

引用格式: 李鹤元, 李洪省, 韩嘉福, 等. 图数整合的高保真版式网络地图发布原理及方法[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(4): 469-476. [LI H Y, LI H S, HAN J F, *et al.* 2016. Principle and methods on layout based web map publishing mode with integrated map data and high fidelity. *Journal of Geo-information Science*, 18(4): 469-476. ] DOI: 10.3724/SP.J.1047.2016.00469

# 图数整合的高保真版式网络地图发布原理及方法

李鹤元<sup>1</sup>, 李洪省<sup>2\*</sup>, 韩嘉福<sup>2</sup>, 罗 斌<sup>2</sup>

1. 信息工程大学地理空间信息学院, 郑州, 450052;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101

## Principle and Methods on Layout Based Web Map Publishing Mode with Integrated Map Data and High Fidelity

LI Heyuan<sup>1</sup>, LI Hongsheng<sup>2\*</sup>, HAN Jiafu<sup>2</sup> and LUO Bin<sup>2</sup>

1. Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

**Abstract:** Based on the analysis of the status quo on web map publishing, particularly the status quo on thematic map publishing, a new concept of layout based web map was proposed. The layout based web map changes the GIS system tendency and static images map tendency of thematic map publishing. It provides the high fidelity map quality, meanwhile realizes the simultaneous publishing of thematic data and thematic map. This paper introduces the design and implementation techniques of the publish system on layout based web map. These techniques decompose the thematic map image and the polygon data into a quad-tree mode. On one hand, it divides the thematic map image into a map tile pyramid with given regular grid size. On the other hand, the thematic data features (mostly are the polygon features) are decomposed into grid dataset with variable resolution. It records every grid attribute based on a unique identification and stores the complex thematic data with information of its region, time, index and value as a data element, which increase the efficiency in thematic data query. In addition, this paper introduces two application scenarios. The first one is a topographic map document published in the EPS format. The second one is a layout based web map publishing system for the “Atlas on Population and Environment, People’s Republic of China”. A comparison of the merits and demerits was made among five web map publishing modes, including WebGIS, static images, PDF/GeoPDF map, SVG map and layout based web map. The layout based web map approach with high fidelity and interactive maps is considered to be promising for the digital thematic map publishing in the web mapping field.

**Key words:** layout based web map; quad-tree; integration map with data query; web map publish mode

**\*Corresponding author:** LI Hongsheng, E-mail: lihongsheng@igsrr.ac.cn

**摘要:** 在分析当前网络地图出版特别是专题地图网络出版现状的基础上, 本文提出了版式网络地图的概念、原理及技术方法。版式网络地图克服了当前专题地图出版GIS化和静态图片化的倾向, 在为用户提供高保真地图阅读体验的同时, 实现了专题数据和专题地图同时发布的模式。该模式的主要技术特点包括: 对专题地图图片和专题地图数据进行四叉树分解, 将专题地图图片划分为规则格网大小的瓦片金字塔; 将专题数据要素分解为可变分辨率的格网集合, 以唯一标识记录每个格网及

收稿日期: 2015-11-03; 修回日期: 2016-03-02.

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金项目“基于案例推理的智能化专题地图制图系统研究”(41001314); 国家科技基础性工作专项项目“新世纪版《中华人民共和国国家大地图集》编研”(2013FY112800); 国家科技支撑计划项目课题“流动人口对区域发展的影响评估及决策支持集成平台示范应用”(2012BAI32B07)。

**作者简介:** 李鹤元(1976-), 男, 博士生, 研究方向为测绘遥感大数据集成和服务关键技术。E-mail: 2625845532@qq.com

**\*通讯作者:** 李洪省(1981-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为网格地图与大数据地理可视化分析。

E-mail: lihongsheng@igsrr.ac.cn

其(需查询的)属性,并采用支持区域、时间、指标、数据四元组的专题数据元进行存储,以便高效地索引专题数据,从而实现专题地图数据的高效查询。同时,本文还介绍了版式网络地图发布模式在地形图出版、原图版式发布、《中华人民共和国人口与环境变迁地图集》电子版网络地图发布系统中的应用案例。最后,对比分析了WebGIS、静态地图图片、PDF/GeoPDF地图、SVG地图以及版式网络地图5种发布模式的优缺点,结果表明版式网络地图是一种有望在专题地图出版领域推广和应用的轻量级地图发布模式。

**关键词:** 版式网络地图;四叉树分解;图数整合;网络地图发布模式

## 1 引言

20世纪70年代以来,随着计算机和互联网技术在地图学领域的普及应用,地图的设计、使用、出版都发生了革命性的变化。多媒体电子地图、网络电子地图、三维电子地图以及基于虚拟现实的电子地图层出不穷,超越了人们对传统地图的认知。1996年MapQuest发布了网络地图服务,首次在网上提供在线地图显示、路径计算等功能;2001年奥地利因斯布鲁克大学和瑞士苏黎世理工学院合作开发了Tirol Atlas,其采用SVG技术,极大程度地提高了网络地图的交互性<sup>[1]</sup>;2005年Google Maps采用了革命性的地图瓦片技术,解决了在线地图加载速度慢的技术瓶颈。国外(Google Maps、Bing Maps等)和国内(百度地图、腾讯地图、天地图、灵图等)地图服务提供商出版的基础地图拥有广大的地图用户和受众,无论是多分辨率无缝数据的提供、地图图片访问和渲染的效率,还是地图图面艺术质量的效果,都是已往的地图系统难以比拟的,甚至逐步改变着公众的生产、生活和思维方式。

但是,国内在专题地图数字出版方面仍处于网络发布的初级阶段。在科研领域,专题地图网络发布常见于各类专业网站以及行业数据中心,如国家测绘局基础地理信息中心的国家动态地图网<sup>[2]</sup>、地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/>)等,主要以专题数据不经或经简单整饰设计的GIS数据库内容可视化为主<sup>[3]</sup>,存在地图(或缩略图)可视化效果差、速度慢等问题。在商业领域,各大地图出版社以光盘形式出版的各种电子地图产品存在GIS化和静态图片化的2种倾向,在网络地图或移动地图出版方面的产品比较少。GIS化是采用小型GIS系统提供地图可视化和交互查询或分析功能(如中国地图出版社出版的《中国电子地图》<sup>[4]</sup>),向综合型地理信息系统方向发展,地图显示效果取决于采用的GIS可视化引擎,操作较为复杂,仅适合探索性专家用户。静态图片化的专题地图出版(如科学出版社出版的《江苏省资源环境与发展地

图集》<sup>[5]</sup>为例)除纸质媒介外,采用地图图片直接录制光盘,地图图面效果较好,但却丢失了空间参考和专题数据信息,造成专题地图出版时的图数分离。

近年来,随着以互联网为媒介的数字出版的发展,网络地图和移动地图作为数字出版的重要内容面临巨大的发展机遇,主要表现在:(1)网络地图和移动地图已经融入IT基础设施,以导航地图为主的基础地图及相应地图服务系统由于操作简单,且基础地理信息、交通路网和POI数据丰富,吸引了大量公众用户。(2)国际上各国专业制图机构也在建设国家大地图集网站,为大众提供地理空间综合信息服务,并随着政府开放数据的浪潮发展迅猛。(3)在各位老前辈的不断呼吁和地图中坚力量的持续努力下,新世纪版中华人民共和国国家大地图集编研于2013年正式立项,开启了中国第三版(新世纪版)国家大地图集的编纂工作。(4)各专业部门在地理空间数据库建库方面持续投入从而掌握了大量专题数据,专题地图/专题地图集作为地学成果综合性的最佳体现形式,在国家大地图集的示范作用影响下,其编制和出版必将又一次掀起高潮。

目前专题地图集产品模式单一,服务受众范围小,亟需发展网络数字环境下地图数据库、图集产品发布与服务的新模式,以满足日益增长的地图可视化需求。在此背景下,本文提出了版式网络地图概念、原理和方法,在专题地图高保真网络发布的同时,支持基于图数整合的高效数据查询和交互。同时,还介绍了版式网络地图发布模式在地形图出版原图版式发布、《中华人民共和国人口与环境变迁地图集(电子版)》设计中的应用,认为版式网络地图发布模式是一种新型的轻量级专题地图网络发布模式。

## 2 版式网络地图定义、技术原理与方法

### 2.1 地图出版与版式网络地图

从印刷机诞生开始到20世纪80年代早期,采用印刷方式实现出版是地图出版的唯一形式,出版

物的形式是印刷品;20世纪80年代中晚期开始,随着计算机图形图像处理技术的发展,出现了将图文声像等信息以数字代码方式存储在磁、光、电等介质上,通过计算机阅读使用的出版方式,称为电子出版,其出版物的形式是光盘或磁盘等。随着互联网技术的流行,运用计算机网络进行信息发布、记录、存储、阅读的信息传播方式应运而生,称为网络出版,出版物的形式是网页<sup>[6]</sup>。印刷出版、电子出版和网络出版中地图设计具有大致相同的印前过程,但是由于输出方式的不同,在跨媒体出版时也存在一些区别,如史瑞芝基于色空间转换与色域映射解决跨媒体的颜色传输问题<sup>[7]</sup>。

电子地图出版物或网络地图出版物是面向大众、非专业读者的地图产品,网络地图系统或电子地图系统应是大众化的地图服务系统<sup>[8]</sup>。Kraak<sup>[9]</sup>首先将网络地图分为静态地图、动态地图以及交互式地图和只能查看的地图。早期的网络地图以静态为主,但当前的网络地图系统正在向多维性、集成性、交互性、动态性、多媒体、分析型等方向发展<sup>[10]</sup>,但其核心的功能需求可以概括为2个方面:(1)地图显示和阅读,这也是阅读型地图系统的主要功能;(2)地图数据查询,包括属性数据查询、简单统计分析以及空间分析等,这是交互型地图系统的主要功能。此外,部分计算机制图和地理信息系统的分析功能则属于高级或专业用户的独有功能。在电子书出版领域,人们将由文档处理软件(如排版软件)直接生成的版式文档图书称为版式图书,这些图书正在取代从纸质文档转化而来的图像文档成为数字出版物的主要文档来源<sup>[11]</sup>。

与此类似,本文将由地图制图软件生成、具备或添加了空间参考系统信息的地图图件(即印前图件,包括地图图面要素和地图整饰要素)称为版式地图,支持像素图像、文本以及矢量图形的编码存储。注意版式地图和地图版式设计不是一个概念,后者主要指附图、图名、图例、比例尺、内图廓、外图廓等修饰要素在地图页面中的布局。版式地图内容来源很多,如图像处理软件生成的JPEG、PNG、TIFF等图像文件,图形处理软件生成的CDR、AI等图形文件,面向印刷的EPS文档、还包括面向信息出版和发布的PDF地图文档。已有的研究中,Neumann提出使用SVG进行矢量地图的网络发布<sup>[12]</sup>,并设计实现了网络地图集的发布<sup>[1]</sup>;李洪省等人在分析网络地图制图面临的自适应缩放、发布模式等诸多问题时,也认为GML和SVG的结合是当时较为

理想的网络制图解决方案<sup>[13]</sup>;PDF地图<sup>[14-15]</sup>是将地图文档以PDF格式存档并拓展空间参考信息的一种版式地图,徐韬<sup>[16]</sup>认为GeoPDF是对基础测绘4D成果基本模式的重大突破与革新,能够改善基础测绘成果的普适性,有效降低对数字地图用户的技术水平要求;汶建龙等基于PDF地图提出了一种地图跨媒介出版数据模型<sup>[17]</sup>,在安装PDF阅读插件的浏览器中可支持网络浏览,其首次访问效率取决于PDF文件下载的速度。

版式地图通过网络进行发布时又称为版式网络地图。版式网络地图主要解决如何高效地将现有的或同步制作的、面向印刷的电子地图文档制作成可供计算机阅读、检索、查询、传播的电子出版物或网络出版物。在印刷版、电子版、网络版一体化编制工艺中,每一幅版式网络地图同时绑定专题数据,以支持专题数据的查询。其最大的优点是直接以传统地图印前输出作为数据源,具备高保真特性,可以支持纸质地图、桌面网络地图、移动设备屏幕地图等的跨媒体出版;与静态图片化地图出版模式相比,版式网络地图需要事先进行配准,添加空间参考信息,进一步通过数据增强处理支持地图数据的图数查询;与带有GIS倾向的数字地图出版模式相比,版式网络地图具备高保真的地图可视化效果,其对制图专家知识的直观表达更适合普通公众用户使用。

## 2.2 版式网络地图技术原理

版式网络地图既需具备空间参考信息,以便支持定位、地名搜索等功能,又需支持地图数据的查询功能,这些都是版式网络地图是否具备实用性和先进性的先决条件。为此,版式网络地图采用了将地图显示和地图数据查询单独处理、有机关联的设计思想。面向显示时为了保证地图可视化的质量,版式网络地图直接采用具备印刷效果的高分辨率印前图件,这些图件来源于图像处理软件生成的JPEG、PNG、TIFF等图像文件,图形处理软件生成的CDR、AI等图形文件,面向印刷的EPS文档,以及面向信息出版和发布的PDF地图文档。这些文件通过空间配准重新赋予坐标参考系统,并在此基础上进行地图切片,构建专题地图图片的栅格瓦片金字塔,以提高地图可视化的效率。面向查询时,对专题地图数据进行四叉树分解,重构数据模型,以格网重新组织数据,从而支持高效的图数查询。专题地图图片和专题地图数据通过相同空间参考



系统和唯一标识,将图和数有机联系起来。本文将从专题地图瓦片金字塔构建、专题地图多边形的二叉树分解与专题地图数据的存储组织模型3个主要方面详述版式网络地图的技术原理和实现方法。

## 2.3 版式网络地图技术方法

### 2.3.1 专题地图瓦片金字塔构建

版式地图在空间配准时一般采用与制图时一致的空间参考系统,配准后也可根据需要进行投影转换。版式网络地图发布采用专题地图图片金字塔技术提高服务器响应速度。地图瓦片金字塔技术通过预先渲染机制将地图切分、渲染成一定规则大小的栅格地图图片,并存储在服务端;采用空间换取时间的策略,结合瓦片预加载机制,用户访问时通过瓦片索引快速找到所需地图图片集并返回给客户端。

地图瓦片金字塔的切片和编码方法的主要标准实现包括国际开源组织 OSGeo 提出的 TMS(Tile Map Service)标准、基于 OGC 的 WMTS 国际标准、类似 Google Maps 的瓦片地图工业标准等,也可根据需求设计自定义的瓦片金字塔规范。一般地,根据其图面比例尺从左至右、从上到下进行切割,分割成相同大小(如 256 像元 $\times$ 256 像元)的正方形地图图片,作为基础层(zoom),如图 1(a)所示。同时,根据相同的规则对地图图片采用放大、缩小的方式作为(zoom+1)、(zoom-1)层次的地图瓦片,zoom 层的一个瓦片一分为四,形成(zoom+1)层的瓦片,zoom 层的四个瓦片合二为一,形成(zoom-1)层的瓦片。根据一定的规则对瓦片进行编码索引,构成以图面比例尺为基础的 3 层或 5 层瓦片地图金字

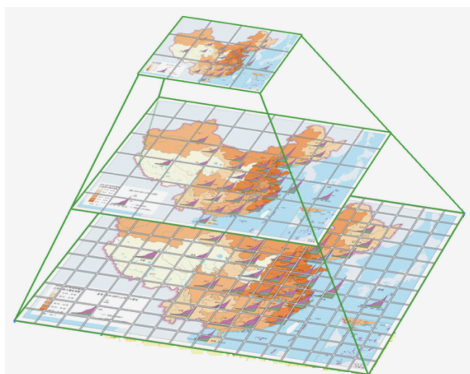
塔。根据地图图片内容或分辨率的不同,地图栅格瓦片格式可以是 JPEG(不同压缩比)和 PNG(PNG 8 或 PNG 24)。专题地图瓦片地图金字塔示意图如图 1(a)所示。

### 2.3.2 专题地图多边形的二叉树分解

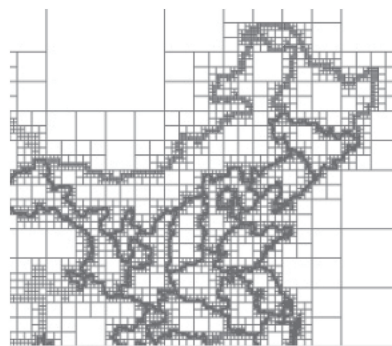
二叉树常用来描述一种层次性数据结构,基于空间的递归分解构建。根据以下几个方面可以区分不同的二叉树:1)根据表示的数据类型,如点、区域、表面、体等;2)根据分解原则,规则划分(如图像)或依据输入不同有不同的划分(如各种对象);3)根据分辨率(可变或规则)划分。研究较为充分的一种区域表达二叉树,又称为区域二叉树,采用对边界不断细分为 4 个等大的格元,直至某个格元完全在区域内部或外部,这是一种典型的变分辨率数据结构,形成一棵节点度为 4 的树。这种划分的具体过程既可以自上而下(top-down)构建<sup>[18]</sup>,也可以自下而上(bottom-up)构建<sup>[19]</sup>,后者更适于较大图片的二叉树分解。

在地理信息系统中,主要采用点、线、面等空间结构表达专题要素的几何特征。面要素在专题地图特别是统计专题地图中是最重要的制图单元,如行政区域、自然流域等都以面(多边形)的方式进行存储,通过唯一标识和空间统计数据进行关联。本文仅以多边形几何图形的二叉树分解为例,讨论专题地图多边形的二叉树分解。

根据地图制图范围和制图目的选择合适的空间参考系统,将覆盖制图区域范围的正方形设为 0 级格网,对多边形进行二叉树分解。本文以中国省级行政单元多边形为例进行介绍具体的二叉树分解方法。



(a) 专题地图金字塔示意图



(b) 多边形二叉树分解示意图(局部)

图1 专题地图瓦片金字塔和多边形二叉树分解示意图

Fig. 1 Illustration of the thematic map tile pyramid and the polygon quadtree decomposition



1) 分析地图数据集空间参考系统, 确定0级格网范围。由于制图时采用的是Albers投影(中央经线为110°, 双标准纬线分别为25°、47°, 标准纬度原点为10°), 结合中国区域范围, 设计0级格网范围(左上角坐标设为 $X = -4\ 096\ 000$ ,  $Y = 5\ 120\ 000$ , 右下角坐标设为 $X = 2\ 048\ 000$ ,  $Y = -1\ 024\ 000$ )。

2) 对每个多边形进行递归格网剖分。通过判定格网与多边形的拓扑关系(相交和包含), 可以得到与多边形相交的格子和多边形内部的格子, 计算多边形内部格子的面积占多边形面积的百分比(设置一个阈值, 如 $\text{ratio} = 90\%$ ), 如小于该阈值, 则对相交而不包含在内部的格子进行递归划分。与传统四叉树分解不同, 此处格网剖分停止的标准基于面积比重而非完全包含。剖分结果如图1(b)所示。

3) 格网属性赋值。格网采用矢量多边形形式进行存储, 几何形状是格网正方形, 格网的属性字段根据格网位置及与多边形关系确定, 包括格网编号、code(多边形标识码)、edge(与该格网相交的多边形集合, 为空或多边形标识数组)。其中, 格网编号采用 $Z$ (格网级别)、 $X$ (给定级别 $Z$ 上的 $X$ 方向索引)、 $Y$ (给定级别 $Z$ 上的 $Y$ 方向索引)组合而成, 也可以采用其他编码方式, 如GeoHash、QuadKey等。

4) 格网合并。对每个多边形进行处理时, 相邻多边形可能会产生位置相同的格网, 这些格网需要进行合并。从最高级别开始, 如果下级格网与高级别格网重合, 只保留高级别的格网; 级别和位置均相同时, 合并属性值。对于每一个格网, 判断此区域是否存在高一级别的格网, 如果没有则直接记录; 如果有则将属性值赋予对应区域的高一级别的格网, 此级别的格网不再记录。中国省际行政区划单元多边形四叉树分解结果如图1(b)所示, 中国省级行政单元多边形的四叉树分解后得到36 540个大小不一的格网, 最小格网单元边长为1 km。

### 2.3.3 专题地图数据的存储模型

专题地图数据存储包括专题地图多边形要素的存储、四叉树格网单元数据的存储、专题统计数据等的存储等。由专题地图多边形分解得到的四叉树格网单元本身是一个面状区域, 但格网中心点及编码完全可以作为格网面域的代理, 这种技术上的处理体现了空间数据维度的约减, 能够极大地改善存储和查询效率。专题统计数据常常包括各种社会经济指标, 具备典型的时态性和区域性。每一个具体的指标数据需要根据时间(Time)、区域(Re-

gion)、指标(Index)才能唯一确定, 它是一组可识别和可定义的数据基本单元, 称为专题数据元(The-matic Data Element)。每一个专题数据元可以形式化地表示为一个时空四元组模型, 即 $\text{TDE}(T, R, I, \text{Value})$ 。

具体存储方式根据采用的数据库不同而有所差异, 下文以Mongo DB文档数据库为例简要说明。Mongo DB是目前在IT行业非常流行的一种非关系型数据库(NoSql), 其文档模型具备灵活的数据存储方式, 实现了面向对象的思想, 可很好地支持地理位置查询。在Mongo DB中, 专题地图多边形要素可以存储为GeoJSON文本文件; 格网单元采用格网中心点进行存储, 基于原生支持的Geo-Hash构建空间索引, 给定锚点(查询点)通过其near接口可返回距离由小到大的格点查询排序结果, 可快速定位出锚点所在的格网。专题统计数据以时空四元组模型存储, 时间采用时间戳, 区域采用区域代码, 指标采用指标分类码, 以类似面向对象的查询语言进行专题数据元的高效查询。

## 3 版式网络地图发布实践

版式网络地图发布是一种图数整合的高保真地图发布模式, 为了进一步验证和优化版式网络地图的设计思路, 作者在实践中多次将版式地图应用于各种网络地图服务系统。下面简要介绍2个应用案例: 案例1实现了地形图出版原图的高保真网络发布; 案例2在高保真网络发布的同时基于图数整合提供高效的专题数据查询。

### 3.1 面向网络的地形图出版原图版式发布

地形图能够比较精确而详细地表示地貌、水文、土壤、植被等自然地理要素, 以及居民地、交通线、境界线等社会经济要素, 是国民经济建设、军事作战应用的重要资料。在一般的地理信息系统中, 采用实时渲染的方式进行可视化, 在效率上很难满足用户需求; 或者采用已有的纸质地图进行栅格化, 配准得到数字栅格地图(DRG)进行使用。地形图出版原图生产是国家常规周期性生产任务, 投入大量的经费主要满足硬拷贝输出需求。如何将现有的大量地形图出版原图通过网络或移动介质进行发布, 满足各级用户高保真的地图读图需求?

在版式网络地图思想指导下, 通过图幅角点识

别与坐标提取、矢量坐标转换(EPS 文件坐标→Web 墨卡托投影坐标)、分版地形图数据合版、生成元数据等步骤,重新为这些分带分幅的地形图出版原图自动补全了空间坐标信息;通过分级切片、打包等处理,采用Web 墨卡托投影的地图瓦片格网系统解决分幅地形图阅读时的接边问题,构建了全球框架下地形图出版原图栅格瓦片金字塔网络地图产品,实现了系列比例尺地形图出版原图的快速调度和无缝阅读。当然,地形图出版原图在应用时也可以采用高斯投影、带图廓整饰元素保持分幅地形图原貌进行发布,支持图幅范围内的应用。版式网络地图在地形图出版原图网络发布上的应用,是一项十分重要的继承性创新,已成为地形图应用的新模式。

### 3.2 专题地图集版式网络地图发布

在“十二五”期间,中国科学院遥感与数字地球研究所(原中国科学院遥感应用研究所)、中国科学院地理科学与资源研究所等单位联合编制了《中华人民共和国人口与环境变迁地图集》<sup>[20]</sup>,以地图形式总结和反映了新中国成立以来中国人口与环境的变化特征,表现区域分异规律和分布特点。为了进一步将这一重大科研成果向全社会推广,该课题组又以版式网络地图发布原理和方法为指导,设计开发了《中华人民共和国人口与环境变迁地图集(电子版)》,在高保真地图可视化的同时实现了图数整合。

地图数据采用 Albers 投影,直接将 EPS 格式的

印前图件导出为高分辨率图片,并与矢量数据进行配准,构建专题地图瓦片金字塔,同时对省级行政单元、县级行政单元、流域单元等多边形数据进行四叉树分解。系统存储层采用 MongoDB 文档数据库,图集、图幅和单幅图采用 MongoDB 集合进行组织,专题地图数据采用文档键值对方式进行存储,并对数据建立索引。服务端采用 PHP、Python 语言开发,前端采用 HTML 5 语言开发。

在地图内容导航方面,图集电子版实现了文字目录和图形目录相结合的导航;在地图显示上,通过专题地图图片金字塔构建实现了从高质量出版原图数据向版式电子地图的保真快速转换;在地图阅读方式上,支持用户自定义地图阅读、卷帘、多窗口联动、透明叠加地图对比阅读等多样化的阅读方式;在数据查询时,基于可变分辨率的四叉树分解和 TRI 存储模型借助文档数据库实现了专题地图数据的存储,支持时间、区域、指标组合定制的高效数据查询。地图对比阅读是系统特色的功能之一,支持卷帘、窗口联动、上下叠置 3 种对比阅读模式,如图 2 所示。

系统支持区域、指标、时间组合定制查询,通过鼠标勾选定制指标和时间的定制,通过地名列表勾选或地图上添加锚点的方式定制区域,定制完成后,点击查询,服务端返回地图数据查询结果。用户点击“自定义区域定位点”,在地图上移动鼠标即可以交互式的添加锚点。查询结果支持分页显示,

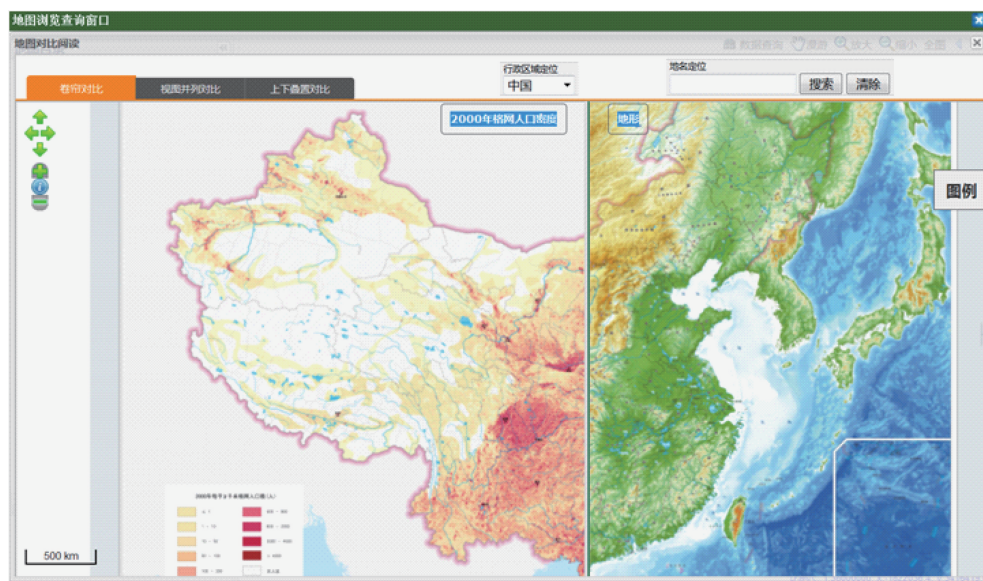


图2 版式网络地图对比阅读

Fig. 2 Contrast map reading in the layout based web map



不同属性显示采用Tab标签页进行组织。地图数据查询如图3所示。

## 4 结论与展望

网络地图系统是面向大众用户的地图服务系统,其核心功能是地图显示和阅读、地图数据查询和简单分析。由上述可知,可将网络地图发布模式概括为WebGIS模式、静态地图图片模式、PDF/GEOPDF地图发布模式、SVG地图发布模式、版式网络地图模式5种,其简要对比分析见表1。版式网络地图模式与WebGIS网络发布模式相比,具备传统WebGIS模式难以比拟的图面表达效果;与静态地图图片模式相比,具有完整的空间参考系统支持,支持地图缩放和对比阅读;与PDF地图发布模

式相比,具备无需安装插件、加载速度快的优点。SVG地图发布模式中浏览器原生支持SVG标准,具有良好的交互体验,但与版式网络地图相比,其地图初始加载速度、认知工效对制图者的数字地图设计能力要求较高。版式网络地图发布模式为统计专题地图的网络发布提供了的思路,满足了地图系统的核心功能需求,其突出的特点在于专题地图高保真的阅读体验和高效的专题地图数据TRI查询,是一种网络地图发布的轻量级解决方案,有望进一步在网络地图出版特别是专题地图出版领域得到推广和应用。

本文所述版式网络地图发布模式仍存在一些不足,后续研究主要包括:(1)专题地理数据除面状要素外,还包括点状要素、线状要素,点集的四叉树分解较为简单,但对线要素如何进行四叉树分解还



图3 版式网络地图数据交互式查询

Fig. 3 Interactive data query in the layout based web map

表1 网络地图发布模式对比

Tab. 1 Comparison of web map's publishing modes

模式	交互性	比例尺	阅读友好性	分析	认知工效
WebGIS 模式	高(界面和内容交互)	支持缩放	低(常出现注记或符号压盖现象)	高(支持空间分析能力,支持程度根据系统功能确定)	中(高灵活性与特定知识表达的权衡)
静态地图图片模式	低	比例尺固定	低(显示效果取决于分辨率)	低(不支持)	低(易读性差)
PDF/GeoPDF 地图发布模式	中(基于插件实现)	支持缩放	中(显示效果较好但网络访问速度慢)	中(支持数据查询以及简单分析)	中(易读性较好)
SVG 地图发布模式	高(有较好交互体验)	支持缩放	中(显示效果较好,地图初始加载速度不快)	中(支持数据查询以及简单分析)	认知工效取决于数字地图设计能力
版式网络地图模式	高(界面和内容交互)	支持缩放	高(支持高保真显示效果,支持对比阅读)	中(支持数据查询、图表分析)	高(集成专家思维认知成果的高效可视化)



需要进一步研究;(2)专题地图多边形的四叉树分解和专题地图数据的组织存储,为多源空间数据整合、空间数据立方体提出了一种新思路,可以更好地实现地图产品的“图数一体”,达到地图高质量阅读与高效查询分析功能的统一;(3)版式网络地图发布模式的一个重要前提是已经编制了面向印刷的印前图件,是印前图件或出版原图的再利用和深加工。这种高保真的地图发布效果和简洁的地图交互方式,可以在数字环境下将原本割裂的印刷原图编制和电子地图系统设计和开发统一起来,进一步探索新型的网络一体化制图模式,开展网络版、电子版、印刷版一体化编制方法研究,创新跨媒介的、具备自适应能力的地图编制和出版方法。

#### 参考文献(References):

- [1] Neumann A, Winter A M, Atlas T. Webmapping with Scalable Vector Graphics (SVG): delivering the promise of high quality and interactive web maps[A]. In: Peterson M. Maps and the Internet[M]. Oxford, UK: Elsevier, 2003.
- [2] 周旭,刘若梅,贾云鹏,路平.“国家动态地图网”技术特点分析[J].测绘科学,2009,34(S1):64-66. [Zhou X, Liu R M, Jia Y P, et al. On technical characteristics of “National Dynamic Atlas” [J]. Science of Surveying and Mapping, 2009,34(S1):64-66.]
- [3] 孟丽秋.地图学技术发展中的几点理论思考[J].测绘科学技术学报,2006,23(2):89-96. [Meng L Q. Some theoretical concerns along with the development of cartographic technologies[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2006,23(2):89-96.]
- [4] 中国地图出版社.中国电子地图(企业版)[M].北京:中国地图出版社,2013. [SinoMaps Press. Chinese electronic maps (enterprise version)[M]. Beijing: SinaMaps Press, 2013.]
- [5] 中国科学院南京地理与湖泊研究所.江苏省资源环境与发展地图集[M].北京:科学出版社,2009. [Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences. Atlas of resource, environment and development in Jiangsu province[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [6] 王家耀.地图制图学与地理信息工程学科进展与成就[M].北京:测绘出版社,2011. [Wang J Y. Progress and achievement of cartography and geographic information engineering[M]. Beijing: Surveying and Mapping Publishing, 2011.]
- [7] 史瑞芝,曹朝辉,任晓波,等.基于色空间转换与色域映射的跨媒体颜色传输[J].测绘科学技术学报,2008,25(2):79-82. [Shi R Z, Cao Ch H, Ren X B, et al. Cross-media color transmission research[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2008,25(2):79-82.]
- [8] 刘岳.我国电子地图研制的实践及其发展方向[J].地球信息科学,2005,7(2):17-22. [Liu Y. The study and development of electronic maps in China[J]. Geo-Information Science, 2005,7(2):17-22.]
- [9] Kraak M J, Brown A. Web cartography[M]. New York: Taylor & Francis, 2001.
- [10] Liu L, Özsu M T. Encyclopedia of database systems[M]. London, UK: Springer, 2009.
- [11] 高良才.版式电子书的关键结构信息提取[D].北京:北京大学,2009. [Gao L C. Key structure information extraction within layout electronic book[D]. Beijing: Beijing University, 2009.]
- [12] Neumann A, Winter A M. Vector-based web cartography: enabler SVG[EB/OL]. [http://www.carto.net/papers/svg/index\\_e.shtml](http://www.carto.net/papers/svg/index_e.shtml), 2004-01-21.
- [13] 李洪省,李程.网络地图制图中的主要问题及其解决方案[J].测绘科学,2004,29(6):92-94. [Li H S, Li C. Main problems and their solutions on web cartography[J]. Science of Surveying and Mapping, 2004,29(6):92-94.]
- [14] 胡浩杰,杨春成,魏斌,等.高质量PDF地图注记的输出方法[J].测绘科学技术学报,2010,27(6):450-454. [Hu H J, Yang C C, Wei B, et al. Method of outputting high-quality PDF map lettering[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2010,27(6):450-454.]
- [15] 张东升,欧仁和,王剑敏,等.基于Pdf格式开发多媒体电子地图集技术探讨[J].测绘与空间地理信息,2012,35(10):61-63. [Zhang D S, Ou R H, Wang J M, et al. Discussion on the development of multimedia electronic atlas based on PDF format document[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2012,35(10):61-63.]
- [16] 徐韬.基础测绘GeoPDF地图新成果研究的必要性和可行性[J].测绘标准化,2014,30(2):19-21. [Xu T. On necessity and feasibility for research of GeoPDF products from basic surveying and mapping activities[J]. Standardization of Surveying and Mapping, 2014,30(2):19-21.]
- [17] 汶建龙,杨春成,符浩军,等.一种地图跨媒介出版数据模型[J].测绘学报,2015,44(8):936-942. [Wen J L, Yang C C, Fu H J, et al. The cross-media publishing data model of map[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(8):936-942.]
- [18] Samet H. Region representation: quadrees from binary arrays[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(1):88-93.
- [19] Samet H. An algorithm for converting rasters to quadrees [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1981,3(1):93-95.
- [20] 宫鹏,刘岳.中华人民共和国人口与环境变迁地图集[M].北京:科学出版社,2010. [Gong P, Liu Y. Atlas on population and environment, People's Republic of China[M]. Beijing: Science Press, 2010.]