统, 2007.
- 22) 鲁 强. 基于Web的电力通信网络管理中三维监视界面的应用. 电力系统通信. 2003, 12, 41-45.
- 23) 贾智平, 李明. 基于Internet的电力监视组态软件的关键技术. 电子系统自动化. 2002, 8, 62-66.
- 24) 江宏, 孙忠利, 张国浩, 顾坚. 变电站监视系统的Web服务器实现方案. 电力系统自动化. 2007, 27(3), 80-85.
- 25) 金敏, 周翔, 徐田军, 王传启. 变电站自动化系统中嵌入式Web服务器的设计与实现. 电力系统自动化, 2002, 26(18), 65-70.
- 26) 蒋元晨, 潘正压. 电力管理信息系统中图形的Web发布. 电力系统自动化, 2007, 27(18), 61-66.
- 27) 高强, 童晓阳, 刘志刚, 钱清泉. 基于AJAX的变电站嵌入式Web发布系统的设计与实现. 电力系统自动化. 2008, 32(9), 57-61.
- 28) 干家峰. 可视化技术在电力调度自动化系统中的应用. [硕士学位论文]. 天津大学, 计算机科学与技术, 2007.
- 29) 张银鹤, 肖新峰, 崔程. PHP+Ajax网站开发典型实例. 电子工业出版社
- 30) 陈争航. Javascript编程宝典. 电子工业出版社.
- 31) 夏慧军, 魏学辉. 深入浅出Ajax. 电子工业出版社.
- 32) Draft IEC61970:Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 301: Common Information Model (CIM) Base[S], 1999.
- 33) Draft IEC61970:Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 303: Common Information Model (CIM) SCADA[S], 1999.
- 34) IEC 61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 501: CIM RDF Schema Draft Revision 2. 1999
- 35) IEC 61970. Energy Management System Application Program Interface (EMS-API) Part 1: CCAPI Guidelines Preliminary Draft. 1999
- 36) Altman. The challenge of Web Services. Business Integration Journal, 2003. 59~63
- 37) Ying Huang, Jen-Yao Chung. A Web Services-based framework for business integration. Electronic Commerce Research and Application, 2003. 15~26

- 38) Ander Moller, Anders Sandholm, Schwartzbach. A runtime system for interactive Web Services, Computer Networks, 2004, 1391~1401
- 39) Youcef Baghadi. A Business Model for B2B Integration through Web Services. Computer Society, 2003. 61~63
- 40) Tommy Joseph, Tibco Inc. A Messaging-Based Architecture for Enterprise Application Integration. Business Integration Journal, 2004. 90~94
- 41) Leonid Erlikh. Integrating Legacy System Using web Services. EAI Journal, 2002. 12~20

致 谢

近三年在华电的研究生生活转瞬即逝，这座美丽的校园也给我留下了太多美好的回忆！值此硕士论文撰写完成之际，我要由衷的感谢我的恩师刘文颖教授长时间来对我的滋育之恩。近三年来，导师不但在学业上给与学生孜孜不倦的指导和教诲、为我提供良好的学习氛围和难得的锻炼机会、培养学生独立思考和解决问题的能力，而且在生活上也给予学生无微不至的关怀和帮助。特别是在论文的选题、设计、研究内容的确定和研究方案等方面，都蕴含了导师的辛勤汗水和殷切希望。导师敏捷的思维、严谨的治学态度、求实创新的科研精神，特别是多年如一日的工作热情深深感染着每一位学子，这份精神力量将是我日后的明灯，将使我受益终身。导师三年来无数的教诲和鼓励，学生将永远铭记在心。在此向恩师致以最深切的谢意。

在研究生学习阶段中，实验室里的李光珍、云会周、燕妮等同学和我的室友白银浩、白洁、程卫东给了我很多热情鼓励和无私帮助。藉此机会向所有帮助过我的老师和同学们致以诚挚的谢意。

最后，我要向一直以来默默支持我的父母和家人表示敬意，是他们用无私的爱给予我一直奋斗的希望，感谢他们在我多年的学习生涯中给予我的支持与鼓励。

在校期间发表的学术论文和参加科研情况

1、在校期间发表的学术论文

[1] 刘敏, 李光珍等. 基于 Ajax 的 SVG 电网图形优化. 全国高校第 25 届电力系统及其自动化年会, 长沙, 2009, 10.

[2] 燕妮, 刘敏等. 智能报警的研制与开发. 全国高校第 25 届电力系统及其自动化年会, 长沙, 2009, 10.

2、在校期间参与的科研情况

[1]2007 年 11 月--至今。“定西智能调度决策支持系统”的研发。主要负责：①负责编写核心程序，使通过 Web 服务发布 SCADA 平台数据和图形。并安装调试 Web 服务器；②EMS 系统软硬件的调试，具体包括 UNIX, Windwos Server, Linux 的各种操作系统的安装调试, Oracle, Mysql, Sql Server 数据库的安装调试, SCADA 平台的架设；③负责负荷预测的数据调试。

[2]2008 年 3 月-2008 年 5 月。“兰州地区智能调度决策支持系统”升级更新及人员培训。主要负责平台图形、数据库的更新维护。该项目获得甘肃省科技进步二等奖。

[3]2008 年 11 月-2008 年 12 月。“鄂尔多斯地区智能调度决策支持系统”升级更新。主要负责平台图形、数据库的更新维护，以及 Web 服务功能的安装，调试，升级。

