

海量 InSAR 点云在线可视化与解译平台

郭绍琨¹, 董杰¹, 张路², 廖明生²

1. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079;

2. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079

摘要: 干涉合成孔径雷达 (InSAR) 技术可获取大范围地表形变信息, 在地质灾害监测与防治中发挥着巨大的作用。然而, 现有数字地球产品难以支撑海量 InSAR 点云及形变序列的流畅显示、快速查询与综合解译, 不利于 InSAR 技术的应用与推广。本文在分析海量 InSAR 点云三维显示难点的基础上, 提出 InSAR 点云数据预处理、存储、浏览和查询等问题的工程解决方案, 基于 Cesium 数字地球开发一套海量 InSAR 点云在线可视化与解译平台 (简称 WIMAP), 并在两个典型的应用场景下测试平台性能。结果表明, WIMAP 平台能够实现上亿 InSAR 点云及形变序列的流畅三维展示、单点时序查询、形变速率剖面查询、多期形变剖面查询等功能。平台实现了 InSAR 形变数据的便捷分发, 允许用户在线查看海量形变点云, 并结合三维地形和光学影像解译 InSAR 形变, 为科研人员和工程技术人员提供实用的 InSAR 形变结果展示与解译工具。

关键词: InSAR, 点云处理, 数据可视化, WebGL, 形变数据

中图分类号: P2

引用格式: 郭绍琨, 董杰, 张路, 廖明生. 2023. 海量 InSAR 点云在线可视化与解译平台. 遥感学报, 27(7): 1744–1753

Guo S K, Dong J, Zhang L and Liao M S. 2023. Web-based visualization and interpretation platform for massive InSAR point clouds. National Remote Sensing Bulletin, 27(7): 1744–1753 [DOI: 10.11834/jrs.20232131]

1 引言

近三十年来, 随着星载 SAR 卫星的快速发展, 全球范围内积累了大量的 SAR 数据, 同时, InSAR 数据处理技术的日益成熟, 为大范围、高分辨率、高精度、多时相的形变信息获取提供了数据资源和技术方法保障。然而, 时序 InSAR 处理结果包含海量的相干点 (以下称之为点云) 及其多期形变序列, 数据量巨大, 在结果分发共享和浏览分析等方面存在一些困难。随着 Web 技术的迅速发展, 市场上出现了基于网页浏览器的地理数据分发服务, 包括 ArcGIS Server, Google Earth Engine (Gorelick 等, 2017; Mutanga 和 Kumar, 2019; Han 等, 2010) 等。通过渐进式的数据加载模式, 用户可以在线使用存储于服务器端的海量数据, 不必在本地存储完整的数据拷贝; 得益于 Web 应用具有的跨平台特性, 用户可以使用各类设备查看

数据, 更加方便与快捷。综上所述, 开发一款基于 Web 技术的海量 InSAR 点云在线可视化与解译平台不仅具有迫切的现实需求, 而且是切实可行的。

近年来, 国际上出现了一些基于 Web 技术的 InSAR 点云可视化系统。其中, 美国迈阿密大学开发了 InSAR Viewer 系统 (insarmaps.miami.edu [2023-05-06]), 可以实现多个 InSAR 数据集的检索和显示, 并提供形变点数据导出和对比功能; 中南大学搭建的 InSAR 全国一张图展示平台, 实现了栅格图片形式的形变在线浏览、分析解译和矢量图层标注导出的功能。此外, 还出现了以 TREMaps (site.tre-altamira.com/insar-solutions/tremaps, [2023-05-06]) 为代表的商业 InSAR 点云展示系统, 允许用户在三维虚拟地球上浏览地表形变信息, 并查看点云上的形变过程线。

然而, 已有的 InSAR 点云可视化系统在功能

收稿日期: 2022-04-06; 预印本: 2022-12-23

基金项目: 国家自然科学基金青年项目 (编号: 41904001); 国家重点研发计划课题 (编号: 2019YFC1509201); 四川省软科学研究计划项目 (编号: 2021JDR0394)

第一作者简介: 郭绍琨, 研究方向为 InSAR 软件开发。E-mail: guoshaokun@whu.edu.cn

通信作者简介: 董杰, 研究方向为时间序列 InSAR 算法及其在地表形变监测中的应用。E-mail: dongjie@whu.edu.cn

上或多或少有所欠缺, 限制了对 InSAR 形变结果的直观表达与分析。

在浏览解译功能方面, 部分系统采用二维地图来承载点云, 不能很好地展示地形特征, 不利于形变信号的解译分析; 部分系统没有提供点云数据辅助分析工具, 例如多期形变剖面、缓冲区形变曲线计算等; 多数系统采用了栅格图片显示方式, 不能动态调整色度条数值范围, 且无法查看点云形变过程线。

在数据存储传输性能方面, 现有系统采用了不同的策略。InSARMap 使用 PBF (Protocolbuffer Binary Format) 格式传输代表形变点的矢量特征; 其余平台则在生成彩色形变地图后, 建立多层影像金字塔, 在服务器端存储多级影像瓦片。这些方法的存储效率较低, 浏览时需要较高的数据传输带宽, 增大了服务器成本。

为了解决现有 InSAR 点云可视化系统中存在的上述问题, 采用的技术细节如下: 第一, 为建立点云的八叉树层次细节模型, 采用 Schuetz 提出的一种海量点云内存外快速分划算法 (Schütz, 2016; Schütz 等, 2020), 它能够在内存有限的情况下快速获得分布均匀的多层次点云; 第二, 利用点云的层次细节模型, 基于 WebGL (Parisi, 2012) 技术的 Cesium 可视化框架, 实现海量点云的在线流畅三维浏览, 提供多种地表形变分析工具, 并使点云可以动态着色; 第三, 借鉴经典的一维数据压缩算法 (Jain, 1981; Salomon, 2004; Sayood, 2006), 将原始点云数据压缩存储于 HDF5 二进制文件中, 极大地减小点云在服务器端的存储容量和浏览时的传输带宽。

综上, 本文开发一套海量 InSAR 点云在线可视化与解译平台 (简称 WIMAP), 实现 InSAR 形变数据预处理、点云三维显示、在线浏览解译、形变信息查询和导出、矢量文件图层叠加、矢量标注和导出、数据共享分发等功能。WIMAP 平台可实现 InSAR 数据处理结果的便捷分发, 允许用户通过网页浏览器流畅查看和解译海量形变点云。

2 框架设计

WIMAP 平台主要包括数据导入、用户管理和在线浏览解译 3 个模块。如图 1 所示, 数据导入模块对时序 InSAR 形变数据进行八叉树划分和数据压缩, 形成分层时序点云, 便于在线浏览、存储、

实时查询; 在用户管理模块中, 平台管理员可将分层时序点云或 Shapefile 文件上传至服务器端, 并设定不同用户账户的数据使用权限, 实现数据的分发共享; 用户在网页端进行在线可视化浏览和解译, 平台提供了点云数据的在线浏览和查询、多源数据的对比分析、矢量数据的标注导出等功能。

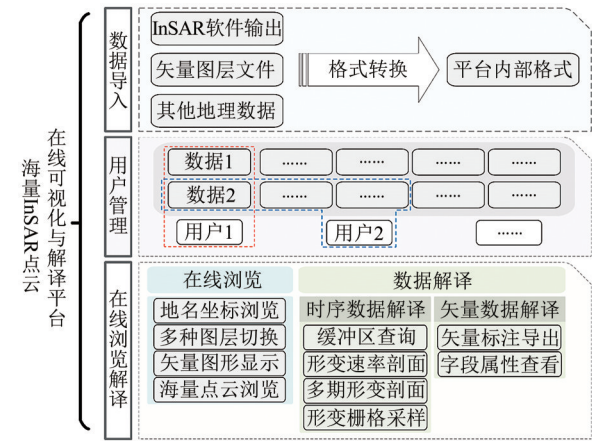


图 1 平台总体框架及功能模块

Fig. 1 An overview of the framework and function modules

由于原始 InSAR 数据占用较大的存储空间, 需要根据点云及形变序列数据的性质和精度要求进行数据压缩, 以降低服务器的存储空间和传输带宽需求。平台在数据导入模块中以 HDF5 文件格式 (De Carlo 等, 2014; Folk 等, 2011) 为基础, 设计了一套适用于海量 InSAR 点云数据压缩、查询和在线传输的文件格式, 并借助开源项目 PotreeConverter (Schütz 等, 2020) 和 h5py (Collette, 2021) 等实现点云分划和数据格式转换。

在线浏览解译模块中, 基于 Vue 搭建网页应用的前端框架, 使用 Node.js 实现了用户信息检验功能, 而后基于 Cesium 数字地球服务框架提供的应用程序接口, 实现点云显示和矢量图形绘制等功能。平台还提供切换影像底图和高程数据源的功能, 用户可以使用国产天地图作为数据源。

浏览点云时, 需要利用八叉树细节层次模型上附带的空间范围信息, 通过控制点云各部分的显示与隐藏优化显示效果, 设计一种基于重叠范围计算和广度优先搜索的点云加载算法, 实现点云的分块加载, 提高显示流畅度。进行形变信息查询时, 充分利用细节层次模型提供的形变点索引信息, 可以极大地缩小查询涉及的空间范围, 提高查询效率。

3 工程实现

3.1 数据导入

时序 InSAR 点云数据容量巨大, 每个形变点都包括经度、纬度、高程、形变速率和多期形变序列等信息。以覆盖北京市的 100 景哨兵一号卫星数据为例, 经处理后每平方公里范围内可能有数千个 InSAR 形变点, 若以单精度浮点格式存储 InSAR 点云及时序形变信息, 整个北京市的形变数据至少占用 7 GB 的存储空间。在线浏览如此大量的点云数据及形变结果是不切实际的, 需要对 InSAR 形变数据进行预处理, 组织成特定格式, 通过逐渐加载来实现快速浏览。

平台的数据导入模块将 InSAR 点云及形变数据经点云分割和数据压缩后, 转换为平台内部采用的点云格式, 它能以较小的存储空间容纳海量 InSAR 点云及形变数据。

3.1.1 基于 PotreeConverter 的 InSAR 点云分割

受限于硬件性能和网络带宽, 未经处理的海量 InSAR 点云无法在 Web 应用中一次性全部渲染显示。对于不具备空间拓扑结构、不包括方向信息的简单点云, 可以按照一定规则划分为大量以八叉树形式组织的点集。这些点集中的父子节点在空间上呈包含关系, 子节点对应的点集密度大于父节点, 面积小于父节点。在此后浏览时, 以一定的策略加载部分点集, 可实现在较小网络带宽、较低硬件设备需求下的流畅浏览。

PotreeConverter (github.com/potree/PotreeDesktop [2023-05-06]) 是用于点云预处理的数据转换程序, 它采用泊松圆盘算法对原始密集点云进行逐级采样生成多个点集, 确保每个点集内的点间距大于某一事先设定的阈值; 随着点云的八叉树划分和层数的增加, 这一阈值逐渐缩小, 得到的点云也逐层加密。此外, 它提供了上述算法的并行内存外版本, 具备极高的处理速率和较低的内存使用需求。使用 PotreeConverter 对 InSAR 点云数据进行处理后, 每个 InSAR 点都归入了一个子点集, 这些子点集可被分块加载。

3.1.2 InSAR 点云数据压缩

HDF5 是一种二进制文件格式标准, 可用于灵活地打包存储多种数据, 并支持高效便捷的数据

压缩。它具有 JavaScript、Python 等编程语言的操作接口, 可用于在 Web 环境下实现灵活高效的数据传输。

在数据格式转换时, 对于八叉树结构中的每个子点集, 它所包含的形变点携带的信息将分入两部分存储: 一是点的经度、纬度、高程和形变速率, 用于显示点云并给每个形变点赋予颜色; 二是点的多期形变序列, 供用户查询、处理和分析。

对于时间序列曲线, 预处理程序首先对归一化后的数据进行差分编码, 然后根据用户设置的采样误差阈值选择合适的量化等级进行有损的数据量化, 最后利用 HDF5 提供的压缩功能进一步压缩数据并打包。对于形变速率、经纬度等数据, 除不进行差分编码外, 其他处理流程不变。

3.1.3 平台内部点云数据存储模式

对于每个点云数据集, 服务器端存有三部分信息: 一个线性表, 记录了点云中各子点集的范围和点集之间的层次信息, 它将在客户端恢复为八叉树, 用于控制点集的加载和显示过程; 每个点集中所有点的经纬度、高程和形变速率数据, 用于在客户端显示点云; 所有点的时间序列信息, 供查询和分析。

经处理和压缩后, 点云数据已被组织成适合于分块传输的结构, 且已建立了 InSAR 点的八叉树索引, 它可用于点云的分块加载和显示, 并能够减小查询时的计算量; 同时, 在可接受的误差范围内, 压缩数据大小仅为原始数据的一半左右。

3.2 用户管理

在数据的分发使用中, 常出现多个用户访问同一点云数据的情况。为了减小服务器的空间需求, 本平台附带有基本的用户账户管理功能。系统能够容纳多个用户账户, 每个用户账户对服务器上存储的部分或全部数据具有访问权限; 一份数据也可被多个用户账户共享。此外, 平台附带管理用户信息的工具, 用于添加、修改和删除用户账户, 控制用户对数据的所有权。

3.3 在线浏览解译

InSAR 点云中包含的形变点数量极多, 在点云浏览和数据查询的过程需要采取针对性的优化策略来降低计算开销和网络带宽需求。以包含一千

万个点的 InSAR 点云为例, 将其转换至平台数据存储格式后, 与点云渲染有关的经纬度位置和形变速率信息大小约为 57 兆字节。将系统部署于带宽为 5 兆比特每秒的服务器后, 传输这些数据需要约 100 秒, 因此必须采取合适的分块加载策略, 减少等待时间, 提升用户的浏览体验。顾及到硬件条件的限制, 还应当限制渲染的点数, 保证点云浏览流畅。

同理, 在按照地理位置和空间关系查询提取某些形变点的信息时, 也需要借助八叉树索引, 缩小查询范围以减少等待时间。

以下先简要展示平台的界面和功能, 然后详细介绍浏览和查询功能的实现细节。

3.3.1 平台界面

图 2 展示了平台的用户界面, 主要包括数据列表、状态栏、数据分析工具、辅助工具和色度条设置等组成部分。数据列表中罗列了各类数据; 状态栏显示当前浏览区域的地理位置或某一形变点的具体信息; 数据分析工具提供单点查询、剖面查询、多期剖面查询和数据导出等功能; 辅助工具可用于标注矢量图形、查询行政区划和切换底图图层; 色度条设置可用于动态改变形变速率和形变点颜色的对应关系。



图 2 WIMAP 平台用户界面及主要功能选项

Fig. 2 Graphical interface and function options of the WIMAP platform

用户使用右上角的工具登录平台后, 需先激活左侧数据列表里的某一数据, 使它显示在地图上; 然后点击这一数据, 将显示窗口聚焦于该数据的覆盖区域, 此后用户可选择分析工具以进行数据解译。平台目前主要支持时间序列点云数据的浏览和解译, 并提供 shapefile 矢量数据的分析

工具。

3.3.2 点云分块加载策略

灵敏、流畅地显示海量点云是平台的核心功能之一。为了更灵活地控制点云显示的效果, 本平台设计一种点云分块加载算法, 它执行速率高, 且能保持良好的显示效果。

在浏览器提供的 JS (JavaScript) 语言环境中, 一个形变点云对应着一个 JS 对象。它有两个组成部分: 数据加载器, 它存储着各个子点集在服务器端的文件路径, 负责向服务器发送请求, 解析返回的 HDF5 格式二进制文件, 存储点云数据; 由点集对象组成的八叉树结构同数据预处理中获得的八叉树一致, 负责将原始数据转化为 Cesium 框架中的显示实体, 并根据用户设定改变点的外观。此外, 两个定时执行的函数控制着子点集的显示和隐藏。

当一个点云被激活时, 浏览器借助从服务器端得到的基本信息初始化上述对象, 然后分别启动控制子点集显示和隐藏的两个定时函数。

每次执行时, 控制子点集显示的函数需要搜索所有子点集, 根据每个子点集覆盖的范围和当前可见区域的经纬度范围的重叠度来决定是否显示此子点集, 当重叠度大于一个事先设定的阈值时加载并显示这一子点集。

上述算法并未考虑选中的子点集密度, 可能导致显示区域内的各部分点云密度疏密不一, 并在疏密点云交界处产生明显的密度变化。这种现象影响了浏览时的视觉效果, 不利于对不同区域的形变情况的比较分析。

由于点云分层时, 泊松采样间距逐层减小, 同层的点集都以相同的间距采样, 具有相同的密度, 因此平台对八叉树进行两次搜索, 根据各点集在八叉树中所处层数确定被加载的点集, 从而保证点云在可视范围内疏密一致, 具体步骤如下:

基于重叠度进行第一次搜索后, 记录所有选中的点集在八叉树中的层数, 计算它们的平均值, 舍入为整数并记录此值, 记为 l 。在第二次搜索中, 凡是所处的层数不超过 l 且经纬度范围和屏幕显示范围有重叠的点集均被加载。

由于在子点集组成的八叉树结构中, 子节点的经纬度范围一定小于父节点的经纬度范围, 故当判断某一父节点不需要被加载时, 它的所有后

继节点都不需要被加载。因此可利用已有子点集组成的八叉树结构,使用广度优先算法来极大地提高搜索效率。在一片有四千多个子点集组成的点云上,进行两次搜索,得到待加载点云的整个过程耗时仅1—5 ms。

3.3.3 点集清理

受到本地计算机的硬件配置限制,浏览时需要控制渲染点数,防止因硬件负荷过大而造成卡顿。当点云对象初始化后,隐藏子点集的定时函数被启动,将点集加载过程中当前应该显示的点集,与正在显示的点集比较,隐藏不应显示的点集。

在浏览过程中,一个点集仅在第一次加载时从服务器端请求数据并初始化为Cesium显示实体,此过程中会产生较大的计算开销。除此之外,切换点集可见性和改变点颜色的计算开销较小,可忽略不计。

3.3.4 平台操作与信息查询

进行InSAR形变信息查询时,为了减小带宽占用,加快查询速度,应当充分使用八叉树中的范围信息和包含关系。

进行带有缓冲区的单点查询时,首先根据输入位置的坐标生成一个容纳缓冲区的包围盒,遍历八叉树得到所有和它有重叠的点集。然后遍历这些点集,寻找有关的形变点,最后将这些形变点的索引合并为一个查询请求对象发送给服务器,服务器返回查询结果。

剖面的多期形变量和单点的缓冲区查询原理类似,首先在用户绘制的剖面折线上插值,得到间隔一定距离的多个点,然后在每个点上进行带有缓冲区的单点查询。平台针对这些单点查询的缓冲区域互相重叠的情况进行了专门优化,杜绝了冗余的信息传输。此外,平台还支持对形变速率的剖面查询。

以上查询过程中将计算密集的任务放在了服务器端,以降低网络传输负担。

3.3.5 其他功能

如图3所示,平台根据色度条和形变值范围对点云进行着色,根据形变量的绝对值大小设定点的显示样式,突出地表抬升或下沉区域。平台允许用户重新设置色度条对应的形变值范围,由于

点云着色采取了懒求值(lazy evaluation)策略,重新着色只涉及点云中的可见部分,耗时极短。

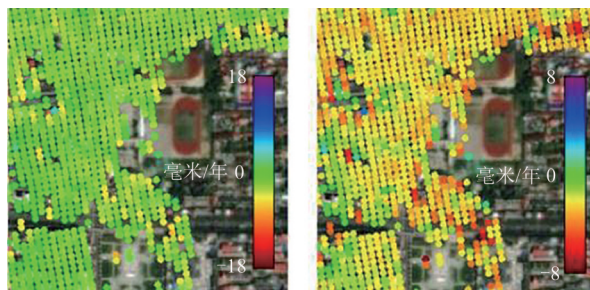


图3 设置色度条范围和重新着色

Fig. 3 Recolor points according to the color map

此外,平台还支持一些附加功能,例如:根据经纬度或地名在地图上跳转;标注点、线、面矢量图形并导出为kml等格式供其他软件查看;导入并显示shapefile格式的矢量图层,浏览各个矢量图形的属性字段;导出一定区域内的形变点数据等。

4 案例测试

4.1 应用案例

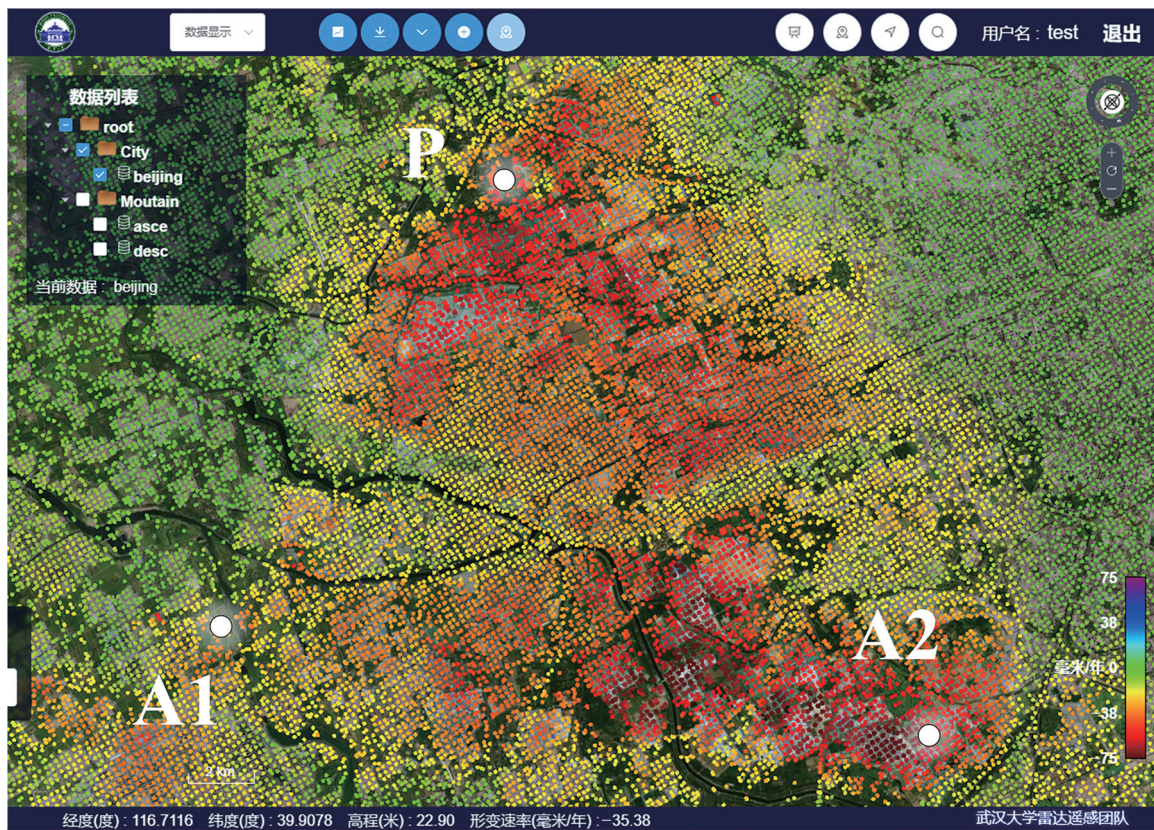
为了测试WIMAP平台的性能,分别展示在平原区和山区两种不同场景下,平台对InSAR形变结果的可视化与解译效果(测试网址: <http://124.221.17.241/>, 用户名:wimaptest, 密码:wimap)。

4.1.1 平原区

利用时序InSAR技术处理了北京市2015年8月—2021年11月共166景哨兵一号数据,获取大范围地面沉降,图4展示了北京市InSAR点云在本平台中的浏览效果,可以清晰地显示地面沉降的空间分布和强度。

4.1.2 山区

2018年10月10日,金沙江白格村附近发生山体滑坡,堵塞河流损失严重,白格滑坡区域海拔较高且起伏较大。利用时序InSAR方法处理了灾后2018年12月—2021年12月84景哨兵一号数据,将得到的InSAR时间序列结果经预处理程序导入WIMAP平台,显示效果如图5所示,叠加了光学影像的三维显示形变点,有助于综合解译滑坡形变。



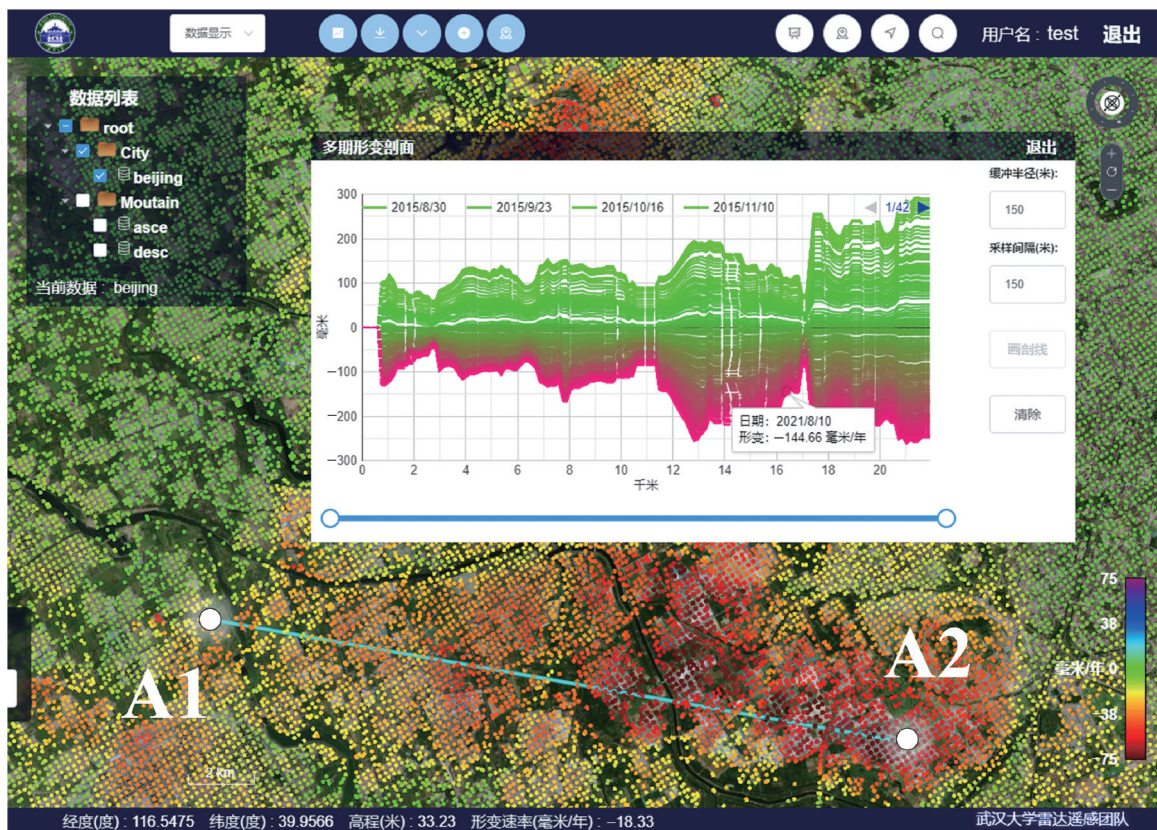
(a) 形变速率图

(a) Deformation rate map



(b) P点形变过程曲线, 其点位置如图(a)所示

(b) Displacement time series at point P, whose location is indicated in subplot (a)



(c) A1-A2剖面线的多期形变,其位置如图(a)所示

(c) Multi-temporal deformation along profile line A1-A2, whose location is indicated in subplot (a)

图4 北京市地面沉降

Fig. 4 The land subsidence in Beijing

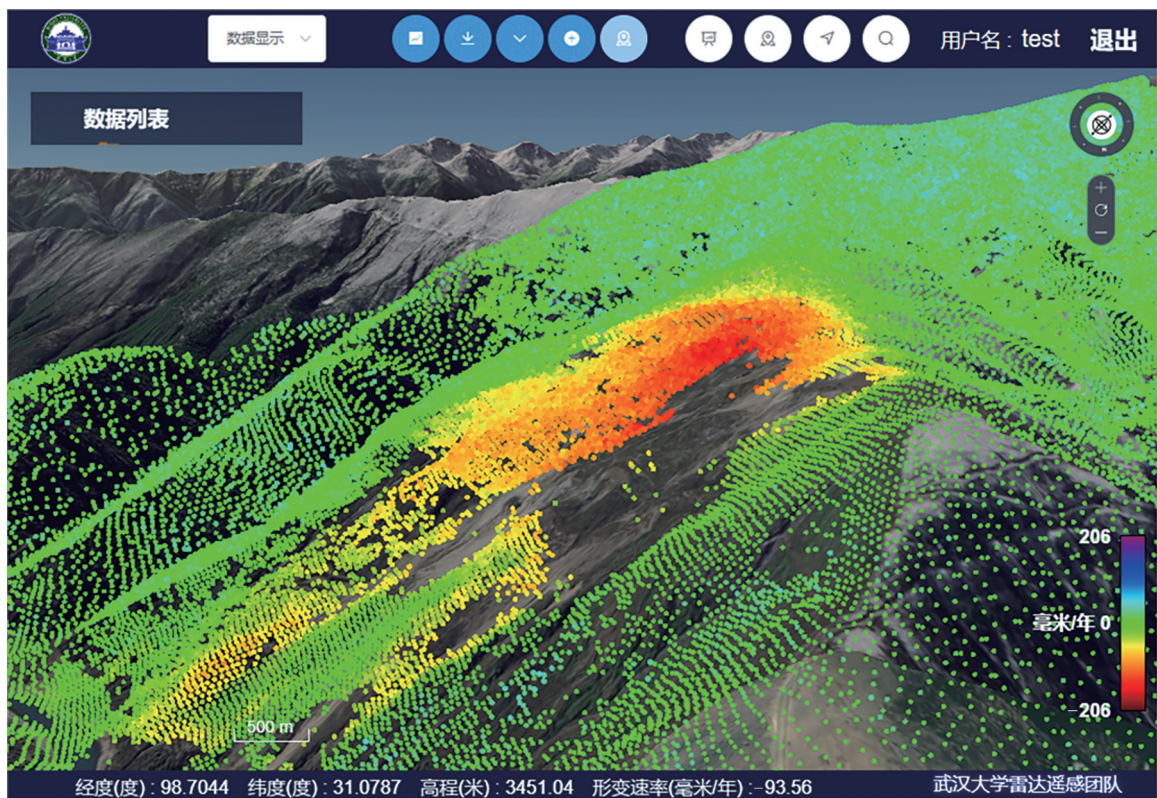


图5 白格滑坡

Fig. 5 The Baige Landslide

4.2 数据压缩比率

原始 InSAR 点云及形变数据经预处理后, 占用的存储空间大大减少。表 1 列举了 InSAR 点云数据导入前后的存储空间占用情况, 选取不同规模 and 不同期数的 3 个典型点云数据进行实验, 预处理后的数据大小约为原始数据的一半。由于数据压缩过程中进行了有损量化, 系统中存储的数据与原始数据相比存在微小的差异, 用户可以设置容许的最大误差, 以上处理过程中选择的量化误差限制为坐标位置 0.5 m, 高程 0.1 m, 符合一般情景下的精度要求。

表 1 InSAR 点云数据压缩比率

Table 1 Compression rate of certain InSAR point cloud datasets

点数/万	期数	原始大小/Mbit	导入后大小/Mbit	压缩比/%
1056	9	602	285	47.23
1363	20	1327	676	50.94
10905	20	10610	4823	45.46

4.3 实时帧率

为了验证系统在海量点云数据集中的流畅度, 对其性能表现进行测试, 记录测试过程中的实时帧率及可见点数。测试所用硬件平台为 AMD R5 3600 + GTX 750Ti, 系统平台为 Win10, 浏览器版本为 Chrome 92。

对一亿形变点数据集的测试结果如图 6 所示, 帧率下降主要发生于点集加载时, 此时实时显示点数上升, 帧率骤降; 待点的数量稳定后, 帧率回升。点的数量较大时, 帧率也能保持较高水平, 如图中时间戳为 100 处, 此时实时显示点数约 25 万, 帧率为 50 左右。这说明当前硬件平台仍可同时显示更多的形变点, 浏览流畅度主要为加载点集时的数据解压, 格式转换等 CPU 计算密集的任务所影响。

4.4 查询时间

以多期形变量剖面查询为例, 分析查询效率。以在北京市的哨兵一号数据处理结果上的一次查询为例, 以 1000 m 缓冲区半径在 133 km 长的折线上进行剖面查询。首先, 通过分析八叉树中的点集和待查剖面折线的空间关系, 加载可能与折线有重叠的 47 个子点集; 此后, 对于折线上插值得到的坐标点, 分别找出计算此区域平均形变曲线

所需形变点的索引, 并生成向服务器发送的查询数据包; 最后, 待服务器返回查询结果后, 处理返回的数据包并绘图。发至服务器的查询数据包大小为 156 千字节, 由服务器返回的数据包大小为 617 千字节, 其中包括 9467 个点的时序数据。

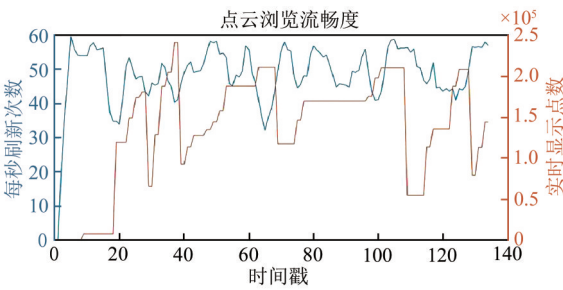


图 6 亿级点云下的浏览性能

Fig. 6 Performance when exploring hundreds of millions of points

以上各步骤在前述实验平台中的耗时分别如表 2 所示, 由于充分利用了点云的八叉树索引, 在“生成查询对象”过程中耗时较短, 时间主要消耗在与服务器之间进行数据传输上, 即表中的“加载目标点集”和“等待结果返回”两项, 其耗时受限于服务器配置, 总体上查询效率较高。

表 2 平台查询时间

Table 2 Time consumption of different stages within an enquiry

属性	值/ms
计算所需点集	1
加载目标点集	179
生成查询对象	45
等待结果返回	7779
后处理并绘图	1

5 结 论

本文基于 Web 平台下 Cesium 框架开发了一套用于显示海量 InSAR 点云及形变数据的 WIMAP 软件平台, 主要工作包括: 利用 PotreeConverter 等工具建立点云八叉树结构的层次细节模型; 利用 HDF5 的灵活性和性能优势, 设计了一种用于时间序列点云在线浏览的数据压缩和存储方式; 在 Web 端部署了管理点云加载和显示的相关算法; 加入了若干注记功能用于辅助解译; 并将以上模块嵌入一套具有可维护性、可拓展性并支持数据分发的系统。

WIMAP平台可以便捷地实现时序InSAR形变数据的分发与共享,允许用户在多种类型Web端中流畅查看和解译海量InSAR形变点云,可以为科研人员和工程技术人员提供实用的InSAR形变结果展示与解译工具,促进InSAR技术的应用与推广。

本平台在以下几个方面可以进一步改进。通过使用postgresql、redis等数据库可以进一步优化服务器端的查询效率;使用C++取代Python开展密集数据预处理可在更低层次上控制多线程程序的行为以显著提高处理效率;在服务器端建立缓存机制,可以进一步减少硬盘读写和数据解压引起的计算开销等。

参考文献(References)

Collette A. 2021. Python and HDF5: unlocking scientific data. O'Reilly Media, Inc

De Carlo F, Gürsoy D, Marone F, Rivers M, Parkinson D Y, Khan F, Schwarz N, Vine D J, Vogt S, Gleber S C, Narayanan S, Newville M, Lanzirotti T, Sun Y, Hong Y P and Jacobsen C. 2014. Scientific data exchange: a schema for HDF5-based storage of raw and analyzed data. *Journal of Synchrotron Radiation*, 21(6): 1224-1230 [DOI: 10.1107/S160057751401604X]

Folk M, Heber G, Koziol Q, Pourmal E and Robinson D. 2011. An overview of the HDF5 technology suite and its applications//Proceedings of the EDBT/ICDT 2011 Workshop on Array Databases. Uppsala: ACM: 36-47 [DOI: 10.1145/1966895.1966900]

Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D and Moore R. 2017. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202: 18-27 [DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031]

Han L, Wang N H, Wang C and Chi Y J. 2010. The research on the WebGIS application based on the J2EE framework and ArcGIS server//2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. Changsha: IEEE: 942-945 [DOI: 10.1109/ICICTA.2010.689]

Jain A K. 1981. Image data compression: a review. *Proceedings of the IEEE*, 69(3): 349-389 [DOI: 10.1109/PROC.1981.11971]

Mutanga O and Kumar L. 2019. Google earth engine applications. *Remote Sensing*, 11(5): 591 [DOI: 10.3390/rs11050591]

Parisi T. 2012. WebGL: Up and Running. Sebastopo: O'Reilly Media, Inc

Salomon D. 2004. Data Compression: The Complete Reference. 3rd ed. Heidelberg: Springer

Sayood K. 2006. Introduction to Data Compression. 3rd ed. Burlington: Morgan Kaufmann

Schütz M. 2016. Potree: Rendering Large Point Clouds in Web Browsers. Wieden: Technische Universität Wien

Schütz M, Ohrhallinger S and Wimmer M. 2020. Fast out-of-core octree generation for massive point clouds. *Computer Graphics Forum*, 39(7): 155-167 [DOI: 10.1111/cgf.14134]

Web-based visualization and interpretation platform for massive InSAR point clouds

GUO Shaokun¹, DONG Jie¹, ZHANG Lu², LIAO Mingsheng²

1.School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2.State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR) is a powerful tool for monitoring ground deformation over large areas, with applications in geological disaster monitoring, inversion of groundwater status, building health analysis, earthquake parameter extraction, post-disaster relief, and more. However, existing digital earth platforms, such as Google Earth and ArcGIS, face challenges in supporting the exploration and querying of vast InSAR datasets, including slow processing speeds, unsupported data formats, and difficulties with secondary development. This study examines the challenges associated with online visualization of time-series point clouds and proposes principles for pre-processing, storage, exploration, and querying of such datasets. Challenges include slow graphics rendering on webpages, limited network bandwidth that hinders real-time updates during exploration, and large data sizes that can pose storage challenges. To overcome these challenges, we suggest separating position and color information from temporal information, partitioning data using an octree structure, and using various compression techniques. Based on these principles, we utilize Cesium.js, a JavaScript library that enables developers to create 3D globes and maps in a web browser with high performance and precision to develop a platform for the visualization and interpretation of InSAR point clouds, which we call WIMAP. This allows us to easily create interactive visualizations of geospatial data. To test the platform, we processed two SAR datasets covering a plain and a mountainous area, respectively, and obtained corresponding

time-series point clouds. We tested the performance of the platform using these point clouds and demonstrated its ability to run smoothly under such conditions. Specifically, on a computer equipped with a mid-range graphics card, it was able to maintain a frame rate of over 30 FPS while browsing time-series point clouds containing tens of millions points. Additionally, compared to the original plain binary format, the size of binary data stored on server could be reduced to approximately one quarter using preprocessing tools provided by the platform. All deformation analysis tools, including single point time-series query, deformation rate along profile line query, and multi-temporal deformation along profile line query, work properly. Spatial profile analysis, which included spatial interpolation with a buffering radius of 200 meters, was performed on time-series point cloud datasets with over 100 epochs and took less than 20 seconds to complete. This performance is comparable to that of locally conducted queries based on Kd-tree on available computers. The WIMAP platform allows users to explore InSAR point clouds in their browser and facilitates the distribution of InSAR results. Individual organizations and research institutions can upload their processed InSAR results to the platform's server, providing geoscientific information for users in various industries. With the visualization and interpretation tools bundled, users can analyze InSAR multi-temporal observations, combined with three-dimensional terrains and optical images, to gain insights into various geological phenomena. This may accelerate the research progress in several areas, such as landslide studies, earthquake monitoring, volcanic deformation analysis, and coastal erosion monitoring.

Key words: InSAR, point cloud processing, data visualization, WebGL, deformation data

Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41904001); National Key Research and Development Program of China (No. 2019YFC1509201)