

DORIS 软件应用于 D-InSAR 技术的研究

边磊¹, 王猛²

(1. 河海大学 土木工程学院, 江苏 南京 210098;

2. 山东省淄博市公路管理局 青莱高速公路路政大队, 山东 淄博 256100)

摘要:地震、火山、滑坡和地面沉降等地质灾害越来越严重地威胁着人类,地面变形监测和测量显得尤为重要。D-InSAR 技术是新近发展起来的一种极具应用潜力的地表形变监测手段。利用 DORIS 软件对 Bam 古城震后的形变量进行提取。结果表明,在研究区相干性较好的前提下,借助于 DORIS 软件进行的 D-InSAR 处理可以获得 mm 级的形变量。

关键词:地面变形; DORIS 软件; D-InSAR 技术; Bam 古城

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2008)03-0005-04

常规遥感测量技术不但需要地面控制点,而且受时间、空间及气象条件的限制。新近发展的星载合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术主要应用于常规光学遥感图像难以获得的地区进行地形测量,进行地形图的绘制和 DEM 的建立。此外,较多地用于火山地形的测量和极地地形测量,获取高精度的地形数据;还可以利用干涉相关性来进行土地利用分类和积雪的划分。InSAR 所测地形地貌的精度由于成像几何和干涉图像质量不同而有较大的波动,精度好的可达米级。研究表明,InSAR 更适合在植被稀少、地表干旱的我国西部地区开展地形测量工作。而在植被茂密、水域广泛分布的我国东部和南部地区,由于时间去相关现象较为严重,其精度受到严重影响。

差分干涉雷达测量(D-InSAR)技术是利用同一地区的两幅干涉图像(一幅是通过形变前的两幅 SAR 获取的干涉图像,其干涉相位只包含地形信息;另一幅是通过形变前后两幅 SAR 图像获取的干涉图像),这两幅 SAR 图像所形成的干涉纹图的相位既包含了区域的地形信息,又包含了观测期间地表的形变信息,其中由地面高程引起的干涉条纹与基线距有关,而由地面变化引起的干涉条纹与基线距无关。所以可以通过两幅干涉图差分处理将地形干涉相位去除掉,来获取地表微量形变。这需要有一张能精确反映地形的

干涉图或精确的 DEM。这种方法能感受到 mm 级的变化。

D-InSAR 能获得 mm 级的高精度三维形变^[1],是目前唯一的一种同时具有全天候、低成本、大覆盖和高精度优点的极具应用潜力的地表形变监测手段,为地表变形监测提供了新方法。可用于地壳变形、地震变形、地面沉降、山体滑坡、火山变形和冰川移动等较大面积的地表变形测量和大型工程(如水库、大坝、桥梁和管线)的形变监测,尤其在突发性的形变监测中可获得较好的效果^[2]。

1 DORIS 软件用于 D-InSAR 处理

D-InSAR 技术发展到现在,许多算法都已经比较成熟,目前国内外已经有许多机构和科研单位开发出了可用于干涉测量处理的软件,例如瑞士 Gamma Remote Sensing 公司推出的基于 Windows 操作系统 GAMMA-SAR 软件,加拿大 Atlantis 公司的 Earthview-InSAR 等。

1999 年荷兰 Delft 科技大学的 Kampes 等人推出了一套跨平台 InSAR 处理软件 DORIS (Delft Object oriented Radar Interferometric Software)。该软件是使用面向对象的 C++ 语言编写的,以若干公共开源软件(如 FFTW, GETORB, SNAPHU, GMT 等)为辅助,主要运行环境为 Unix 操作系

收稿日期:2008-05-11

作者简介:边磊(1982-),男,山东泰安人,河海大学地质专业博士研究生,主要研究方向为遥感测绘技术。

统,在 Linux 系统或 Windows + Cygwin 操作环境下运行效率也很高^[3]。DORIS 为完全免费软件,其源代码是开放的,利于研究者开发使用。目前,DORIS 可以处理绝大部分星载雷达的数据,如:欧空局的 ERS-1/2、ENVISAT 数据、日本的 JERS 数据及加拿大的 RADARSAT 数据。

DORIS 软件进行 SAR 数据处理大致可以分为 4 个模块:原始数据读取模块、配准和参考椭圆相位计算模块、复相位图像和相干图计算模块、DEM 和形变干涉图生成模块。具体运行时分为 7 步:input. m_initial、input. s_initial、input. coregistra-

tion、input. resample、input. products、input. filter_unwrap 和 input. s2h_geocode。它以 SLC 影像为初始输入数据,通过粗匹配、像素级匹配和亚像素级匹配、重采样、干涉图生成和去平地效应、干涉图滤波和解缠、高程转换和地理编码最终可生成 DEM 或形变图。处理过程中,必须按照模块的顺序来处理。但几个滤波的处理,可以选择是否进行,这些处理可以针对不同的噪音来去除,以提升处理的结果。一般每一步都以上一步的处理结果作为输入参数,每一模块处理完后都会输出相应的结果^[4]。其完整的处理流程如图 1。

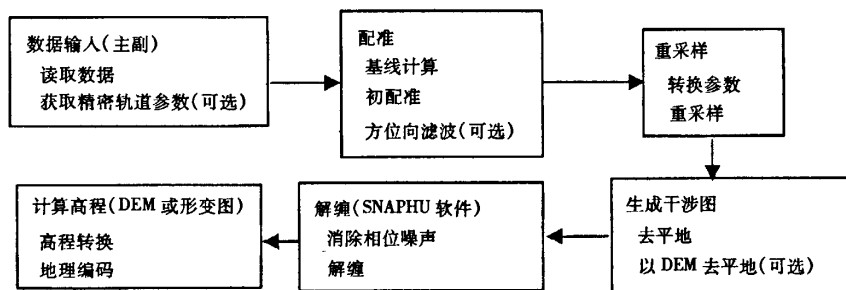


图 1 DORIS 处理 SAR 数据流程图

Fig. 1 Flow chart of DORIS processing SAR data

2 伊朗 Bam 地区地震形变初步研究

由于阿拉伯板块北移(3cm/year)与欧亚板块挤压造成的应力集中最终导致在 2003 年 12 月 26 日世界时 01:56:52,伊朗东南部的巴姆(Bam)地区发生强烈的直下型地震,震级达到 6.5 级,震中经纬度为 29.01°N,58.26°E。地震导致的地球板块形变非常广泛,以至于跨越了整个伊朗并且延伸到了土耳其,造成了巨大的人员伤亡和财产损失,蔚为壮观的 Bam 古城遗址也毁于一旦^[5]。

欧空局的 ENVISAT 卫星监测到了地震发生的全过程,为便于全世界的研究机构能更好地研究该地震的全过程,从事这方面研究的科学工作者均可以免费向欧空局申请该数据。

2.1 干涉像对的选取

欧空局共提供了 7 景 ENVISAT ASAR 数据,7 景 ASAR 数据均为 SLC 格式,Image Mode 模式,Swath2 成像带(即雷达侧视倾角与 ERS 相同,入射角范围为:19.2°~26.7°,VV 极化方式,其中 4 景为降轨(Bam 位于图像中部),3 景为升轨(Bam 像对生成 DEM,9192 和 9693 作为 defo-pair 像对

获得古城位于图像边缘)。图 2 为这 7 景数据的相关信息。

根据上面 7 景数据的相关信息,选择轨道号为 6687(震前)、9192(震前)和 9693(震后)的三景升轨 ASAR 数据进行“三通”差分干涉处理。图 3 为 2003 年 12 月 03 日获取的覆盖了 Bam 地区的 ASAR 数据。

2.2 用 DORIS 获取 Bam 地区的形变

由于我们所获取的震后数据在截取时存在一定的问题,所以获得的地震震中形变条纹与国际同行的初步研究结果存在一定的差别。

选取 Bam 古城所在区域进行小范围的差分干涉处理,以 9192 为主图像,6687 和 9192 作为 topo-pair 形变图,对 Bam 地震震中形变进行分析和提取。

利用 DORIS 软件按照图 1 中的步骤进行差分处理后,分别得到其相干性图(图 4 和图 5)、形变前仅包含地形相位的干涉条纹图(图 6),去除地形相位后的形变图(图 7),所有干涉图都做了 30:12 的多视处理。从得到的相干性图知,因研究区域为城区,植被稀少,故形变前后都保持了很

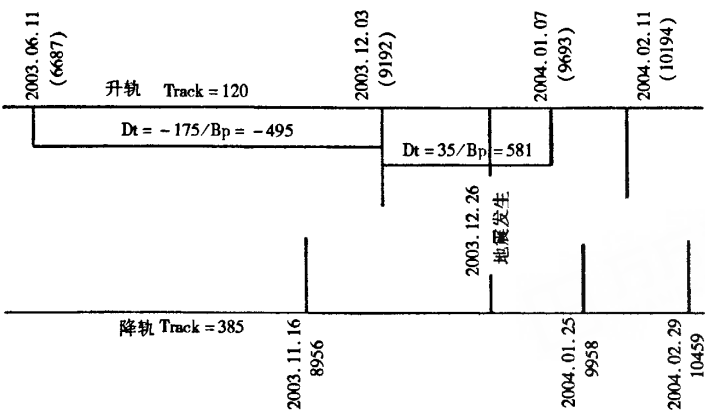


图 2 Bam 地区 ASAR 数据相关信息
Fig.2 Correlative information of ASAR data in Bam area

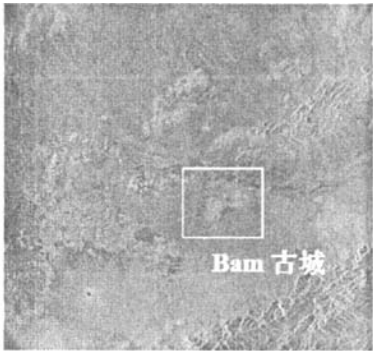


图 3 DORIS 读取出的 ASAR 影像
Fig.3 ASAR image read by DORIS



图 5 Defo - pair 像对相干性图
Fig.5 Defo - pair coherence picture



图 4 Topo - pair 像对相干性图
Fig.4 Topo - pair coherence picture

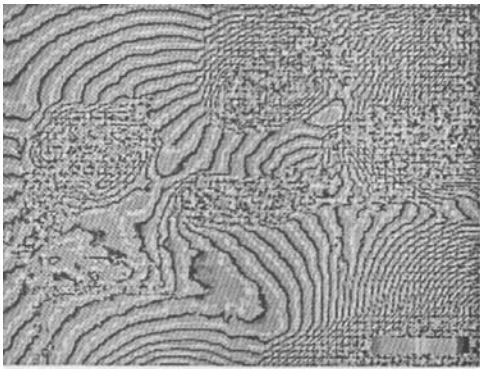


图 6 只包含地形相位的干涉图
Fig.6 Interferogram only including terrain phase

好的相干性,得到的干涉图质量较好。
2.3 Bam 地区形变结果分析
干涉相位相对于高程变化的敏感度方程为:

$$\Delta h_{2\pi} = -\frac{\lambda}{2} \frac{R \sin \theta}{B_1}$$

显然,一个整周干涉相位变化 2π 对应于高程变化的估计值为 $\Delta h_{2\pi}$ 。由公式知,增加垂直基线可降低高程差,过大的垂直基线会导致干涉相

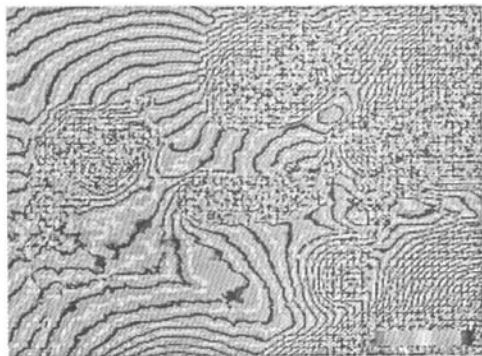


图 7 包含地形和形变相位的干涉图
Fig.7 Interferogram including terrain
and deformation phase

位的几何失相关,即引起严重的相位噪声。而垂直基线越小,干涉相位对地形的敏感度越低,故残余的地形影响越小^[6]。

而一个整周差分干涉相位变化所对应的地表形变量为,即半个波长。差分相位对地表形变的敏感度相对于地形变化更敏感。

Topo - Pair 像对的垂直基线长达 476 m,故图 6 的干涉图中每一条干涉条纹对应着 18.7 m 的高程变化。借助于 MATLAB 软件对该干涉图进行三维显示,得出图 9 所示的地形图。该地形图很好地显示了当地地形起伏情况。

在图 8 的形变图中,每一个干涉条纹代表的 2.8 cm 的雷达视线向位移量,从图中可以清晰地看到,由于地震的影响,在地表形成了一个蝴蝶状的形变场,上升的一边大约有 11 个干涉条纹,在

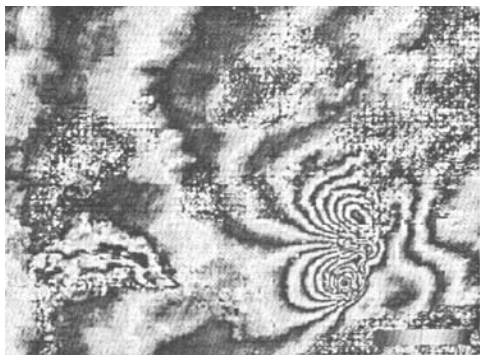


图 8 去除地形相位的形变图
Fig. 8 Deformograph removing terrain phase

雷达视线方向上的形变量可达 300 mm,下沉的一边有 6 个干涉条纹,形变量可达 180 mm。图 10 是用 MATLAB 显示的三维形变图,可以清晰地看到上升和下沉的情况。对比同行的研究结果知,获得的地震震中形变条纹与其有很好的 consistency。

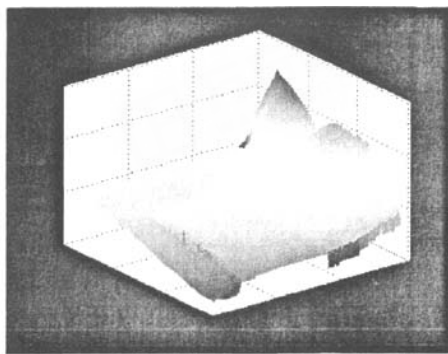


图 9 地形图的三维显示
Fig.9 Topographic map three - dimensional display

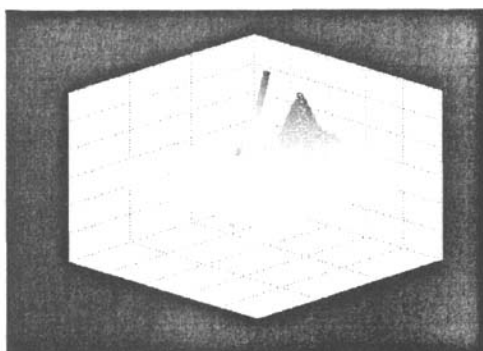


图 10 形变图的三维显示
Fig.10 Deformograph three - dimensional display

3 结论

借助于 DORIS 软件对 Bam 地区地震前后的 SAR SLC 数据进行“三通”差分干涉处理,得到了震后的地表形变量。结果表明,D - InSAR 技术可以获取由于地震作用导致的地表细微形变信息。在研究区域相干性较高的条件下,利用该技术可以进行大面积、快速度、低成本、高精度的形变测量,其在地表形变研究中将具有非常广阔的应用前景。另外,DORIS 软件功能比较强大,可以进行有效的 SAR 数据处理。和其他软件相比,其开放式的源代码,有利于从事这方面研究的学者进行更深一步的探讨。

(下转第 13 页)

参考文献:

- [1] Bovik A C. Analysis of Multichannel Narrow - Band Filters for Image Texture Segmentation[J]. IEEE Trans. 1991,39(9): 2025 - 2043.
- [2] Leduc J P. Spatio - temporal Wavelet Transform for Digital Signal Analysis[J]. Signal Processing, 1997,60(1):23 - 41.
- [3] Jain A K, Farrokhnia F. Unsupervised Texture segmentation Using Gabor Filter[J]. Pattern Recognition, 1991,24(12): 1167 - 1186.
- [4] 郑南宁. 计算机视觉于模式识别[M]. 北京:国防工业出版社,1998:92 - 94,401 - 403.
- [5] 黄伟. 地震剖面图像纹理分割研究综述[J]. 韩山师范学院学报,2007(3):103 - 107.

A Texture Segmentation Method Based on Gabor Filter

HUANG Wei

(Department of Mathematics and Information Technology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China)

Abstract: A texture segmentation method based on Gabor Filter and FCM is proposed. The choice of Gabor filter is discussed. The characters of texture images are gotten from Gabor filter and FCM is used to cluster. The texture images segmentation method is applied to the segmentation of texture image and seismic section images. The computer simulations show this method is available.

Keywords: texture analysis; image segmentation; seismic section images; FCM

(上接第 8 页)

参考文献:

- [1] 李陶. 重复轨道星载 SAR 差分干涉监测地表形变研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.
- [2] Tomiyama N, Koike K, Omura M. Detection of topographic changes associated with volcanic activities of Mt. Hossho using D - InSAR[J]. Advances in Space Research 2004,33:279 - 283.
- [3] Kampes B M, Usai S. Doris:the delft object - oriented radar interferometric software,2nd international symposium on operationalization of remote sensing[M]. Enschede, The Netherlands, 1999.
- [4] Petar s, Mar Inkovic, Ramon F. Utilization of parallelization algorithms in insarps - insar processing[C]. Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium. Austria:Salzburg,2004.
- [5] 苏卫江,苏宗正. 2003 年 12 月 26 日伊朗巴姆地震[J]. 山西地震,2004,4(2):47 - 48.
- [6] 舒宁. 雷达影像干涉测量原理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

Study on DORIS Software Applied to D - InSAR Technology

BIAN Lei¹, WANG Meng²

(1. Civil Engineering College of Hehai University, Jiangsu Nanjing 210098, China;
2. Qinglai Freeway Road Management, Zibo City Highway Department of Shangdong Province, Shandong Zibo 256100, China)

Abstract: Geology disasters, such as earthquake, volcano, coast and ground settlement, threaten the human more and more seriously. Therefore, it is of particular importance to monitor and measure ground deformation. D - InSAR technology is a powerful method to monitor the ground deformation. The paper extracts deformation of Bam ancient city after earthquake by DORIS software. The result shows that D - InSAR technology can obtain a deformation with the precision of millimeter level with the help of DORIS software.

Keywords: ground deformation; DORIS software; D - InSAR technology; Bam ancient city