

跨区域大电网GIS平台架构的设计与研究

针对现有跨区域大电网GIS平台因采用架构紧耦合设计而导致的功能扩展困难及性能较低等问题，研究了大电网GIS平台与电网业务系统的连接关系，并对现有系统紧耦合架构进行分析，对跨区域大电网GIS平台的架构设计进行详细的研究，提出一种综合采用与业务系统松耦合的结合方式、统一面向服务架构、多级缓存及客户端渲染技术的松耦合架构设计模型。最后针对松耦合的GIS架构设计进行POC验证，证明了松耦合GIS平台架构在建设跨区域大电网GIS平台的优越性与可行性。

何珏 李晋伟/南方电网超高压输电公司检修试验中心



何珏/工程师

关键词/Keywords

跨区域大电网GIS ·
架构设计 ·
紧耦合 ·
松耦合 ·
POC验证 ·

0 引言

在电力系统中，输配电网络、电厂、电力设备及电力污区等资源都是按照地理分布的。地理信息系统 (Geographic Information System, GIS)以其强大的数据分析和空间分析功能，已被广泛应用于电力信息自动化系统中^[1-2]。跨区域大电网系统网络拓扑结构复杂，电力设备节点多而分散，且变动频繁，其运行维护管理工作往往与地理位置信息有关，利用GIS的数据库管理和数字图形显示技术可直观地对电气设备进行运行管理。但随着跨区域大电网的快速发展、业务管理水平和经营能力的不断提高，电网业务系统对GIS公共服务提出了更高的应用支撑需求，包括数据查询、可视化、电网和空间分析等业务应用，目前大量使用的紧耦合架构的GIS系统已难以满足跨区域电网的业务需求，因此需要设计出新的GIS平台架构，并从中抽象出公共服务用于支撑电网新

增的应用业务^[3-8]。

本文以跨区域大电网的GIS平台架构为研究对象，总结了当前大电网业务支撑需求，研究了跨区域GIS平台与电网业务系统的关联，分析了现有GIS平台架构的局限性，提出了一个适用于跨区域大电网的松耦合GIS平台架构，并对此平台架构进行了概念验证测试 (Proof of Concept, POC) 试验，验证了基于松耦合的省级集中GIS平台的服务响应的有效性与可行性，对各省级及其以上级别电网公司建设多维度的跨区域大电网GIS平台具有指导意义。

1 GIS平台与各业务系统的关系

对于GIS平台而言，能使其发挥作用的基本前提就是电网基础数据的准确性与及时性，当前各个区域大电网各业务系统所需GIS支撑的公共业务应用表如表1所示。

由表1可以看出，随着电网业务系统中信息可视，资源集约，业务融合的需求及业务支撑需求决定了GIS作为电网公共服务平台的定位。GIS平台作为电网公共服务平台，其服务的重点在于基础空间地理数据管理、全生命周期的输电网拓扑的可视化管理、空间可视化和分析服务以及输电网可视化和分析服务。图1展示了GIS作为大电网公共服务平台与企业应用之间的关系。

(1) 与电网运行监测及规划系统的关联
电网运行监测系统包括输电设备在线监测系统、线路覆冰在线监测系统、气象监测系统与雷电定位系统等自动化

表1 电网业务系统所需GIS支撑的公共业务应用表

业务应用	具体业务应用
安全生产	电网模型、设备、拓扑管理，输电运行管理，电网巡检、操作、生产、调度、应急管理等
调度管理	主网及配网调度管理、雷电信息、气象防灾信息、大屏检测以及统一展示等
营销管理	业扩报装、电能量检测、用电量分析、故障报修、负荷管理、能效管理等
物资管理	供应商管理与优化分析、物资调配与配送、仓储管理、物流价值分析、辅助决策等
电网规划、投资计划、项目管理	电网规划辅助管理，综合、生产、投资计划，经济活动分析、电力分析需求预测，项目规划、进度、与决算管理等
人资、财务管理	人力资源空间分布、人力资源流程分析、财务数据可视化、基于空间的财务分析等

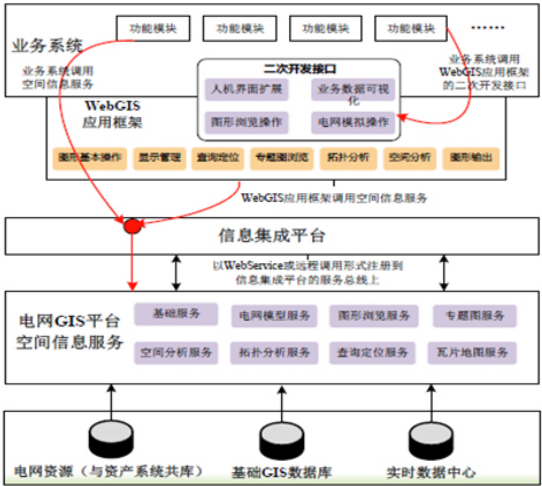


图1 大电网GIS平台与企业应用之间的关系

系统、通信资源管理系统以及调度管理系统。大电网GIS平台可通过获取开关变位信息、主配网准实时信息、电网空间与图形信息、电网专题图信息来进行空间分析、灾害预报、山火预报、在线监测、气象监测以及在线监测与气象监测的可视化。同时，GIS平台通过获取电网规划系统相应信

息来进行负荷的预测以及指标的规划。

(2) 与营销管理系统的关联

大电网GIS平台支撑营销管理系统的用户空间、拓扑信息管理、辅助分析决策管理、站线变户关系管理以及输电网运行信息可视化。此外，还与线损信息管理、业扩报装信息以及故障信息有着密切的联系。

(3) 与生产以及物资管理系统的关联

通过大电网GIS平台可以直接获取生产管理系统以及物资管理系统的设备台账资料、生产运行信息、物资物料信息以及备品备件信息来服务于相关的电网业务，如电网空间与图形信息的管理、电网拓扑信息管理、电网专题图信息管理、空间与拓扑分析结果管理与物资、物料、车辆可视化操作等。

(4) 与应急指挥系统的关联

应急指挥系统通过GIS平台将应急资源可视化，实现抢修车辆实时定位与抢修资源位置信息的及时获取，使得应急指挥系统能发挥更全面的应急指挥功能。

2 GIS平台架构设计的研究

2.1 紧耦合GIS平台架构的局限性

现有大电网GIS平台多采用基于紧耦合的平台构架，其平台架构模型如图2所示。由图2可以看出在软件应用以及空间信息服务中，GIS平台以紧耦合的方式直接与大电网GIS平台数据库进行接合，这种架构模型不具备数据的安全共享以及强大的二次开发能力，难以适应现在飞速发展的电网业务对其提出的公共服务要求。GIS平台的紧耦合构架导致电网模型的不透明且拓扑数据存储的不明确，从而降低GIS平台的数据处理能力，影响了电网生产信息的共享；同时，基于紧耦合的平台构架还会导致空间信息服务的数据模型不能进行电网数量及用户的水平扩展，在电网用户数量较多时系统服务器反应速度过慢；紧耦合的架构也严重影响了电网GIS平台软件的集成嵌入。因此基于紧耦合的架构设计严重影响着功能扩展以及性能提升，在严重制约了对大电网各业务系统公共服务的支撑能力的同时不能满足面对全省集中

部署、基于拓扑的电网专业应用；严重制约拓扑编辑、拓扑分析、性能优化等事务能力的反应速度以及反应时间，限制了统一电网信息模型的实现，因此现有GIS平台的紧耦合架构亟待改进^[9-10]。

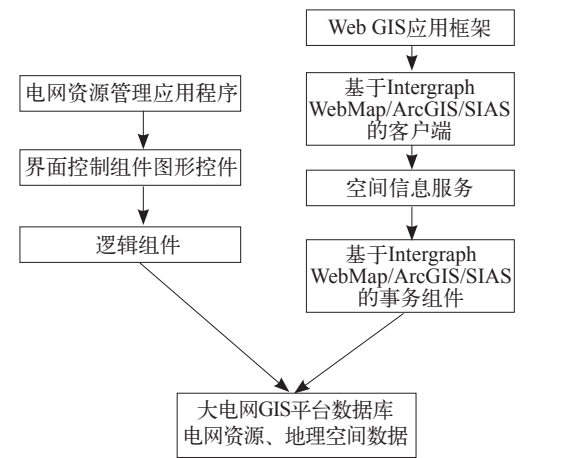


图2 现有基于紧耦合的电网GIS平台架构模型

2.2 松耦合GIS平台架构的设计

通过对现有GIS平台架构基于紧耦合的设计模型的局限性分析可知跨区域大电网GIS平台架构应采用与紧耦合相反的松耦合平台架构设计模式，采用与电网各业务系统统一的电网信息模型、信息集成平台进行集成设计，建立统一的电网设备模型，实现输、变、配电网模型的一体化。

松耦合GIS平台架构以数据资源管理平台作为信息模型主数据存储并实现模型交换和维护、电网拓扑及空间信息的可视化管理，通过信息集成平台，发布各类电网空间信息服务，为资产管理、营销管理、电网运行、电网规划等业务应用提供服务支撑以及数据交换、服务穿透完成电网资源数据和基础地理数据的共享与交换，实现大电网GIS平台与业务应用系统的松耦合集成。图3为松耦合GIS平台架构示意图。

对比基于图2与图3的GIS平台架构模型，可看出基于松耦合的GIS平台架构的优势如下：

- 1) 电网资源管理可采用与GIS平台软件无关的方式实现，满足电网专业应用需求。
- 2) 统一的数据访问组件，实现跨区域GIS平台数据访问。
- 3) 空间信息服务与GIS平台软件无关，确保

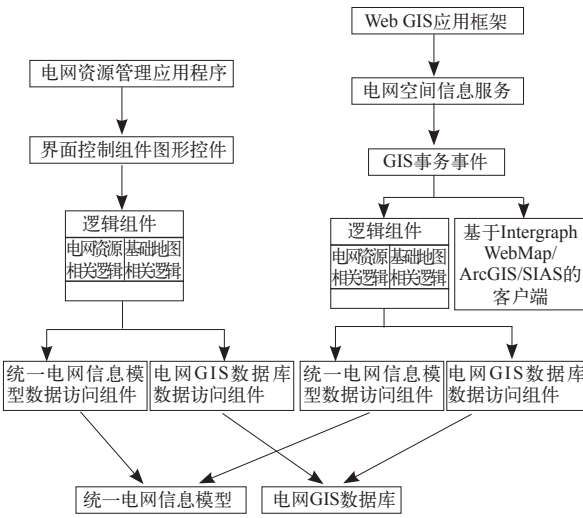


图3 基于松耦合的电网GIS平台架构模型

对一体化系统的统一支撑。

4) 调用GIS平台软件应用和服务来实现基础地理信息处理功能，发挥其海量数据处理优势。

5) 统一、透明化的电网信息模型存储。

6) 电网资源相关数据库的设计建立在统一电网信息模型标准和生产、营销相关规范基础上，采用开放的、跨区域GIS平台软件的技术路线，基于关系型数据库(Oracle)进行逻辑模型和参考物理模型设计，实现电力通信网的拓扑贯通。

基于松耦合的GIS平台架构应基于网省两级部署的硬件平台设计，采用C/S和B/S相结合的模式以及采用跨区域GIS平台软件松耦合的技术路线，按照数据访问层、应用逻辑层、应用服务和应用展现层进行多层结构体系设计，采取面向对象技术进行应用组件开发、基于SOA设计思想进行服务分层，采用可视化拓扑维护、专题图自动生成、矢量图形传输和WebGIS客户端渲染等技术进行基于松耦合的功能模块设计，图4为基于松耦合的GIS平台架构构建图。

由图4可以看出，架构设计采用面向服务架构(SOA)进行设计，基于企业级地理信息平台统一对各业务应用提供支持，实现图形和业务的松耦合。表现层采用矢量图形数据传输、WebGIS客户端渲染技术，在客户端进行电网和业务数据基于松耦合的结合从而达到渲染、高亮、闪烁以及其他动态效果，并且在客户端完成大部分人机交互

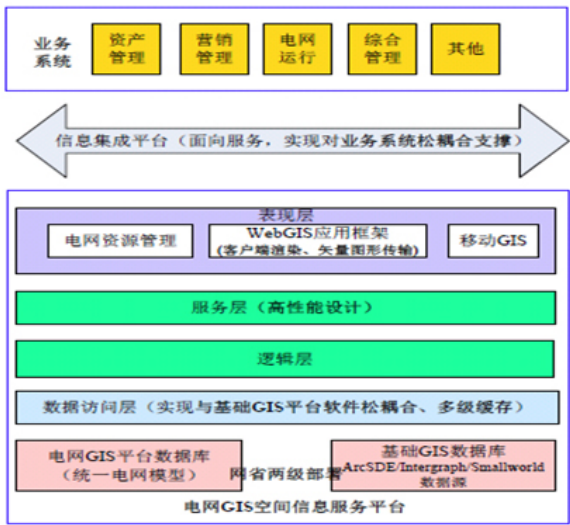


图4 GIS平台架构设计图

互，提供良好的用户体验。服务层采用高性能设计，承载绝大部分数据访问压力，尽量降低对数据库数据通道的占用；采用多级、可平行扩展的服务器集群技术，为全省和全网大规模应用提供具有秒级性能的访问服务。数据层访问上，在GIS基础软件平台中抽象形成统一接口层，实现了平台松耦合。

智能客户端技术和多级缓存支持大集中部署：平台按省级集中部署模式，通过多级缓存技术以及智能客户端技术，降低网络数据下载、提交频率及网络数据流量，解决集中部署的并发维护性能瓶颈及效率问题，降低建设、维护的成本。采用多级缓存技术和智能客户端技术还有如下优势：

- 1) GIS应用服务器采用缓存和切片技术，降低对数据库服务器的压力。
- 2) B/S客户端缓存和渲染技术：采用RIA富客户端技术，基于矢量的电网数据进行渲染，点击检测盒查询等，同时缓存基础地理数据，避免所有操作都访问应用服务器。
- 3) C/S客户端缓存技术：C/S客户端从数据库服务器下载管辖范围内的数据与缓存，访问缓存数据进行图形浏览显示和拓扑分析。为确保数据一致性，电网编辑修改在更新缓存的同时，写入数据库服务器。

综上所述，采用基于松耦合的GIS平台架构设计具备安全的数据共享功能以及强大的二次开发能力，能保证支撑飞速发展的电网业务应用需求。但是，为了提供更为有力的实践依据，给出GIS平台架构设计逐步发展和提升的演变路线，基于松耦合的GIS平台的性能指标仍需要进行更为详尽的验证。

3 POC验证测试

3.1 POC验证测试的目的

为确保大电网GIS平台松耦合架构设计合理可行，对GIS平台架构的进行POC验证测试，选定GIS平台功能、数据库设计及空间信息服务三方面作为验证对象，以实际GIS平台运行中需要满足的关键技术和性能要求为目标，进行模拟功能运行和压力测试，来验证基于松耦合的GIS平台架构的系统性能和承载能力。图5为POC验证测试的流程。

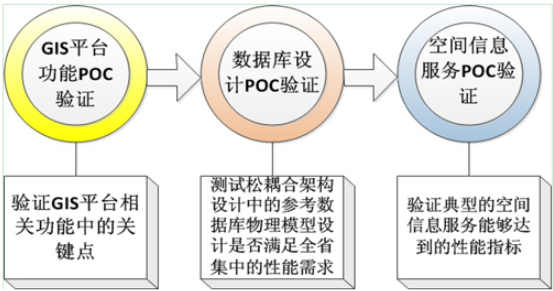


图5 POC验证测试的流程图

3.2 POC验证测试的软硬件配置

POC验证测试采用1台10核64 GB内存的IBM PC服务器作为压力测试服务器进行空间信息服务及数据库设计中的相关压力测试；1台连接大容量DS3500磁盘阵列的10核512 GB内存的IBM PC服务器以及1台连接较小容量固态硬盘阵列的10核96 GB内存的IBM PC服务器作为数据库服务器进行数据库设计POC验证。这3台服务器通过1Gbit/s的带宽连接4台6核16 GB内存的IBM应用服务器进行GIS平台功能以及空间信息服务相关的POC验证。所有PC服务器均采用Windows系统，图6为软硬件的具体配置及连接图。

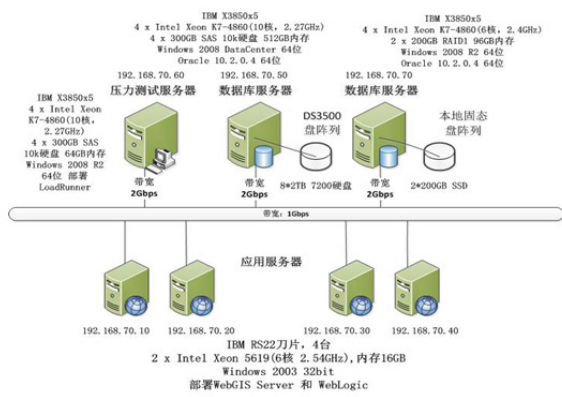


图6 POC验证软硬件的具体配置及连接图

3.3 POC验证测试过程与结果

(1) GIS平台功能的POC验证过程与结果

GIS平台功能的验证关键点在于电网模型的本化管理、可视化拓扑维护、批量台账维护、单线图自动生成、客户端缓存以及WebGIS客户端渲染和矢量传输这6大方面功能的验证。表2列出了POC验证过程中GIS平台功能中的关键点验证。

表2 GIS平台功能中的关键点验证表

待验证功能项	待验证关键点
电网模型的本化管理	设计版本编辑、设计转运行版本
可视化拓扑维护	线路建模、坐标批量导入、撤销/恢复操作、站所内部接线图编辑、低压表箱和表位布局图编辑、批量导入表位信息
批量台账维护	批量查看台账信息、批量修改台账信息、批量导出台账信息
单线图自动生成	自动生成并布局单线图、导出所见即所得CAD图
客户端缓存	电网数据和切片地图在C/S客户端的缓存
WebGIS客户端渲染和矢量传输	矢量方式显示电网图、设备定位、缩小和放大、平移、测距、区域选择

通过4台应用服务器对表2中GIS平台架构设计功能中的关键点的逐一验证，得出如下结果：关

于电网模型的版本化维护、客户端缓存、WebGIS客户端渲染和矢量传输等关键技术设计具有技术可行性；需求规格说明书中关于可视化拓扑维护、批量台账维护、单线图自动生成等核心功能的易用性和便携性设计具有技术可行性。

(2) 数据库设计的POC验证过程与结果

以大电网GIS平台参考物理模型设计进行模拟测试数据的准备，利用Oracle数据库模拟包含了近6万条10 kV线路、8 000万低压用户表计、33个地区局、213个分局县局的数据。然后以LoadRunner（压力服务器）进行压力测试，模拟了1 h内500在线用户的日常查询修改和20并发工程编辑操作，共创建了设计与施工版本数1 719个。图7为数据库设计POC验证的流程图。

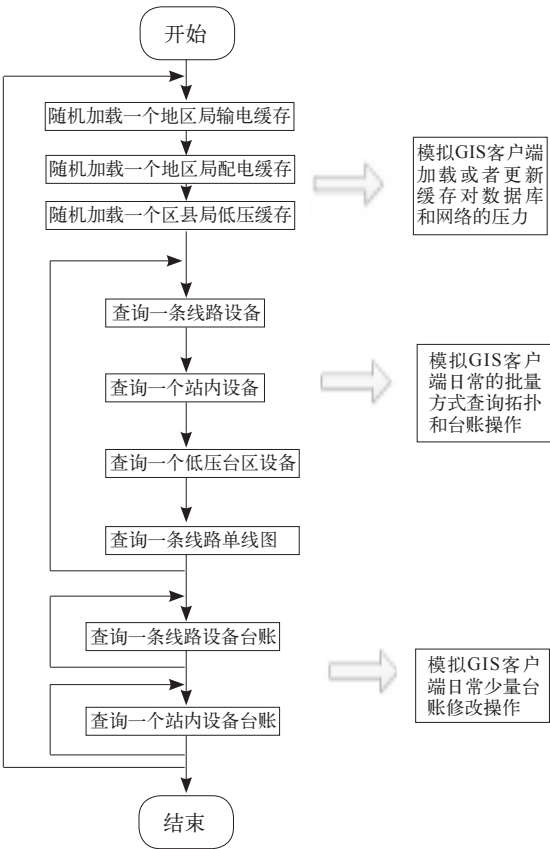


图7 数据库设计POC验证流程图

图7中，在随机加载输电、配电以及低压缓存后，用户开始进行反复的日常查询修改操作来进行GIS平台数据库设计的验证，这些查询修改包括

查询线路设备、站内设备、低压台区设备、线路单线图，修改线路及站内的设备台账。在成功模拟GIS客户端日常的查询修改操作后，LoadRunner开始创建设计与施工版数，其流程如图8所示。

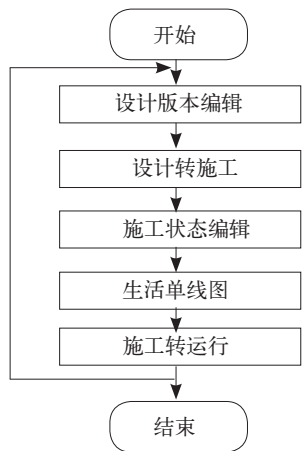


图8 设计与施工创建流程图

在按照数据库设计POC验证的要求下进行POC验证测试，在测试中又新增了3 437条配电线路以及4 398 080个低压表计，最终得到GIS平台在模拟环境下各项操作响应时间和分布情况，并将数据库测试结果汇总如表3所示。

表3 数据库POC测试结果

事务名称	90%用户 响应时间/s	平均值/s	最小值/s	最大值/s
加载缓存	22.03	12.101	0.547	117.403
加载输电缓存	0.542	0.414	0.068	1.858
加载配电缓存	1.781	1.242	0.155	7.361
加载低压缓存	19.796	10.454	0.096	111.755
查询设备台账	1.194	0.858	0.19	6.116
修改设备台账	0.151	0.088	0.007	3.484
设计施工状态编辑	37.665	19.264	7.868	77.53
设计状态编辑	32.334	15.663	5.493	72.675
设计转施工	1.482	0.706	0.193	10.877
施工状态编辑	3.621	2.807	1.894	11.717
生成单线图	0.312	0.032	0.022	3.308
施工转运行	0.014	0.006	0.002	0.221

由表3可以看出，GIS平台数据库参考物理设计在模拟500在线查询修改用户和20并发工程编辑的压力测试中，对6万条10 kV线路，8千万低压表计规模的模拟数据进行频繁的缓存加载、查询和编辑操作，在数据库服务器的CPU、网络带宽等多项指标都超过90%、服务器重载的情况下，各项操作响应时间和分布情况较为合理、未出现明显性能劣化现象，而且在Oracle负载较重的情况下，系统运行平稳，无明显性能瓶颈。表明数据库设计对基于松耦合全省集中GIS平台的高并发和大数据量读写访问的性能需求支撑较好。

(3) 空间信息服务的POC验证过程与结果

空间信息是反映地理实体空间分布特征的信息，空间信息借助于空间信息载体（图像和地图）进行传递。大电网GIS平台架构是通过WebGIS进行空间信息服务，通过利用4台运行的应用服务器组成了WebGIS服务群集，模拟出400个在线用户后，在平均每秒164个事务的条件下，利用LoadRunner按操作比例和一定的操作频度发出WebService请求，观察服务响应时间和服务器负载。图9为空间信息服务POC验证的流程图。

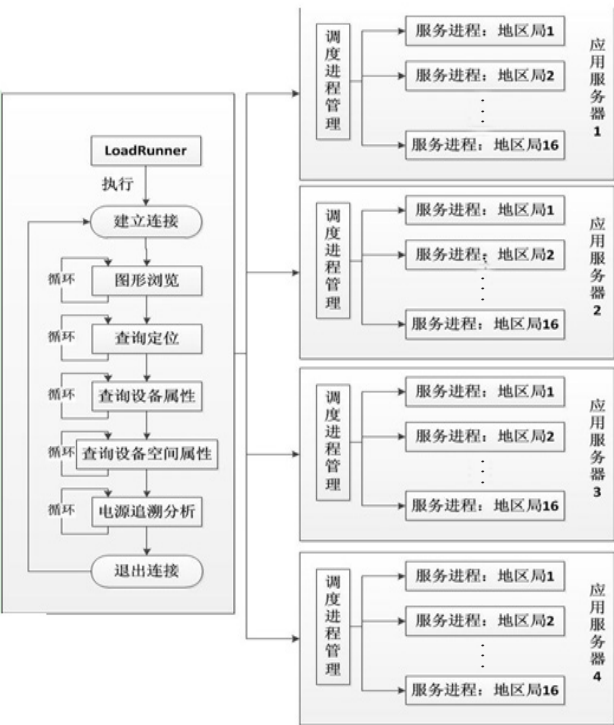


图9 空间信息服务POC验证流程图

空间信息服务原型提供了亚秒级（0.05~0.4 s）的快速服务能力，可以水平扩展在线用户数目和可处理电网数据量。而GIS平台原型验证空间信息服务在400个在线用户的压力测试中，地理图浏览的平均响应时间为0.3 s，点击查询、查询设备属性、查询设备空间坐标的平均响应时间为0.05 s，如表4所示。

表4 空间信息服务的POC验证结果

事务名称	应用服务器	事务百分比 (%)	事务完成条目	90%用户响应时间/s	平均值 /s	最小值 /s	最大值 /s
图形浏览	应用服务器1	41.6	30 000	0.368	0.279	0.115	2.116
点击查询	应用服务器1	16.7	12 000	0.042	0.039	0.023	1.335
查询设备属性	应用服务器1	16.7	12 000	0.042	0.046	0.014	1.494
查询设备空间坐标	应用服务器1	16.7	12 000	0.036	0.043	0.014	1.312
电源追溯分析	应用服务器2	8.3	6 000	0.405	0.331	0.181	2.918

由于空间信息服务器可以通过增加服务器台数和单台服务器的CPU核心数进行平行扩展、以支持更多用户应用需求，因此基于松耦合的省级集中GIS平台的服务快速响应具有技术可行性。

4 结束语

- 1) 梳理了大电网GIS平台与电网各业务系统的联系，总结出跨区域大电网各业务系统所需GIS平台提供的公共服务项目。
- 2) 通过对现有大电网GIS平台紧耦合架构设计局限性的分析，结合各业务系统对GIS平台的功能业务需求，对基于松耦合的大电网GIS平台架构设计进行了研究，提出了大电网GIS平台新架构的设计方案。
- 3) 通过POC验证对松耦合架构设计中的关键设计要素的验证测试，验证了本文提出的跨区域大电网GIS平台架构设计方案的有效性与实用性。

参考文献

[1] 吴信才. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

[2] 翁颖钧, 朱仲英. 地理信息系统技术在电力系统自动化中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 74-78.

[3] 林峰, 郭宝, 钱蔚. 面向公共电网GIS平台的电网地理图形应用架构[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(24): 63-67.

[4] 王珣, 张勇平, 白恺, 等. 基于三维全景系统的智能化生产管理[J]. 中国电力, 2011, 44(4): 85-89.

[5] 苏炳洪. 基于电网模型的地理信息可视化实现[J]. 华北电力技术, 2012(2): 12-19.

[6] 王海滨, 鲍海. 基于数字电力系统的地区配电网网络统一数据平台的研究[J]. 现代电力, 2003(2): 46-49.

[7] 赵耀龙, 朱兰艳, 董菲. GIS系统建设中的几个实际问题[J]. 四川测绘, 2000, 23(1): 21-24.

[8] 王冬, 陈春, 何海舰. 网络地理信息系统关键技术及其发展趋势的研究与探讨[J]. 测绘与空间地理信息, 2005(2): 23-26.

[9] 张安妮, 李明东, 尹德春. 基于C/S和B/S混合结构体系的管理信息系统模型[J]. 计算机与数字工程, 2006, 31(3): 25-27.

[10] 刘建民, 许中平, 张军伟. WebGIS技术的实现及在电力系统中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(4): 205-208.

作者简介

何珏（1987-），男，工程师，主要从事超高压运行维护自动化及电力系统在线监测方面的工作。

李晋伟（1986-），男，工程师，主要从事超高压系统在线监测、电力系统参数辨识及风险评估、柔性交流输电等研究工作。

（收稿日期：2015-12-10） **EA**

（编辑：鞠佳）