

## 基于 GAMMA 软件的二轨差分原理及实验数据处理

田 辉<sup>1,2</sup>, 孙岐发<sup>2</sup>, 王福刚<sup>1</sup>, 马诗敏<sup>2</sup>, 陶传忠<sup>2</sup>

1. 吉林大学 环境与资源学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

**摘 要:** 合成孔径雷达干涉测量技术(SAR)经过 10 多年的发展, 现已广泛的应用于地球学科各个领域. 目前主流的 GAMMA 解算软件, 采用二轨差分的方法, 对实验区的 SAR 数据进行配准、滤波、去平地效应、相位解缠、差分等处理, 最后得到垂直形变图, 实现了地表形变的监测. 本次研究 SAR 数据为欧空局的 ERS-2 卫星数据, DEM 分辨率为 30 m, 采用最小费用流法解缠, 得到于雷达视线方向上的形变量, 再通过计算与转换, 生成垂直方向上的形变图. 结果表明, 研究区城市中及其周边发现明显的沉降中心, 在山区地带基本没有沉降.

**关键词:** GAMMA 软件; 二轨差分; 合成孔径雷达干涉测量; 合成孔径雷达

## THE GAMMA-BASED TWO-TRACK DIFFERENTIAL PRINCIPLES AND EXPERIMENTAL DATA PROCESSING

TIAN Hui<sup>1,2</sup>, SUN Qi-fa<sup>2</sup>, WANG Fu-gang<sup>1</sup>, MA Shi-min<sup>2</sup>, TAO Chuan-zhong<sup>2</sup>

1. Institute of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130026, China;

2. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110026, China

**Abstract:** The technique of synthetic aperture radar interferometry (InSAR), with development more than a decade, has been widely used in various fields of earth sciences. GAMMA, one of the most popular application software, adopts two-rail differential approach to process the SAR data in the experimental area with registration, filtering, flat-earth removal phase, unwrapping and differential treatment, and finally get vertical deformation map, achieving surface deformation monitoring. The SAR data of this study is from ESS-2 satellite, with DEM resolution of 30 meters. The minimum cost flow method is adopted to unwrap the deformation in the direction of radar sight line, and then generate the vertical deformation map. The result shows that subsidence is notable in the city and its surroundings in the study area but rare in the mountainous area.

**Key words:** GAMMA; two-rail differential; differential interferometry synthetic aperture radar (D-InSAR); synthetic aperture radar (SAR)

### 0 引言

合成孔径雷达技术 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 是近几年发展起来的新技术. 用 SAR 图像通过

干涉测量技术 InSAR (Interferometry Synthetic Aperture Radar) 和差分干涉测量技术 D-InSAR (Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar) 可以得到地面

收稿日期: 2016-11-07; 修回日期: 2017-02-17. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“东北平原地面沉降调查”(编号 12120113011500)、“长吉经济圈地质环境综合调查”(编号 121201007000150012); 辽宁省国土资源厅项目“下辽河平原地区地面沉降监测工程”(辽地环项任[2013]102 号).

作者简介: 田辉(1984—), 男, 吉林大学水文及水资源专业在读博士, 工程师, 主要从事水文地质、环境地质方面的调查研究工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail/359585977@qq.com

高程信息和地表形变信息. 其测量准确、及时、成本低,同时可测量大区域的地表形变. 现阶段,SAR 广泛应用于在测绘、地质、环境、林业、农业、海洋等领域. 在地球科学领域,主要的应用于地形测量、形变监测、大气研究及地物特征研究. 在形变监测方面,主要包括地面沉降、滑坡、地震、断层、地裂缝、火山、冰川、洋流等的监测<sup>[1-4]</sup>.

## 1 GAMMA 软件简介

GAMMA 软件是由瑞士的 Gamma Remote Sensing 开发研制,专门用于雷达影像处理. 软件利用 SAR 原始数据,可生成高程数字模型,进行地表形变测量,对现有及历史土地利用分类等. 该软件由以下 5 个模块组成.

组件式的 SAR 处理器(MSP):是从机载或星载的原始 SAR 信号中得到单视复数数据和强度影像的一个程序包. 主要模块包括自动聚焦、距离向和方位向压缩、SLC 多视复数据生成.

干涉处理器(ISP):主要为干涉条纹图生成、相干系数和相干图生成等过程. 处理步骤首先从轨道数据中估计基线,进行干涉图配准,然后生成干涉图;再通过对干涉图相干系数估计,来去除平地相位;进而是对干涉图的滤波,最后相位解缠,可生成数字高程.

差分干涉和地理编码(DIFF&GEO):其中差分处理方法包括二轨法、三轨法和四轨法,对于地理编码,支持地图坐标系与距离多普勒坐标系之间的互转.

土地利用工具(LAT):用于历史及现有土地利用方面的监测与分类,支持滤波、镶嵌和数据显示.

干涉点目标分析(IPTA):仅针对点目标的相位分析,避免目标分散所产生的失相关效应. 超过临界基线距离的干涉像对也可以进行分析. 由于包含多组干涉像对能进行时间序列分析,所以提高了分析的精度. IPTA 处理数据时,数据集是以矢量存放,既提高了处理效率,同时也减少了大量临时存储文件.

## 2 二轨差分干涉测量原理

二轨法,也叫两通法,利用重复轨道 SAR 数据和研究区的 DEM 数据. 这种方法用外部的 DEM 数据来消除地形因素的影响,从而得到形变. 具体来说,就是对同一地区不同时间段的 SAR 影像生成干涉图,经过

消除地形影响,从而探测到形变信息. 对于重复轨道干涉测量,假定地物的后散射特性不变,忽略大气因素的影像,则生成的干涉图包括以下信息:地形位移所引起的路程差;地形所引起的路程差;卫星轨道变化引起的传播路程差. 消除后面两项的路程差,余下的第一个干涉条纹信息,就是用来对地面形变的监测<sup>[5-8]</sup>.

二轨差分数据处理流程如图 1 所示. 在 GAMMA 软件中,利用主、从两幅 SAR 影像,经过配准、干涉图生成、滤波、去平地效应、相位解缠等步骤,得到干涉图,再与 DEM 模拟的干涉图进行差分处理,得到差分干涉图,最终得到的地表形变图.

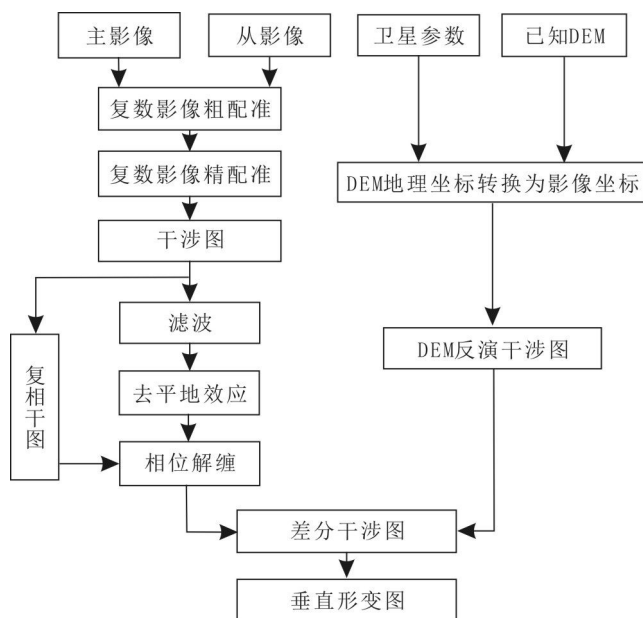


图 1 两轨差分干涉数据处理流程图

Fig. 1 Two-track differential interference data processing flow chart

## 3 实验数据处理流程

本研究利用 GAMMA 软件的 MSP、ISP、DIFF&GEO 模块,采用的数据为欧空局的 ERS-2 卫星影像数据,DEM 分辨率为 30 m. 图 2、3 分别为研究区多视强度图和 DEM 图像.

### 3.1 影像配准

通过平移和旋转,将覆盖同一地区的两幅 SAR 影像对应像元进行精确匹配. 首先要计算主、副影像之间的偏移量,利用轨道信息或者两幅影像之间的互相关性进行初步偏移量估算;然后再利用图像强度的互

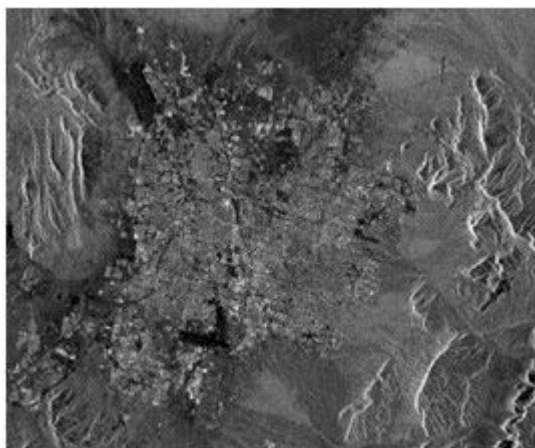


图2 多视强度图

Fig. 2 Multi-visual intensity map

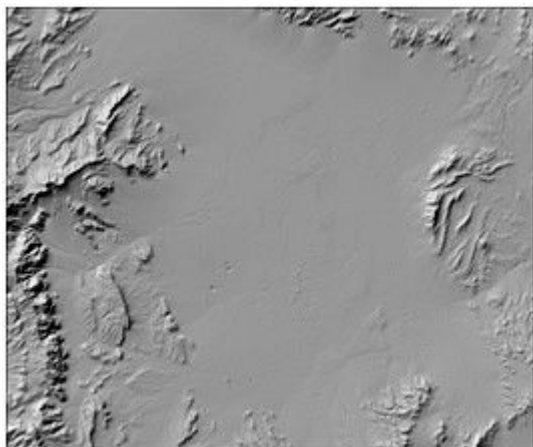


图3 研究区 DEM 图像

Fig. 3 The DEM image of study area

相关性或者条纹可见度的最优化来进行偏移量的进一步精确估算,计算生成偏移量多项式;最后,对主副影像进行配准. GAMMA 要求配准精度达到亚像元级<sup>[9]</sup>.

### 3.2 干涉图生成

主副影像配准后,将主副影像对应像元的复数进行共轭相称,即可得到干涉图. 干涉图中既包含了生成干涉图的这一对 SAR 图像的幅度信息,又包含了这一对 SAR 图像的相位信息,一般相位差用彩色条纹的周期性变化来表示. 图 4 为两幅 SAR 影像形成的干涉图. 由于干涉图条纹较密集,在图 5 中干涉条纹体现的不是特别明显.

### 3.3 去平地相位

得到的干涉相位,在没有地面高程变化的情况下,雷达观测平坦的地表,也会产生一个随线性变化的相

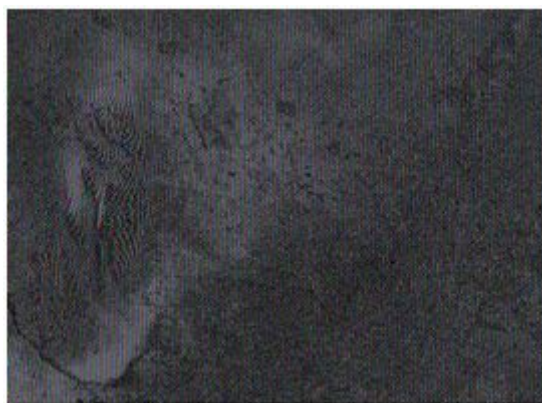


图4 研究区 SAR 干涉图

Fig. 4 The SAR interference figure of study area

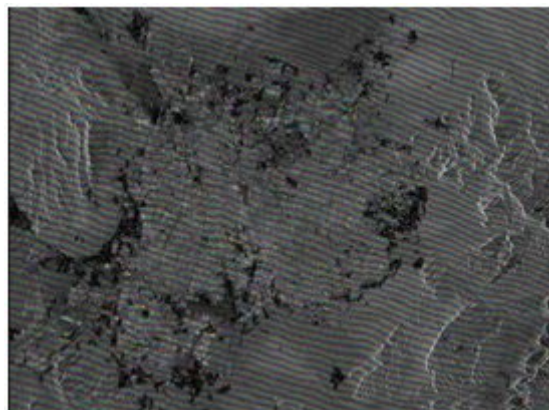


图5 去噪声后的干涉图

Fig. 5 Interference figure after noise removal

位. 具体表现在干涉图中,就是距离向和方位向的周期性变化(一个个颜色周期的条纹带),这种现象被称为“平地效应”<sup>[10-11]</sup>. 图 6 所示为去平地效应后的干涉图.

### 3.4 滤波

干涉图滤波可以提高解缠精度,有效减少雷达噪声带来的误差. 具体计算过程如下:首先,利用复数干涉图计算局部坡度,沿着斜坡,通过计算得到干涉相位的平均值;然后,局部计算干涉图像的功率谱,依据功率谱设计滤波器,对干涉图进行滤波. 如图 7 所示,滤波前,干涉图面昏暗,有许多麻点;滤波后,干涉图面鲜艳,表明噪声相位已经被有效去除.

### 3.5 相位解缠

在干涉图中,像素点的相位存在模糊度,即相位范围在 $[-\pi, \pi]$ 之间. 要想得到绝对相位,就必须给相对相位加上  $2k\pi$ . 简而言之,就是由缠绕相位获得绝对

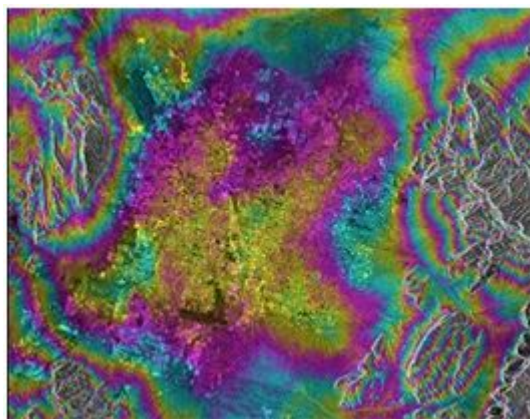


图 6 去平地相位图

Fig. 6 The flat-earth phase removal map

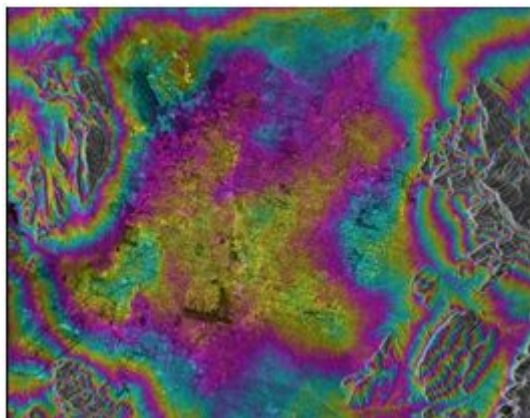


图 7 滤波后干涉图

Fig. 7 Filtered interference figure

干涉相位的过程. 相位解缠的好坏直接影响 InSAR 测量结果,所以说相位解缠是 InSAR 解译最重要的步骤. 在 GAMMA 中,算法分为两种:一种是基于路径积分的相位解缠;另一种是基于最小二乘的相位解缠算法. 本实验采用最小费用流法解缠.

### 3.6 差分干涉图

差分处理,是从干涉条纹图中去除用外部 DEM 模拟的地形起伏的相位,从而得到差分相位,此时的差分相位与地面形变有直接的关系. 由于本研究采用的是两轨差分法,需要已知外部 DEM 模拟地形相位. 如图 8 所示,在城市区域有明显的形变现象,此时的形变为雷达视线方向的形变,需要经过软件处理,转换为直观的垂直方向的形变图.

### 3.7 垂直形变图

差分处理后,去除了地形相位的影响,残余相位就是形变相位. 如果得到目标点的形变量为正值,表示

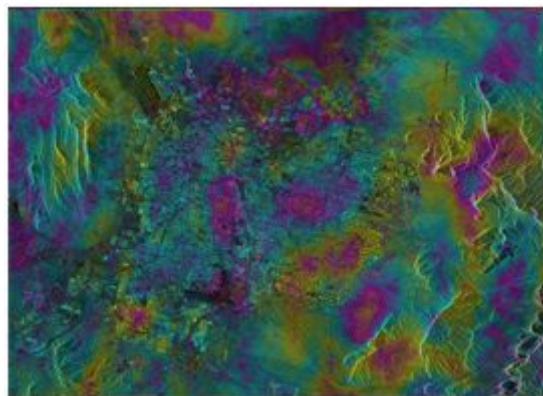


图 8 差分干涉图

Fig. 8 Differential interference figure

形变是朝着雷达传感器方向的,即地面抬升;如果得到目标点的形变量为负值,则表示形变是远离雷达传感器方向的,即地面沉降. 而对于雷达视线方向上的形变量,再通过相关的计算与转换,即可生成垂直方向上的形变图. 如图 9 所示,在城市中及其周边发现明显的沉降中心,在山区地带基本没有沉降.

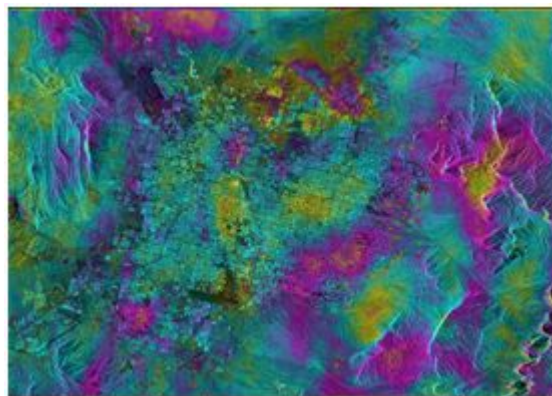


图 9 垂直形变图

Fig. 9 Vertical deformation

## 4 结束语

经过 10 多年的研究和发展,InSAR 技术本身及其应用都得到了快速发展,应用领域不断扩大. 随着 InSAR 技术的深入研究,算法的优化,精度的提高,InSAR 的应用领域会更加广阔. 未来,雷达传感器将从单极化向多极化发展,单波段向多波段发展,单极化向多极化发展. 高分辨率、视角可变的雷达系统,也成为未来的发展方向. 随着星载 SAR 系统的不断发射、解算软件的开放升级、相位解缠技术的优化,InSAR 技术将在地面沉降监测中发挥更大的作用.

(下转第 402 页 /Continued on Page 402)