

基于矢量瓦片技术的 Web 电子海图优化方法

范梦琪, 宋伟东, 郑人维, 何 欢

(辽宁工程技术大学 测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 传统的基于栅格瓦片技术生产的 Web 电子海图虽解决了跨浏览器显示的问题, 但其显示速度、渲染效果及交互能力仍无法满足现在用户的需求。为了实现 Web 电子海图的大规模应用, 针对栅格瓦片技术支持的下电子海图中存在的缺陷, 提出基于开源地图服务器 Geoserver 与地图可视化 JS 库 Leaflet 的矢量瓦片技术优化方案, 包括海图数据预处理、矢量切片的制作、矢量瓦片数据多样式显示及矢量瓦片数据要素查询等, 通过在实验室海洋信息展示平台中的验证与测试, 实现了矢量电子海图数据在 Web 页面上的多样式灵活显示及交互功能, 证实了优化方案的可行性及高效性, 整体提升了 Web 海图服务的效率。

关键词: 矢量瓦片; 电子海图; Geoserver; GeoWebCache; Leaflet

中图分类号: P208.2; P209 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2021)02-0068-08

DOI: 10.11759/hyxx20200330001

随着地理信息系统(GIS)技术和互联网技术的发展, 电子海图(electronic chart, EC)技术也迅速发展起来。近年来, 基于 WMS(Web Map Service)和 WFS (Web Feature Service)的栅格瓦片 Web 电子海图服务逐步被海洋领域应用。传统的栅格瓦片地图是依据金字塔模型对多分辨率的栅格图像进行切片发布服务, 供客户端直接调用应用^[1]。其制作流程较为繁琐, 除了分等级(缩放级别)切片外, 还需提前对各个缩放级别的地图预先进行渲染, 这就大大降低了电子海图生产效率。因此, 矢量瓦片技术应运而生, 矢量瓦片的切片机制与传统栅格瓦片的切片机制一致, 都是依据金字塔模型的切图方法^[2]。但矢量切片生成的是矢量要素描述性文件, 存储的是矢量数据投影范围内的几何信息和属性信息, 表现为矢量瓦片数据描述性文档, 这样就可减少网络传输量, 缩短响应时间, 提升用户体验提供可能。同时, 矢量瓦片对前端渲染灵活性和交互性的支持, 也促使矢量瓦片逐渐成为当前地图应用的热点研究对象, 很多商业互联网地图服务如百度、高德、谷歌地图已经全面采用矢量瓦片引擎作为优选地图渲染引擎^[3]。但在航海领域, 矢量瓦片技术的应用研究为数不多。孙岩松初步探索了矢量瓦片在内河航道监管系统中的应用技术, 实现了 Web 电子海图上船舶和航标的监控应用功能^[4]; 潘明阳等提出 ENC 矢量瓦片技术方案, 利用 OpenLayers 地图 API 实现了 ENC 数

据在 Web 页面上的显示与应用^[5]。因此, 为了提高 Web 电子海图的跨平台应用, 同时提升响应速率优化渲染效果, 为海上渔业管理及海上风险预测等部门提供便利, 本文在矢量瓦片技术研究的基础上, 提出基于开源 Geoserver 地图服务器和前端地图可视化 JS 库 Leaflet 的 Web 电子海图优化方案, 相较于栅格瓦片的电子海图, 矢量瓦片电子海图显示速度明显提升, 对于矢量瓦片的电子海图缩放平移等操作基本响应时间保持在 0.1 s 以下, 不易被人感觉出来, 从而达到流畅的效果, 海图渲染的灵活性提高, 并且矢量瓦片也弥补了栅格瓦片不具交互性的缺陷, 为提升 Web 电子海图服务质量与效率提供高效途径。

1 矢量瓦片

1.1 矢量瓦片地图

矢量瓦片地图遵循栅格瓦片地图的思路, 通过分块的方式, 减少网络传输量, 从而提高响应速率, 不同的是, 矢量瓦片地图采用的瓦片数据为多层次的矢量要素描述性文件, 单个的瓦片数据是存储投影在一个矩形区域的几何信息和属性信息, 与一般 JPEG、PNG 格式的栅格图片相比, 数据传输与存储

收稿日期: 2020-03-30; 修回日期: 2020-04-25

作者简介: 范梦琪(1995-), 女, 河北省定州人, 硕士, 地理信息系统与地图制图方向, 电话: 18342863256, E-mail: dz_fmqq@163.com

空间优势显而易见。在提供矢量瓦片地图服务时,首先需要将矢量数据以多层次模型切片成为矢量要素描述性文件存储于服务器端,当客户端根据地图显示范围和定义的矢量数据源及样式文件请求数据时,

服务器端返回相应的矢量瓦片、标注字体、图标等数据,然后根据样式文件定义的地图表达规则在客户端即时渲染输出地图^[6]。下图 1 为矢量瓦片地图的实现模型。

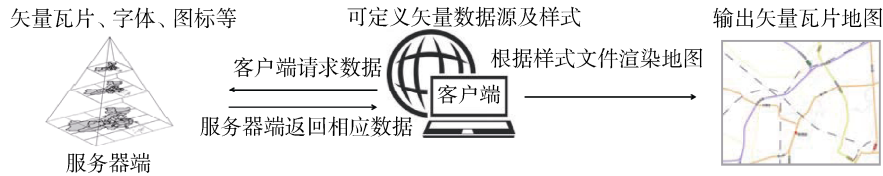


图 1 矢量瓦片地图实现模型

Fig. 1 Vector tile map implementation model

由于传统的栅格瓦片切片原理是直接切割地图图片,所以通常一套地图数据需要分层级准备几套不同的渲染方案,再进行切片存储于服务器端。对于一些常见的地图应用,尤其是数据量较大的地图应用,这样不仅增加了后台服务器的负担,地图的交互性和灵活性也受到限制。矢量瓦片既能在数据传输与存储空间方面提高效率,又能在客户端地图表达上提供足够的灵活性,同时也为客户端与地图数据直接交互提供便利。这些优势为优化 Web 电子海图提供了极大启发。

目前主流的矢量切片工具主要有 ArcGIS Pro、Geoserver、Mapbox 等^[7]。ArcGIS Pro 是 ESRI 新推出的桌面制图软件,其发展相对成熟,矢量切片数据抽稀及数据属性信息保留情况比较智能,可以在离线环境下运行,但需要 ArcGIS 企业版支持;Mapbox 推出 Mapbox Studio 矢量地图和发布工具,可提供标准化的制图方案,数据保密性强,但只能线上运行;Geoserver 是完全开源 GIS 服务器,可以对栅格及矢量数据进行切片和发布服务,可以离线运行,并且切片数据属性的保留比较完整。本文以开源角度,采用 Geoserver 地图服务器作为后台服务支撑。

1.2 矢量瓦片数据组织

矢量瓦片的物理模型是瓦片几何信息与属性信息在存储时的表现形式,由于目前还没有形成 OGC 的统一规范,描述矢量瓦片几何信息与属性信息较为流行的几种开放文件有 GeoJSON, TopoJSON 和 Mapbox Vector Tile(MVT)^[8-12]。其中 GeoJSON 是一种基于 JSON 的地理数据编码格式,可读性较好,易于理解,主流的 GIS 引擎几乎都支持。但相对于其他

两种数据格式,其数据体积较大,冗余度大,占用空间多;TopoJSON 是 GeoJSON 的扩展形式之一,其中的每个几何体通过共享边而整合,因此消除了部分数据冗余,数据体积极大缩小,但其可读性较差,并且支持这种格式的软件很少,通用性差;MVT 是 Mapbox 基于 PBF(Google protocol buffers)制定的一种矢量瓦片的数据标准,以二进制流的形式存储,因压缩率较高,体积更小,读取速度更快,已被较多机构单位采用,本文在电子海图矢量数据切片中也采用此种数据组织模型。

矢量瓦片的编码规则包含几何信息编码及属性信息编码。在 PBF 编码方案中,矢量瓦片的几何信息所用的坐标系定义瓦片的左上角为坐标系的原点,X 轴方向向右为正,Y 轴方向向下为正,坐标值以格网数为单位。矢量瓦片的几何信息就被分解成一系列的 Move to、Line to、Close Path 等绘图命令,command id 就代表绘图命令,其中 1 代表 Move to 指令,2 代表 Line to 指令,7 代表 Close Path 指令。如图 2,以线要素为例,假如矢量瓦片的格网为 20×20,图中粗线的三个坐标分别为(2, 2)、(2, 10)、(10, 12),图右侧展示了线要素几何信息绘制指令集,在 PBF 文件中将指令集编码存储为 32 位无符号整数序列。

在 PBF 编码方案中,属性信息编码是将要素属性编码为 tag 字段中偶数对组。tag 对组中第一个整数表示 key 在其所在图层中 keys 列表中索引号,第二个整数表示 value 在其所在图层的 values 列表中索引号。其中,一个要素的所有 key 索引保证唯一,确保要素中没有重复的属性项。如图 3 所示为 PBF 格式与 GeoJSON 格式属性信息编码对比示例,可以看到当需要存储大量重复字段及属性值时,PBF 格式能很好压缩数据量,避免重复数据。

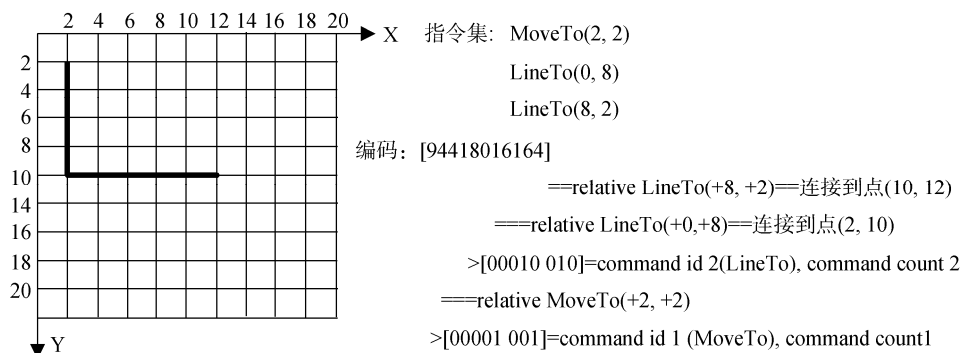


图 2 矢量瓦片的几何信息编码规则
Fig. 2 Geometric information coding rules for vector tiles

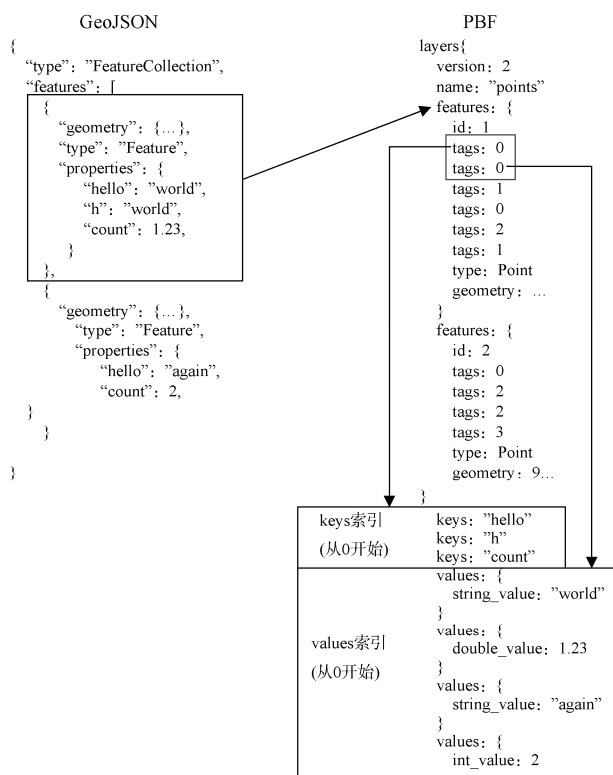


图 3 矢量瓦片的属性信息编码规则

Fig. 3 Coding rules for the attribute information of vector tiles

1.3 矢量瓦片数据处理

对于电子海图的矢量数据处理, S-57 格式的电子海图是目前世界范围内较为通用的一种海图数据传输方式, 其数据存储采用后缀名为*.000 格式的文件。其中的数据关联较为复杂, 不仅物标与物标之间有关联, 每个物标中的点、线、面等几何信息也混杂在一起, 与常见的 GIS 数据格式相差较大^[13]。因此, 为了便于 GIS 分析和处理, 本文采用开源的地理空间数据抽象库 GDAL(Geospatial Data Abstraction

Library)来读写空间数据^[14]。利用 OGR 的 ogrinfo.exe 工具读取其中一个 S-57 文件中的物标信息如图 4 所示。针对水深数据, 利用水深数据转 Shapefile 工具转换水深图层, 其中定义水深值字段为 VALSOU, 将每个水深点的水深值存入该字段中, 转换后的水深数据属性如图 5 所示。

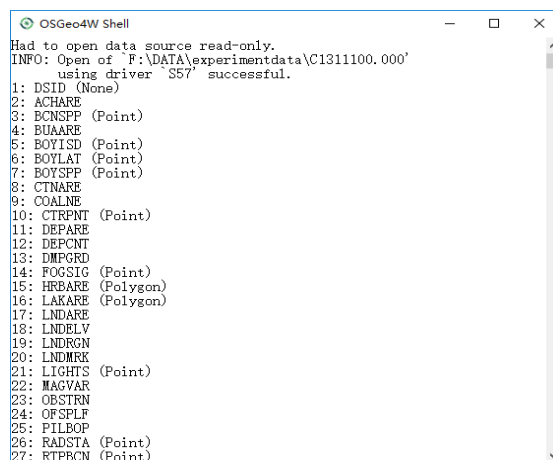


图 4 Ogrinfo 工具读取 S-57 海图信息
Fig. 4 Ogrinfo tool read S-57 chart information

OBJECTID	NAME	VALSOU	DEED	DEED	DEED	DEED	DEED
1	1 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
2	2 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
3	3 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
4	4 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
5	5 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
6	6 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
7	7 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
8	8 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
9	9 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
10	10 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
11	11 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000
12	12 (1:100,100,100,100)	10.0	1000	1000	1000	1000	1000

图 5 SOUNDG 水深图层属性表
Fig. 5 SOUNDG depth layer attribute table

S-57 数据转换成 Shapefile 格式后, 每个类别物标产生一个图层, 通常海图数据都是由多个 S-57 文件拼接而成, 每幅图分层得到的物标图层较多, 因此为了便于数据管理, 简化图层个数, 提升矢量切片的效率, 通过开源地理信息系统工具 QGIS 将多个 *.000 文件中同一物标类别的数据拼接合并成一个 Shapefile 文件。

2 基于矢量瓦片的 Web 电子海图优化方案

在分析矢量瓦片数据组织模型的基础上, 在此提出基于矢量瓦片的 Web 电子海图优化方案, 如图 6

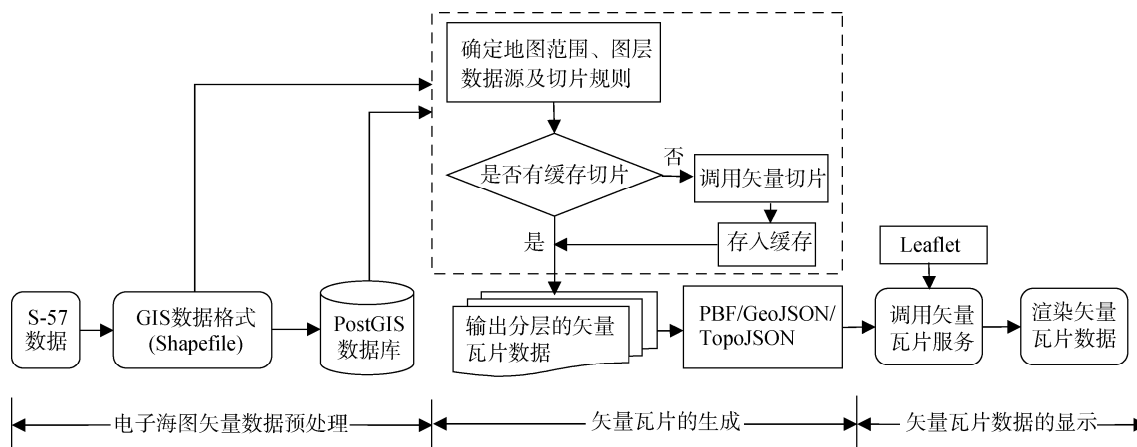


图 6 基于矢量瓦片的 Web 电子海图优化方案

Fig. 6 Web electronic chart optimization scheme based on vector tiles

2.1 矢量瓦片的生成

2016 年 12 月, 开源地图服务器 GeoServer2.11 版以后增加了 vector-tiles-extension-plugin 插件, 扩展了对矢量瓦片生成和发布功能的支持^[5]。具体的矢量瓦片生成流程如下。

1. 切图工具: vector-tiles-extension-plugin 配置;
2. 数据存储: 创建工作区并加入新的数据存储, 发布图层数据;
3. 创建切图方案: 设置切图方案的名称、坐标参考系统、切图分辨率及切图级别设置。
4. 配置图层: 配置 Tile Cache 的矢量瓦片数据格式 geojson、topojson 或 mapbox-vector。
5. 利用 GeoWebCache 工具缓存切片: 设置矢量瓦片数据格式、切片级别、切图范围等参数。切片规则根据道格拉斯-普克算法按图层级别对数据进行抽稀, 生成矢量瓦片的结果如图 7 所示。

所示。电子海图矢量数据预处理部分包含 S-57 电子海图数据格式转换和矢量数据存储两部分, 以便于数据的传输与管理, 其具体实施步骤可参照 1.3 节; 矢量瓦片的生成部分是方案实施的关键步骤, Geoserver 内置的 GeoWebCache 工具可生成矢量切片, 输出 PBF/GeoJSON/TopoJSON 等格式的瓦片数据, 其缓存机制可提高地图服务响应速度; 矢量瓦片数据的显示部分, 采用轻量级开源在线地图 JavaScript 库——Leaflet 调用矢量瓦片地图服务并在客户端渲染。Leaflet 源码虽然轻量但具备强大的在线地图功能, 其工作原理可有效地跨所有主流桌面和移动平台, 并且具有丰富的插件, 便于开发者灵活设计系统^[15]。

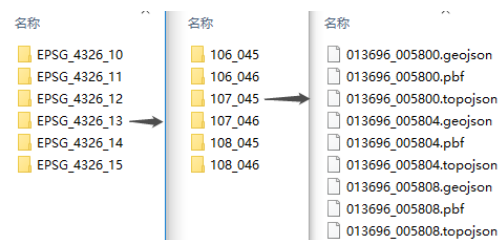


图 7 切片结果

Fig. 7 Slice results

2.2 矢量瓦片与栅格瓦片的比较

本文为了比较矢量瓦片与栅格瓦片的数据处理效率, 以某市数据为例准备一套矢量瓦片与栅格瓦片数据。电脑配置为硬件处理器是 Intel(R) Core(TM) i5-7500 CPU @ 3.40GHz 3.40GHz, 已安装内存 (RAM) 为 16 GB。切片方案: 栅格瓦片大小为 256 × 256, 输出格式为 PNG 格式; 矢量瓦片输出格式为

GeoJSON/MVT 格式。切片工具均为 Geoserver, 层级为 10 ($\in [9, 18]$)。其对比结果如下表 1 所示。

表 1 矢量瓦片与栅格瓦片切片效率对比表

Tab. 1 Comparison of tile efficiency between vector and grid tiles

瓦片格式	切片时间/ h	数据大小/ GB	占用空间/ GB
MVT(矢量瓦片)	0.54	0.02	0.03
GeoJSON(矢量瓦片)	1.16	0.38	0.60
PNG(栅格瓦片)	14.31	1.11	3.79

由上表可以看出, 矢量瓦片相较于栅格瓦片的数据处理效率优势明显。矢量瓦片数据的 GeoJSON/MVT 格式, 相对于栅格瓦片的 PNG 格式, 数据存储空间大大减少, 数据处理及存储的效率大幅提升, 可以为数据更新、传输及用户的体验带来极大便利。

2.3 矢量瓦片数据的显示

Geoserver 地图服务器发布的矢量瓦片服务仅仅包含物标要素的几何信息和属性信息, 并不能直观地在客户端呈现, 因此前端采用开源 Leaflet 方案, 参照 S-52 标准根据物标要素的属性进行样式的设计与配置, 完成前端矢量瓦片数据的显示^[16]。

在 Leaflet 中, 核心的框架是 Map 类, 把 Map 类看作是一个容器, 可添加图层、控件、注记及与其绑定的响应事件。借助 Leaflet.VectorGrid 插件调用矢量瓦片服务, 利用 Leaflet 子类对矢量瓦片进行渲染。其中主要是在 vectorTileOptions 中对矢量瓦片进行配置, 矢量瓦片的渲染规则在 vectorTileLayerStyles 中定义。电子海图中点状物标利用 L.Icon 类, 使用预先做好的符号图片进行设置; 简单线物标利用 stroke、color、weight 等抽象类结合 Layer 类对不同的线型、颜色和线宽进行表达, 复杂的线型通过与 L.Icon 类结合表达; 面状物标则利用 fill、fillcolor、fillrule 等选项定义。对于较为特殊的水深注记, 采用整数部分与小数部分分离单独注记的方法, 将小数部分按合适的 X, Y 偏移量进行显示, 以达到 S-52 标准的规范显示效果。图 8 展示了水深注记的效果。

3 方案应用与分析

本文依托实验室海洋信息展示平台, 介绍了矢量瓦片 Web 电子海图在平台中的应用。系统体系框架如图 9 所示, 主要包含数据层、服务层、前端应用层。数据层存储电子海图矢量数据、遥感影像数据、

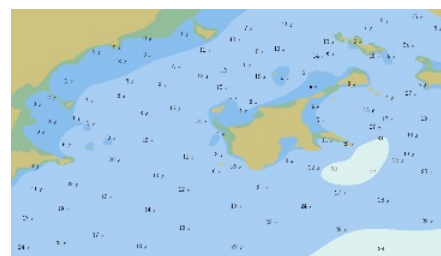


图 8 水深注记渲染

Fig. 8 Water-depth annotation rendering

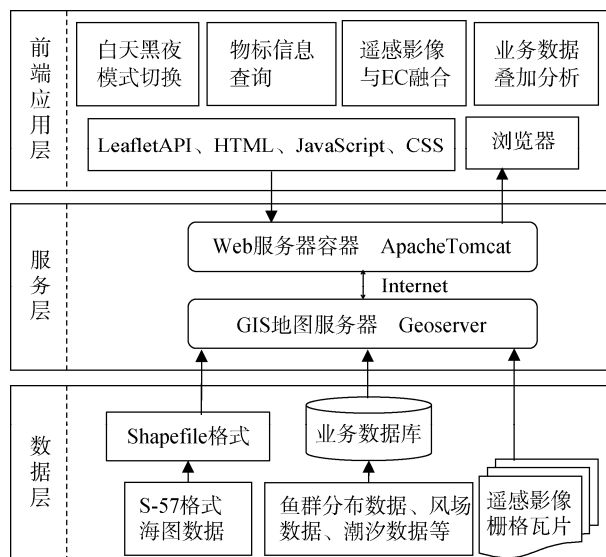


图 9 海洋信息展示平台系统体系框架

Fig. 9 System architecture of the marine information display platform

鱼群数据、风场数据、潮汐数据等; 服务层底图数据服务采用 Geoserver 地图服务器, 实现多数据源存储, 如 PostGIS、DB2 等数据库数据; 前端应用层运用 Leaflet 地图 API 调用 Geoserver 发布的瓦片数据服务, 将电子海图的矢量瓦片与遥感影像栅格瓦片数据进行叠加显示, 并在此基础上, 叠加鱼群分布、矶钓点等业务数据, 进行海洋信息展示、处理和分析。图 10、图 11 是将基于矢量瓦片 Web 电子海图作为底图, 分别叠加鱼群分布数据和风场数据的融合显示效果图。

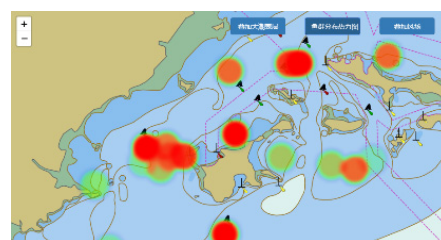


图 10 鱼群分布热力图

Fig. 10 Thermal map of fish school distribution

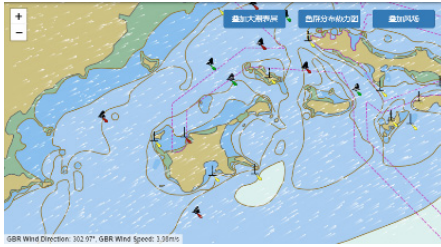


图 11 叠加风场图

Fig. 11 Overlaid wind-field diagram

3.1 地图加载

在海洋信息展示平台中,电子海图作为平台底图起着至关重要的作用,其加载速度直接影响着平台的服务质量。如表 2 所示,为了展示海图显示速度的优化效果,以平台部分电子海图数据为例(海域范围为纬度 $38^{\circ}33.8083'N \sim 38^{\circ}51.4059'N$, 经度 $120^{\circ}52.6268'E \sim 121^{\circ}57.4349'E$),比较栅格瓦片电子海图与矢量瓦片电子海图加载速度及操作效率。操作电脑的硬件配置的处理器为 Intel(R) Core(TM) i5-5200 CPU @ 2.20GHz 2.19GHz, 内存(RAM)为 4 GB。栅格瓦片在 Geoserver 地图服务器中通过样式化图层描述文件(Styled Layer Descriptor, SLD)文件已提前渲染,瓦片大小为 256×256 , 输出格式为 PNG 格式; 矢量瓦片输出格式为 PBF 格式, 渲染方式为前端渲染。

表 2 平台底图加载效率对比表

Tab. 2 Comparison of loading efficiency between vector and grid maps

底图格式	首次加载 /ms	底图放大 /ms	底图缩小 /ms	底图移动 /ms
矢量瓦片	528	96	54	46
栅格瓦片	880	860	750	446

由上表可以看出,基于矢量瓦片的电子海图相较于栅格瓦片电子海图,在首次加载、缩放及移动的操作中都显具优势,并且,除首次加载消耗的时间较长以外,其他操作都在 100 ms 以下,而人的反应时间一般大于 100 ms,所以在海图加载完成时,底图操作都更加流畅。

3.2 地图显示

在地图显示的过程中,矢量瓦片地图的目视效果优于栅格瓦片地图。由于矢量切片数据体积小,加载速度快,底图数据不会像栅格瓦片一样,在比例尺增大的过程中出现先卡顿模糊,再清晰的情况,

不影响视觉效果。基于矢量瓦片技术的电子海图在地图显示中的另一大优势在于缓解服务器压力,服务器一次切图,前端多种样式选择,以适应不同场景的需求。如图 12、图 13 所示,可直接通过按钮一键转换显示样式。

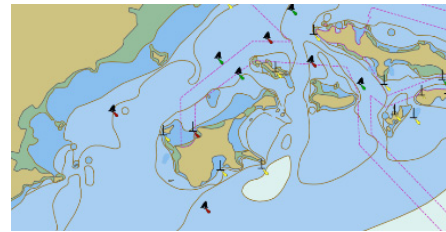


图 12 白天模式

Fig. 12 Day mode

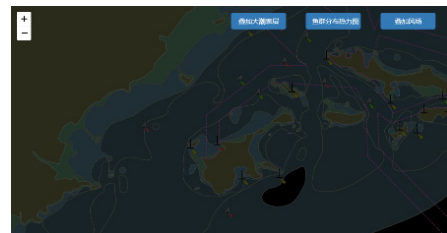


图 13 夜晚模式

Fig. 13 Night mode

3.3 地图交互能力

由于栅格瓦片无法保留数据的空间特征,瓦片中的要素无法进行交互。而基于矢量瓦片的电子海图,可在 Leaflet 的 Map 类中,通过 on 函数设置地图点击事件,利用 Layer 类的 identify 方法获取鼠标点击位置,进而获取要素的属性信息,实现空间查询功能,提升海图交互能力。叠加卫星影像地图后锚地属性查询和锚点中要素查询效果如图 14、图 15 所示。



图 14 锚地属性查询

Fig. 14 Anchor-property query



图 15 矶钓点要素属性查询

Fig. 15 Querying the attributes of rock fishing points

4 结论

本文针对通用的以栅格瓦片形式提供 Web 电子海图服务中出现的问题进行探索, 通过对矢量切片的原理及数据组织形式的深入分析, 研究了基于矢量瓦片的 Web 电子海图优化方案, 包括 S-57 海图数据的处理、基于开源地图服务器 Geoserver 的矢量切片生成与发布、前端基于 Leaflet 的矢量瓦片数据多样性显示, 以及矢量瓦片数据要素查询等。通过矢量切片栅格切片效率对比实验及海洋信息展示平台系统应用, 证实优化方案的可行性及高效性, 充分说明基于矢量瓦片技术的 Web 电子海图在数据存储显示速度、渲染效果及交互性方面的优势, 说明矢量瓦片技术在海洋领域的应用前景广阔。不足之处, 本文也有可继续优化的方面, 如自动切片、样式自动化生成、动态数据前端显示等方面, 因此后续工作将继续对矢量瓦片在 Web 电子海图优化方面进行深入研究, 以实现高效可靠的矢量切片技术体系。

参考文献:

- [1] 李改肖, 李树军, 董晓光, 等. 移动平台下栅格海图数据快速显示方法研究[J]. 海洋测绘, 2016, 36(3): 56-59.
Li Gaixiao, Li Shujun, Dong Xiaoguang, et al. Research on rapid display method of grid chart data on mobile platform[J]. Marine Surveying and Mapping, 2016, 36(3): 56-59.
- [2] 杨帆, 张令奎, 梁发宏, 等. 分级瓦片地图自动渲染制图规则设计与实现[J]. 测绘通报, 2015(S2): 32-37, 43.
Yang Fan, Zhang Lingui, Liang Fahong, et al. Design and implementation of automatic rendering drawing rules for hierarchical tile maps[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2015(S2): 32-37, 43.
- [3] 胡振彪, 赵军, 韩磊, 等. 矢量电子地图瓦片制作性能评估与应用[J]. 测绘科学, 2020, 45(2): 138-144, 165.

- Hu Zhenbiao, Zhao Jun, Han Lei, et al. Evaluation and application of vector electronic map tile production performance[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(2): 138-144, 165.
- [4] 孙岩松. 基于矢量瓦片的 Web 电子海图研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.
Sun Yansong. Research on web electronic charts based on vector tiles[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017.
- [5] 潘明阳, 羌鹏, 李明轩, 等. 基于矢量瓦片的 Web 电子航道图应用技术[J]. 上海海事大学学报, 2019, 40(3): 44-50.
Pan Mingyang, Qiang Peng, Li Mingxuan, et al. Application technology of web electronic channel map based on vector tiles[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2019, 40(3): 44-50.
- [6] 陈举平, 丁建勋. 矢量瓦片地图关键技术研究[J]. 地理空间信息, 2017, 15(8): 44-47, 10.
Chen Juping, Ding Jianxun. Research on key technologies of vector tile maps[J]. Geospatial Information, 2017, 15(8): 44-47, 10.
- [7] MAPBOX. Mapbox vector tile specification[EB/OL]. [2016-01-19]. <http://mapbox.com/vector-tiles/specification>.
- [8] Page Roderic. Visualising geophylogenies in web maps using GeoJSON[J]. PLoS Currents, 2015, 7: 26146589.
- [9] 李静, 周治武, 朱秀丽. 在线制图矢量数据组织模型[J]. 测绘科学, 2018, 43(2): 142-148.
Li Jing, Zhou Zhiwu, Zhu Xiuli. Vector data organization model for online cartography[J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(2): 142-148.
- [10] 李彤. GML 与 GeoJSON 格式的编码解码与传输差异比较研究[J]. 北京测绘, 2018, 32(3): 281-285.
Li Tong. Comparison of encoding and decoding and transmission differences between GML and GeoJSON formats[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2018, 32(3): 281-285.
- [11] 张翔, 柳林, 郭慧, 等. Shapefile 向 MVT 数据格式转换方法及应用[J]. 地理信息世界, 2018, 25(5): 109-113, 117.
Zhang Xiang, Liu Lin, Guo Hui, et al. Method and application of conversion of shapefile to MVT data format[J]. Geographic Information World, 2018, 25(5): 109-113, 117.
- [12] Bulter H, Daly M, Doyle A, et al. The GeoJSON format[EB/OL]. [2008-02-08]. <https://tools.ietf.org/pdf/rfc7946.pdf>.
- [13] 李庆伟, 李进杰, 卢岩. S-57 标准电子海图及其在航海中的应用[J]. 天津航海, 2008(1): 7-10.
Li Qingwei, Li Jinjie, Lu Yan. S-57 standard electronic chart and its application in navigation[J]. Tianjin Navigation, 2008(1): 7-10.
- [14] Yang D, Yang L C, Tao M M. Fast Reading and Display of Remote Sensing Image Based on Qt and GDAL[C].

- //Kunming University of Science and Technology, IEEE Control System Society Beijing Chapter, IEEE Beijing Section. Proceedings of 2017 9th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC 2017). Kunming University of Science and Technology, IEEE Control System Society Beijing Chapter, IEEE Beijing Section: IEEE BEIJING SECTION, 2017: 388-393.
- [15] 胡达天, 胡庆武. 基于开源系统的跨平台地图客户端开发[J]. 测绘科学, 2015, 40(7): 142-145.
- Hu Datian, Hu Qingwu. Cross-platform map client development based on open source system[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015, 40(7): 142-145.
- [16] 徐文坤, 刘爱超, 钱程程, 等. 基于 ArcGIS 的电子海图显示系统[J]. 海洋信息, 2019, 34(1): 19-25.
- Xu Wenkun, Liu Aichao, Qian Chengcheng, et al. Electronic chart display system based on ArcGIS[J]. Marine Information, 2019, 34(1): 19-25.

Electronic chart optimized method based on the vector tiles technology

FAN Meng-qi, SONG Wei-dong, ZHENG Ren-wei, HE Huan

(School of Mapping and Geographical Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Received: Mar. 30, 2020

Key words: vector tile; electronic chart; Geoserver; GeoWebCache; Leaflet

Abstract: Although traditional electronic charts based on the grid tile technology solve the problem of cross-browser display, its display speed, rendering effect, and interactive capabilities still cannot meet the needs of current users. To achieve the large-scale application of web electronic charts and make up for defects in the lower electronic charts supported using the grid tile technology, this study proposes a vector tile technology optimization scheme based on the open source Geoserver (a map server) and Leaflet (a map visualization JS library). These include chart-data preprocessing, vector-slice production, vector-tile data multistyle display, and vector-tile data element query. Through verification and testing in the laboratory marine information display platform, this scheme has realized the multistyle flexible display and interaction of vector electronic chart data on the web page. Finally, the feasibility and efficiency of the optimization scheme was confirmed and the overall efficiency of the web chart service was improved.

(本文编辑: 杨 悦)