引文格式：李姗迟, 蒋腾, 戴雪峰, 等. Web 端实景三维注记可视化技术研究[J]. 地理空间信息, 2023, 21(5): 84-87. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.05.020

Web 端实景三维注记可视化技术研究

李姗迟[1,2]，蒋　腾[2,3*]，戴雪峰[2]，胡晓斌[3]
（1. 广东省海洋发展规划研究中心，广东 广州 510000；2. 武汉吉威空间信息技术研究院有限公司，湖北 武汉 430075；
3. 中铁第四勘察设计院集团有限公司 数智化事业部，湖北 武汉 430000）

摘　要：目前Web端对海量三维注记的可视化存在技术难点，基于前后端结合渲染、基于有向距离场的瓦片生成、基于屏幕空间的注记避让等技术，提出了在Web端Cesium框架下高效加载立体注记的解决方案。该方案在某省地理信息三维数据库管理系统三维可视化中取得了良好的应用效果，注记加载效率、易读性和清晰性均优于传统方法，大大提升了Web端实景三维场景下立体注记的可视化表达效果，为实景三维中国建设提供了重要的基础技术支撑。

关键词：实景三维；立体注记；可视化；Web端；矢量瓦片
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）05-0084-04

Annotation Visualization Technique Research in Real Scene 3D of Web Client-side

LI Shanchi[1,2], JIANG Teng[2,3], DAI Xuefeng[2], HU Xiaobin[3]
(1. Guangdong Marine Development Planning Research Center, Guangzhou 510000, China;
2. Wuhan Geoway Spatial Information Technology Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430075, China;
3. Digital and Intelligent Division, China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: At present, there are technical difficulties in the visualization of massive 3D annotation on Web client-side. Based on the combination of front and back end rendering, tile generation technology based on directed distance field, annotation avoidance technology based on screen space, we proposed an efficient solution of loading stereo annotations under the Cesium framework in Web client-side. The solution has achieved good application effect in the 3D visualization of geographical information 3D database management system in a province, of which the 3D annotation is more effective, legible and distinct. This solution greatly improves the visualization expression effect of annotations in the real scene 3D in Web client-side, and provides an important basic technical support for the real scene 3D construction in China.

Key words: real scene 3D, stereo annotation, visualization, Web client-side, vector tile

地图注记是地图内容的重要组成部分，是地图语义表达的重要手段，可帮助用户建立现实世界中物体与其在地图上的符号表达之间的关系[1-2]。随着地图从纸质、静态、封闭向交互式、动态化、立体化发展，地图注记在地图中的表达、布局和渲染算法也经历了重大变革[3-7]。近年来，国家多次强调新时期测绘工作要准确把握“两支撑、一提升”的根本定位，明确要求大力推进新型基础测绘体系建设，加快构建实景三维中国，自然资源三维应用成为研究热点。作为实景三维场景中的重要要素，注记在三维空间中的缩放、旋转、与其他要素的避让关系等将比在二维地图中更复杂多变[8-10]。在Web端环境下，由于网页对数据承载容量的限制，海量立体注记在实景三维场景中的生成、GPU渲染、布局避让等受到越来越多的研究关注[11-12]。Cesium是当前主流的三维地图框架，基于WebGL开发，可跨浏览器使用，适用于大尺度的地形、影像、矢量、注记、三维模型、点云等数据的集成展示。展示注记时，Cesium的原生接口采用全量加载的方式将所有注记数据全部加载到浏览器上，内容占用高，只适合少量数据加载[12]。通过改进注记数据的组织和服务方式，采取分块索引加载渲染机制可实现数据的按需加载。

1　关键技术设计

本文进一步完善了Cesium框架下注记数据按需加载的展示机制，后端服务器在二维矢量瓦片技术的基础上，通过空间聚合算法对原始注记点数据进行分块和抽稀，构建LOD，生成矢量瓦片金字塔，保存离线

收稿日期：2022-07-17；修回日期：2022-09-19。
项目来源：铁四院研发课题资助项目（2021D013）。
第一作者简介：李姗迟（1987—），硕士，工程师，从事实景三维建设与应用工作，E-mail: xilulate@163.com。
通信作者：蒋腾（1993—），硕士，从事三维GIS开发与应用工作，E-mail: jiangteng@geoway.com.cn。

渲染样式纹理；前端根据空间索引请求瓦片数据，对纹理进行截取和分辨率调整，并通过三维场景中的避让算法将注记绘制到屏幕的准确位置。技术路线如图1所示。

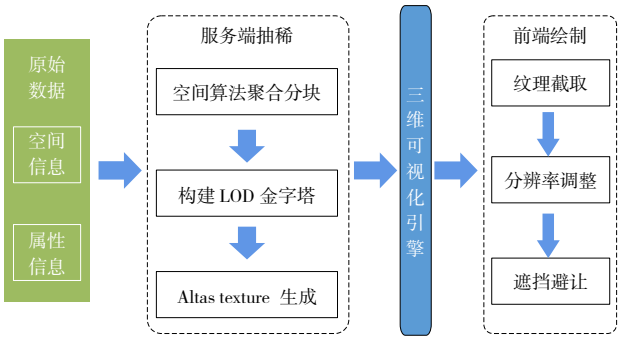


图1　三维立体注记可视化技术路线

1.1　前后端结合的注记渲染技术

传统的注记渲染方式包括前端渲染和后端渲染。Cesium的原生接口方式属于前端渲染，注记量大时，浏览器资源占用量大，对加载速度影响较大。后端渲染一般针对栅格瓦片，但栅格瓦片的交互性差、地图样式固定、无法检索查询、更新周期长。前后端结合的注记渲染技术可缓解前端的渲染压力，并支撑海量地名注记的实时绘制。

1）服务端构建金字塔。在服务器端按照地形标准金字塔的范围对注记的分布进行分块，并根据金字塔级别向上抽稀，构建与地形标准金子塔索引一致的矢量瓦片注记金字塔。

2）服务端纹理生成。结合配置的样式，为每个矢量瓦片内的注记点离线生成一张纹理集（多张小纹理合并为一张大纹理），包含字体、字号、字色、字型、字列、字隔、字向、外框、图标等信息。将该瓦片块内部的地名注记存储在该纹理集中，同时记录对应每个注记点的经纬度和纹理截取坐标。在并发不高服务器压力不大的情况下，可将纹理集设置为实时生成并加以缓存。

3）前端路由。利用前端可视化引擎获取注记数据时，通过前端路由的方式可直接利用地形调度索引对注记瓦片数据进行匹配和调度，节省了视锥体裁剪判断等耗时操作。

4）前端绘制。对于每个注记瓦片块，通过其记录的纹理坐标信息和地理坐标信息，从纹理集中截取对应的纹理范围，并利用Billboard广告牌技术将各地名注记还原到三维场景中。由于各注记的样式已提前渲染好，所有注记对于三维可视化引擎是相同的材质，可利用批量绘制技术进一步提升绘制速度。

1.2　基于有向距离场（SDF）的瓦片注记生成技术

服务器端离线生成的纹理集图片分辨率通常为512×512，对于屏幕分辨率较高的显示屏，这样的注记贴图分辨率锯齿较严重，若提升图片分辨率，传输的数据量将几何级增长。针对该问题，本文采用SDF技术来替代传统的PNG图片。

1）数据初始化。SDF技术将各像素存储的值从颜色值替换为该像素与文字轮廓的距离。像素在文字内，距离为正数；像素在文字外，距离为负数；像素在文字轮廓上，则距离为零。

2）像素遍历。判断显示屏中每个像素的距离值，若距离为正数，则输出颜色；否则，丢弃颜色。

3）距离场生成。按照任务调度命令读取任务范围内的像素遍历结果，生成距离场；再根据距离场在前端输出有效颜色值。

相比常规渲染方式，基于SDF技术的渲染文字可无限放大并保持清晰，几乎没有开销即可实现描边、发光、抗锯齿等效果，且只需很小的纹理缓存SDF信息。

1.3　基于屏幕空间的三维注记避让技术

该技术通过任务的动态调度与卸载机制，确保只加载屏幕空间内的三维注记。同时，在矢量瓦片框架下构建注记瓦片金字塔，按照重要等级/权重对注记数据进行抽稀；再抽稀三维注记的外包矩形范围，并投影到屏幕空间；然后在屏幕空间计算多边形是否相交，并根据权重控制保留显示哪个注记。可设置容差阈值，以屏幕像素值为单位，计算屏幕上投影后多边形之间压盖的像素个数，以控制注记避让的计算量，在性能与准确性之间寻找平衡点。

1）注记过滤。将瓦片分成若干个小的格网单元，结合要素与注记中心点位的实际空间分布，按照要素重要程度对每个格网单元内所有注记要素进行排序、过滤、筛选，保留一个或多个注记要素，删减其他多余要素，不参与显示运算。注记过滤分为两次：第一次过滤计算单元为单张瓦片，第二次为包含相邻瓦片在内的9张瓦片。通过两次过滤后，注记数据空间分布的均衡性和丰富程度已基本合理。要素避让是结合前端具体的实际显示效果，在显示过程做进一步避让优化。

2）坐标投影。根据注记符号和内容，计算三维注记的外包矩形范围。根据当前视角将三维注记外包矩形投影到屏幕空间，换算成屏幕二维外包矩形，为后续基于屏幕空间的避让计算提供依据。

3）注记避让计算。依次加载屏幕范围内的注记

瓦片块，并为各瓦片块内部的二维矩形构建R树空间索引；通过R树检索每个注记附近的二维矩形，并通过相交判断二维矩形是否相交，若相交，则根据优先级权重剔除。通过投影到屏幕的方式，将三维注记避让降为二维空间计算，提升了计算效率，以满足实时屏幕空间内三维注记避让计算的需求。

2 应用案例

某省地理信息三维数据库管理系统充分利用现有基础测绘成果，汇集整理全省各类三维模型成果，融合自然资源专题数据，实现了三维数据的高效集成管理和共享应用，提升了二三维数据集成管理、共享服务、立体可视化、空间分析、效果模拟、变化对比、效益评估等能力，为自然资源调查监测、国土空间规划、监管分析等自然资源管理工作提供了统一的地理信息三维数据服务支撑。

基于前后端结合的注记渲染、基于有向距离场的瓦片注记生成、基于屏幕空间的三维注记避让等关键技术，某省地理信息三维数据库管理系统中Web端实景三维注记的可视化技术过程为：

1）服务请求。将地名地址信息等需要立体展示的文字信息以单表的形式存放，主要属性包括注记类型、注记级别、注记样式、注记内容、位置等字段。服务器端根据注记的位置信息请求注记瓦片块，构建注记金字塔，发布矢量瓦片服务，配置瓦片注记样式；前端渲染前请求矢量瓦片服务（图2）。

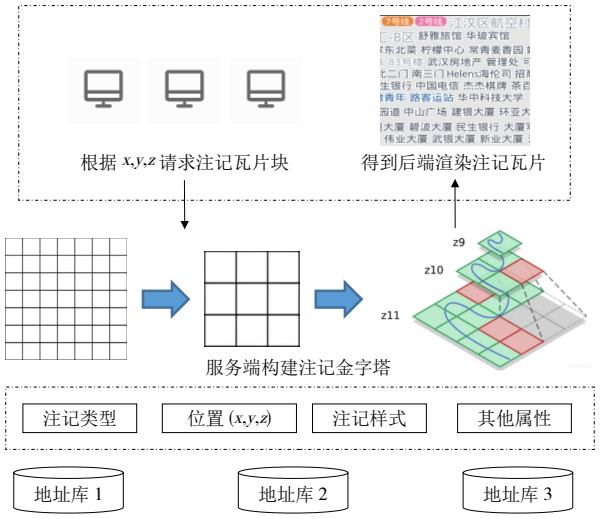


图2 服务请求过程示意图

2）内容解析。前端请求服务后，读取每个注记瓦片的坐标信息，采用SDF技术截取对应的纹理范围，再通过Billboard技术将每个地名注记还原到三维场景中（图3）。

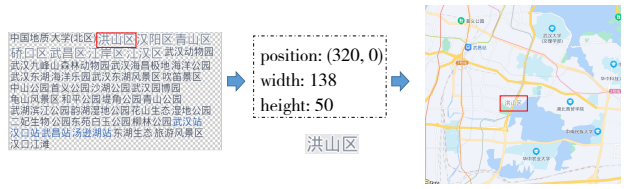


图3 内容解析过程示意图

3）任务调度与卸载。注记瓦片渲染是基于当前屏幕空间范围的。当因三维场景平移、缩放、旋转等操作使屏幕空间范围内的注记瓦片发生变化时，将卸载不在当前屏幕空间范围内的注记瓦片；并通过注记R树算法避让、LOD分级加载等过程，利用Worker+Canvas机制实时绘制屏幕空间范围内新增的注记。注记渲染提供了一套样式配置模板，可支持纯文本、图片、文本+图片、聚合点等多种样式（图4）。



图4 任务调度与卸载示意图

实景三维场景中没有明确规定注记配置的各项参数，二维环境的注记配置参数也不一定适用于三维场景。因此，参考相关研究的注记可视化效果评价标准[13-16]，结合实际情况，本文拟定了以下评价规则：

1）加载效率。对于立体注记而言，在高密度注记压测环境下，任意比例尺全屏注记的加载时长是表征三维系统立体注记可视化性能的主要指标。

2）易读性。实景三维环境是一个复杂、多样化的综合环境，不光对计算机的计算效率、图形显示质量等有很高要求，对用户的认知感受效果也有很复杂的约束。因此，注记作为实景三维中的一个重要要素，应能让读图者更容易识别和理解。

3）清晰性。注记的字体、字号、字色等设置都应与环境相适应，能被清晰识别；注记的字间距、排列方向等应清晰明了，不能有注记间的压盖以及注记与地物模型的冲突；注记与被注记要素的位置、范围等指示应清楚，与非对应要素间保持一定距离，不能产生“二义性”。

从技术原理上分析，采用Cesium原生接口的三维注记可视化方法与本文改进后的方法的主要差异见表1。

表1　三维注记可视化方法对比

对比项	Cesium原生接口方法	本文方法
加载效率	前端全量加载，效率较低	加载屏幕空间范围，前后端结合渲染，效率高
易读性	大数据量时会出现注记闪烁、图形显示不全等问题	大数据量时计算效率和图形显示质量能满足漫游要求
清晰性	配置不灵活，不能自动避让	注记样式可配置，可自动避让

经测试，在某省地理信息三维数据库管理系统中全量加载200万要素全省地名地址信息，在三维场景下进行任意平移、缩放、旋转等操作，全屏注记加载时长不超过2 s，注记文字显示清晰、易读，不与场景中其他要素冲突。

3　结　语

本文提出了一种Web端Cesium框架下通过前后端协同渲染高效加载立体注记的解决方案，已应用于某省地理信息三维数据库管理系统三维可视化中，取得了良好效果，大大提升了Web端三维场景下立体注记可视化表达效果，为实景三维中国建设提供了重要的基础技术支撑。值得指出的是，该方案目前主要解决了立体注记的可视化效率问题，下一步研究将致力于丰富注记的配置样式，在提升可视化效率的同时提升可视化效果。

参考文献

[1] SHE J, LIU J, LI C, et al. A Line-feature Label Placement Algorithm for Interactive 3D Map[J]. Computers and Graphics, 2017, 67(5):86-94

[2] 乔占明，闫浩文. 地图标注和地图注记的探讨[J]. 测绘与空间地理信息，2011，34(1):205-207

[3] Lesbegueries J, Lachiche N, Braud A, et al. A Platform for Spatial Data Labeling in an Urban Context[C]. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, 2011:49-61

[4] CHEN C, ZHANG L Q, MA J T, et al. Adaptive Multi-resolution Labeling in Virtual Landscapes[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(6): 949-964

[5] Maass S, Düllner J. Embedded Labels for Line Features in Interactive 3D Virtual Environments[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa, 2007:53-59

[6] 黄波，谢三五，王辉. 基于图库一体化的制图更新技术探究[J]. 地理空间信息，2020，18(2):45-49

[7] 张伟. 兼顾语义的地图注记智能换行方法研究[J]. 地理空间信息，2021，19(11):41-43

[8] 郝天浩，林志勇. 三维室内空间注记优化配置方法[J]. 地理空间信息，2022，20(1):27-31

[9] 王丽君，张良，张伟. 三维场景对象注记管理研究[J]. 测绘科学，2010，35(增刊1):92-94

[10] 张帆. 三维城市环境下语义信息可视化之注记配置研究[D]. 武汉:武汉理工大学，2012

[11] 周鑫鑫，吴长彬，孙在宏，等. 小规模地理场景中点要素三维注记优化配置算法[J]. 测绘学报，2016，45(12):1 476-1 484

[12] 周友生，倪慧珠，王杰栋，等. 一种大场景Web三维注记可视化技术[J]. 测绘通报，2020(7):130-133

[13] 王丽君，游雄，张良. 虚拟地理环境中地图注记的配置研究[J]. 测绘科学，2011，36(3):107-109

[14] 娄倩. 电子地图动态注记的设计与实现[D]. 郑州:信息工程大学，2007

[15] 樊红，张祖勋，杜道生. 地图注记质量评价模型的研究[J]. 测绘学报，2004，33(4):362-366

[16] 杜世宏，王桥，杜道生，等. 地名注记自动配置的关键技术研究[J]. 地理与地理信息科学，2003，19(1):20-24

（上接第75页）

dents and Tourism Demand: Evidence from Greece[J]. Tourism Management Perspectives, 2018(25):23-28

[14] MsallamS A. The Impact of Tourists' Emotions on Satisfaction and Destination Loyalty: An Integrative Moderated Mediation Model: Tourists' Experience in Switzerland[J]. Journal of Hospitality and Tourism Insights, 2020, 3(5):509-528

[15] Jackson J, Murphy P. Clusters in Regional Tourism: An Australian Case[J]. Annals of Tourism Research, 2006, 33(4):1 018-1 035

[16] 王金伟，王士君. 黑色旅游发展动力机制及"共生"模式研究:以汶川8.0级地震后的四川为例[J]. 经济地理，2010，30(2):339-344

[17] 四川省旅游发展委员会. 四川旅游业六年之变[N]. 中国旅游报，2017-04-03(A03)

[18] 谭林，陈岚. 新形势下传统乡村聚落现代功能植入的有效路径探究[J]. 工业建筑，2020，50(4):1-5

[19] 杨仲元，卢松. 交通发展对区域旅游空间结构的影响研究:以皖南旅游区为例[J]. 地理科学，2013，33(7):806-814

[20] 段志勇，汪侠，刘丹丽，等. 国内外旅游交通研究现状及展望[J]. 旅游导刊，2018，2(4):70-89