



移动扫码阅读

苏颖,李梅,智宁,等. 煤矿一张图数据均衡非均匀矢量瓦片构建研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47 (10): 147-154. doi:10.13199/j.cnki.cst.ZN19-006

SU Ying, LI Mei, ZHI Ning, *et al.* Research on construction of "one map" data equalization non-uniform vector tile in coal mine in coal mine [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47 (10): 147 - 154. doi: 10.13199/j.cnki.cst.ZN19-006

煤矿一张图数据均衡非均匀矢量瓦片构建研究

苏颖¹, 李梅¹, 智宁², 毛善君¹

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 中国科学院空天信息研究院地理与赛博空间信息技术研究部, 北京 100094)

摘要:针对传统地图瓦片传输煤矿一张图空间数据存在定制化显示困难、数据加载不均衡、时间过长等问题,结合煤矿一张图空间数据特点,在分析矢量地图瓦片划分和渲染过程的基础上,发现数据不均衡现象导致瓦片加载效率低,提出了基于数据均衡的非均匀矢量瓦片构建方法。将瓦片划分分解为初划分和再划分 2 个部分:初划分时,对数据量小于阈值的区域不再产生瓦片,在地图渲染时将直接调用该区域现存缩放层级最大瓦片;再划分时,对初划分所得瓦片集中不符合要求的瓦片进行四等分,使瓦片数据量更均衡。以此保证地物密集区域瓦片划分更细腻,地物稀疏区瓦片网格划分更粗糙。对比了均匀矢量瓦片、要素简化后的均匀矢量瓦片及基于数据均衡的非均匀瓦片的加载效率。原始数据为 356 MB, 137 个图层。试验结果表明,煤矿一张图数据均衡多尺度瓦片与要素简化后的均匀矢量瓦片对比能够加载速度提升 2 倍以上,可大幅优化用户体验。

关键词: 矢量瓦片; 数据均衡; 煤矿一张图; 非均匀瓦片; WebGIS; 煤矿智能化

中图分类号: TD67 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2019)10-0147-08

Research on construction of "one map" data equalization non-uniform vector tile in coal mine

SU Ying¹, LI Mei¹, ZHI Ning², MAO Shanjun¹

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Department of Geography and Cyberspace Information Technology, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Traditional map tiles are widely used for spatial data transmission in coal mine "one map". However, there have been some problems, such as difficulties in customizing display, unbalanced data loading, and excessive time. Combined with the characteristics of coal mine "one map" spatial data, the vector map tile is divided and analyzed. Based on the rendering process, it is found that the data imbalance is low and the tile loading efficiency is low. In order to solve this problem, a non-uniform vector tile construction method based on data equalization is proposed in this paper. Specifically, the division of tiles is implemented in two steps: initial division and subdivision. When the initial partition is used, the tile is no longer generated for the region whose data amount is smaller than the threshold, and the existing zoom scale maximum tile in the region is directly called when the map is rendered; In terms of the subdivision step, the tile with the largest amount of the set obtained by the initial division is equally divided, so the amount of tiles can be more balanced. In this way, it is ensured that the tile level of the areas of dense features is finer and the tile level of the areas of sparse features is rougher. Furthermore, using the original vector data size with 356 MB and 137 layers, the loading efficiency of uniform vector tile, simplified uniform vector tile and non-uniform tile based on data balance are compared with each other. Experiments have shown that the method proposed in this paper can increase the loading speed by more than two times compared with the method of simplified uniform vector tiles, which can greatly optimize the user experience.

Key words: vector tiles; data equalization; coal mine one-map; non-uniform tile; WebGIS; intelligent mine

收稿日期: 2019-03-02; 责任编辑: 赵瑞

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804303)

作者简介: 苏颖(1993—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生。Tel: 010-62755420, E-mail: ysu@pku.edu.cn

通讯作者: 李梅(1978—), 女, 陕西宝鸡人, 副教授, 博士。E-mail: mli@pku.edu.cn

0 引言

目前煤矿“一张图”中的地图传输与显示广泛采用栅格瓦片技术^[1-2]。煤矿生产中地质、测量、机电、通风等各类技术部门数据交叉,需对各类空间数据统一管理,并定制化形成专题地图。栅格瓦片技术在服务器端预先渲染地图,无法对要素实时符号化,难以满足煤矿需求^[3-4]。相比栅格瓦片,矢量瓦片显示方式灵活,占用存储空间小,能够解决目前煤矿“一张图”存在的专题地图定制化困难、无法交互显示的问题^[5-6]。

目前主流 GIS 商业软件和开源平台都相继推出自己的矢量瓦片工具,如 ESRI^[7]、MapBox^[8]、GeoServer^[9]和 SuperMap iServer^[10]等。同时,学者们陆续围绕矢量瓦片展开研究^[11-12]。GAFFURI 等^[13]改进了矢量瓦片网络传输框架,以解决特定矢量数据中符号的多分辨率显示和要素属性信息的存储。NORDAN 等^[14]提出了一种边界指针算法以保持矢量数据原有的拓扑关系,但效率和实用性不高。针对矢量瓦片索引问题,CHANG 等^[15]通过简化压缩方法将矢量数据转换为层级快照,结合 R 树空间索引构建矢量金字塔模型,检索效率高但模型复杂。王亚平等^[16]使用 Tile-Stacke 生成多源投影矢量瓦片,实现了矢量瓦片的快速生成。

针对矢量瓦片的研究大都沿用栅格瓦片的等面积划分方式^[17-19],但两者存储内容和渲染方式存在差异:栅格瓦片存储的是图像信息,在浏览器端逐像素渲染,总时长与单个瓦片分辨率和渲染面积有关,适合等面积划分;矢量瓦片存储了要素的几何信息和部分属性信息,以要素为单位逐点绘制,渲染的时间消耗与瓦片面积不成比例,与组成要素的点数成正比。因而矢量瓦片的均匀划分缺乏对类似煤矿专题地图等要素不均匀现象的考虑。煤矿专题地图的要素在巷道内呈聚集分布、在煤岩区域呈稀疏分布,均匀划分会导致数据加载不均衡,在要素密集区加载时间长,整体地图加载效率低。

针对上述问题,笔者在已有研究基础上,从数据预处理、瓦片数据划分等方面对均匀矢量瓦片进行优化。根据煤矿专题地图数据分布不均匀特征,改进矢量瓦片的切割方式,提出一种非均匀矢量瓦片构建方式,以期提升煤矿“一张图”中专题地图等分布不均匀地图数据的加载效率和渲染均衡程度。

1 矢量瓦片构建研究思路

矢量瓦片的构建和请求的流程如图 1 所示,包

括了原始数据预处理与瓦片切分、矢量瓦片打包、地图服务发布、浏览器端数据请求和地图的渲染与显示。为提升浏览器端地图的整体加载和显示效率,笔者围绕瓦片的请求与绘制展开研究。

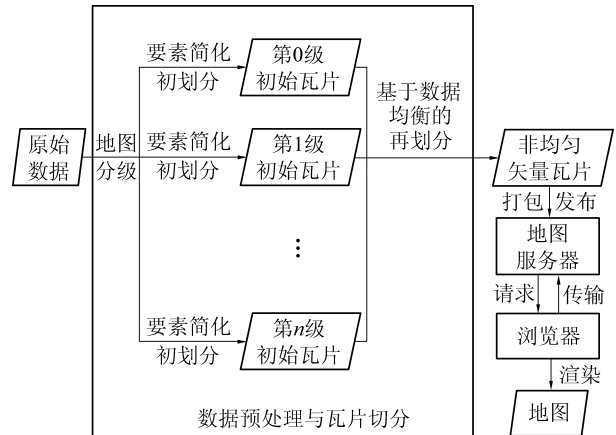


图1 矢量瓦片构建示意图

Fig.1 Schematic of vector tile construction

矢量瓦片的请求与绘制通常在浏览器端异步进行,因此地图加载绘制总时长取决于数据量最大瓦片的请求和渲染总时长。为提升矢量瓦片整体加载效率和渲染均衡度,本文工作如图 1 所示,集中在数据预处理与划分:①为缩短瓦片获得总时长,需减少数据请求量,对数据进行地图分级和要素简化,以在保证视觉效果的情况下减少瓦片内要素数据量;②为使各瓦片请求时长接近,需保证瓦片间数据量差异小,通过基于数据均衡的再划分形成非均匀矢量瓦片降低瓦片集内密度最大瓦片的体量,保证各瓦片间数据量均衡。

笔者将从上述 2 点出发,着重研究,以期解决在煤矿领域的热点问题分布式协同“一张图”^[1-2]中空间数据在网络传输中遇到的问题。

2 基于数据均衡的煤矿一张图非均匀矢量瓦片构建的关键技术

2.1 矢量瓦片的要素简化

为减少瓦片绝对数据请求量,需对地图分级^[20-21]。为了方便开展试验研究,将地图分级简化为自动化的要素简化算法,只对线要素和面要素边缘采用道格拉斯-普克算法^[22]进行简化。该算法将线段的首点 A 和末点 J 连成一条直线,然后计算序列中各点到这条直线的距离 d 。如果最大距离大于预先设置的阈值 d_{\max} ,设最大距离对应的点为 S ,然后对端点 AS 和 SJ 之间的点序列进行相同迭代操作,如果最大距离小于 d_{\max} 则停止。最后将插入的端点与 A 、 J 连成折线替代原始曲线^[23]。笔者将简

化阈值 d_{max} 设置为与比例尺相关,按照式(1)计算 d_{max} 。

$$d_{max} = TL / (2^z E) \quad (1)$$

其中: L 为矢量瓦片第零级对应地理范围单边长度,通常取地球赤道周长; T 为视觉能分辨的最小像素值; E 为正常瓦片边长像素值,通常为 256 pix; z 为瓦片对应层级。

例如,设 L 对应赤道周长,由地球长半径计算,取 2 000 国家大地坐标系规定参数 6 378 137 m,取最小像素值 T 为 3 pix, E 为 256 pix,瓦片对应层级 z 为 13,则 d_{max} 为 57.327 m。同时,在对线要素简化前,考察其长度与简化阈值 d_{max} 的关系。当线段长小于 d_{max} 时,将该要素直接删除。同样,在对面要素边缘简化前,笔者还对其代表像素面积进行考察,按照如下公式计算:

$$S_{min} = T^2 S / (2^z E^2) \quad (2)$$

其中: S_{min} 为当前要素实际渲染面积; S 为矢量瓦片集对应地物总面积。当面要素边缘简化前实际渲染面积小于 S_{min} 时,说明该要素在本层无法分辨,直接删除。

例如, S 取地球总面积为 510 067 866 km²,同时令 $T=3$ pix, $E=256$ pix, $z=13$,则 S_{min} 为 8.584 km²。

2.2 基于数据均衡的煤矿一张图非均匀矢量瓦片切分

2.2.1 煤矿一张图非均匀矢量瓦片理论

根据矢量瓦片的存储内容与渲染方式,其划分应根据地物分布密度来确定瓦片网格的疏密程度。朱笑笑等^[24]提出了顾及要素分布的矢量瓦片构建方法,该方法对均匀划分所得瓦片计算变异系数以评判瓦片间数据量均衡度。对要素密度大的瓦片继续进行四等分,以此来保证瓦片内数据量近似相同。该方法能够缩短矢量瓦片加载时间,根据要素分布稠密程度的不同,最高可缩短 1/2 的加载时间。但该方法未考虑地物稀疏地区和高层级瓦片。当缩放层级较高时或地物稀疏时,瓦片内绝对数据量小,若此时仍进行瓦片划分,会造成不必要的冗余,增加计算机内存消耗。

在此基础上,考虑到煤矿一张图数据分布不均匀,且巷道周边存在大面积地物稀疏区域,笔者提出基于数据均衡的非均匀矢量瓦片构建方法。该方法将瓦片的划分分为 2 步,如图 2 所示。

1)初划分:本文并未直接对分级、简化后数据进行均匀划分,而先判断待划分区域实际数据量。设 C_{max} 为公认的流畅加载时允许的最长渲染时间 16 ms 内能够渲染完成的最大点数。当瓦片内部组

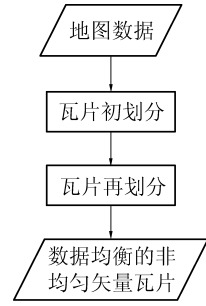


图 2 基于数据均衡的非均匀矢量数据划分流程

Fig.2 Flow of non-uniform vector data division based on data equalization

成要素的点数量小于 C_{max} 时,意味着瓦片能够流畅加载和渲染。

当待划分区域原始数据量 C 小于阈值 C_{max} 时,可以从本缩放层级起将不再对该区域划分,直接调用渲染上层瓦片,不会产生延迟。用户浏览通常由小比例尺至大比例尺,因而大比例尺视野范围对应的低缩放层级瓦片通常已请求加载。所以在实际渲染过程中,停止划分区域的渲染将直接调用该区域现有最低层瓦片进行渲染,不再请求,减少了数据交互,瓦片数量也有所降低,节省内存。该区域称为停止划分区域,其他区域的划分将按照原均匀划分方式进行。

2)再划分:本阶段考察初划分生成的瓦片集内数据量是否均匀。对于不均匀的瓦片集,取其中数据量最大的瓦片进行再划分。由于各次瓦片组成要素点数量的平均值不同,因而考察各非空瓦片要素点数量的变异系数见式(3)。

$$V = E / M \times 100\% \quad (3)$$

其中: V 为变异系数, E 为标准差, M 为平均值。本文将公认数据分布平均阈值 $V_{max} = 30\%$ 作为判断瓦片分布均匀与否的阈值,当 $V > V_{max}$ 时,说明瓦片集数据量不均衡,需进行再划分。

考虑到试验中出现瓦片集呈现稀疏和密集瓦片各占 1/2,继续划分下去瓦片数量增大过多会造成数据请求复杂,时间增长。为避免该情况,对新生成的瓦片集判断其变异系数 V_{new} 与原瓦片集内组成要素的点数量的变异系数 V_{old} 对比。当 $V_{new} > V_{old}$ 说明矢量瓦片的继续划分对数据均衡度提升不大,由于此时瓦片集中组成要素的点数量峰值有所降低,瓦片渲染时间仍然缩短,因而直接保留新结果,不再划分。

将各瓦片划分效果进行对比,如图 3 所示:考虑要素分布的矢量瓦片,在原有均匀瓦片基础上进行改进,对数据分布密集区域进一步划分,提升数据均衡度。本文所提数据均衡非均匀矢量瓦片划分与均

匀瓦片不仅考虑了地物分布密集的区域,也考虑了地物稀疏区域;对于地物足够稀疏区域,停止划分,

如图3d中框线区域所示;对于地物密集区域,继续划分,以此来规避瓦片量增大带来的数据传输延迟。

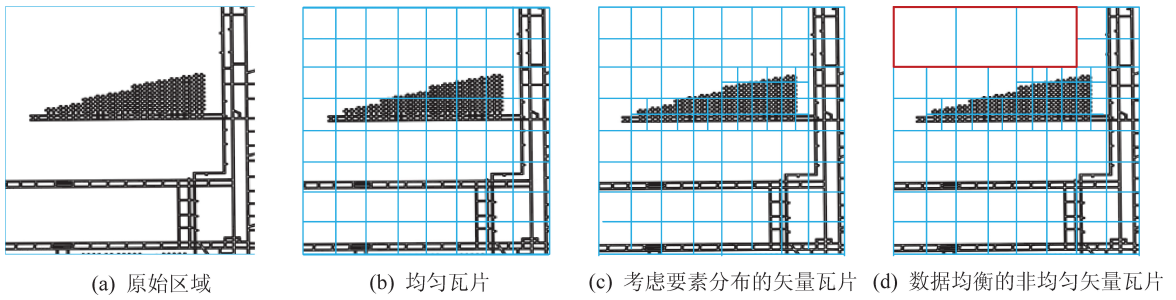


图3 瓦片划分效果对比示意

Fig.3 Tile division contrast diagram

2.2.2 基于数据均衡的非均匀矢量瓦片的切分初划分和再划分详细流程如下:

1) 瓦片初划分:该划分流程如图4所示。图中假定目前初划分缩放层级为 n ,展示了遍历初划分 $n-1$ 级未简化原始数据每个数据块的过程。①获得 $n-1$ 级初划分原始数据,令索引 $i=1$ 。②判断索引 i 是否小于等于 2^{n-1} :若“是”则转到第3步,若“否”说明已经遍历所有数据块,转到第6步。③令 $n-1$ 级初划分原始数据的第 i 块数据量为 C_i ,判断 C_i 是否大于 C_{max} :若“是”则转到第4步,若为“否”,则说明原始数据为空或内数据量足够小,不需要进行划分,将其标记为停止划分区域,转到第5步。④进行瓦片均匀划分:遍历该数据块各要素,要素分割并将新划分得的原始数据块保存,进行要素简化,将简化后的要素信息按规范存至新瓦片,至此将获得 $n-1$

层第 i 个数据块在第 n 级初划分 4 个瓦片,转至第 5 步。⑤将索引 i 向前推进,令 i 自增 1,转到第 2 步。⑥输出第 n 级瓦片初划分所得原数据和瓦片集,至此整个初划分过程结束。

2) 瓦片再划分:假定第 n 级原数据初划分得到瓦片集为 G ,为保证数据均衡,对 G 进行再划分,流程如图5所示。

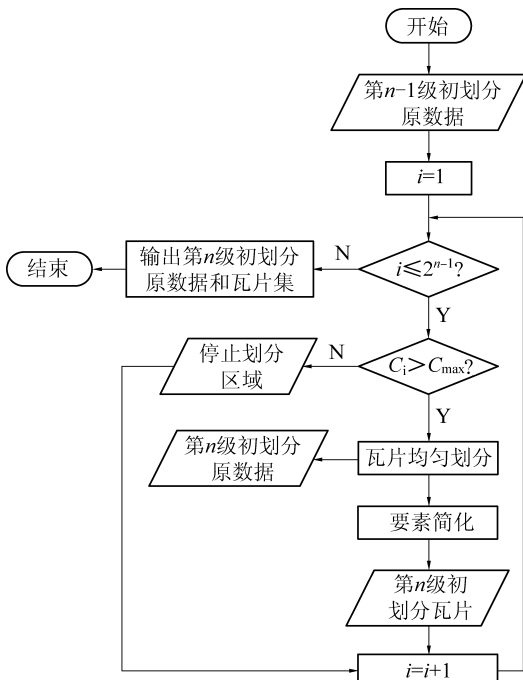


图4 瓦片初划分流程

Fig.4 Flow of preliminary division of tiles

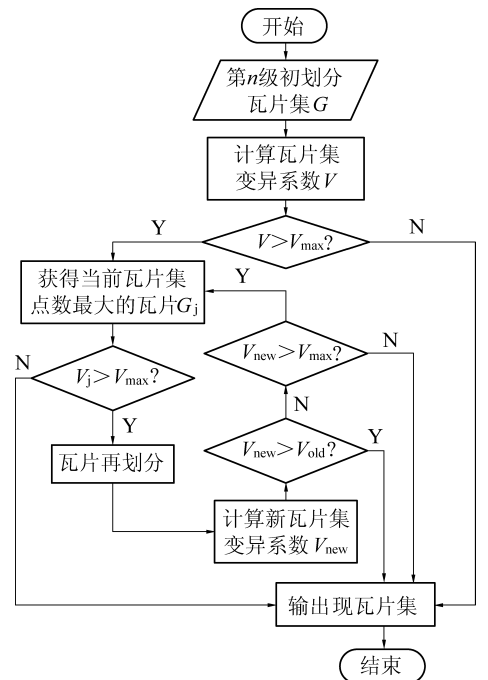


图5 瓦片再划分流程

Fig.5 Flow chart of redivision of tiles

瓦片再划分流程如下:①计算当前瓦片集内组成要素的点数量的变异系数 V ,当 $V > V_{max}$ 时,转至步骤 2,当 $V < V_{max}$ 时,转至第 5 步。②获得当前瓦片集中点数最大的瓦片 G_i ,判断 G_i 内要素数据量 C_i 是否大于 C_{max} :若“是”则转到第 3 步,若为“否”,则说明瓦片内数据量足够小,不需要进行再划分,转到第 5 步。③对进行均匀划分,计算新瓦片集内组成要素的点数量的变异系数 V_{new} ,设原瓦片集内组成要素的点数量的变异系数为 V_{old} ,则当 $V_{new} > V_{old}$ 时,说明

变异系数增大,瓦片集内数据差异增大,无需再划分转至第 5 步,当 $V_{new} < V_{old}$ 时,说明变异系数减小,再划分有效,转至第 4 步。④对新生成的瓦片集的变异系数 V_{new} 考察:当 $V_{new} > V_{max}$ 时,说明瓦片集数据仍不均衡,需再划分,转到第 2 步;当 $V_{new} < V_{old}$ 时,说明瓦片集数据相对均衡,转至第 5 步。⑤将当前瓦片集输出作为最终瓦片划分结果,至此整个瓦片划分过程结束。

2.3 基于数据均衡的非均匀矢量瓦片的其他关键技术

1) 数据双边切割方式:传统矢量数据的划分方式,通常每次都是进行单边切割,如图 6 所示。获得某一瓦片时的划分操作通常对其父瓦片进行操作。假设构成上级瓦片内部要素的点数量为 n ,由于瓦片划分需考虑边界拼接情况,因而各瓦片会在其边

缘有所重叠。如图 6 所示,红色边框为数据实际区域,蓝色部分为实际显示区域。设上级瓦片内组成要素的点数量为 n ,在不考虑外包多边形判断等情况下,采用单边切割的方式,如图 6 所示,生成下一级某一瓦片所需遍历的次数为 4 次,各次遍历点数之和为 $n + 1/(2n) + 1/(4n) + 1/(4n) = 2n$ 。本文采用每次进行双边分割的方式来进行划分,每次遍历对横纵坐标进行双边约束,则生成下一级某一瓦片所需遍历次数为 2,遍历点数量为 $n + 1/(2n) = 3/(2n)$,遍历点数量减少了 1/4。

2) 矢量瓦片渲染与显示。不同于栅格瓦片,矢量瓦片渲染与显示都是在浏览器端完成。很多 WebGIS 开源工具如 Openlayer、Leaflets 和 MapBox 等通用的矢量图形渲染技术是 HTML5 Canvas 技术,通过 Canvas 矩阵与矢量瓦片矩阵形成一一对应的关系实现异步请求和渲染^[25]。

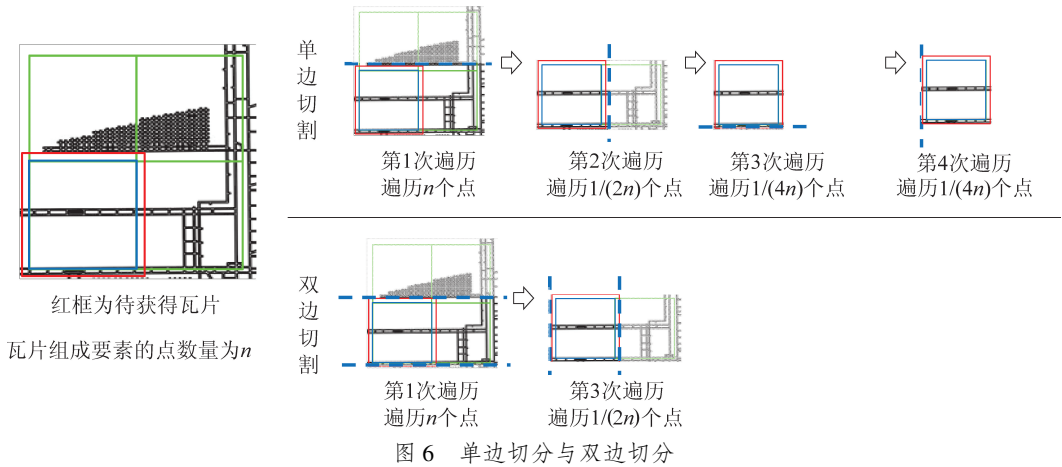


图 6 单边切分与双边切分

Fig.6 Comparison of unilateral and bilateral segmentation

在绘制瓦片过程中,前端 WebGIS 工具根据视窗的实时变化计算,并查询当前显示地图范围对应格网结构和坐标,同时分别由这些视窗内的 Canvas 容器向服务器端异步请求对应的瓦片,避免了前端需要等待全部数据到达才能绘制的问题,减少了界面白屏的时间,优化了用户体验^[26]。笔者在 Leaflets 开源工具基础上完成矢量瓦片的渲染与显示,以便与煤矿原有系统迅速融合。

3 试验结果分析

3.1 试验数据与关键参数的确定

试验所用数据为某示范矿,原始数据总大小为 356 MB,共计 137 个图层,其中空间数据大小为 179 MB,共计 72 724 个要素,2 202 411 个组成要素的点。由于渲染格式不同对渲染效率和数据准备带来的影响较大,为保证试验的可重复性,本文试验仅对

点、线、面要素类型的渲染格式做出区分。试验所用数据在缩放层级为 13 级时加载展示,并在右侧显示图层管理模块,用于控制图层显示。

本文抽取上述数据中的数据量较大的 T3-1 煤巷道数据为试验对象,共计 27.28 MB,54 054 个要素,270 328 个要素点。对瓦片初划分中需要的 16 ms 内能够渲染完成的最大点数量 C_{max} 、对瓦片再划分中的变异系数阈值 V_{min} 进行试验确定。

对 T3-1 煤巷道数据构建传统矢量瓦片,对其渲染过程中各瓦片渲染时间和实际渲染点数进行监控。选取 100 次试验数据统计后发现渲染时间与渲染点数呈阶段性线性关系。在 16 ms 内能够渲染完成的点数量 $C_{max} = 7 500$ 个,选择自定义最小视觉能分辨的分辨率 $T = 3 \text{ pix}$ 。

3.2 对比试验与分析

将第 3.1 节所述试验数据按照如下 3 种方式构建瓦片:①采用均匀矢量瓦片构建方法,不对瓦片采

取要素简化;②采用均匀矢量瓦片构建方法,对瓦片采用本文所使用要素简化方法;③提出基于数据均衡的非均匀矢量瓦片构建方式。由于数据分布范围较小,将上述构建方式的瓦片的第13—18级瓦片对比。本文重点考察瓦片集加载时长和瓦片内组成要素的点数量间的关系,对瓦片内数据量(组成要素的点数量)和瓦片加载时间分别对比。

瓦片数据量对比见表1。对于同为均匀划分的矢量瓦片,在缩放层级较小时,绘制地理范围广,因

而未进行要素简化的均匀瓦片内数据量较大。根据本文简化阈值公式,此时瓦片层级 z 较小,简化阈值较大,简化强度大,因而要素简化后的矢量瓦片内数据量明显减少。在缩放层级逐渐增大后,简化阈值变小,要素简化在均匀瓦片中产生的数据差异明显减弱。对于进行要素简化的均匀瓦片,当简化阈值减小时,由于煤矿数据中以直线或折线段居多,使得要素简化力度大量削弱,从而出现了14层瓦片最大数量大于13层瓦片内组成要素的最大点数量的情况。

表1 不同构建方式矢量瓦片数据量对比

Table 1 Comparison of vector tile data in different construction methods

| 对比层级 | 均匀矢量瓦片(未要素简化)/个 | | | 均匀矢量瓦片(要素简化)/个 | | | 非均匀矢量瓦片/个 | | |
|------|-----------------|-------|---------|----------------|-------|---------|-----------|-------|--------|
| | 瓦片数量 | 最小点数量 | 最大点数量 | 瓦片数量 | 最小点数量 | 最大点数量 | 瓦片数量 | 最小点数量 | 最大点数量 |
| 13 | 9 | 1 996 | 677 807 | 9 | 1 034 | 311 500 | 54 | 1 034 | 54 350 |
| 14 | 42 | 1 883 | 452 175 | 42 | 1 800 | 392 030 | 108 | 1 567 | 47 296 |
| 15 | 156 | 450 | 204 433 | 156 | 450 | 179 186 | 207 | 450 | 21 902 |
| 16 | 552 | 234 | 103 127 | 552 | 197 | 99 243 | 597 | 197 | 10 593 |
| 17 | 2 496 | 32 | 32 124 | 2 496 | 32 | 31 570 | 2 384 | 32 | 8 589 |
| 18 | 10 404 | 1 | 8 913 | 10 404 | 1 | 8 026 | 4 128 | 1 | 5 089 |

对于均为要素简化后的均匀矢量瓦片和非均匀矢量瓦片来说,在层级较小时,如13层,非均匀矢量瓦片为保证各瓦片数据均衡,对要素简化后的地物密集瓦片进行再切分,使各瓦片间数据量均匀,但瓦片数量增大。当瓦片层级到达16层时,各瓦片内部点数量绝对值减小,边缘区域存在大量无需再次划分的瓦片,使得非均匀矢量瓦片数量增量减小,该趋势在18层级时更明显。瓦片内部点数量在非密集区均小于 $C_{max} = 7\ 500$ 个,因而不再做划分,瓦片数量大幅减少。瓦片集内组成要素的点数量最大值变化如图7所示。

染将重复50次,以每次请求到加载完成的时间均值作为试验结果进行分析,见表2。

由于瓦片的请求和加载是异步进行,因而其整体加载时间与瓦片内数据量最大的瓦片数据量呈较强相关性。对于同为均匀划分的矢量瓦片,在缩放层级较小时,要素简化减少了总体数据量。这使各瓦片内数据量减小,瓦片集内最大数据量也减小,耗时最长的瓦片加载绝对时长减小,缩短整个瓦片加载时长。随着瓦片层级增大,要素简化力度减弱,因而对要素简化前后的均匀瓦片,加载时间的变化并不明显。

对于同为要素简化后的均匀矢量瓦片和非均匀矢量瓦片来说,在层级较小时,非均匀矢量瓦片数据量稍大,请求所需时间略大于均匀瓦片,但由于各瓦片数据均衡,瓦片点数量最大值远小于均匀瓦片,使得其在渲染部分的时间消耗大幅减小。对整体加载时间,非均匀瓦片较均匀瓦片缩短超过1/2,折线对比如图8所示。该时间优势随着数据量的大幅减小逐渐明显。并且当各瓦片内部点数量的绝对值较小时,非均匀瓦片在视图区域会存在停止划分区域,无需再进行数据请求,直接进行相应区域的渲染即可,因而在13层级,非均匀瓦片的瓦片数量多,但整体数据量小。这一特点在缩放层级较大的区域,体现的较为明显。如18层,非均匀矢量瓦片数量较均匀划分瓦片数量减少,这有效解决了在文献[24]在顾

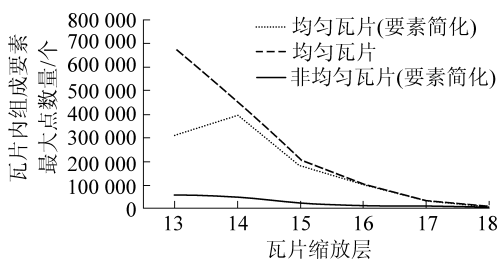


图7 瓦片数据量对比折线

Fig.7 Contrast line chart of tile data volume

将上述3种矢量瓦片进行加载对比试验。在保证瓦片请求的视窗范围一致的前提下对3种不同的瓦片进行加载。由于数据量较大,为保证能够完成加载,将服务器请求响应延时增大为180s。为了减少试验过程中硬件状态产生的随机误差,试验保证每次加载瓦片时地图中心不变,矢量瓦片加载和渲

表 2 不同构建方式加载情况对比

Table 2 Comparison of loading conditions of different construction methods

| 对比层级 | 均匀矢量瓦片(要素未简化) | | | 均匀矢量瓦片(要素简化) | | | 非均匀矢量瓦片 | | |
|------|---------------|----------|--------|--------------|----------|--------|---------|----------|--------|
| | 瓦片数量/个 | 数据量/Kbit | 加载时间/s | 瓦片数量/个 | 数据量/Kbit | 加载时间/s | 瓦片数量/个 | 数据量/Kbit | 加载时间/s |
| 13 | 9 | 331 776 | 98.36 | 9 | 193 093 | 52.34 | 28 | 183 141 | 33.46 |
| 14 | 18 | 103 292 | 43.65 | 18 | 83 978 | 35.97 | 43 | 84 536 | 18.65 |
| 15 | 21 | 27 348 | 15.54 | 21 | 22 087 | 13.26 | 36 | 22 109 | 5.36 |
| 16 | 24 | 8 983 | 6.91 | 24 | 8 732 | 6.66 | 37 | 8 765 | 2.13 |
| 17 | 18 | 1 985 | 1.99 | 18 | 1 948 | 1.95 | 21 | 1 853 | 0.79 |
| 18 | 18 | 788 | 1.04 | 18 | 769 | 0.93 | 14 | 568 | 0.54 |

及要素分布特征的稠疏矢量瓦片中存在的问题,即在层级较高的部分,因瓦片数量过大而产生的请求加载延迟。

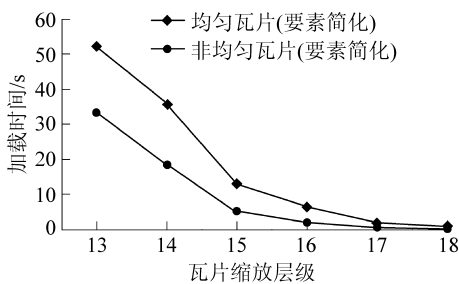


图 8 均匀瓦片与非均匀瓦片加载时间对比

Fig.8 Contrast diagram of loading time between uniform tile and non-uniform tile

4 结 论

1)以煤矿空间数据以栅格瓦片和传统矢量瓦片传输存在的数据定制化显示困难、数据加载不均衡、效率低等问题作为出发点,研究了矢量瓦片构建过程中数据传输、数据划分等关键步骤,分析了影响煤矿“一张图”数据矢量瓦片构建效率的因素。

2)为了提高各瓦片间的数据均衡度,分析了各瓦片内要素分布情况,对数据量小于渲染阈值的瓦片不再划分,以降低计算机内存消耗。

3)对新划分的瓦片求解矢量瓦片间变异系数,超过阈值的瓦片继续划分,直至各瓦片数据量均衡。试验证明,本文的方法对于煤矿空间数据存在的多图层、数据不均衡现象加载效率和数据预处理工作显著提升。

参考文献(References):

[1] ANTONIOU V, MORLEY J, HAKLAY M. Tiled vectors: a method for vector transmission over the web[C]//International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

[2] 朱秀丽,周治武,李 静,等.网络矢量地图瓦片技术研究[J].

测绘通报,2016(11):113-116,124.

ZHU Xiuli, ZHOU Wuzhi, LI Jing, et al. Research for web map vector tiles technology[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2016(11):113-116,124.

[3] 毛善君,杨乃时,高彦清,等.煤矿分布式协同“一张图”系统的设计和关键技术[J].煤炭学报,2018,43(1):280-286. MAO Shanjun, YANG Naishi, GAO Yanqing, et al. Design and key technology research of coal mine distributed cooperative “one map” system[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(1):280-286.

[4] 潘志刚,卢建军,王晓路.基于智能手机的煤矿 GIS 监测系统设计[J].煤炭科学技术,2010,38(10):79-81. PAN Zhigang, LU Jianjun, WANG Xiaolu. Design on mine GIS monitoring and measuring system based on intelligent mobile phone [J]. Coal Science & Technology, 2010, 38(10):79-82.

[5] BERTOLOTTO M, EGENHOFER M J. Progressive transmission of vector map data over the world wide web [J]. GeoInformatica, 2001, 5(4):345-373.

[6] SAMPLE J T. Tile-based geospatial information systems[D]. US: Springer, 2010.

[7] ANON. Introduction to ArcGISPro [EB/OL]. [2019-02-01]. <http://pro.arcgis.com/zh-cn/pro-app/get-started/whats-new-in-arcgis-pro.htm>.

[8] MAPBOX. Mapbox vector tile specification [EB/OL]. [2019-02-01]. <https://www.mapbox.com/vector-tiles/specification>.

[9] ANON. Geoserver is an open source server for sharing geospatial data [EB/OL]. [2019-01-10]. <http://geoserver.org/>.

[10] ANON. SuperMap iServer 8C [EB/OL]. [2019-02-02]. <https://www.supermap.com>.

[11] 何 猛,蔡忠亮,任 福.移动地图中的矢量瓦片组织方法研究[J].测绘地理信息,2015(2):74-76. HE Meng, CAI Zhongliang, REN Fu. Study on the organization method of vector tile in mobile map [J]. Journal of Geomatics, 2015(2):74-76.

[12] 孙晨龙,霍 亮,高泽辉.基于矢量瓦片的矢量数据组织方法研究[J].测绘与空间地理信息,2016,39(4):122-124. SUN Chenlong, HUO Liang, GAO Zehui. A method of vector data organization based on vector tile [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2016, 39(4):122-124.

[13] GAFFURI J. Toward web mapping with vector data [C]// International Conference on Geographic Information Science. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

- [14] NORDAN R P V. An Investigation of potential methods for topology preservation in interactive vector tile map applications [J]. Department of Civil & Transport Engineering, 2012, 59(1): 230-235.
- [15] CHANG Y, QIAO Y. A vector pyramid model based on extensions of multi-scale R-tree on embedded devices [C]. 2010 International Conference on Multimedia Technology, 2010.
- [16] 王亚平, 蒲英霞, 刘大伟, 等. 基于 Tile Stache 的多源投影矢量数据瓦片生成技术研究 [J]. 地理信息世界, 2015, 22(1): 77-81.
WANG Yaping, PU Yingxai, LIU Dawei, et al. Research on the tile generation of multi-projections vector data based on Tile Stache [J]. Geomatics World, 2015, 22(1): 77-81.
- [17] 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(2): 142-148.
LI Jing, ZHOU Zhiwu, ZHU XiuLi. An organization model of vector tile for online mapping [J]. Science of Surveying and Mapping, 2018(2): 142-148.
- [18] 黄 明. 基于空间分区的空间聚类研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2010.
- [19] 陈 静, 龚健雅, 向隆刚. 全球非均匀空间数据模型研究 [J]. 地理信息世界, 2011(4): 24-27.
CHEN Jing, GONG Jianya, XIANG Longgang. Research on global multi-scales spatial data model [J]. Geomatics World, 2011(4): 24-27.
- [20] GB/T 35634—2017, 公共服务电子地图瓦片数据规范 [S].
- [21] 黄 蔚, 蒋 捷, 王 茜. 面向在线服务的地理框架数据体系构建 [J]. 地理信息世界, 2011(4): 20-23.
HUANG Wei, JIANG Jie, WANG Qian. Geo-spatial framework data system in platform of geographic information service [J]. Geomatics World, 2011(4): 20-23.
- [22] DOUGLAS D H, PEUCKER T K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature [J]. Canadian Cartographer, 2006, 10(2): 112-122.
- [23] SONG X M, CHENG C X, ZHOU C H, et al. Gestalt-based douglas-peucker algorithm to keep shape similarity and area consistency of polygons [J]. Sensor Letters, 2013, 11(6/7): 1015-1021.
- [24] 朱笑笑, 张 丰, 杜震洪, 等. 顾及要素空间分布特征的稠疏矢量瓦片构建方法研究 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2017, 44(5): 591-598.
ZHU Xiaoxiao, ZHANG Feng, DU Zhenhong, et al. A method of the dense-sparse vector tile generation accounting for the spatial distribution of features [J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2017, 44(5): 591-598.
- [25] 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(8): 44-47.
CHEN Juping, DING Jianxun. Research on key technologies of vector tiles map [J]. Geospatial Information, 2017(8): 44-47.
- [26] 徐 莎, 杨 帆, 徐昌庆. 基于 HTML5 的 WebGIS 的研究与应用 [J]. 信息技术, 2012(4): 149-151.
XU Sha, YANG Fan, XU Changqing. Research and application of WebGIS based on HTML5 canvas [J]. Information Technology, 2012(4): 149-151.