

基于 Web 的人口普查地图标绘系统的设计与实现

罗 斌, 李洪省, 王英杰, 余卓渊

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 本文根据人口普查地图制图的需求, 从系统架构、功能设计等方面介绍了基于 Web 的人口普查地图制图系统的设计方案, 讨论并解决了人口普查地理区域划分、人口普查地图在线绘制、人口普查地址编码等关键技术问题。该系统主要功能包括标绘底图制作、地图(点、线、面)标绘和符号化、标绘成果审核、地图打印、权限控制等, 能够完全满足人口普查地图绘制中的区域划分及建筑物等地形地物和要素名称的标绘。如在第六次全国人口普查中得到应用, 将能够首次实现全国“一幅图”的精细到调查小区级别的数字化人口基础地理数据框架, 进而大大推进中国人口普查工作和数据分析的现代化进程, 为充分发挥人口普查数据的作用和价值提升打下基础。

关键词: 人口普查制图; WebGIS; 标绘

1 引言

人口普查是指在国家统一法规的时间内, 按照统一的方法、统一的项目、统一的调查表和统一的标准时点、对全国人口普遍地、逐户逐人地进行调查登记。目前, 我国人口普查地理区域划分和普查地图绘制仍然停留在手工阶段, 从“三普”只有地址编码^[1]、到“四普”^[2]、“五普”^[3]绘制小区示意图, 每一次人口普查都需要大量的人力、物力和财力; 人口统计仍然以行政单元为主, 缺乏以普查区、调查小区为单元的人口普查地理空间支撑; 普查区和调查小区地图以纸质归档或扫描后存储, 无法进行精细尺度的人口数据空间分析及应用。随着 3S 技术(GPS、GIS、RS)的广泛应用, 以数字化方式进行普查制图已经成为发展趋势^[4]。

本文从系统架构、功能设计等方面介绍了人口普查地图制图系统的设计方案。在研究自上而下及自下而上的人口普查地图绘制技术方法的基础上, 以国家基础测绘 1:100 万、1:5 万数字化地图、地方测绘 1:1 万数字化地图及更大比例尺地图、遥感影像及地方挂图为标绘底图, 以历史普查地图为参照, 实现了基于 Web 的适合于国家、省、区县三级统计部门的网络在线普查地图标绘系统。

2 人口普查地图标绘系统设计

人口普查制图包括人口普查区域地址编码、人口普查地理区域划分和人口普查地图绘制三个部分。其中, 人口普查地理区域代码由 6 级 14 位阿拉伯数字组成^[5]。省级 2 位, 地区级 2 位, 县级 2 位, 乡级 3 位, 普查区 3 位, 调查小区 2 位。在人口普查的 6 级地理区域中, 县以上行政界线普查前冻结, 与同时期国家法定行政区划一致。乡级及其以下区域由有关人口普查办公室划分。普查地理区域划分的基本原则: ①各级区域应是一个完整、封闭的地理区域; ②边界要有明显的标志(街道、公路、地形、地物等), 边界线必须是一条首尾相接的连续、不交叉的封闭曲线; ③同一级区域不能重叠, 也不能遗漏, 具有共同上级的同级普查地理区域合起来应该完整覆盖上一级普查地理区域。调查小区是人口普查资料收集过程中的最小地理单元。其人口规模一般掌握在 300 人左右^[5]。人口普查地图主要分为四级, 即县级地图、乡级地图、普查区地图以及调查小区地图。其中, 普查区地图内容包括: 境界, 表示各乡、镇、街道区域、普查区、各调查小区的边界线; 交通网、水系、所有建筑物等要素。调查小区地图除包含普查区地图内容外, 还应表示出建筑物的类型(如楼房、

收稿日期: 2009-09-25; 修回日期: 2009-11-23.

基金项目: 国家高技术发展研究计划“863”课题(2006AA120105), 国家科技支撑计划课题(2006BAJ11B02)。

作者简介: 罗 斌(1982-), 男, 湖南邵阳人, 硕士。主要研究方向为网络地图和空间信息可视化等。

E-mail: luob@igsnrr.ac.cn.

平房)、居住房屋或其他建筑物的编号等^[5]。

2.1 人口普查地图标绘系统需求

根据上述分析, 人口普查地图标绘系统主要需求应包括:

- (1) 对人口普查区域自动赋予地址码。
- (2) 在县级行政区划基础上, 对乡级及以下人口普查区域进行划分, 保证划分不重不漏。
- (3) 能制作各级别人口普查地图。

2.2 系统架构设计

为了实现人口普查数字制图的在线解决方案, 参考文献[6-7], 系统拟采用 B/S 架构, 并进行分层体系结构设计, 且各层支持海量并发的集群及负载均衡。具体来说, 系统采用四层体系结构设计, 包括客户端、普查地图标绘业务服务器、地图标绘空间服务器和地图标绘资源库服务器。系统框架如图 1 所示。

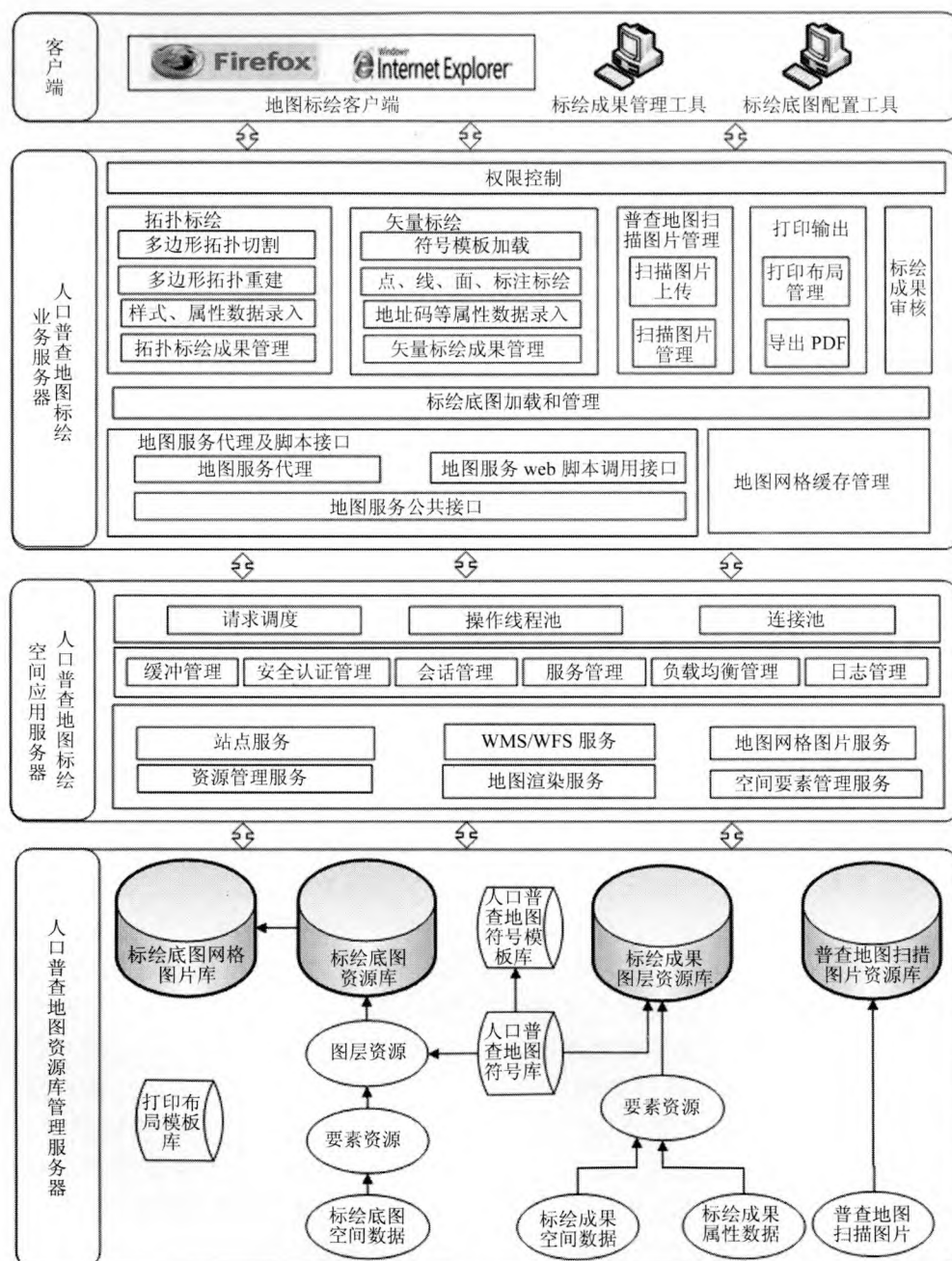


图 1 系统架构设计框图

Fig. 1 Design of the system architecture

(1) 人口普查地图资源库管理服务器

人口普查地图资源库管理服务器打破传统文件和数据库异构管理方式,通过空间数据聚合引擎实现矢量文件数据源、影像栅格数据源、关系型空间数据库、网络数据源及各种配置描述文件的一体化管理,并对外提供统一数据访问接口。人口普查地图标绘资源库管理的包括:标绘底图资源库,对标绘底图空间数据源利用 XML 语言进行描述生成要素资源,并结合人口普查地图符号库进行描述,以生成图层资源,将多个图层资源进行组合,最终形成标绘底图资源库;标绘底图网格图片库,对标绘底图资源采用切片生成标绘底图网格图片直接供业务层加载,实现每一幅标绘底图对应的网格图片的缓存管理,以提高标绘底图的发布效率;标绘成果图层资源库,用于管理标绘成果,主要包含对要素资源(标绘成果空间数据和属性数据)和标绘符号的引用;人口普查地图扫描图片资源库,用于管理人口普查地图扫描图片。整个资源库的管理以标准的地址码为基础,实现不同行政级别、全国“一幅图”的一体化管理。

(2) 人口普查地图标绘空间应用服务器

地图标绘空间服务器主要由地图处理后台服务和调度管理模块构成。地图处理后台服务程序主要包括空间要素管理服务,负责标绘矢量数据的添加、删除和存储入库、拓扑关系的建立及维护等;资源管理服务主要是对要素数据源的配置信息、图层配置信息和地图配置信息等进行管理;渲染服务主要是在空间要素管理服务读取空间数据的基础上,解析图层及地图要素资源包含的描述文件,实现地图图片的渲染,主要包括标绘图层的动态渲染和一定空间范围内标绘底图的渲染。地图网格图片服务主要是在渲染服务的基础上,将标绘底图渲染成一定尺寸的小图片,并缓存在标绘底图网格图片库中,实现普查地图标绘业务服务器直接从瓦片库中分块加载地图图片,而不必经过地图标绘空间服务器渲染模块,从而大大提高用户并发访问的效率;站点服务主要实现对服务进行调度、管理,实现服务间的协同操作及服务访问的权限控制等;WMS/WFS 服务主要为人口普查地图标绘成果实现分布式管理(标绘成果管理工具)提供后台服务支持。

整个地图服务器分成多个服务,服务间协同

工作,主要通过请求调度、操作连接池和线程池管理、缓冲管理、会话管理、服务管理、安全认证管理、日志管理、负载均衡管理等模块实现,从而提高系统的吞吐量,很好地实现负载均衡,提高系统的运行效率。

(3) 人口普查地图标绘业务服务器

人口普查地图标绘业务服务器包括两个部分:支持业务运行的 Web 环境和普查地图标绘业务流程的应用功能。支持业务运行的 Web 环境主要包括在地图服务公共接口的基础上,构建的地图服务代理及地图服务 Web 脚本调用接口和支持客户端快速浏览地图的地图瓦片缓存管理。考虑到在线存在大量并发操作,从而需将地图服务代理及脚本接口设计成 Web 服务器的一个运行模块,与 Web 服务器共享进程空间,从而大大提高 Web 服务器处理效率。地图服务代理及脚本接口主要包括:地图服务公共接口,实现对远程地图服务调用的函数接口;在地图服务公共接口之上建立的地图服务脚本调用接口,实现 Web 服务器脚本开发环境中调用远程地图服务;地图服务代理,在地图服务公共接口的支持下,实现对远程地图服务的基本操作,同时完成一些面向用户需求的相对独立的地图功能。普查地图标绘业务流程的应用功能主要是在标绘底图加载和管理的基础上,实现人口普查地图的拓扑标绘、矢量标绘、普查地图扫描图片管理、普查地图的打印输出及标绘成果的审核。

(4) 客户端

客户端主要包括在各种 Web 浏览器环境下,运行的地图标绘客户端和独立运行的标绘底图配置工具及标绘成果管理工具。

对于客户端地图的显示技术主要包括两种方式:基于 AJAX 技术直接通过 Web 服务器按格网分块多线程加载拼接标绘底图的地图显示方式;通过地图操作代理访问空间应用服务器动态生成标绘成果背景透明的图片数据流和视窗范围内标绘底图叠加的地图显示方式。通过这两种方式保证标绘底图高效加载和标绘成果预览的动态性,以改善用户体验。为了保证客户端标绘成果在网络中断时不失效,客户端采用一种本地缓存技术,支持离线状态下的人口普查地图的标绘,并实现等网络连接好后,再将离线状态下标绘的数据一次性向服务器提交的功能。

2.3 系统功能模块结构设计

系统功能流程遵循从编码及标绘底图制作到区域划分标绘、建筑物及其他地物要素标绘,再到标绘成果审核及最终标绘成果地图打印输出这

样一个流程,并按行政级别从上往下逐级实施,从而最终形成全国“一幅图”的、能够支撑普查后人口分析与可视化的人口空间数据框架。系统功能模块构成及流程如图 2 所示:

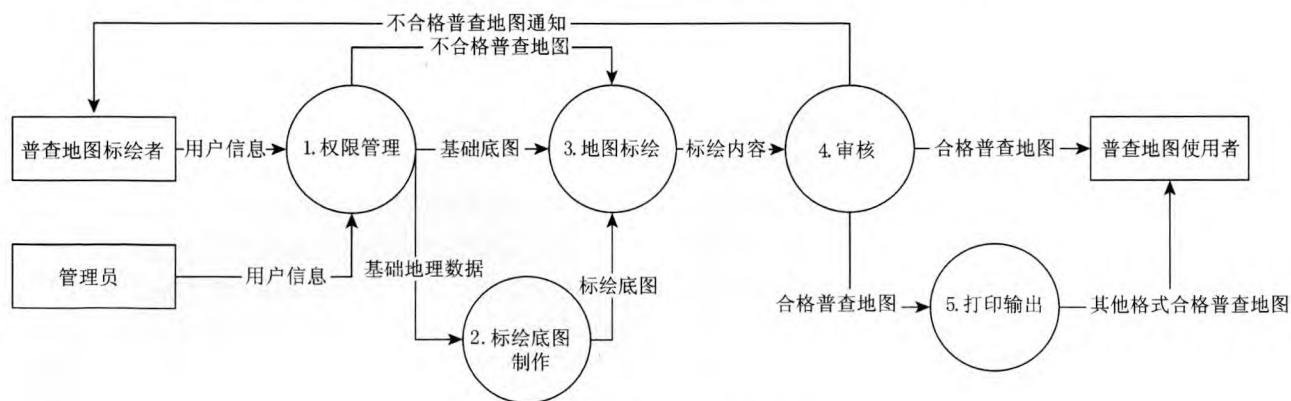


图 2 系统功能模块构成及流程图

Fig. 2 Component composition and flow chart for the system functions

(1) 标绘底图制作

系统提供标绘底图的配置工具实现多种类型的数据源的整合(配准、投影变换、统一的地理坐标系),并通过系统进行发布,为人口普查地图的标绘提供统一、精确地空间底图。这些数据源包括不同分辨率的遥感影像、不同比例尺的矢量数据、经扫描纠正的行政区划图、以及人口普查地图扫描成果等。

(2) 地图标绘

人口普查地图标绘的内容主要包括两个方面,一是区域的划分,二是界定边界的地理要素及名称、建筑物等地形地物和名称。人口普查地理区域的划分可以有两种模式:自上而下的划分模式(分解模式)和自下而上的划分模式(集成模式)。

① 自上而下的分解模式

分解模式是一种自上而下的划分模式,它要求从上到下层层切分,以保持不重不漏和边界一致性。主要用于以下情况:从县级行政区划切分出乡镇街道行政区划:适用于无乡镇界的情况;从乡镇街道切分出普查区:根据乡镇街道界线和范围切分出多个普查区;从普查区切分出调查小区:根据普查区界线和范围切分出多个调查小区。最后,在切分出来的调查小区边界范围内进行建筑物、地名及摸底情况的标绘。如图 3 所示。在切分过程中,每切割出一个统计单元,同时为该

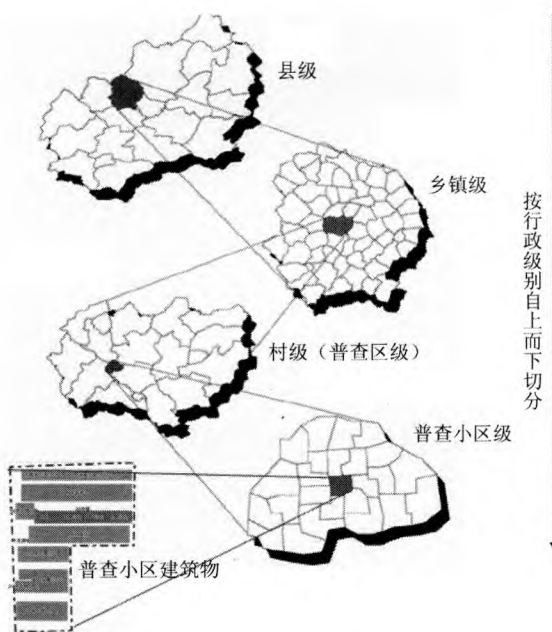


图 3 自上而下的分解模式示意图

Fig. 3 Decomposing approach form top to bottom

统计单元多边形添加相应属性,包括普查编码、名称等。

② 自下而上的集成模式

集成模式是一种自下而上的划分模式,它直接根据本地情况和人口规模划分调查小区界线,普查区由多个 8-9 个相邻的调查小区自然构成,多个普查区继而形成乡镇界。

在划分调查小区界线时,为保证共享边界一致性,应以线要素而非多边形要素表示调查小区界线,同时每个调查小区中添加 Tic 点,将调查小区的属性包括普查编码、名称等添加到 Tic 点。普查后期(管理和分析阶段)可建构拓扑,得到调查小区多边形。

③地图区域划分和标绘的实现方式

针对上述标绘模式,系统提供的地图标绘功能主要包括三个:拓扑标绘、矢量标绘和人口普查地图扫描图片上传管理(见图4)。为了确保不重不漏,对上级统计单元区域采用切割的方式进行拓扑标绘,即多边形区域的拓扑切块,实现自上而下分解模式的人口普查地图标绘;矢量标绘主要实现边界线的采集,通过后期对矢量标绘的边界线数据进行拓扑重建,构建普查区域多边形,实现自下而上集成模式的人口普查地理区域划分。同时,还包括标注界定边界的地理要素及名称、建筑物等地形地物和名称等内容的标绘;人口普查地图扫描图片上传管理主要实现在没有网络条件下的人口普查地图纸质标绘成果在县级集中扫描上传的管理方案。

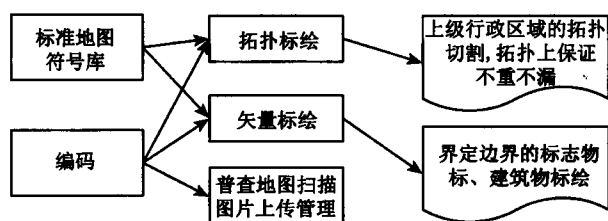


图4 人口普查区域划分方法和功能模块

Fig. 4 Delineating approach and functional components for the census area

(3) 标绘成果审核

为上级管理员提供对各地图标绘用户的标绘成果进行审核的系统界面和功能,如果审核通过,则授权用户进行普查地图的打印输出,否则,通知用户重新标绘,并提示标绘成果审核不通过的原因。

(4) 打印输出

主要实现 Web 环境下的矢量地图打印动态布局及输出功能,包括打印布局管理和 PDF 输出功能。整个打印输出可以打印布局管理功能生成的普查地图打印输出模板,也可以标准的地图打印输出模板库。

(5) 权限控制

采用角色的权限控制(RBAC: Role Based Access Control)策略^[8],定义了三种用户角色(系统管理员、地图标绘者、地图审核员),分别具有不同级别的权限和功能。系统管理员负责地图数据的配置、用户管理;地图标绘者为各级普查区域划分和地图绘制人员;地图审核员则负责普查区域成果的审核。

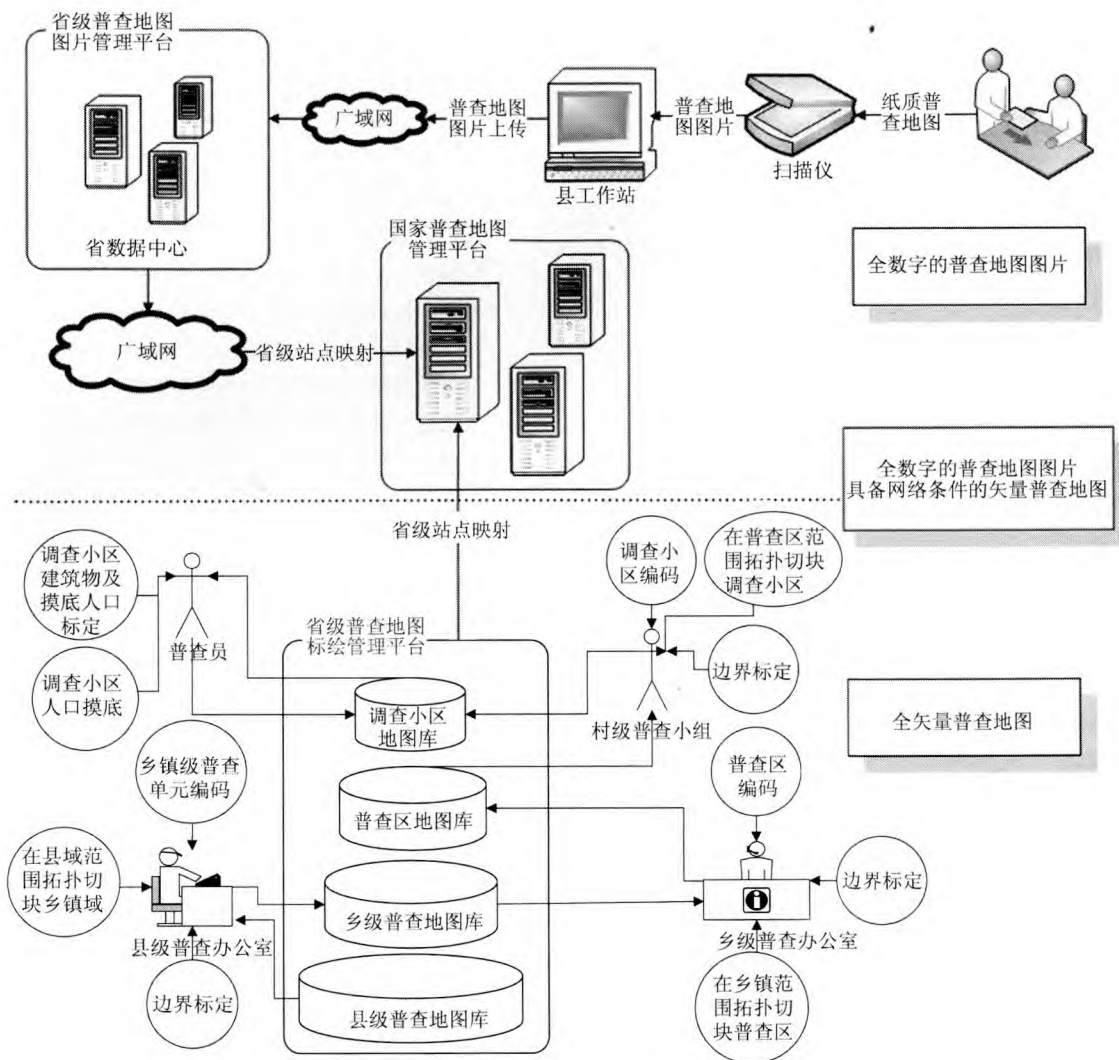
2.4 人口普查地图符号系统设计

现有的网络地图符号系统都是将地图符号代码与渲染引擎绑定一起,符号的可扩充性比较差;且符号类型上大多采用栅格图片或者字体形式的符号,矢量形式的符号比较少。针对以上问题,系统在支持传统栅格图片符号及字体符号的基础上,进一步支持矢量地图符号。整个矢量地图符号描述系统基于 Open GIS 标准^[9],采用 XML 语言对单个符号的几何描述和形态样式进行描述。几何描述主要采用基本图元几何绘制命令来完成,并绘制出任何一种复杂图形,这些命令和参数与各种 GDI 图形库的方式是统一的,可以采用任何渲染引擎对符号进行渲染而不会影响最终输出效果。依据人口普查地图表示的基本规定^[10],系统建立了所有符号的描述文件,组织成符号库,统一交由地图渲染引擎进行调用。

3 基于 Web 的人口普查地图标绘系统的实现与应用

系统具体实施采用分布式部署,在各省人口普查地图信息中心部署系统,向省以下的各级普查机构及普查员提供人口普查地图标绘功能;在国家层面,通过省级站点映射实现全国数字化的人口普查地图一体化管理。由于在全国范围实施全数字化的普查地图绘制方案,考虑到不同省(区)硬件条件和计算机网络环境的差异性,系统支持可伸缩的、能适应不同环境的部署方案,见图5所示。

系统采用中科院地理所地图室自主知识产权的网络地图软件 WebVMap,实现了人口普查地图标绘系统,并在实验区进行了试运行和示范应用。系统运行界面如图6所示。



4 结语

本文讨论了 Web 的人口普查地图标绘系统的架构、功能设计、实现及应用, 结果表明:

(1) 系统采用 B/S 架构, 以 Web 浏览器为客户端, 基层普查员不需要安装任何软件, 非常便捷地使用系统功能, 能很好地解决基层软硬件环境差异造成的软件部署困难的问题。

(2) 系统采用四层架构体系, 能够很好地实现负载均衡, 支持可伸缩的、能适应不同环境的部署方案。另外, 客户端本地缓存机制及服务端地图切片技术, 保证了高并发时的高效访问。

(3) 系统提供的拓扑标绘和矢量标绘功能, 能够满足人口普查地图绘制中的区域划分、界定边界的地理要素、建筑物等地形地物的标绘。

通过在全国范围内的系统实施, 将能够实现全国“一幅图”的精细到调查小区级别的数字化人口基础地理数据框架。同时有力地保证了人口普查空间地理区域划分的完整覆盖, 提高人口普查数据的信息化管理水平, 促进人口普查数据的深入应用。

参考文献:

- [1] 周起凤. 第三次全国人口普查社会系统工程情况简介. 管理现代化, 1982(4): 30-33.
- [2] 沈益民. 1990 年第四次全国人口普查的意义、特点和基本做法. 人口与经济, 1990(2): 6-8.
- [3] 国家统计局人口和社会科技统计司. 第五次全国人口普查内容、特点及其意义. 中国统计, 2000(7): 10-12.
- [4] Department of Economic and Social Affairs Statistics Division. Handbook on Geographic Information Systems and Digital Mapping. New York: United Nations, 2000.
- [5] 国家统计局. 第 5 次人口普查工作手册. 2000.
- [6] 张永红. 基于 Web 的态势标绘及应用技术研究. 中国电子科学研究院学报, 2009(2): 45-49.
- [7] 李宏利, 李汉荣, 张卫成, 等. 通用地图标绘系统的设计与实现. 测绘科学, 2009(2): 70-73.
- [8] 严晓光, 王小刚, 陈卓宁, 等. 软件质量保障平台中基于 RBAC 的统一身份认证应用研究. 计算机工程与科学, 2009, 31(3): 97-100.
- [9] 蒋景璠, 何建邦, 等. 地理信息国际标准手册. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [10] 863 人口普查与调查空间统计管理与分析系统课题组. 人口普查地图表示基本规定(规范草案).

Design and Implementation of Web-based Census Cartography System

LUO Bin, LI Hongsheng, WANG Yingjie, YU Zhuoyuan

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: According to the business requirement of National State Statistics Bureau in the filed of census cartography, design of web-based census cartography system is discussed from different aspects such as system architect, feature request and so on in this paper. Key technical problems like enumeration area demarcation, online census mapping and address coding are detailed and solved based on recent web mapping technology. The main features of the system are identified as generation of background maps, interactive markup of point, line and area features, map audition, map printing and permission control. It can fulfill the requirements of enumeration area demarcation, data acquisition to buildings as well as other features during prophase work of census. The deployment solution and implementation of the system is also discussed in the end of the paper. Web-based census cartography system can guarantee the feasibility of fully-digitized census from the technical perspective effectively. Digital spatially-referenced population framework which is completely covered and detailed at enumeration area level can be constructed in order to form “One Population Map” for the whole country with the technology. It will improve the accuracy and scientificness of census cartography and promote the construction, share and updating of basic population geographical information resources if it is applied in the 6th census of China.

Key words: census cartography; WebGIS; markup