

融合 Cesium 和 Geoserver 的地质数据形变监测可视化方法^①



杨明奇^{1,2}, 周程^{2,3}, 付立军^{1,2}, 王宏君^{1,2}, 安梦良^{1,2}

¹(中国科学院大学, 北京 100049)

²(中国科学院 沈阳计算技术研究所, 沈阳 110168)

³(苏交科集团股份有限公司, 南京 210017)

通讯作者: 付立军, E-mail: fu_lijun@ucas.ac.cn

摘要: 随着地质研究与大数据的融合, 形成了“多元异构、高容量、低价值密度的”海量地质数据. 尤其在城市建设中反映地表和地面沉降情况的地质形变监测数据, 具有容量大、时变性、维度复杂的特点. 如何通过可视化技术更直观的服务于地质研究分析与问题决策, 成为该领域数据可视化研究与应用热点. 本文针对这一问题, 通过干涉合成孔径雷达 (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) 采集的数据, 提出一种在 Cesium 和 Geoserver 融合构建的 Web 三维场景下, 展示地域沉降形变监测情况的可视化方法. 在形变图层展示效果上, 不同于 Google Earth 单一的渲染效果, 设计出一种动态改变形变监测点云数据过渡颜色的方式. 在可视化分析交互上与 ENVI/SARscape 进行对比. 实践及应用结果表明, 相对于传统方法如二维平面展示以及通过 Google Earth 导入数据的集成展示, 本文方法对形变监测结果有更加直观展示. 同时拥有更加丰富的人机交互方式, 为地质专业者提供更良好的辅助决策功能.

关键词: 地质数据; 形变监测; 可视化; Cesium; Geoserver

引用格式: 杨明奇, 周程, 付立军, 王宏君, 安梦良. 融合 Cesium 和 Geoserver 的地质数据形变监测可视化方法. 计算机系统应用, 2021, 30(11): 179-187. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/8179.html>

Visualization Method of Geological Data Deformation Monitoring Combining with Cesium and Geoserver

YANG Ming-Qi^{1,2}, ZHOU Cheng^{2,3}, FU Li-Jun^{1,2}, WANG Hong-Jun^{1,2}, AN Meng-Liang^{1,2}

¹(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

²(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110168, China)

³(Jsti Group, Nanjing 210017, China)

Abstract: With the integration of geological research and big data, massive geological data with “multiple heterogeneity, high capacity and low value density” has been formed. Especially in urban construction, the monitoring data of geological deformation which reflects the ground surface and land subsidence features large capacity, time-varying property and complex dimensions. How to use visualization techniques to serve geological research analysis and problem decision more intuitively has become a hot spot of data visualization research and application in the field. To solve the problem, this paper presents a visualization method to display the monitoring situation of regional subsidence deformation under the Web three-dimensional scene constructed by the fusion of Cesium and GeoServer with the data collected by Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR). Regarding the effect of deformation layer display, we create a way to dynamically change the transition color of the point cloud data from deformation monitoring, which is different from the

① 基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFC1505501)

Foundation item: National Key Research and Development Program of China (2018YFC1505501)

收稿时间: 2021-01-18; 修改时间: 2021-02-23, 2021-03-11; 采用时间: 2021-03-16; csa 在线出版时间: 2021-10-22

single rendering effect of Google Earth. It is compared with ENVI/SARscape in terms of visual analysis interaction. The results of practice and application show that, in comparison with traditional methods such as two-dimensional display and integrated display of data imported from Google Earth, the proposed method can display deformation monitoring results more intuitively. In addition, it has more abundant man-machine interaction modes, which thus provides a better auxiliary decision-making function for geological professionals.

Key words: geological data; deformation monitoring; visualization; Cesium; Geoserver

随着信息技术迅速发展,人类对地球的探索也在不断推进.更多地质相关的数据不断被挖掘和扩增,从海量和复杂的地质数据中获取信息和知识,已成为当今社会技术发展研究的热点.人类社会不断朝着信息化的方向发展,与传统意义上数据相比,“容量大”,“结构复杂”的特点的大数据,隐藏着知识与智慧,并为人类理解世界和社会提供了新的契机^[1].不断积累形成大规模的数据真实反映了现实世界和社会空间的运行演化过程,有效的处理和洞悉数据背后隐藏信息,并将其转化为知识充满了巨大的挑战^[2].

地质数据具有多元异构、多模态、高度时空性、大容量高相关、低价值密度、复杂性与不确定性的特点,具有大数据的共有特征,又有其自身特点^[3].其复杂与不确定性的特点为地质从业者分析数据带来了困难.以一种更加有效的数据可视化方法,直观的展示地质数据,作为决策分析的辅助手段并挖掘地质数据真正的价值,也是数据可视化研究发展的热点.

地质数据种类多,涵盖范围广,通过雷达采集的地表形变数据反映地表形变情况与沉降情况,其中包含众多地质要素信息,与地质数据密不可分.针对雷达数据的可视分析也是地质领域对灾害预警分析与数据可视化领域研究发展的热点.利用干涉合成孔径雷达(Interferometric Synthetic Aperture Rader, InSAR)获取地表形变信息.通过有效的可视化手段,对地形变化、灾害监测、灾害预警,地面沉降分析提供可靠的辅助和决策作用.形变监测可视化在相关领域进行应用并研究取得了一系列成果.于军等^[4]针对苏锡常地区地面沉降结构三维可视化模型进行了虚拟现实系统研究.汪宝存等^[5]进行了郑州市地面沉降监测的调查研究.张学东等^[6]提取了京沪公路(北京—河北)沿线的沉降速率图和沉降剖面图.针对 InSAR 形变监测的可视化展示,传统方式是通过专业软件 ENVI/SARscape 进行处理生成相应的分析图表,同时通过导入 Google Earth 的集成方式在地理位置呈现形变监测图,但操作过程

复杂繁琐.同时由于 Google Earth 在数据渲染的过程中经常会出现卡顿甚至卡死的现象,在交互方面很不友好.

本文针对上述通过二维图表以及 Google Earth 集成数据呈现展示效果并不直观的问题,采用了江苏省地市区域 InSAR 形变监测数据提出了一种基于 Cesium 与 Geoserver 融合的地质数据形变监测可视化方法. Cesium 是一个开源的三维场景渲染引擎,通过 Cesium 与 Geoserver 结合构建 Web 三维场景,直观反映地表形变信息与沉降情况.同时在此基础上,设计了一种动态改变形变监测点云数据过渡颜色方式,优化形变监测可视化展示.与集成于 Google Earth 来呈现形变情况相比,该方法更加方便快捷.在数据加载渲染速度上比 Google Earth 更加迅速,在人机交互方面拥有更多丰富的交互方式.

1 相关工作

数据可视化是利用人眼感知能力和人脑智能,对数据进行交互的可视表达^[7].利用已经日益成熟和完备的图形学以及计算机视觉等手段,结合数据的自身特点,以一种通俗易懂的方式呈现出来,传递有用的信息是国内外数据可视化领域研究学者的重点方向之一. Murthy 等^[8]分析了社交媒体数据的特征并进行了可视化分析,陈佳舟等^[9]提出一种基于照片的社交关系可视化方法,李伟等^[10]针对交通网络客流大数据进行了可视分析.杨卫宁等^[11]对出租车轨迹数据进行分析研究,并在测基础之上设计了可视化平台,对其数据进行可视化分析.王全民等^[12]基于 Netflow 针对网络安全大数据进行可视化分析.地质数据的表达也与可视化分析密不可分,针对地质数据以更加高效的可视化手段从根本上突破其复杂结构而又不确定性的特点.近些年来,国内外学者针对地质数据可视化方法及技术研究并取得了相应的研究成果.2015年 Byers 等^[13]针对大数据对实现地质介绍的优势从可视化的角度进

行了研究. 2016年 Mueller等^[14]对地质数据的可视化进行了研究, 并利用 Cesium 实现了 3DWeb 可视化交互系统. 2018年 Wang等^[15]基于地质本体完成从地质大数据中提取北美区域地质年代和生物信息, 并实现信息集成与可视化. 2016年陈为等^[16]提出基于贝叶斯网络的地理空间数据可视分析.

针对 InSAR 数据形变监测可视化分析, 传统方式通过 ENVI/SARscape 进行处理, 利用 Google 公司研发的 Google Earth, 将相关数据导入 Google Earth 并在相应的地理空间位置上加载可视化成果进行分析. Google Earth 是一款强大的三维地图软件, 地质领域与可视化相关学者利用 Google Earth 取得了一定的研究成果. 王利峰等^[17]基于 Google Earth 实现实时动态的管理和利用控制点信息. 孙晓鹏等^[18]提出一种利用 Google Earth 的 PS-InSAR 地表形变监测可视化展示方法. 黄亚峰等^[19]实现了几种地质资料信息在 Google Earth 平台上的融合显示. 虽然 Google Earth 功能强大, 但在加载大量数据集时, 出现加载缓慢、卡死、软件崩溃的情况. Google Earth 对大数据集的优化并不好, 同时 Google Earth 在可视化交互方面上比较单一, 无法满足更多可视化交互与展示.

由于上述工作中存在的不足, 本文基于 B/S (浏览器/服务器, Browser/Server) 架构模式通过 Cesium 和 Geoserver 相融合构建三维 Web 应用场景. 设计便捷的可视化手段, 利用可视化方式分析地域形变监测情况. B/S 架构模式是一种随网络技术逐渐兴起的一种架构模式, 将系统功能实现的核心部分集中到服务器上, 简化了系统的开发、维护与使用. 通常用户只需要一个浏览器就可实现与数据库进行数据交互. Cesium 是一个用来构建三维场景和地图的开源三维渲染引擎. 基于 JavaScript 编写, 采用 B/S 架构且遵循 WebGL 三维绘图标准^[20]. Geoserver 是 OpenGIS Web 服务器规范的 J2EE 实现, 利用 Geoserver 可以方便的发布地图数据, 允许用户对特征数据进行更新、删除、插入操作, 通过 Geoserver 可以比较容易地在用户之间迅速共享空间地理信息^[21].

2 技术架构设计

本文提出地质数据形变监测可视化方法主要由数据预处理、Web 三维场景构建、数据解析并加载、可视化实现 4 个部分组成. 如图 1 所示, 为本文提出的可视化方法的技术架构图.

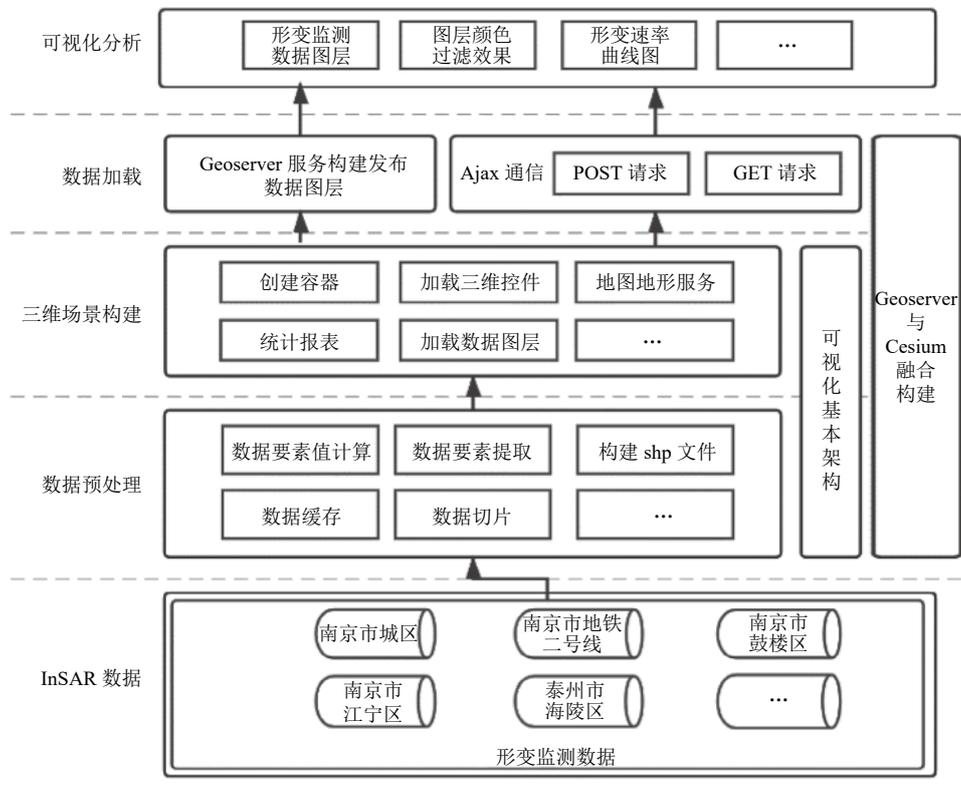


图 1 可视化方法技术架构图

在数据预处理阶段首先需要将通 InSAR 测量的数据进行筛选处理, 提取到需要展示的信息如经纬度坐标、高程值、形变速率、累计形变量、监测时段等。

在 Web 三维场景构建阶段, 整体前端 Web 架构以 Vue.js 框架为基本, 引入 Cesium.js 构建初始场景, 并加载在线的天地图影像服务、天地图矢量底图服务以及谷歌地图影像服务作为基本的地图组件。

在数据解析并加载阶段, 构建 Geoserver 服务, 创建工作区, 导入已经构建好的 shp 文件并解析发布成在线图层服务。通过 Ajax 技术实现浏览器端与服务器通信, 将数据参数以 JSON 格式传递, 并调用 Cesium.js 将数据图层渲染出来。

在可视化实现阶段, 通过拆分拼接 RGB 三原色数值的方式设计出形变监测图层颜色动态渐变方法。并实现框选拾取数据等诸多交互方式, 利用 Echarts 绘制出高程三维散点图, 三维曲面沉降图, 并进行可视化分析。

3 形变监测可视化

3.1 数据预处理

本文使用江苏省南京市市区和南京市地铁二号线 InSAR 形变监测数据作为实验数据集。该项目数据容量庞大, 约有 60 多万条点云数据。且维度复杂多样, 每条点云数据包含诸多属性维度。所以针对上述数据集需要提取可以用来可视化展示的信息。使用相位处理来提取到高程值与形变速率等数据。差分干涉相位表达式为:

$$\phi_{diff} = \phi_{flat_error} + \phi_{topo_error} + \phi_{def} + \phi_{atm} + \phi_{noi} \quad (1)$$

$$\phi_{topo_error} = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R \sin \theta} \Delta h_{error} \quad (2)$$

$$\phi_{def} = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda} \delta d \quad (3)$$

$$\phi_{diff} = -\frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R \sin \theta} \Delta h_{error} + \frac{4\pi}{\lambda} \delta d + \phi_{res} \quad (4)$$

$$\phi_{res} = \phi_{flat_error} + \phi_{atm} + \phi_{noi} \quad (5)$$

$$\phi_{diff} = k_1 B_{\perp} \Delta h_{error} + k_2 v T + \phi_{res} \quad (6)$$

$$k_1 = \frac{4\pi}{\lambda R \sin \theta}, k_2 = -\frac{4\pi}{\lambda} \quad (7)$$

$$\phi_{diff}^{i-ref} = \Delta k_1^{i-ref} B_{\perp} \delta \Delta h_{error}^{i-ref} + \Delta k_2^{i-ref} \delta \Delta v_{error}^{i-ref} T + \phi_{pres}^{i-ref} \quad (8)$$

其中, ϕ_{diff} 为差分干涉相位; ϕ_{flat_error} 为平地相位; ϕ_{topo_error} 为地形相位误差; ϕ_{def} 为地表形变相位; ϕ_{atm} 为大气延迟相位; ϕ_{noi} 为噪声引起的相位。

通过回归分析可得到形变速率和高程改正值。高程信息与平面坐标信息以及其他信息构成了三维空间信息, 提取需要展示的数据如表 1 所示。

表 1 InSAR 数据提取字段组成

属性	名称	描述
空间属性	X坐标	经度
	Y坐标	纬度
	Z坐标	高程
基本属性	形变速率	反映监测时段内监测对象的形变速率大小
	累计形变量	相对于第一时段累计的形变量, 反映各个时段形变数量的大小
	监测时段	各个点的监测的时间点

3.2 Web 三维场景构建

本文 Web 页面整体架构是基于 Vue.js 构成的, 在 Vue.js 作为整体骨架之上, 引入 Cesium.js 来创建三维场景。三维场景的创建主要由创建容器、加载三维控件、添加地图地形服务、加载三维模型或在线数据图层服务 4 个部分组成。如图 2 所示, 为三维场景构建流程图。

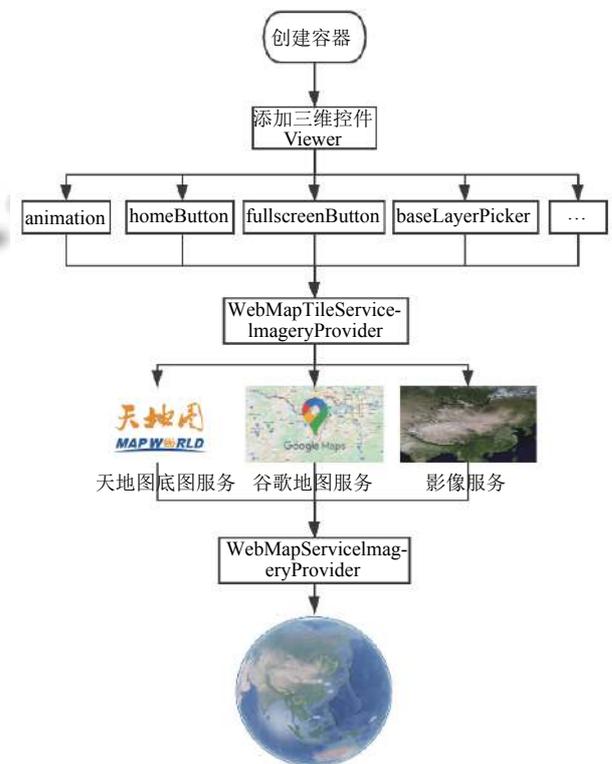


图 2 三维场景构建流程图

在构建三维场景过程中首先需要在 Web 页面中创建容器, 主要是用来存放三维场景, 通常该容器布局的长度和宽度的参数值设置为 100% 这样会充满整个浏览器屏幕, 也可以根据可视化需求不同创建多个容器布局样式, 从而创建多个三维场景。

在页面容器创建之后, 通过调用 Cesium 的 Viewer 函数初始化三维场景控件, Viewer 中有众多有关的属性, 是一个需要进行可视化的数据源的集合. 用来丰富三维场景的可视化展示, 其相关参数如表 2 所示。

表 2 Viewer 参数汇总表

参数	描述
animation	动画控件
homeButton	Home按钮
fullscreenButton	全屏按钮
baseLayerPicker	图层选择
geocoder	地名查找
timeline	时间线
sceneModePicker	投影方式
navigationHelpButton	帮助信息控件
infoBox	点击要素之后显示信息
requestRenderMode	请求渲染模式
scene3DOnly	只以3D方式渲染
sceneMode	初始场景模式
terrainProvider	加载地形

添加地图地形服务, Cesium 提供了多种可支持的地图服务的方法, 如表 3 所示。

表 3 Cesium 可使用的影像服务汇总表

服务加载方式	服务来源
ArcGISMapServerImageryProvider	ArcGIS Server提供的影像服务
SingleTileImageryProvider	单个非切片影像
BingMapsImageryProvider	Bing Maps Imagery REST API提供的影像服务
GoogleEarthImageryProvider	Google Earth Image API 提供的影像服务
MapboxImageryProvider	Mapbox提供的影像服务
WebMapTileServiceImageryProvider	WMTS地图服务
WebMapServiceImageryProvider	WMS地图服务

本文使用 WebMapTileServiceImageryProvider 来加载在线地图服务, 使用 WebMapServiceImageryProvider 加载数据图层. 其三维场景效果图, 如图 3 所示。

3.3 数据解析并加载

本文采用构建之后的 shp 格式数据文件, 搭建 Geoserver 服务, 将数据通过 Geoserver 进行解析并发

布成在线图层服务. 其 Geoserver 发布数据图层流程如图 4 所示。



图 3 Web 三维场景效果图

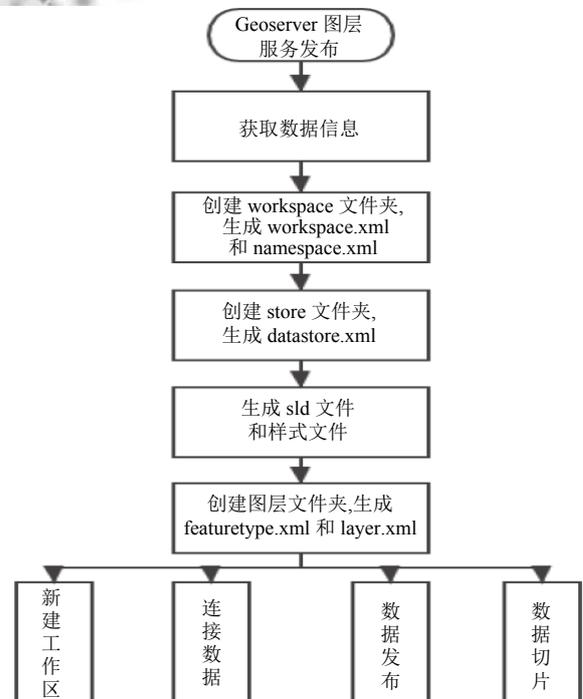


图 4 Geoserver 发布数据图层流程

3.4 可视化实现

在通过 Geoserver 发布数据图层之后, 将图层链接进行解析, 得到链接关键参数键值对. 以发布成功的南京市 InSAR 形变监测数据图层为例, 解析之后的参数键值对如表 4 所示。

将解析之后的键值对封装在一个 JSON 数组中通过 Ajax 通信将 JSON 数组从服务器端传入前端可视化层. 然后通过调用 Cesium 的 WebMapServiceImageryProvider 拼接 JSON 数组中的参数. 其加载成功之后的效果图如图 5 所示。

表4 南京市数据图层解析后参数键值对预览表

参数名	参数值	描述
url	http://172.16.0.174:11020/geoserver/mydata/wms	图层链接
request	GetMap	请求方式
layers	mydata:nanjing_PS_75_0	图层名称
version	1.1.0	发布的版本号
service	WMS	服务类型
format	image/png	图层类型
srs	EPSG:4326	坐标系编码格式
bbox	118.731 274 343 602 05,	图层范围
	31.884 004 334 003 28,	
	118.917 366 746 050 06, 32.120 682 587 195 994	



图5 南京市 InSAR 形变监测效果图

图5呈现了南京市地域形变监测的效果图,但图5展示的颜色单一,无法明确直观表达出该地域地表形变情况。于是本文针对这一问题进行进一步优化改进,通过设置形变速率阈值方式,动态生成颜色过渡效果。根据区域图层过渡颜色,呈现沉降形变情况。

为实现动态颜色渐变过渡效果,首先需要根据形变速率这个参数设置一个阈值区间,根据颜色的RGB值来进行颜色切割,蓝色RGB值为(0, 0, 255),绿色RGB值为(0, 255, 0),红色RGB值为(255, 0, 0)。蓝色到绿色的渐变过程以RGB值第2个参数为分界点,蓝色到浅蓝色的过程为从(0, 0, 255)到(0, 255, 255)即

保持第1个参数与第3个参数不变,将第2个参数从0递增为255,而从浅蓝色的到绿色的过程为从(0, 255, 255)到(0, 255, 0)即保持第1个与第2个参数不变将第3个参数从255递减为0。绿色到黄色,黄色到红色以同样的方式进行参数的递增与递减。然后根据这个的阈值区间,将上述4段颜色渐变过程平均分成这个区间总长的份数并尽量保持每一种颜色唯一同时又要保证每一段颜色分布均匀。将分割好的颜色值转换成16进制,同时以一个数组进行维护。其颜色分割的计算公式如下:

$$p = \sum_{k=0}^{n/4} \left(255 - \frac{255 \times 8 \times k}{n} \right) \quad (9)$$

其中, p 为计算生成的RGB三色中一种值, n 为阈值区间的长度。

在生成颜色数组之后,需要将这些颜色按照所在阈值区间范围内重新写入Geoserver发布图层的样式文件,生成新的样式文件并覆盖旧的样式文件。每一个数据图层的样式文件是以XML语法格式书写的,以<StyledLayerDescriptor>标签包裹。所以在重写样式文件之前要解析<StyledLayerDescriptor>标签下的内容。<sld:Rule>标签用来设定样式规则; <sld:Name>标签给次规则取别名; <ogc:Filter>过滤器,用于满足与不同条件,显示不同的样式; <ogc:And>判断符合此条件是否同时满足; <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>用于标注此属性值大于或等于某个值; <ogc:PropertyName>表明使用哪个字段属性,如本文中使用的提取的数据中Velocity(形变速率)来控制整体颜色的设置; <ogc:Literal>用于填充数值,用来对比属性值和此数值的关系,从而填充颜色值; <sld:WellKnownName>用表示图层形状呈现状态,如“circle”,用圆圈来呈现; <sld:Fill>用于填充样式的标签属性; <sld:CssParameter name=“fill”>用于指定填充具体十六进制颜色。通过遍历颜色数组,根据颜色在阈值区间内都对应一个值,将这个值写入<ogc:Literal>标签内并与<ogc:PropertyName>进行对比,然后将对应的颜色数值写入<sld:CssParameter name=“fill”>标签内。其效果展示如图6所示。

从图6改进后的效果图可以清晰地看出,不同颜色效果代表不同的地质情况,颜色越接近蓝色表示该地下沉越严重,越接近绿色表示该地域趋于平缓,越接近红色表示该地域上升情况越严重。同时可以手动设

置形变速率阈值区间,通过不同维度分析该地域形变沉降情况。

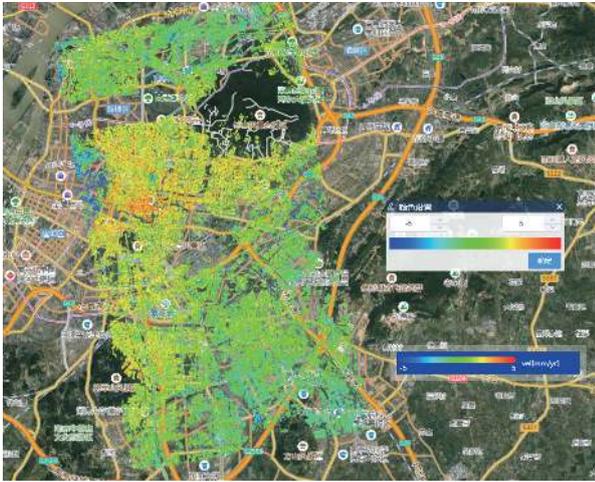


图6 南京市 InSAR 形变监测效果优化改进图

4 实验对比分析

本文提出的可视化方法旨在形变监测方面为地质专业人士提供方便快捷的辅助与决策.在地表形变监测方面,已经有一些比较成熟的专业软件与工具,如 ENVI/SARscape. ENVI 是一个成熟的遥感图像处理平台,其技术覆盖了图像数据的输入/输出图像增强、图像解释、图像分类等,供了专业可靠的波谱分析工具和高光谱分析工具,可以快速、便捷、准确地从遥感影像中获得所需的信息. SARscapes 是架构于 ENVI 之上,拥有丰富强大的雷达数据处理功能,可以将提取的雷达信息与光学遥感数据、地理信息集成在一起,广泛应用于地形数据提取、地表沉降监测、火灾和灾害评估等地质研究领域. SARscapes 更加注重于 SAR 数据的处理,同时提供可视化分析工具,还可以通过导入第三方 GIS 软件如 Google Earth 与地理位置结合进行可视化展示与分析.

与 SAPscape 相比较本文的工作内容,重点是针对城市地表形变监测可视化,本文实现从数据解析到构建 GIS 服务最后叠加地图图层等一系列集成方式,不需要借助 Google Earth 等第三方软件来根据地理位置分析地表沉降形变情况.在加载形变监测图层时会自动叠加到相应的地理位置,与地理位置结合能够更加清晰地表达该地域沉降形变情况.

与专业的 GIS 软件 Google Earth 在形变图层可视

化渲染效果和可视化分析交互上进行对比分析.在运行环境和网络环境一致的条件下,以南京市地铁二号线形变监测数据为实验数据,分别通过使用本文可视化方法和 Google Earth 导入数据加载的方式,进行对比,其可视化对比效果图如图 7 所示.



图7 可视化渲染结果对比图

左侧图片为通过本文可视化方法实现的效果图,右侧图为通过 Google Earth 加载数据生成的效果图.可以清晰地对比出, Google Earth 在加载南京市地铁二号线形变监测 shp 数据文件时,呈现的可视化展示效果比较单一,并不能直观的展现出地域形变与沉降情况.本文可视化方法,在颜色呈现上比较丰富,不同颜色过渡程度表示不同程度的形变情况,可视化展示效果相对较好.

在可视化分析交互方面,与 SAPscape 相对比.同样以南京地铁二号线形变监测数据为实验数据,以形变速率 Velocity 字段属性绘制时序分析折线图,其对比图如图 8、图 9 所示.

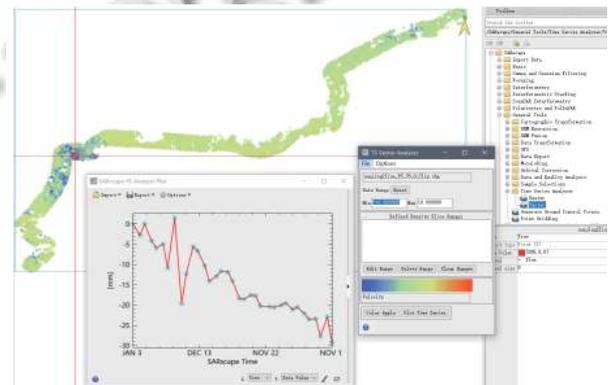


图8 SAPscape 时序图

通过图 8、图 9 对比图展示可以看出,本文展示的形变速率变化情况比较清晰明确. SAPscape 有专业的可视化分析工具与算法,能够针对不同复杂场景进行可视化专业分析.与 SAPscape 相比较,在可视化分析上的专业化与标准化略显不及,但本文是基于 B/S 架

构设计的 Web 端地表形变监测可视化方法,其最大的特点是简洁、快捷.不仅能够提供相应的个性化与定制化的可视化展示,如能够自定义阈值区间重新渲染覆盖图层呈现的颜色、捡取数据点要素信息,并通过 Echarts.js 绘制形变速率变化图、三维散点图、三维曲面图等分析图表.而且还提供便捷、简洁的数据交互功能,方便用户操作与使用.如图 10 所示.

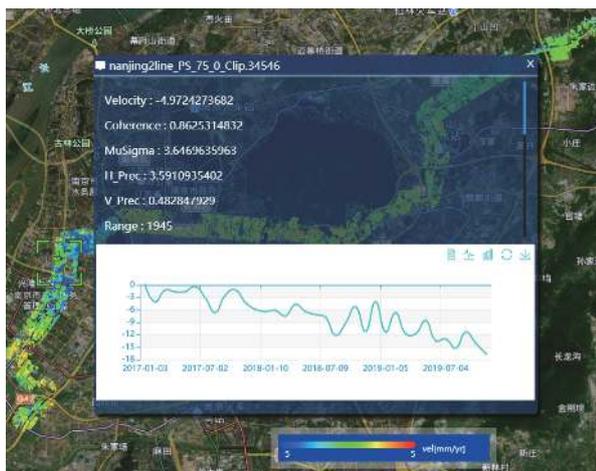


图9 本文方法绘制形变速率时序图

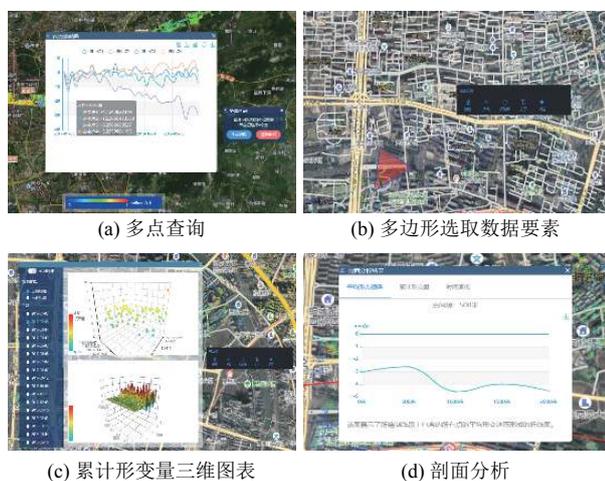


图10 可视化分析图

5 总结与展望

本文提出了一种针对地质数据形变监测的可视化方法,并通过 Cesium 与 Geoserver 相融合的方式,设计并实现. Geoserver 主要是用来数据处理并发布图层,在 Cesium 可视化层渲染数据图层.然后解析数据文件

中 XML 标签格式,优化数据图层可视化呈现效果.最后与 ENVI/SARscape 和 Google Earth 等专业级软件在可视化渲染效果上与可视化分析交互上进行对比分析,本文提出的方法拥有更加直观的可视化呈现与更丰富的交互分析方式.本文提出的可视化方法旨在解决由于形变监测数据的复杂与不确定性带来问题,以直观易懂的手段挖掘其背后的价值,为相关专业工作者提供方便快捷的辅助功能以及针对地质灾害预警提供决策分析.

针对地质数据形变监测可视化分析,相对于 ENVI/SARscape 等专业软件,在专业的可视化分析与处理复杂场景的可视化算法还有很大的差距,同时在呈现形变监测情况如果能够构建三维模型,就能更加真实的场景反映地表形变和沉降情况.由于一次性加载大量数据,对浏览器造成负担,导致数据加载缓慢.这些都将是本文进一步优化工作重点.地质数据维度多,错综复杂,如何以更加智能的可视化交互手段,分析数据也是一个巨大的挑战.

参考文献

- Hey T, Tansley S, Tolle K. 第四范式: 数据密集型科学发现. 潘教峰, 张晓林, 译. 北京: 科学出版社, 2012. 58-62.
- 崔迪, 郭小燕, 陈为. 大数据可视化的挑战与最新进展. 计算机应用, 2017, 37(7): 2044-2049, 2056. [doi: 10.11772/j.issn.1001-9081.2017.07.2044]
- 谭永杰, 文敏, 朱月琴, 等. 地质数据的大数据特性研究. 中国矿业, 2017, 26(9): 67-71, 84.
- 于军, 苏小四, 朱琳, 等. 苏锡常地区地面沉降地质结构三维可视化模型虚拟现实系统研究. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(2): 393-399.
- 汪宝存, 李芳芳, 潘登, 等. PS-InSAR 技术在郑州市地面沉降调查中的应用. 测绘科学, 2013, 38(5): 43-45.
- 张学东, 葛大庆, 肖斌, 等. 多轨道集成 PS-InSAR 监测高速公路沿线地面沉降研究——以京沪高速公路(北京—河北)为例. 测绘通报, 2014, (10): 67-69, 104.
- Munzner T. Visualization analysis and design. Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics, 2015, 2(4): 387-403.
- Murthy D, Gross A, McGarry M. Visual social media and big data. Interpreting instagram images posted on Twitter. Digital Culture & Society, 2016, 2(2): 113-134.
- 陈佳舟, 陈樟樟, 秦绪佳. 基于照片的社交关系可视化方法. 小型微型计算机系统, 2020, 41(10): 2194-2199. [doi: 10.3969/j.issn.1000-1220.2020.10.028]

- 10 李伟, 周峰, 朱炜, 等. 轨道交通网络客流大数据可视化研究. 中国铁路, 2015, (2): 94–98. [doi: [10.3969/j.issn.1001-683X.2015.02.025](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-683X.2015.02.025)]
- 11 杨卫宁, 邹维宝. 基于 Spark 的出租车轨迹处理与可视化平台. 计算机系统应用, 2020, 29(3): 64–72. [doi: [10.15888/j.cnki.csa.007308](https://doi.org/10.15888/j.cnki.csa.007308)]
- 12 王全民, 韩晓芳. 基于 Netflow 的网络安全大数据可视化分析. 计算机系统应用, 2019, 28(4): 1–8. [doi: [10.15888/j.cnki.csa.006836](https://doi.org/10.15888/j.cnki.csa.006836)]
- 13 Byers C, Woo A. 3D data visualization: The advantages of volume graphics and big data to support geologic interpretation. Interpretation, 2015, 3(3): SX29–SX39. [doi: [10.1190/INT-2014-0257.1](https://doi.org/10.1190/INT-2014-0257.1)]
- 14 Muller RD, Qin XD, Sandwell DT, *et al.* The GPlates portal: Cloud-based interactive 3D visualization of global geophysical and geological data in a Web browser. PLoS One, 2016, 11(3): e0150883. [doi: [10.1371/journal.pone.0150883](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150883)]
- 15 Wang CB, Ma XG, Chen JG, *et al.* Ontology-driven data integration and visualization for exploring regional geologic time and paleontological information. Computers & Geosciences, 2018, 115: 12–19.
- 16 陈为, 朱标, 张宏鑫. BN-Mapping: 基于贝叶斯网络的地理空间数据可视分析. 计算机学报, 2016, 39(7): 1281–1293. [doi: [10.11897/SP.J.1016.2016.01281](https://doi.org/10.11897/SP.J.1016.2016.01281)]
- 17 王利锋, 屈博. 基于 Google Earth GPS 控制点的可视化管理与应用. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(6): 132–134. [doi: [10.3969/j.issn.1672-5867.2011.06.044](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5867.2011.06.044)]
- 18 孙晓鹏, 李亮, 应国伟, 等. 利用 Google Earth 的 PS-InSAR 地表形变监测可视化展示方法. 测绘地理信息, 2018, 43(1): 100–103.
- 19 黄亚锋, 范理信, 李胜乐. 基于 Google Earth 的地质地震信息展示. 测绘信息与工程, 2011, 36(2): 49–51, 54.
- 20 高云成. 基于 Cesium 的 WebGIS 三维客户端实现技术研究 [硕士学位论文]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- 21 熊文兵, 胡宗煜, 丁美花, 等. 基于 GeoServer OpenScales 和 Flex 的气象数据 WebGIS 应用. 地理空间信息, 2020, 18(3): 36–40. [doi: [10.3969/j.issn.1672-4623.2020.03.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-4623.2020.03.010)]