

Cesium框架多源电子地图瓦片数据混搭方案设计

范俊甫^{1,2}, 胡桃英¹, 何惠馨¹, 秦柳¹, 李桂华¹

1. 山东理工大学 建筑工程学院, 淄博 255049;

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

摘要: 针对现有的商业地理信息系统平台难以灵活整合多源影像数据融合使用的问题, 深入研究Cesium平台下多种数据源的空间参考差异和瓦片组织规则, 针对不同空间参考的瓦片数据源进行混搭设计, 提出基于Cesium的多源本地瓦片数据静态和动态加载方案。实验结果表明, 单一瓦片数据源加载方案、静态和动态多源瓦片混搭方案的展示效果较好; 静态瓦片混搭方案在加载不同空间参考瓦片数据时容易造成变形; 动态多源、多空间参考瓦片混搭方案能有效克服变形问题且展示效果佳。本文实现了在开源GIS平台下的多源影像数据的融合使用, 为地理信息系统与遥感类项目应用提供了一个低成本、高灵活性的解决方案, 具有较为明显的实际应用价值。

关键词: 遥感, Cesium, 电子地图, 空间数据组织, 瓦片混搭, 本地化部署

引用格式: 范俊甫, 胡桃英, 何惠馨, 秦柳, 李桂华. 2019. Cesium框架多源电子地图瓦片数据混搭方案设计. 遥感学报, 23(4): 695-705

Fan J F, Hu T Y, He H X, Qin L and Li G H. 2019. Multi-source digital map tile data mashup scheme design based on Cesium. Journal of Remote Sensing, 23(4): 695-705 [DOI:10.11834/jrs.20197441]

1 引言

目前开源GIS平台软件在地理信息系统领域发挥着越来越重要的作用(Zaragozi 等, 2012; 杨德严, 2011), 开源GIS平台软件作为轻量级行业开发与应用的基础平台, 比商业GIS平台软件更加灵活、经济(戴逸贤 等, 2017)。Cesium是开源的前端JavaScript库, 通过WebGL(Web Graphics Library, Web图形库)技术实现图形的硬件加速, 且具有跨平台、跨浏览器的特点, 并提供动态数据的二/三维可视化展示功能(<http://cesiumjr.org/>[2017-06-03]; 高云成, 2014; Chaturvedi, 2014)。开发者可通过Cesium实现无插件创建三维球体和二维地图视图, 可以自行绘制图形、高亮区域, 且支持绝大多数的浏览器和移动平台。Cesium对AJAX(Asynchronous JavaScript And XML, 异步JavaScript和XML)功能进行了再封装, 具备异步请求服务器端海量地理空间数据的能力。

Cesium作为目前日益流行的开源三维地图引擎, 在各领域都有着广泛的应用前景。国外的相关研究起步较早, 主要侧重于对Cesium三维功能的应用和集成。Tsai等(2016)对GEE(Google Earth Enterprise, Google地球企业版)和Cesium两者的功能进行了深入分析和比较, 并实现了从GEE到Cesium平台的3D地理空间可视化展示功能的迁移。He等(2016)针对二维电力系统存在的局限性提出利用Cesium和3DCityDB的可视化方法, 设计了基于Cesium和3DCityDB的Web3D电力GIS系统, 实现了3D虚拟环境中电力数据的全景可视化。地理空间应用的多样性和异质性迫切需要能够共享地理空间信息的语义, Potnis和Durbha(2016)对此提出利用Cesium的三维可视化功能, 通过SPARQL查询有效地表示地理空间本体及其原理, 实现了Cesium虚拟地球对地理空间本体的可视化功能。Gede(2016)介绍了Cesium的重要特性及其在

收稿日期: 2017-10-31; 预印本: 2018-07-03

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41501425, 41601478, 41471330); 国家重点研发计划(编号: 2017YFB0503500); 山东省重点研发计划(编号: 2016GSF122006); 山东省高等学校科技计划(编号: J16LH03); 山东理工大学青年教师发展支持计划(编号: 4072-115016)

第一作者简介: 范俊甫, 1985年生, 男, 讲师, 研究方向为地理信息系统基础理论及城市环境遥感。E-mail: fanjf@sdut.edu.cn

专题制图与数据可视化领域中的可能用途,并开发了相应的QGIS插件,有助于以CZML(Cesium Language, Cesium语言)格式生成各种专题地图。

目前国内对Cesium的研究主要侧重于Cesium在各行业应用中的业务集成与功能扩展。朱翎逸和苗放(2015)在基于Web服务的GIS框架基础上,提出了基于Cesium的三维WebGIS开发方案,开发实现了WebGIS系统中的基础功能。牛艺博(2015)运用WebGL技术发布了Cesium引擎服务,同时通过开发定制控件的形式将全国各省份的人口统计数据展示在三维地球环境中,完成了地理信息三维可视化平台服务的发布。何莉飞(2017)基于Cesium平台搭建了防汛三维电子沙盘,并可与相关数据库关联,在三维场景中实时展示和查询水利专题信息,实现了为防汛减灾和决策提供技术支撑。

在实际的GIS及遥感工程应用中,受自然或人为限制影响,不同的地图服务商在选定的研究区内可用的底图数据详细程度不同,甚至有的数据源在特定的空间和时间范围内缺失数据。因此单一的地图数据源往往很难满足GIS项目对底图多样性和覆盖完整度的需求,而多源影像的混搭能丰富底图数据源,扩充研究区内底图的空间和时间覆盖范围。传统的商业WebGIS开发平台由于系统功能的限制,难以实现底图的深度定制扩展,同时多源影像的混搭也可能引起空间参考不匹配的问题,易造成地图加载的混乱和变形。针对现有平台难以灵活整合多源影像数据融合使用的问题,本文在分析Cesium平台下地图瓦片数据组织规则的基础上,实现不同空间参考、多源瓦片数据的离线加载,通过设计静态、动态瓦片数据的混搭加载方案,以解决离线地图中不同空间参考、多源瓦片数据的影像服务叠加、数据融合与集成应用问题,为扩展GIS应用的底图数据来源提供潜在的解决方案。

2 基本原理

2.1 数据来源

Cesium支持加载的卫星影像分为影像服务和离线瓦片两种(何莉飞, 2017)。对6种典型瓦片数据源(表1), Cesium均可实现离线加载。

表1 Cesium支持的瓦片地图数据源
Table 1 Tiled map data sources supported by Cesium

| 数据源 | 不同空间参考的地图层级范围 | |
|-----|---------------|-------|
| | Web墨卡托 | WGS84 |
| 百度 | 1—19级 | |
| 腾讯 | 0—18级 | 不支持 |
| 高德 | 1—18级 | |
| 必应 | 1—19级 | |
| 天地图 | 2—18级 | 2—18级 |
| 谷歌 | 0—19级 | 2—20级 |

瓦片数据混搭方案需采用不同空间参考的数据源,常见的在线地图瓦片数据空间参考分为:Web墨卡托投影坐标系PROJCS(Projection Coordinate System)和WGS84地理坐标系GEOGCS(Geographic Coordinate System),Cesium支持对上述两种空间参考下的瓦片数据的访问和加载。由于天地图和谷歌地图均支持Web墨卡托投影坐标系统和WGS84地理坐标系统,为便于进行混搭方案设计和效果对比,本文选取天地图和谷歌地图两种不同空间参考下的瓦片数据源开展实验。

2.2 瓦片数据组织方法及结构

电子地图的大众化普及使得地图瓦片技术得到越来越广泛的应用,目前大多数电子地图网站、三维地图网站都使用了基于四叉树划分的地图瓦片技术(简玮侠, 2015; 黄梦龙, 2011)。地图瓦片数据的地图层级从0级起算,瓦片数据组织按照从左到右、从下到上的顺序使用X和Y坐标对每张瓦片进行标识。从第0级瓦片开始,地图缩放等级每增大一个级别,会将上一层级的每个空间区域进行四等分,瓦片数量增加到原来的4倍,一般每幅瓦片图像的像素大小为 256×256 (韦胜, 2012)。瓦片数据统一使用层(级)号、行号、列号即(L, X, Y)3个参数来描述地图瓦片的物理存储位置,唯一标识每块瓦片(王旭东等, 2012)。不同空间参考下,第0级瓦片对整个地图的划分方式不同,导致初始级别的瓦片数据的组织方式和瓦片的总数量存在一定的差异:WGS84地理坐标系的地图瓦片初始级别有2幅,而Web墨卡托投影坐标系的地图瓦片初始级别仅有1幅。

2.2.1 WGS84地理坐标系下瓦片数据组织

WGS84地理坐标系下前两级瓦片的划分方式如图1所示。

采用四叉树表示WGS84地理坐标系前三级瓦片的组织形式(图2), 由图1、图2可知, 0级的地图瓦片由2个256×256像素大小的瓦片组成, 其余地图层级在其上级瓦片的基础上进行划分。第n级瓦片行列(X, Y)标识号如表2所示。所有的瓦片数据需要按相对应的组织方式和命名规则存储, 按照瓦片唯一标识: 层(级)号、行号、列号即(L, X, Y)存储在根文件夹中, 即构造出“瓦片数据根目录>>地图层级标号(L)文件夹>>行标号(X)文件夹>>列标号(Y)文件名”形式的目录结构。在WGS84地理坐标系瓦片的存储文件夹中, 每一级的瓦片等级目录下, 文件夹数量总为单个文件夹内瓦片数量的两倍(表3)。

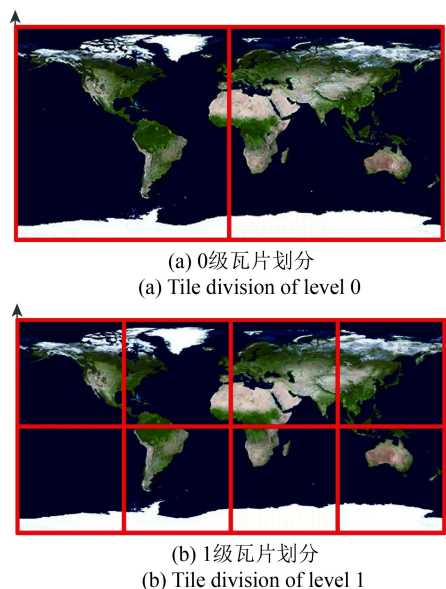


图1 WGS84地理坐标系下前两级瓦片划分(天地图)
Fig. 1 Spatial divisions of the first two levels of tiles under the WGS84 GEOGCS (Tianditu)

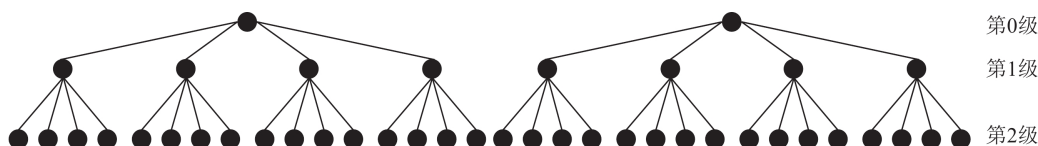


图2 WGS84地理坐标系下的四叉树瓦片组织方法
Fig. 2 The quadtree organization of map tiles under the WGS84 GEOGCS

表2 WGS84地理坐标系和Web墨卡托投影坐标系下第n级数据逐瓦片标识号(X, Y)列表
Table 2 X/Y identifiers of each tile in the level n map tiles under the WGS84 GEOGCS and Web Mercator PROJCS

| 行/列号 | WGS84 | | | | Web墨卡托 | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|-----|---------------------------------------|---------------------|---------------------|-----|-------------------------------------|
| | 第1列 | 第2列 | ... | 第2 ⁿ⁺¹ 列 | 第1列 | 第2列 | ... | 第2 ⁿ 列 |
| 第2 ⁿ 行 | 0, 2 ⁿ⁻¹ | 1, 2 ⁿ⁻¹ | ... | 2 ⁿ⁺¹ -1, 2 ⁿ⁻¹ | 0, 2 ⁿ⁻¹ | 1, 2 ⁿ⁻¹ | ... | 2 ⁿ⁻¹ , 2 ⁿ⁻¹ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 第2行 | 0, 1 | 1, 1 | ... | 2 ⁿ⁺¹ -1, 1 | 0, 1 | 1, 1 | ... | 2 ⁿ⁻¹ , 1 |
| 第1行 | 0, 0 | 1, 0 | ... | 2 ⁿ⁺¹ -1, 0 | 0, 0 | 1, 0 | ... | 2 ⁿ⁻¹ , 0 |

表3 WGS84地理坐标系和Web墨卡托投影坐标系下瓦片数据的存储规则

Table 3 Tile storage rules under the WGS84 GEOGCS and Web Mercator PROJCS

| 文件夹名 (瓦片级别) | WGS84 | | Web墨卡托 | |
|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | 文件夹个数 (横坐标) | 文件夹内瓦片数 (纵坐标) | 文件夹个数 (横坐标) | 文件夹内瓦片数 (纵坐标) |
| 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| n | 2 ⁿ⁺¹ | 2 ⁿ | 2 ⁿ | 2 ⁿ |

2.2.2 Web墨卡托投影坐标系下瓦片数据组织

Web墨卡托投影又被称为“伪墨卡托投影”或“球面墨卡托投影”, 是由谷歌提出的一种以地球椭圆长轴为半径的正球体代替地球椭球的地图投影方法。尽管Web墨卡托的投影方式会带来一定的角度和坐标精度误差, 但是因其以赤道及本初子午线为坐标轴分隔的各象限投影坐标区都是正方形, 坐标值关于X轴、Y轴和原点对称, 利于坐标运算及金字塔模型的瓦片地图制作, 得到了广泛

应用(李长春等, 2012)。Web墨卡托投影坐标系下前两级瓦片具体划分如图3所示。

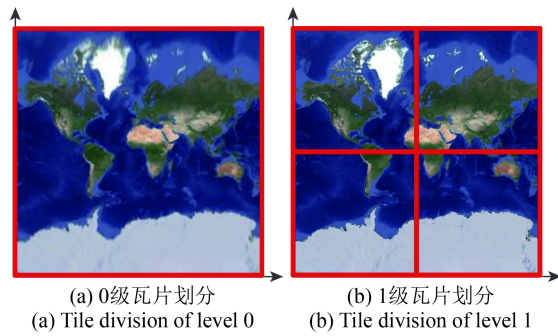


图3 Web墨卡托投影坐标系下前两级瓦片划分(谷歌地图)
Fig. 3 Spatial divisions of the first two levels of tiles under the Web Mercator PROJCS (Google Maps)

用树状图表示Web墨卡托投影坐标系下前三级瓦片划分(李长春等, 2012; 苏旭明和谭建成, 2012)(图4)。

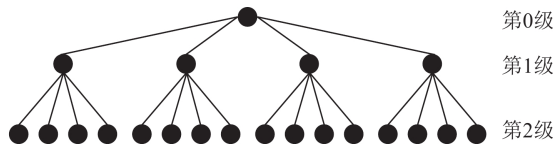


图4 Web墨卡托投影坐标系下的四叉树瓦片组织方法
Fig. 4 The quadtree organization of map tiles under the Web Mercator PROJCS

由图3、图4可知, 0级仅有1幅256×256像素的世界全图, 其余层级在其上级瓦片的基础上进行划分, 构成瓦片金字塔(苏旭明和谭建成, 2012; 罗智勇和黎小东, 2013; 马琪和谢忠, 2008)。第n级瓦片行列(X, Y)标识号如表2所示。

Web墨卡托和WGS84空间参考的瓦片存储均采用四叉树划分的方式构建瓦片金字塔。不同的是Web墨卡托投影坐标系下, 任一级别下瓦片数据文件夹内的子文件夹数量和其瓦片数量相同。该

空间参考下瓦片等级、文件夹数量与文件夹内瓦片数量的关系如表3所示。

3 实验设计及结果分析

Cesium目前支持加载WGS84地理坐标系和Web墨卡托投影坐标系两种不同空间参考的地图瓦片数据源。不同的空间参考与特定的瓦片平铺方案(Tiling Scheme)相对应。在Cesium体系下, WGS84空间参考对应GeographicTilingScheme(地理瓦片方案), Web墨卡托空间参考对应WebMercatorTilingScheme(Web墨卡托瓦片方案)(Http://cesiumjs.org/[2017-06-30]), 只有将正确的瓦片平铺组织方案与正确的空间参考相配合使用, 瓦片数据才能成功加载显示。

实验过程中, 在瓦片离线加载时地图层级必须从0级开始, 否则离线地图将出现影像混乱。对于缺少的地图层级可根据相应空间参考的瓦片数据组织结构将其拼接裁剪补全, 所有瓦片大小要求为256×256像素。

3.1 单一瓦片数据源加载方案

按照前述瓦片数据组织结构, 单一瓦片数据源加载可通过UrlTemplateImageryProvider影像服务和createTileMapServiceImageryProvider影像服务两种方式实现。

(1)UrlTemplateImageryProvider影像服务。使用UrlTemplateImageryProvider影像服务需使瓦片符合相应空间参考的瓦片数据组织规则。WGS84地理空间参考和Web墨卡托投影空间参考下瓦片加载效果如图5所示。受限于Web墨卡托投影方法, 两极地区会出现数据缺失现象, 如图5(c)、图5(d)中红框部分为北极地区在无地图瓦片覆盖情况下显示为蓝色球体模型颜色。

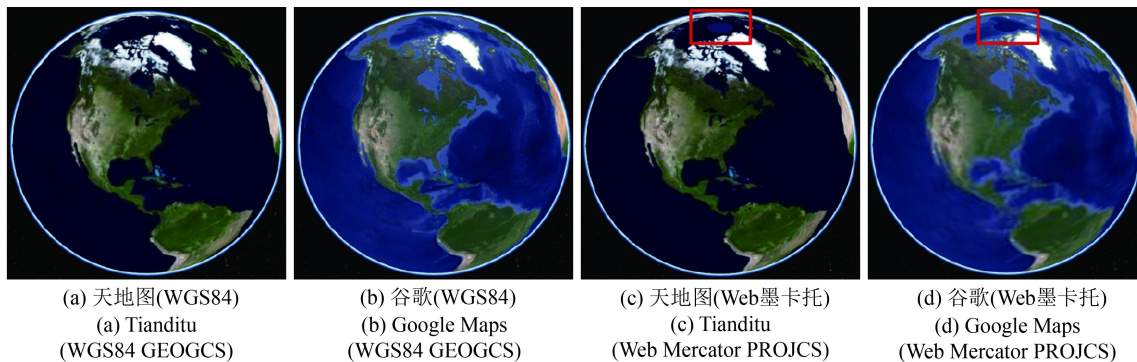


图5 Cesium 3D视图下的瓦片加载效果示意图
Fig. 5 Tile loading effect under Cesium's 3D view

(2)createTileMapServiceImageryProvider影像服务。使用createTileMapServiceImageryProvider影像服务加载瓦片需将瓦片地图服务的描述文件(刘让国等, 2015)存放在瓦片数据根目录文件夹中。该文件包含了瓦片数据的空间参考、瓦片大小、

下载级数以及图形文件的扩展方式等信息。若缺少该文件, 地图瓦片加载会出现混乱。WGS84地理空间参考和Web墨卡托投影空间参考下的瓦片数据加载效果如图6所示。图6(c)和图6(d)中的红框为

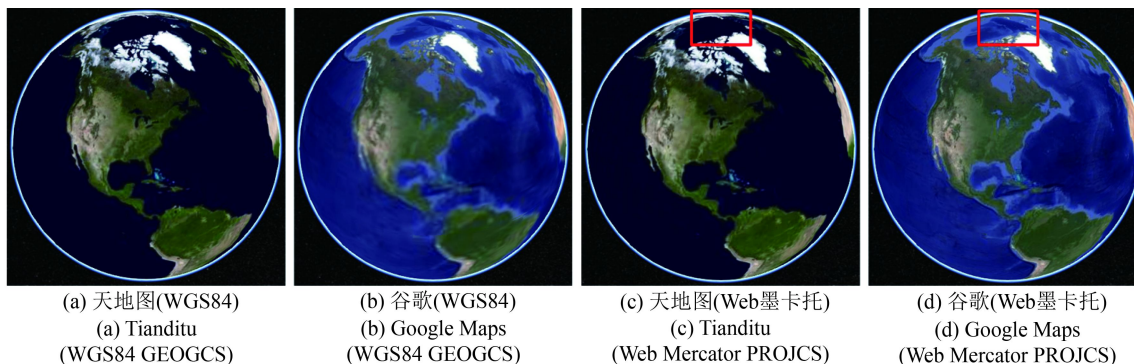


图6 Cesium 3D视图下的瓦片加载效果示意图

Fig. 6 Tile loading effect under Cesium's 3D view

在WGS84空间参考下, Cesium使用UrlTemplateImageryProvider影像服务方案和createTileMapServiceImageryProvider影像服务方案加载单一数据源效果相同;但是在Web墨卡托投影方法下(地图的有效纬度范围是 $(-85.05^{\circ}\text{S}, 85.05^{\circ}\text{N})$), 缺失了极地地区的地图数据, 无法真正覆盖全球(张磊, 2012; Wikipedia, 2017), 两种影像服务的加载效果存在下述差异: 使用UrlTemplateImageryProvider影像服务时, 两极地区显示为原始的无数据蓝色球体模型颜色(图5(c)、图5(d)); 使用createTileMapServiceImageryProvider影像服务时, 缺少数据的两极地区由靠近两极的边缘地区的地图瓦片插值拟合出两极地区的地图数据(图6(c)、图6(d))。实验结果表明, 在Web墨卡托空间参考下, 瓦片以createTileMapServiceImageryProvider影像服务加载时视觉效果更好。单一瓦片数据源加载应用情形下, Cesium对两种空间参考下的瓦片数据均展示出了良好的支持性, 无瓦片变形。

3.2 瓦片混搭静态切换方案

瓦片混搭静态切换方案主要以不同的数据源和空间参考进行混搭, 分为同种数据源不同空间参考、不同数据源相同空间参考和不同数据源不同空间参考3种方案, 并以2D视图展示加载效果。为更好地展示相同数据源不同空间参考瓦片混搭

的切换和效果, 本文在该情形下采用无注记和带注记地图瓦片的切换方式实现混搭设计。在瓦片混搭静态切换方案下, 为了清晰地对比实验效果, 在实验的结果图选取了形状特殊易于辨认的非洲和南美洲, 用红框突出显示其变形结果。

瓦片混搭静态切换方案需使瓦片数据按照相应的瓦片数据组织原理存储。例如在GeographicTilingScheme瓦片平铺方案下, 需要将Web墨卡托空间参考的瓦片拼接裁剪并调整大小使其符合WGS84空间参考下的瓦片组织方式, 拼接裁剪完成后文件夹内的瓦片数量是瓦片级数文件夹数量的一半, 再将两种空间参考的瓦片放在同一个文件夹, 由影像服务对象按照GeographicTilingScheme瓦片平铺方案调用。当采用WebMercatorTilingScheme瓦片平铺方案时也需要类似的瓦片重新组织过程。

3.2.1 相同数据源不同空间参考

以加载天地图和谷歌地图瓦片为例, 相同数据源不同空间参考下的瓦片混搭方案设计如表4所示, 图7展示了该应用情形下4种不同的瓦片变形。为缩短瓦片数据下载时间, 该方案下统一使用0—1级瓦片向2级或2级向3级瓦片切换来验证不同缩放级别的瓦片混搭切换效果。

表 4 相同数据源不同空间参考下的瓦片混搭方案设计

Table 4 Design of tile mashup scheme under the same data sources and different spatial references

| 空间参考变化方案 | 初始 TilingScheme | 0—1级瓦片 | 2级瓦片 | 3级瓦片 | 数据源 | 瓦片变形 |
|------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|
| WGS84至Web墨卡托空间参考 | Geographic TilingScheme | WGS84空间参考、无注记 | Web墨卡托空间参考、带注记 | 无 | 天地图 谷歌地图 | 是(图7(e)) 是 |
| | WebMercator TilingScheme | WGS84空间参考、无注记 | | Web墨卡托空间参考、带注记 | 天地图 谷歌地图 | 是(图7(b)) 是 |
| Web墨卡托至WGS84空间参考 | Geographic TilingScheme | Web墨卡托空间参考、无注记 | WGS84空间参考、带注记 | 无 | 天地图 谷歌地图 | 是 是(图7(c)) |
| | WebMercator TilingScheme | Web墨卡托空间参考、无注记 | | WGS84空间参考、带注记 | 天地图 谷歌地图 | 是 是(图7(h)) |

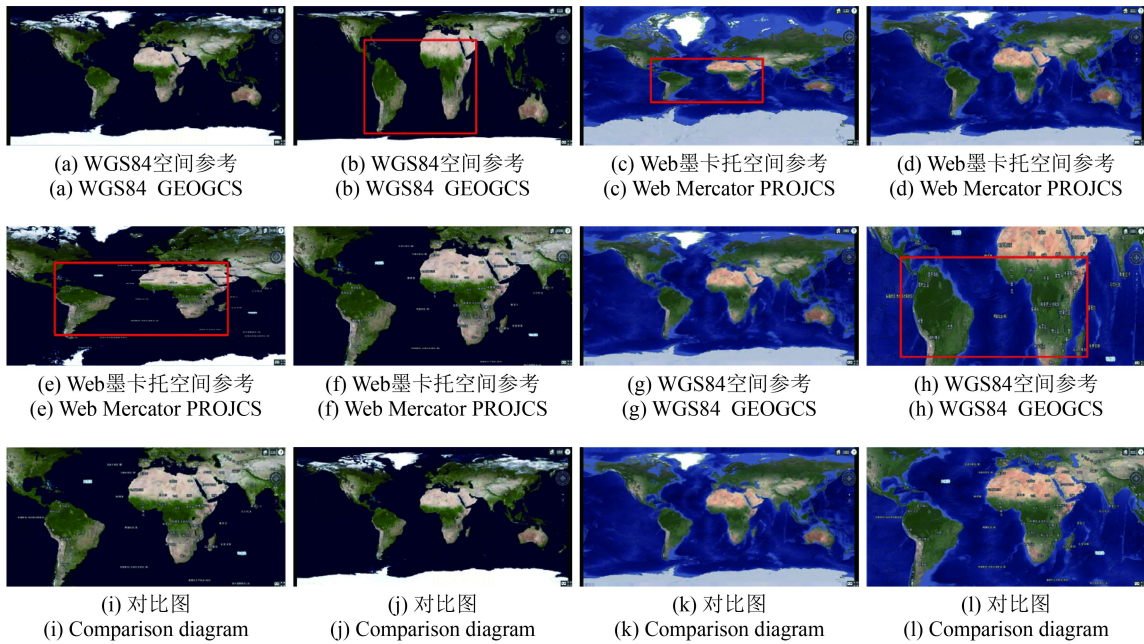


图 7 相同数据源不同空间参考下地图瓦片混搭过渡示意图(有变形)

Fig. 7 Diagram of map tiles mashup transition under the same data sources and different space references (with deformation)

在瓦片混搭静态切换方案中(表4和图7), 同种数据源由一种空间参考向另一种空间参考过渡时均会产生变形。产生变形的原因是在切换不同空间参考的瓦片数据时, 没有更换相应的瓦片平铺方案。

3.2.2 不同数据源相同空间参考

采用天地图或谷歌地图的0—1级向2级或2级

向3级瓦片过渡的方式进行不同数据源相同空间参考的实验, 方案细节如表5所示, 展示效果如图8所示。结果表明, 相同空间参考不同类型的数据源在与之对应的瓦片平铺方案下进行混搭并未出现变形, 可作为一种可用的瓦片混搭备选方案。

表 5 不同数据源相同空间参考下的瓦片混搭方案设计

Table 5 Design of tile mashup scheme under the different data sources and same spatial references

| 空间参考 | 初始 TilingScheme | 0—1级瓦片 | 2级瓦片 | 3级瓦片 | 瓦片变形 |
|--------|--------------------------|--------|------|------|-------------|
| WGS84 | Geographic TilingScheme | 天地图 | 谷歌地图 | 无 | 否(图8(a)(e)) |
| | WebMercator TilingScheme | 谷歌地图 | 天地图 | | 否(图8(b)(f)) |
| Web墨卡托 | WebMercator TilingScheme | 天地图 | 谷歌 | 谷歌地图 | 否(图8(c)(g)) |
| | Geographic TilingScheme | 谷歌 | 天地图 | 天地图 | 否(图8(d)(h)) |

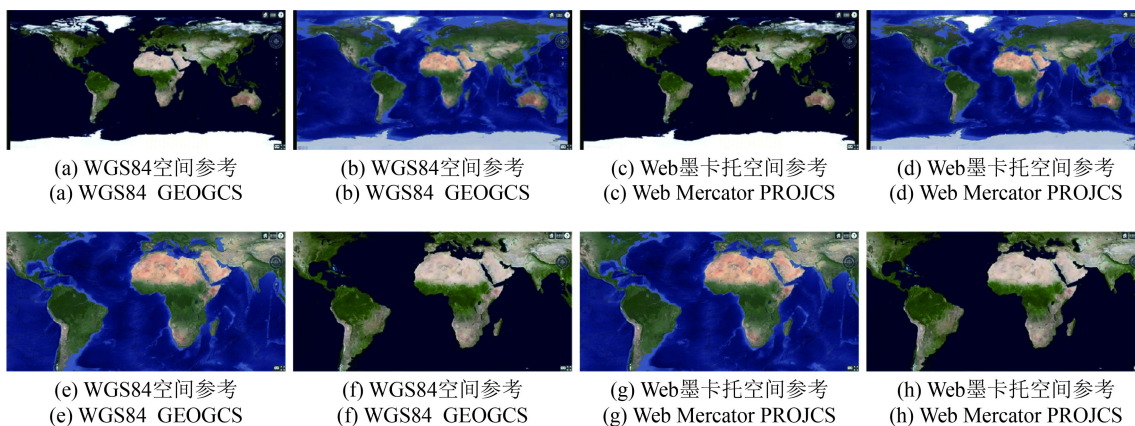


图 8 不同数据源相同空间参考下地图瓦片混搭过渡效果示意图(无变形)

Fig. 8 Diagram of map tiles mashup transition under the different data sources and same spatial reference (no deformation)

3.2.3 不同数据源不同空间参考

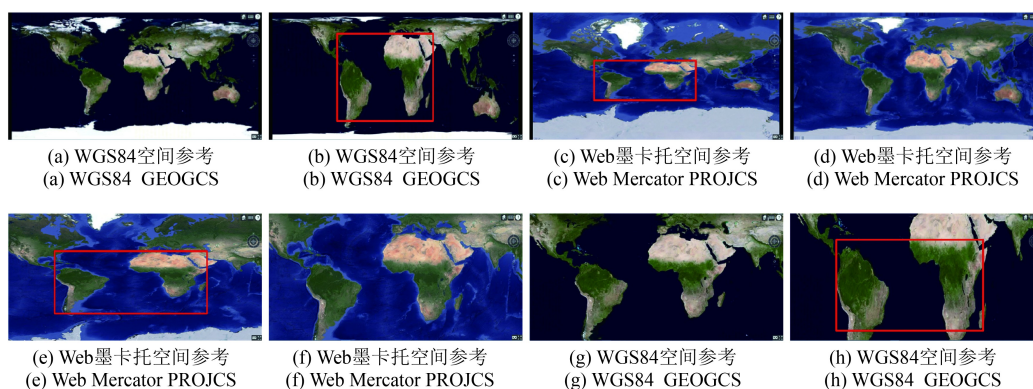
不同数据源不同空间参考应用情形下的地图瓦片混搭方案设计如表6所示, 其对应的展示效果如图9所示。由图9可以看出, 在不同数据源不同

空间参考应用情形下, 地图瓦片混搭的静态切换方案均会产生瓦片变形, 这与相同数据源不同空间参考应用情形下的瓦片混搭静态切换方案实验结果一致。

表 6 不同数据源不同空间参考下的瓦片混搭方案设计

Table 6 Design of tile mashup scheme under the different data sources and different spatial references

| 空间参考变化方案 | 初始TilingScheme | 0—1级瓦片 | 2级瓦片 | 3级瓦片 | 瓦片变形 |
|------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|
| WGS84至Web墨卡托空间参考 | Geographic TilingScheme | WGS84空间参考 天地图瓦片 | Web墨卡托空间参考 谷歌地图瓦片 | 无 | 是(图9(e)) |
| | | WGS84空间参考 谷歌地图瓦片 | Web墨卡托空间参考 天地图瓦片 | | 是 |
| | WebMercator TilingScheme | WGS84空间参考 天地图瓦片 | Web墨卡托空间参考 谷歌地图瓦片 | Web墨卡托空间参考 谷歌地图瓦片 | 是(图9(b)) |
| | | WGS84空间参考 谷歌地图瓦片 | Web墨卡托空间参考 天地图瓦片 | Web墨卡托空间参考 天地图瓦片 | 是 |
| Web墨卡托至WGS84空间参考 | Geographic TilingScheme | Web墨卡托空间参考 天地图瓦片 | WGS84空间参考 谷歌地图瓦片 | 无 | 是 |
| | | Web墨卡托空间参考 谷歌地图瓦片 | WGS84空间参考 天地图瓦片 | | 是(图9(c)) |
| | WebMercator TilingScheme | Web墨卡托空间参考 天地图瓦片 | WGS84空间参考 谷歌地图瓦片 | WGS84空间参考 谷歌地图瓦片 | 是 |
| | | Web墨卡托空间参考 谷歌地图瓦片 | WGS84空间参考 天地图瓦片 | WGS84空间参考 天地图瓦片 | 是(图9(h)) |



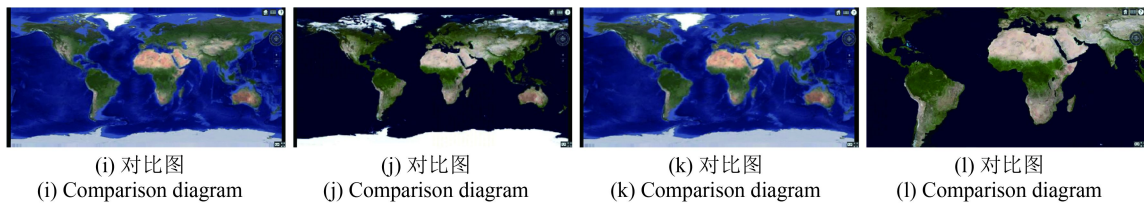


图9 不同数据源不同空间参考下地图瓦片混搭过渡变形示意图(有变形)

Fig. 9 Diagram of map tiles mashup transition under the different data sources and different space references(with deformation)

综上所述,瓦片混搭静态切换方案对瓦片数据进行重新组织后可保证其能够加载到Cesium二、三维视图中,且相同空间参考应用情形下瓦片混搭展示效果良好,而不同空间参考瓦片混搭存在变形。瓦片混搭产生变形的直接原因是未为瓦片数据选择与其空间参考相对应的瓦片平铺方案。例如若使Web墨卡托空间参考的瓦片数据集在GeographicTilingScheme瓦片平铺方案下能够加载,需要将Web墨卡托空间参考的瓦片进行拼接裁剪,使其符合WGS84地理空间参考的瓦片数据组织规则,并调整瓦片的大小为 256×256 像素。而拼接裁剪后的瓦片经过大小调整,总在竖直方向对瓦片进行压缩或拉伸,导致加载离线地图原始瓦片产生如图7和图9所示的变形问题。

3.3 瓦片混搭动态切换方案

为解决不同空间参考瓦片混搭应用时,瓦片空间参考与瓦片平铺方案不匹配导致的地图瓦片变形问题,本文提出了动态瓦片混搭方案,较好地解决了多数据源、多空间参考下瓦片混搭加载时的变形问题。瓦片混搭动态切换方案的原则是使用多个不同的影像服务,每个影像服务下瓦片数据的空间参考与其所采用的瓦片平铺方案相匹配。瓦片混搭动态切换方案涉及两种空间参考的动态切换,将不同空间参考的瓦片放在不同路径,两个文件夹的瓦片级数需顺接,在不同的缩放级别下调用不同的影像服务进行加载。

3.3.1 相同数据源不同空间参考

相同数据源不同空间参考实验包括WGS84向Web墨卡托空间参考过渡、Web墨卡托向WGS84空间参考过渡两种方案,分别以谷歌和天地图瓦片为示例,具体方案设计如表7所示。

表7 相同数据源不同空间参考下的瓦片混搭方案设计

Table 7 Design of tile mashup scheme under the same data sources and different spatial references

| 空间参考变化方案 | 数据源 | TilingScheme | 瓦片变形 |
|--------------|------|---|--------------|
| WGS84至Web墨卡托 | 谷歌地图 | 由GeographicTilingScheme向WebMercatorTilingScheme切换 | 无(图10(a)(c)) |
| Web墨卡托至WGS84 | 天地图 | 由WebMercatorTilingScheme向GeographicTilingScheme切换 | 无(图10(b)(d)) |

由图10可以看出,相同数据源不同空间参考下,采用混搭瓦片动态切换方案可避免静态切换方案下的瓦片变形问题,能够实现较好的数据应用效果。

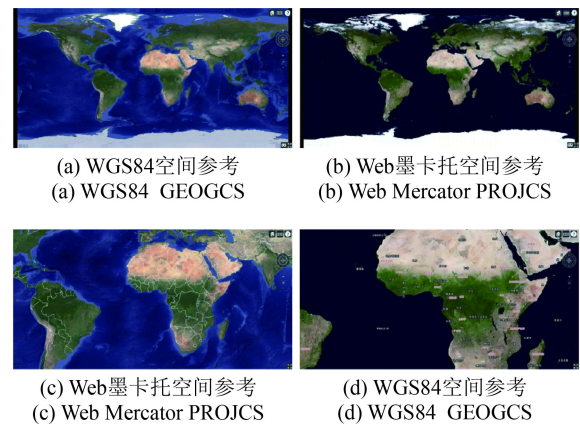


图10 相同数据源不同空间参考下地图瓦片混搭动态切换示意图(无变形)

Fig. 10 Diagram of map tiles mashup transition under the same data sources and different space references (no deformation)

3.3.2 不同数据源不同空间参考

针对不同空间参考不同数据源的应用,本文采用WGS84向Web墨卡托空间参考过渡的天地图至谷歌瓦片混搭、Web墨卡托向WGS84空间参考过渡的谷歌至天地图瓦片混搭两种方案进行实验验证(图11),具体方案设计如表8所示。

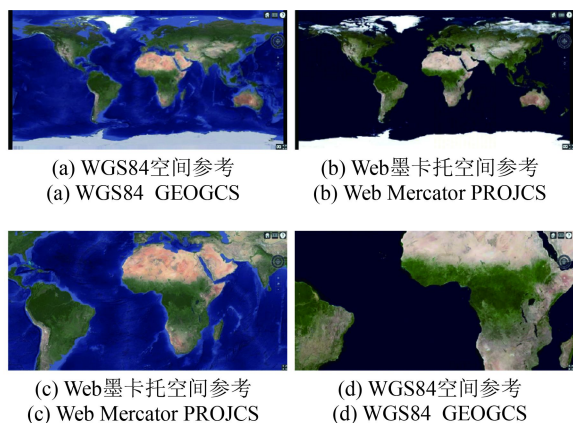


图 11 不同数据源不同空间参考下地图瓦片混搭动态切换示意图(无变形)

Fig. 11 Diagram of map tiles mashup transition under the different data sources and different space references (no deformation)

表 8 不同数据源不同空间参考下的瓦片混搭方案设计
Table 8 Design of tile mashup scheme under the different data sources and different spatial references

| 空间参考变化方案 | 数据源 | TilingScheme | 瓦片变形 |
|--------------|------------------|---|--------------|
| WGS84至Web墨卡托 | 天地图 → 谷歌地图 | 由GeographicTilingScheme向WebMercatorTilingScheme切换 | 无(图11(a)(c)) |
| | 谷歌地图 → 天地图 | 由GeographicTilingScheme向WebMercatorTilingScheme切换 | 无 |
| Web墨卡托至WGS84 | 谷歌地图 → 天地图 | 由WebMercatorTilingScheme向GeographicTilingScheme切换 | 无(图11(b)(d)) |
| | 天地图 → 谷歌地图 | 由WebMercatorTilingScheme向GeographicTilingScheme切换 | 无 |

瓦片混搭动态切换方案使用多个影像服务叠加配合, 每个影像服务下瓦片数据的空间参考与其瓦片平铺方案相对应, 从而解决了单源/多源瓦片混搭加载时的瓦片变形问题, 为拓宽地图瓦片数据的来源, 实现瓦片地图数据的集成应用提供了一种可行的解决方案。

4 结 论

本文基于Cesium开源平台深入研究了多源瓦片数据的集成应用方案, 设计了面向单源/多源的静态和动态瓦片数据混搭方案, 并对其展示效果及相关问题进行了分析和讨论, 实现了多源第3方地图瓦片数据的离线部署和应用。实验结果表明:

(1)单一瓦片数据源加载方案使用两种影像服务在WGS84地理空间参考下的瓦片加载效果相同; 而受限于Web墨卡托空间投影方法, 根据两种影像服务对缺少数据的极地地区的处理方式, 得出createTileMapServiceImageryProvider影像服务更适合作为单一瓦片数据源加载方式的首选方案。

(2)瓦片混搭方案的目的在于实现同一球体模型上的多空间参考、多源瓦片数据的混搭应用和无缝切换。静、动态多源瓦片混搭方案视觉呈现效果良好。静态瓦片混搭在相同空间参考下, 不存在瓦片变形和混乱的问题; 在不同空间参考下, 因瓦片平铺方案不适用而导致瓦片变形。而动态多源、多空间参考瓦片混搭方案则采用动态更换影像服务的方式克服了上述瓦片变形问题, 实现了基于Cesium开源平台的离线地图底图数据多源、多空间参考、多样性的融合使用, 为实际GIS和遥感工程应用中因某些因素限制而缺少数据的问题提供了潜在的解决方案。

尽管本文对基于Cesium平台的多源、多空间参考瓦片数据的离线部署和应用方案设计进行了探索和研究, 在一定程度上解决了现有平台难以灵活整合多源地图瓦片数据融合的问题, 具有一定的实际应用价值, 但是本文所采用的瓦片混搭更多地侧重于不同缩放级别瓦片数据的混搭应用, 并未对不同空间范围瓦片数据混搭的无缝切换问题进行深入探讨, 该问题是下一步研究努力的方向。

参考文献(References)

Chaturvedi K. 2014. Web Based 3D Analysis and Visualization Using HTML5 and WebGL. Enschede: University of Twente Faculty
 Dai Y X, Fu Y, Lv D K and Yan X L. 2017. The development of open source GIS software. Electronic Technology and Software Engineering(10): 77 (戴逸贤, 付宇, 吕德奎, 闫修林. 2017. 开源GIS软件的技术发展. 电子技术与软件工程(10): 77)
 Gao Y C. 2014. Research of Implementation Technique of Cesium-based WebGIS 3D Client. Xi'an: Xidian University (高云成. 2014. 基于Cesium的WebGIS三维客户端实现技术研究. 西安: 西安电子科技大学)
 Gede M. 2016. Thematic mapping with cesium//Proceedings of the 6th International Conference on Cartography and GIS. Albena, Bulgaria: 280-286
 He B, Mo W X, Hu J X, Yang G, Lu G J and Liu Y Q. 2016. Development of power grid Web3D GIS based on Cesium//Proceedings of

- 2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Xi'an: IEEE: 2465-2469 [DOI: 10.1109/APPEEL.2016.7779930]
- He L F. 2017. Research of 3D electronic sand table for flood control based on Cesium. Proceedings of 5th Water Conservancy Information Technology Forum 2017. Nanjing: Hehai University and CHES: 135-141 (何莉飞. 2017. 基于Cesium的防汛三维电子沙盘研究//探索“智慧水利”推动科技创新-2017(第五届)中国水利信息化技术论坛论文集. 南京: 河海大学, 中国水利学会: 135-141)
- Huang M L. 2011. Study on the application of tile map technology in desktop GIS. Geospatial Information, 9(4): 149-151 (黄梦龙. 2011. 瓦片地图技术在桌面端GIS中的应用. 地理空间信息, 9(4): 149-151) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-4623.2011.04.051]
- Jian W X. 2015. Design and implementation of electronic map API based on tile map technology. China Computer and Communication(21): 109-110 (简玮侠. 2015. 基于瓦片地图技术的电子地图API的设计和实现. 信息与电脑(21): 109-110) [DOI: 10.3969/j.issn.1003-9767.2015.21.047]
- Li C C, Cai B G, Shangguan W and Wang J. 2012. Research and implementation of map algorithm based on Web Mercator. Application Research of Computers, 29(12): 4793-4796 (李长春, 蔡伯根, 上官伟, 王剑. 2012. 基于Web墨卡托投影的地图算法研究与实现. 计算机应用研究, 29(12): 4793-4796) [DOI: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.103]
- Liu R G, Liu X J, Liu S X and Wei E L. 2015. A tile pyramid slicing based on TMS. Radio Engineering, 45(11): 40-43, 68 (刘让国, 刘晓杰, 刘顺喜, 韦二龙. 2015. 一种基于TMS的瓦片金字塔切分方法. 无线电工程, 45(11): 40-43, 68) [DOI: 10.3969/j.issn.1003-3106.2015.11.11]
- Luo Z Y and Li X D. 2013. High performance tile map service based on database storage scheme. Geography and Geo-Information Science, 29(3): 48-51, 108 (罗智勇, 黎小东. 2013. 基于数据库存储方案的高性能瓦片地图服务研究. 地理与地理信息科学, 29(3): 48-51, 108) [DOI: 10.7702/dlydxkx20130311]
- Ma Q and Xie Z. 2008. Organizing and scheduling of the massive grid geographic data. Geography and Geo-Information Science, 24(6): 39-41 (马琪, 谢忠. 2008. 海量栅格地理数据的组织与调度. 地理与地理信息科学, 24(6): 39-41)
- Niu Y B. 2015. Research on Technologies of Geographic Information 3D Visualization Based on WebGL. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University (牛艺博. 2015. 基于WebGL的地理信息三维可视化技术研究. 兰州: 兰州交通大学)
- Potnis A V and Durbha S S. 2016. Exploring visualization of geospatial ontologies using Cesium//International Workshop on Visualization and Interaction for Ontologies and Linked Data Co-Located with the International Semantic Web Conference. [s.l.]: [s.n.]: 143-150
- Su X M and Tan J C. 2012. The research of key technologies for the tile map in WebGIS. Beijing Surveying and Mapping(2): 9-12 (苏旭明, 谭建成. 2012. WebGIS中瓦片地图关键技术研究. 北京测绘(2): 9-12) [DOI: 10.3969/j.issn.1007-3000.2012.02.003]
- Tsai F, Lai J S and Liu Y C. 2016. An alternative open source web-based 3D GIS: cesium engine environment//Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia.[s.l.]: [s.n.]
- Wang X D, Zhang F H and Zhang L P. 2012. Construction and organization of tile-pyramid based on terrain Data. Geomatics and Spatial Information Technology, 35(6): 49-51 (王旭东, 张福浩, 张丽萍. 2012. 基于地形数据的瓦片金字塔构建与组织. 测绘与空间地理信息, 35(6): 49-51) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-5867.2012.06.014]
- Wei S. 2012. Implementation of access to and mosaicing tile map based on ArcEngine. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 37(6): 737-740 (韦胜. 2012. ArcEngine环境下实现瓦片地图的访问与拼接. 武汉大学学报(信息科学版), 37(6): 737-740) [DOI: 10.13203/j.whugis2012.06.026]
- Wikipedia. 2017. Web mercator projection[EB/OL].[2017-06-30]. https://en.wikipedia.org/wiki/Web_Mercator.
- Yang D Y. 2011. Research and Development of Open Source GIS. Kunming: Kunming University of Science and Technology (杨德严. 2011. 开源GIS开发与应用研究. 昆明: 昆明理工大学)
- Zaragozı B, Giménez P, Navarro J T, Dong P and Ramón A. 2012. Development of free and opensource GIS software for cartographic generalisation and occupancy area calculations. Ecological Informatics, 8: 48-54 [DOI: 10.1016/j.ecoinf.2012.01.002]
- Zhang L. 2012. Research on the online Integration of Multi-source Heterogeneous Map Data. Fuzhou: East China University of Technology (张磊. 2012. 多源异构地图数据的在线集成研究. 抚州: 东华理工大学)
- Zhu X Y and Miao F. 2015. The research and development of three-dimensional GIS based on cesium. Science and Technology Innovation Herald(34): 9-11, 16 (朱栩逸, 苗放. 2015. 基于Cesium的三维WebGIS研究及开发. 科技创新导报(34): 9-11, 16) [DOI: 10.16660/j.cnki.1674-098X.2015.34.009]

Multi-source digital map tile data mashup scheme design based on Cesium

FAN Junfu^{1,2}, HU Taoying¹, HE Huixin¹, QIN Liu¹, LI Guihua¹

1. School of Civil and Architectural Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;

2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic and Nature Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Developments and customizations based on open source software have lower costs and higher flexibilities than the large-scale, high-cost, and high-complexity routine maintenance of commercial geographic information system (GIS) platforms that is limited by the function of the system. An increasing number of GIS applications are migrating from commercial platforms to open source GIS platform frameworks. The open source GIS platform facilitates the application of GIS and promotes the rapid development of spatial data management and processing technologies. However, developers may still face the challenge of scenarios of integration or mashup applications of tile datasets from multiple digital map sources in many GIS projects. Therefore, the data source of the base map based on the open source GIS platform must be increased to extend the space and time coverage of the base map in the study area.

Cesium is an open source 3D map engine developed based on the Web Graphics Library with various characteristics, such as cross-platform, cross-browser, 2D/3D integration, and dynamic geospatial data visualization. This library offers a flexible and efficiency base map customization environment for WebGIS applications with low costs. Cesium provides access and loading support for two mainstream spatial references: WGS84 and Web Mercator coordinate systems. On the basis of these considerations, we comprehensively examined the tile data organization mechanisms and spatial reference differences of the Cesium platform and various tile data sources, such as Google maps, Tianditu, and Bing maps. Two types of tile data loading schemes, namely, static and dynamic loading, were designed for the mashup of multi-source tiles with different spatial references. (1) Experiment involving the single data source tile loading scheme illustrated that single data source tiles could be loaded successfully by the two image services, and the createTileMapServiceImageryProvider image service was suitable as a choice of single data source tile loading scheme. (2) The static and dynamic schemes showed favorable visualization effects when tiles from different data sources with the same spatial coordinate system were loaded. (3) The static tile mashup loading scheme could lead to tile image deformation when multi-source tile data with different spatial references were loaded. (4) The dynamic mashup scheme could overcome the deformation problem and shown better visualization effects than the static one when multi-source tile data with different spatial references were loaded.

The proposed method that is based on Cesium and involves different spatial references and multi-source tile data in offline maps, data fusion, and integration applications can be used to extend the base map data source of GIS and remote sensing projects and has evident potential practical application values.

Key words: remote sensing, Cesium, digital map, spatial data organization, tiling mashup, localized deployment

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41501425, 41601478, 41471330)