

# 基于 WebGIS 的 InSAR 时序形变参数可视化分析平台设计与实现

刘智远<sup>1</sup> 周红宇<sup>1</sup> 魏志奇<sup>1</sup> 王俊武<sup>2</sup>

1 兰州石化职业技术大学

2 西安长立油气工程技术服务有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2385

**[摘要]** 针对时序InSAR成果点数大、参数维度多、在线解译效率低的问题,本文以祁连山门源地区2017年5月—2021年12月Sentinel-1SBAS时序成果为例,采用MSBAS方法融合升降轨数据反演100m格网垂直累计位移,设计了面向测绘业务的WebGIS可视化解译平台。平台基于WebGL渲染与列式二进制数据组织,结合Flatbush空间索引,实现约190万点的快速加载与交互;通过“地图—并行坐标—详情面板”多视图联动,支持自动分类结果(T1-T6)筛选、时序查询对比与演化回放。测试表明,平台在190万点规模下可保持60fps渲染,交互延迟低于200ms,能够有效支撑海量时序InSAR成果的发布与解译。

**[关键词]** InSAR时序; WebGIS; 可视化解译; 多视图联动; 门源地区

**中图分类号:** G255.4 **文献标识码:** A

## Design and Implementation of a WebGIS-Based Platform for Visualization and Analysis of InSAR Time-Series Deformation Parameters

Zhiyuan Liu<sup>1</sup> Hongyu Zhou<sup>1</sup> Zhiqi Wei<sup>1</sup> Junwu Wang<sup>2</sup>

1 Lanzhou Petrochemical Vocational and Technical University

2 Xi'an Changli Oil and Gas Engineering Technology Service Co., Ltd

**[Abstract]** Online interpretation of time-series InSAR products is often hindered by large point volumes and high-dimensional parameters. Using Sentinel-1 SBAS results for the Menyuan area in the Qilian Mountains (May 2017–December 2021), we fuse ascending and descending tracks with MSBAS to estimate cumulative vertical displacement on a 100 m grid, and develop a WebGIS platform for surveying and mapping applications. WebGL rendering, a columnar binary data organization, and a Flatbush spatial index enable fast loading and interaction for ~1.9 million points. A linked multi-view workflow (map-parallel coordinates-detail panel) supports filtering of automatically derived classes (T1–T6), time-series querying and comparison, and deformation-evolution playback. Experiments show stable 60 fps rendering at the 1.9 million-point scale and interaction latency below 200 ms, supporting efficient publication and interpretation of large-scale time-series InSAR products.

**[Key words]** Time-series InSAR; WebGIS; Visual interpretation; Multi-view coordinated interaction; Menyuan area

### 引言

地表形变监测是地质灾害识别、城市沉降监管与重大工程安全运维的重要基础。PS、SBAS等时序InSAR方法能够获取毫米级形变序列<sup>[1-3]</sup>,但成果通常表现为“百万级监测点+长时序曲线+多维度参数字段”,而这种成果也导致了在线发布、快速检索与证据核查等方面效率不足。现有Web端系统往往难以同时兼顾

海量渲染性能、低延迟交互与面向解译的操作闭环<sup>[4]</sup>。为此,本文面向测绘遥感业务流程,提出并实现一套WebGIS时序形变参数可视化分析平台-InSAR-VizPlatform,主要工作包括:①以WebGL/GPU渲染与二进制列式组织支撑百万级点位高效显示;②以“地图—并行坐标—详情面板”协同多视图实现空间—属性—时间联动筛选;③集成分类类型(T1-T6)与质量指标,提供单

点时序证据链核查与对比, 支撑批量解译与重点复核。

近年来已有研究探索基于Web的InSAR成果展示与管理<sup>[5-6]</sup>, 并借助deck.gl等WebGL框架支撑大规模渲染<sup>[7]</sup>; 协同多视图与并行坐标等方法为“空间—属性—时间”联动解译提供了通用范式。然而, 面向时序InSAR的在线解译仍常出现性能瓶颈、解译链条不完整, 以及离线分类/质控与在线核查割裂等问题。本文平台以工程实现方式给出一体化解决方案, 并在门源地区数据上进行了性能与流程验证。

### 1 数据与成果组织

#### 1.1 数据来源与处理

研究区位于祁连山门源地区, 时序覆盖2017年5月至2021年12月。本研究采用Sentinel-1升降轨SAR影像, 首先利用SBAS方法获取视线向(LOS)时序形变, 再通过MSBAS技术融合升降轨反演垂直向形变时序。成果以约100m规则格网组织, 坐标统一转换至WGS-84经纬度; 位移采用累计表达(首历元归零), 单位由m换算为mm。

为支撑在线检索与解译, 平台以index作为关联键组织“空间定位—属性字段—位移时序”三类信息, 并提供CSV(分析用)与二进制数组TypedArray/ArrayBuffer(渲染用)两套格式, 平台性能评测按不同点数规模从全量成果随机抽样生成子集用于可重复对比。

#### 1.2 解译与质量字段

平台字段沿用Full-BIC算法分类结果, 设计涵盖空间定位、形变特征与质量控制三类, 核心字段说明见表1。Full-BIC采用两阶段混合选择算法实现InSAR时序形变模式自动识别。算法构建六类候选模型: T1线性、T2二次、T3年周期、T4双周期、T5振幅调制、T6斜率突变, 第一阶段对所有点计算BIC值筛选Top-2候选; 第二阶段仅对 $\Delta BIC \leq 6$ 的可疑点执行K折交叉验证与置换检验。质量灯依据 $R^2$ 、 $\Delta BIC$ 与p值综合判定: 绿灯( $R^2 > 0.8$ ,  $\Delta BIC > 6$ ,  $p < 0.05$ )表示高置信度, 黄灯( $R^2 > 0.6$ ,  $\Delta BIC > 2$ )需人工复核, 红灯为低置信度。该策略使约70%监测点在第一阶段直接确定最优模型, 兼顾精度与效率。

表1 自动分类成果核心字段说明

字段名	含义	单位/取值	平台用途
index	点位索引	整数	与位移时序/渲染数组关联
Lon_deg, Lat_deg, Model	WGS-84经纬度, 最优模型	°, T1-T6	定位, 模型类型
$V_{t1-t2}$ , $dV_{mm/yr}$ , Break_date	线性速率, 断点时间, 速率跃变	mm/yr, Y/M/D	地图着色, 筛选, 检索
$A_{mm}$ , $\phi_{1deg}$ , $A_{mm}$	年周期幅值与相位	mm, °	周期性解译与筛选
$R^2$ , RMSE_mm	拟合优度, 残差	0-1, mm	质量评价
QC_lamp	质量灯	绿/黄/红	质量过滤与提示

## 2 平台设计与实现效果

### 2.1 平台设计

面向海量时序InSAR成果的在线发布与解译需求, 本文构建WebGIS可视化分析平台, 围绕“快速浏览—条件筛选—单点核查”的业务流程提供协同多视图分析功能。采用前端SPA分层架构: 数据层负责InSAR时序成果、分类结果与质量指标的格式转换与二进制编码; 数据处理层通过Web Worker异步执行加载、解析与Flatbush空间索引构建; 状态管理层基于Zustand将数据集、筛选条件、选择集与视图参数解耦管理; 可视化层采用Deck.gl实现WebGL/GPU海量点渲染, ECharts承担统计图表绘制; 交互层提供地图视图、并行坐标、详情面板与时序分析等多视图联动功能。

针对百万级点位的浏览器性能瓶颈, 平台将位移与解译指标等数值字段按列组织为TypedArray/ArrayBuffer, 实现“按索引访问、低对象开销”的数据通道, 直接供渲染层读取。地图端基于Mapbox GL承载底图容器, Deck.gl负责点图层绑定与拾取交互, 支持按分类类型、趋势速率或质量等级进行专题着色与动态高亮, 保证大规模数据下的连续缩放与快速响应。

### 2.2 多视图联动与条件筛选

平台以“选择集(selected IDs)”作为联动中间量驱动各视图同步更新。地图端点击/框选与并行坐标(PCP)轴向区间刷选均生成ID集合, 触发地图高亮、统计更新与详情面板刷新。PCP基于ECharts的parallel组件实现多维字段展示, 用户可对速率、 $R^2$ 、分类类型等指标进行交叉筛选(图1)。为保证大规模交互效率, 客户端采用Flatbush静态索引加速视窗范围查询与命中检索, 筛选计算在Worker中异步执行以稳定交互时延。

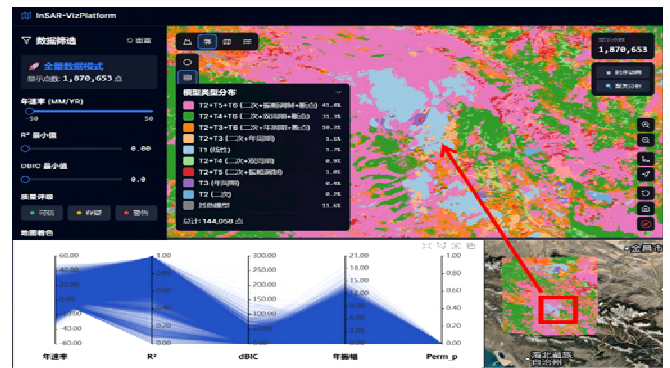


图1 多视图联动分析界面

### 2.3 单点核查与时序分析

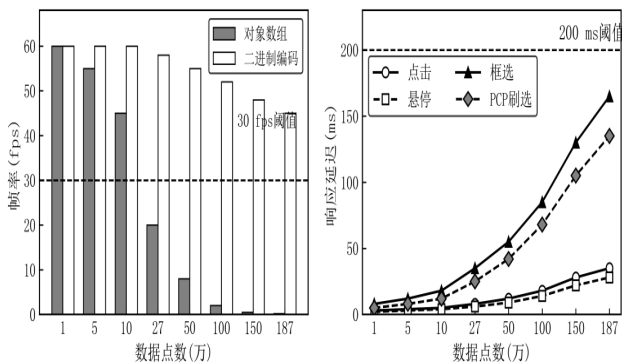
分类结果作为外部成果输入集成展示: 将Full-BIC输出的类型标签(T1-T6)及关键指标统一编码后用于专题渲染与快速检索。单点核查采用“证据链”式呈现: 点选后在详情面板输出定位信息、分类标签、质量指标( $R^2$ /RMSE/dBIC)与累计位移时序曲线, 支持多点对比查看, 以ID为1000监测点为例, 如下图2。时序演化回放功能用于展示累计位移随时间的动态变化过程, 可从时间维度观察形变在空间上的阶段性分布与演化特征, 从而形成“筛选→定位→核查→复核”的闭环解译流程。



图2 单点核查与时序分析界面

### 3 实验与应用验证

选取门源地区SBAS - MSBAS垂直累计位移成果作为测试数据,通过随机抽样构建1至187万点规模子集,评估平台渲染帧率、交互延迟随数据规模的变化规律。图3(a)对比了两种数据组织方式的渲染帧率:二进制编码在187万点下仍维持45fps,对象数组则因频繁GC阻塞降至0.2fps以下。图5(b)展示交互响应延迟,点击与悬停操作最大延迟分别为35ms、28ms;框选与PCP刷选在大规模下增长较快,但最大值165ms、135ms仍低于200ms可用阈值。测试结果表明,平台在近190万点规模下具备流畅渲染与实时交互能力。



(a) 不同对象渲染帧率 (b) 不同对象浏览器资源占用

图3 数据对比测试

### 4 结论与展望

本文面向海量时序InSAR成果在线表达与解译需求,设计实现了WebGIS可视化分析平台-InSAR-VizPlatform,形成“海量渲染—多维筛选—单点核查”的一体化解译流程的工程化解决方案。InSAR-VizPlatform平台通过WebGL/GPU渲染、二进制列式组织与静态空间索引支撑百万级点位快速加载与联动交互,并集成分类与质量信息提升检索与解译效率。后续将进一步完善不确定性表达与质量分级,研究分级加载/多分辨率表达以降低全量加载内存压力,并扩展到水平分量与事件标注等成果的协同展示。

#### [基金项目]

甘肃省高校创新基金项目(2025B-312)。

#### [参考文献]

[1]Samsonov S,D'Oreye N.Multidimensional time-series analysis of ground deformation from multiple InSAR data sets applied to Virunga Volcanic Province[J].Geophysical Journal International,2012,191(3):1095-1108.

[2]Goldstein R M,Werner C L.Radar interferogram filtering for geophysical applications[J].Geophysical Research Letters,1998,25(21):4035-4038.

[3]Farr T G,Rosen P A,Caro E,et al.The Shuttle Radar Topography Mission[J].Reviews of Geophysics,2007,45(2):361.

[4]Brooke J.SUS—a quick and dirty usability scale[M].1996.

[5]Heinrich J,Weiskopf D.State of the Art of Parallel Coordinates[J].Eurographics,2013,34(1):17-25.

[6]郭晓彤,王华,吴希文.基于WebGIS的形变监测成果管理与展示系统[J].Journal of Guangdong University of Technology,2020,37(6).

[7]郭绍琨,董杰,张路,等.海量InSAR点云在线可视化与解译平台[J].遥感学报,[2025-12-24].

#### 作者简介:

刘智远(1999--),男,汉族,甘肃陇南人,硕士,助教,大地测量数据处理。