

InSAR 数据处理中的误差分析

李振洪¹ 刘经南² 许才军³

(1 武汉大学 GPS 工程技术研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学校长办公室, 武汉市珞珈山, 430072)

(3 武汉大学测绘学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 针对星载雷达, 从 InSAR 的基本原理出发, 综合推导并讨论了相位观测误差、卫星轨道误差、地形误差等各类误差源对不同工作模式(包括重复飞行 InSAR 生成 DEM, Two-pass DInSAR 监测地表形变, 以及 Three-pass DInSAR 监测地表形变)的影响。

关键词: InSAR; DInSAR; 卫星轨道; 地形; 误差分析
中图分类号: TP751

InSAR 技术可以全天候地应用于陆地和冰川 DEM 的生成, 长时间跨度(5a 甚至更长)和大范围(100km×100km 甚至更宽)的微小形变量的监测, DEM 的精度可达 5~15m, 形变量的精度高达 3~10mm^[1~3]。近来, 越来越多的研究表明, InSAR 可应用于多种类型的形变监测, 如矿产和地下水的开采引起的地面沉降、同震和震后形变、火山形变、冰川运动、海岸线变化以及地质构造变化等^[1, 2, 4]。

本文主要针对星载雷达(后面的分析以 ERS-1 为例, 取 $\lambda = 0.056\text{ m}$, $\theta = 23^\circ$, $H = 785\text{ 000m}$, $\rho = 853\text{ 000m}$), 分别讨论如下问题。

1) 重复飞行 InSAR 生成 DEM 时, 相位观测误差、卫星轨道误差、地形误差等各种误差源的影响;

2) Two-pass DInSAR 地表形变监测相位观测误差、卫星轨道误差、地形误差等各种误差源的影响;

3) Three-pass DInSAR 地表形变监测相位观测误差、卫星轨道误差、地形误差等各种误差源的影响。

为方便后面的推导分析, 直接给出 InSAR 数学模型的基本数学表达式^[5, 9]:

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta\rho \quad (1)$$

式中, $\delta\rho$ 为卫星第二次通过时微波额外传播的距离, 其引起相位相应的漂移。

1 相位测量误差的影响

相位测量误差主要由信噪比、视数、基线和时间去相关作用、像元匹配误差以及采样和处理过程中引进的误差等因素造成, 其对 DEM 和形变图中的每一点的影响是波动的, 即增加了每一点的统计方差。

图 1 为 InSAR 的几何图形示意图, S_1 和 S_2 分别表示观测同一地带、重复飞行的两个雷达传感器, 它们之间的距离用基线 B 表示。基线 B 在水平方向的分量为 B_x , 垂直方向的分量为 B_y ; 在垂直于卫星到地面点方向上的分量为 B_\perp , 通常

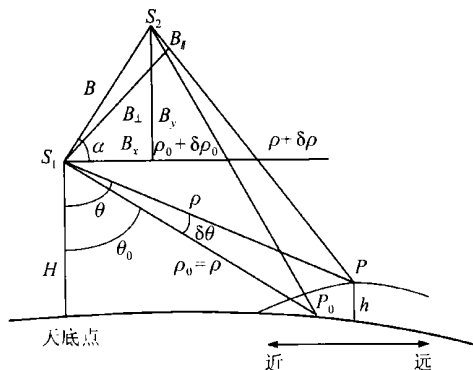


图 1 InSAR 几何图形

Fig. 1 Geometry of InSAR

称为有效基线;双向箭头表示雷达图像的覆盖区域,箭头方向表示离天底点的远近程度。

利用干涉技术生成 DEM 时,通常假设重复飞行期间无形变发生,此时有:

$$\begin{aligned} \varphi = & -B \sin(\theta - \alpha) + \frac{B^2}{2\rho} = \\ & -B_x \sin \theta + B_y \cos \theta + \frac{B_x^2 + B_y^2}{2\rho} \end{aligned} \quad (2)$$

即

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \left[-B_x \sin \theta + B_y \cos \theta + \frac{B_x^2 + B_y^2}{2\rho} \right] \quad (3)$$

地面点高程与传感器几何图形间的关系为:

$$h = H - \rho \cos \theta \quad (4)$$

假设基线无观测误差,对式(3)和式(4)求 φ 的偏导数,有:

$$\begin{cases} -\frac{4\pi}{\lambda} (B_x \cos \theta + B_y \sin \theta) \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} = 1 \\ \frac{\partial h}{\partial \varphi} = \rho \sin \theta \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} \end{cases} \quad (5)$$

进一步可得相位测量误差对地面点高程的影响:

$$\delta h = -\frac{\lambda}{4\pi} \frac{\rho \sin \theta}{B_x \cos \theta + B_y \sin \theta} \delta \varphi \quad (6)$$

式中, θ 为入射角; ρ 为主传感器至地面点的距离; $\delta \varphi$ 为相位测量误差。

如果重复飞行期间有形变发生,并且形变量较小,满足梯度限制^[1],则可生成干涉图像。不妨设 $\Delta \rho$ 为斜距方向形变量,简称形变量,则

$$\begin{aligned} \varphi = & \frac{4\pi}{\lambda} (\varphi + \Delta \rho) = \\ & \frac{4\pi}{\lambda} \left[-B_x \sin \theta + B_y \cos \theta + \frac{B_x^2 + B_y^2}{2\rho} + \Delta \rho \right] \end{aligned} \quad (7)$$

从式(7)可以看出,干涉相位不仅与地形有关,而且与观测期间发生的形变量 $\Delta \rho$ 有关,在进行物理解释时,两者很难区别。为了确定形变量,必须除去地形项。通常有如下两种方法:① 利用当地已知的 DEM,只需两幅即可形成干涉图像,称为 Two-pass 法;② 如果确认另一幅干涉图像在观测期间没有发生形变,可从中提取地形信息,用来消除地形影响。这种方法不需要独立的 DEM,仅需三幅雷达图像,称为 Three-pass 法。

对 Two-pass 法而言,直接对 φ 求偏导数,可得相位测量误差对形变量 $\Delta \rho$ 的影响^[7]:

$$\delta \Delta \rho = \frac{\lambda}{4\pi} \delta \varphi \quad (8)$$

比较式(6)和式(8)可以发现,相位测量误差对形变量 $\Delta \rho$ 的影响大大低于对地形的影响,或者说,形变量 $\Delta \rho$ 相对于相位的敏感度大大低于地形相对于相位的敏感度,强度约为 $\frac{\rho \sin \theta}{B_{\perp}} \approx 3000$ 倍。

对 Three-pass 法而言,通常利用式(9)求取形变量 $\Delta \rho$ ^[8,9]:

$$\Delta \rho = \frac{\lambda}{4\pi} \left[\varphi'_{\text{flat}} - \frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} \varphi_{\text{flat}} \right] \quad (9)$$

式中, φ'_{flat} 表示经过曲率改正,且含有形变信息的干涉相位; φ_{flat} 为经过曲率改正,但不含形变信息的干涉相位; $B'_{\perp 0}$ 和 $B_{\perp 0}$ 为它们相应的基线 B 在垂直于卫星至地面相应点 P_0 方向的分量。

假设每一幅雷达图像的中误差相同,则干涉图像的中误差为其 $\sqrt{2}$ 倍。下面用 σ_{φ} 表示单幅干涉图像的中误差,且令

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi'_{\text{flat}} \\ \varphi_{\text{flat}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

由于 Three-pass 法中,干涉图像共用了一幅雷达图像,可以推得其协方差阵为:

$$D_{\varphi\varphi} = \begin{bmatrix} \sigma_{\varphi}^2 & \frac{1}{2} \sigma_{\varphi}^2 \\ \frac{1}{2} \sigma_{\varphi}^2 & \sigma_{\varphi}^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

利用误差传播定律,可推导出^[7]:

$$\sigma_{\Delta \rho} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\left[-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} \right)^2 \right]^2} \sigma_{\varphi} \quad (12)$$

由式(12)可见,对于 Three-pass 法而言,形变量的误差与基线垂直分量的比值有关。

2 卫星轨道误差的影响

与相位测量误差不同,卫星轨道误差是系统误差,对测区内所有的点都呈现出几乎相同的误差,可以通过地面控制点加以改正。正是由于卫星轨道误差的系统性,我们感兴趣的不是卫星轨道误差所引起的观测量(高程或形变量)的绝对误差,而是卫星轨道误差所引起的不同地面点高程或形变量的误差之差,尤其是最远点与最近点误差之差(见图 1)。为方便起见,本文称之为相对误差。

为了导出卫星轨道对地面点高程 h 和地表形变量 $\Delta \rho$ 的影响,对式(3)和式(4)分别求 B_x 的偏导数:

$$\begin{cases} \frac{4\pi}{\lambda} \left[-\sin \theta - B_x \cos \theta \frac{\partial \theta}{\partial B_x} - B_y \sin \theta \frac{\partial \theta}{\partial B_x} + \frac{B_x}{\rho} \right] = 0 \\ \frac{\partial h}{\partial B_x} = \rho \sin \theta \frac{\partial \theta}{\partial B_x} \end{cases} \quad (13)$$

综合考虑实际应用中基线远远小于 1 000m,

$\frac{B_x}{\rho} \ll \frac{1000}{853000} = 0.0012$,略去微小项,有:

$$\frac{\partial h}{\partial B_x} = -\frac{\rho(\sin \theta)^2}{B_x \cos \theta + B_y \sin \theta} = -\frac{\rho(\sin \theta)^2}{B_{\perp}} \quad (14)$$

或

$$\hat{\delta}_h = -\frac{\rho(\sin\theta)^2}{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta} \hat{\delta}_{B_x} = -\frac{\rho(\sin\theta)^2}{B_{\perp}} \hat{\delta}_{B_x} \quad (19)$$

则 B_x 误差引起的地面点高程 h 的相对误差为:

$$\Delta \hat{\delta}_{B_x} = \hat{\delta}_{h_2} - \hat{\delta}_{h_1} = \frac{\rho}{B_{\perp}} ((\sin\theta_1)^2 - (\sin\theta_2)^2) \hat{\delta}_{B_x} \quad (16)$$

式(16)中的下标 2 表示在远离传感器的测区边缘,即最远点;下标 1 表示在靠近传感器的测区边缘,即最近点,下文类似。

同理可得:

$$\frac{\partial h}{\partial B_y} = \frac{\rho \sin\theta \cos\theta}{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta} = \frac{\rho \sin\theta \cos\theta}{B_{\perp}} \quad (17)$$

或

$$\hat{\delta}_h = \frac{\rho \sin\theta \cos\theta}{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta} \hat{\delta}_{B_y} = \frac{\rho \sin\theta \cos\theta}{B_{\perp}} \hat{\delta}_{B_y} \quad (18)$$

则 B_y 误差引起的地面点高程 h 的相对误差为:

$$\Delta \hat{\delta}_{B_y} = \sigma_{h_2} - \sigma_{h_1} = \frac{\rho}{B_{\perp}} (\sin\theta_2 \cos\theta_2 - \sin\theta_1 \cos\theta_1) \hat{\delta}_{B_y}$$

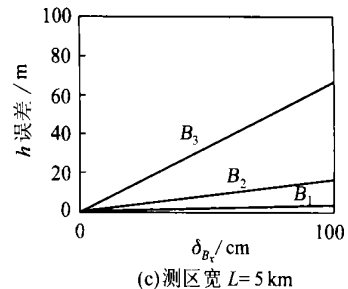
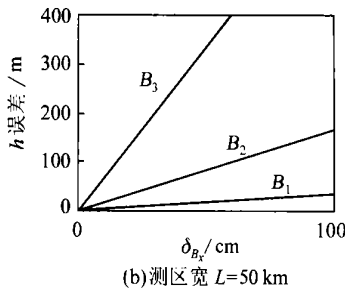
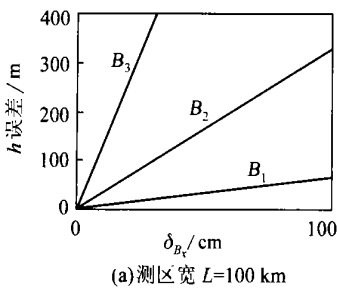


图 2 基线水平分量误差 σ_{B_x} 对不同测区地面点高程 h 的影响

Fig. 2 Influence of the Horizontal Baseline Error on Topography for Areas with Different Extensions

假设无相位测量误差及地形误差,对式(7)分别求 B_x 和 B_y 的微分,考虑到 $B_x/\rho \ll 0.001$,略去微小项,有:

$$\hat{\delta}_{\rho} = \sin\theta \hat{\delta}_{B_x} \quad (21)$$

$$\hat{\delta}_{\rho} = \cos\theta \hat{\delta}_{B_y} \quad (22)$$

则 B_x 和 B_y 的误差引起的地面形变量相对误差分别为:

$$\Delta \hat{\delta}_{\rho} = | \hat{\delta}_{\rho_2} - \hat{\delta}_{\rho_1} | = (\sin\theta_2 - \sin\theta_1) \hat{\delta}_{B_x} \quad (23)$$

$$\Delta \hat{\delta}_{\rho} = | \hat{\delta}_{\rho_2} - \hat{\delta}_{\rho_1} | = (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \hat{\delta}_{B_y} \quad (24)$$

另一方面,由于 $\cos\theta = \frac{H-h}{\rho} \approx \frac{H}{\rho}$,有:

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} (\phi + \Delta\rho) = \frac{4\pi}{\lambda} \left[-B_x \sqrt{1 - \left(\frac{H}{\rho}\right)^2} + B_y \frac{H}{\rho} + \frac{B_x^2 + B_y^2}{2\rho} + \Delta\rho \right]$$

对式(4)求 H 的导数,有:

$$\sigma_h = \sigma_H \quad (20)$$

式(14)~(20)表征了卫星轨道误差对地面点高程 h 的影响。式(20)说明了地面点高程 h 与卫星轨道高程的“绝对”误差具有相同的量级,但如果仅仅是考虑相对误差,则卫星轨道的高程误差可忽略。

图 2 为基线水平分量误差 $\hat{\delta}_{B_x}$ 对不同测区地面点高程 h 的影响。图中 $B_1 = 1000\text{m}$, $B_2 = 200\text{m}$, $B_3 = 50\text{m}$ 。可以看出,有效基线越长,基线分量误差对地面点高程的影响越小;测区越小,相对误差越小;对于较小的区域(如测区宽度为 5km),即使是 1m 左右的基线误差,只要有效基线适中(如 200m),仍可达到较高的精度(约 16m);对于较大的地区,为了控制系统误差,基线必须有 5cm 左右的精度。分析基线垂直分量误差的影响可以得出类似的结论。

对 H 求导有:

$$\frac{\partial \rho}{\partial H} = -\frac{B_x H}{\sqrt{1 - \left(\frac{H}{\rho}\right)^2} \cdot \rho^2} - \frac{B_y}{\rho} = -\frac{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta}{\sin\theta \cdot \rho} \quad (26)$$

或

$$\hat{\delta}_{\rho} = \frac{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta}{\sin\theta \cdot \rho} \sigma_H = \frac{B_{\perp}}{\sin\theta \cdot \rho} \hat{\delta}_H \quad (27)$$

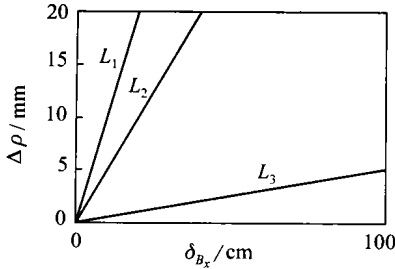
卫星轨道高程误差引起的地面形变量相对误差为:

$$\Delta \hat{\delta}_{\rho} = | \hat{\delta}_{\rho_2} - \hat{\delta}_{\rho_1} | = \frac{B_{\perp}}{\rho} \left[\frac{1}{\sin\theta_1} - \frac{1}{\sin\theta_2} \right] \hat{\delta}_H \quad (28)$$

式(21)~(24)、式(26)~(28)表征了采用 Two-pass 法时卫星轨道误差对地表形变量 $\Delta\rho$ 的影响。式(28)中,由于 θ_1 和 θ_2 在 23° 左右,仅相

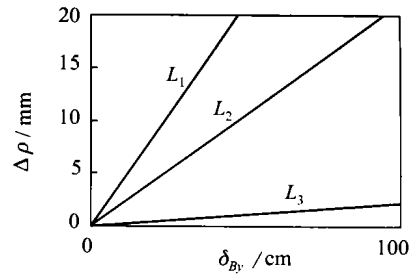
差几度,以 100km 的区域为例,则 $\Delta \delta_{\Delta\rho}^{\delta} < \frac{1\ 000}{800 \times 10^3}$
 $\cdot \left(\frac{1}{\sin 19^\circ} - \frac{1}{\sin 27^\circ} \right) \delta_{\theta} < \frac{1}{920} \delta_{\theta}$, 因此, 地表形变量 $\Delta\rho$ 对卫星轨道高程误差不敏感, 10m 的卫星轨道高程误差可产生 1mm 左右的斜距方向的形变量相对误差。

图 3 表示基线分量误差 δ_x 和 δ_y 对不同测区



(a) 基线水平分量误差对地表形变量的影响

形变量 $\Delta\rho$ 的影响。图中测区宽度 $L_1=100\text{ km}$, $L_2=50\text{ km}$, $L_3=5\text{ km}$ 。可以看出, δ_x 对 $\Delta\rho$ 的影响较 δ_y 对 $\Delta\rho$ 的影响大 1 倍左右; 对较小的区域 (如测区宽度为 5km), 1m 的基线误差也可以获得很好的结果; 对于较大的区域, 基线必须有 10cm 以上的精度。



(b) 基线垂直分量误差对地表形变量的影响

图 3 基线分量误差 δ_x 和 δ_y 对不同测区区域形变量 $\Delta\rho$ 的影响

Fig. 3 Influence of the Horizontal and Vertical Baseline Errors on Surface Deformation

在式(7)中,对 φ 分别求 B_x 、 B_y 和 H 的微分,

有:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial B_x} = \frac{4\pi}{\lambda} \left[-\sin\theta + \frac{B_x}{\rho} \right] \approx -\frac{4\pi}{\lambda} \sin\theta \quad (29)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial B_y} = \frac{4\pi}{\lambda} \left[\cos\theta + \frac{B_y}{\rho} \right] \approx \frac{4\pi}{\lambda} \cos\theta \quad (30)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial H} = \frac{4\pi}{\lambda} \left[\frac{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta}{\sin\theta \cdot \rho} \right] \quad (31)$$

结合 Three-pass 法相位测量误差影响,有:

$$\delta_{\rho}^{\delta_x} = -\sin\theta \sqrt{-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}}\right)^2} \delta_x \quad (32)$$

$$\delta_{\rho}^{\delta_y} = \cos\theta \sqrt{-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}}\right)^2} \delta_y \quad (33)$$

$$\delta_{\rho}^{\delta_H} = \frac{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta}{\sin\theta \cdot \rho} \sqrt{-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}}\right)^2} \delta_H \quad (34)$$

进一步推导,有:

$$\Delta \delta_{\rho}^{\delta_x} = (\sin\theta_1 - \sin\theta_2) \sqrt{-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}}\right)^2} \delta_x \quad (35)$$

$$\Delta \delta_{\rho}^{\delta_y} = (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \sqrt{-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}}\right)^2} \delta_y \quad (36)$$

$$\Delta \delta_{\rho}^{\delta_H} = \frac{B_{\perp}}{\rho} \left(\frac{1}{\sin\theta_1} - \frac{1}{\sin\theta_2} \right) \sqrt{-\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}} + \left(\frac{B'_{\perp 0}}{B_{\perp 0}}\right)^2} \delta_H$$

(37)

式(32)~(37)表征了采用 Three-pass 法时卫星轨道误差对地表形变量 $\Delta\rho$ 的影响。比较式(21)~式(28)可以发现,采用 Three-pass 法时卫星轨道误差对 $\Delta\rho$ 的影响与采用 Two-pass 法时卫星轨道误差对地表形变量 $\Delta\rho$ 的影响仅相差一个比例因子。

3 地形起伏的影响

对式(4)和式(7)分别求 h 的微分,有:

$$\begin{cases} \frac{4\pi}{\lambda} \left[-B_x \cos\theta \frac{\partial\theta}{\partial h} - B_y \sin\theta \frac{\partial\theta}{\partial h} + \frac{\partial\Delta\rho}{\partial h} \right] = 0 \\ 1 = \rho \sin\theta \frac{\partial\theta}{\partial h} \end{cases} \quad (38)$$

进一步推导,有:

$$\frac{\partial\Delta\rho}{\partial h} = \frac{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta}{\sin\theta \cdot \rho} \quad (39)$$

或

$$\delta_{\rho}^{\delta_h} = \frac{B_x \cos\theta + B_y \sin\theta}{\sin\theta \cdot \rho} \delta_h = \frac{B_{\perp}}{\sin\theta \cdot \rho} \delta_h \quad (40)$$

利用式(39)~式(40)可以估计出采用 Two-pass 法时选用的 DEM 的精度对形变量的影响程度,有效基线越长,影响越大。因此,利用 Two-pass 法提取形变量信息时,应尽量选取具有较短基线的图像对,以控制或减少地形的影响。从数值上看,要利用 100m 的有效基线图像对提取精度不低于 1cm 的形变信息,必须使用不低于 30m 精度的 DEM。

4 结 论

通过上述的讨论和分析可知, 针对星载雷达而言, 相位测量误差对形变量 $\Delta\rho$ 的影响大大低于它对地形的影响; 基线水平分量对地表斜距方向形变量的影响较基线垂直分量对地表斜距方向形变量的影响要大1倍左右。测区区域越小, 卫星轨道误差所引起的地面点高程相对误差就越小。对于较大的区域, 为了控制系统误差, 基线必须有5cm左右的相对精度; 地表斜距方向形变量对卫星轨道高程误差不敏感。此外, 有效基线越长, 基线分量误差对地面点高程的影响越小, 利用干涉技术生成DEM时, 应尽量选取具有较长有效基线的图像对, 但利用干涉技术提取形变量信息时, 为控制或减少地形的影响, 则应尽量选取具有较短基线的图像对。本文的结论也适用于ERS-2卫星。

参 考 文 献

- 1 Massonnet D, Feigl K L. Radar Interferometry and Its Application to Changes in the Earth's Surface. *Rev. Geophys.*, 1998, 36(4): 441~500
- 2 Klees R, Massonnet D. Deformation Measurement Using SAR Interferometry: Potential and Limitations. *Geologie en Mijnbouw* 1999, 77: 161~176
- 3 Amelung F, Galloway D L, Bell J W, et al. Sensing

- the Ups and Downs of Las Vegas: InSAR Reveals Structural Control of Land Subsidence and Aquifer-system Deformation. *Geology*, 1999, 27(6): 483~486
- 4 Dixon T. SAR Interferometry and Surface Change Detection. <http://southport.jpl.nasa.gov/scienceapps/dixon/index.html>, 2003
 - 5 Graham L C. Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping. *IEEE*, 1972, 62: 763~768
 - 6 Rocca F, Prati C, Ferretti A. An Overview of SAR Interferometry. *The 3rd ERS Symposium*, Florence, 1997
 - 7 Zebker H, Rosen P A, Hensley S. Atmospheric Effects in Interferometric Synthetic Aperture Radar Surface Deformation and Topographic Maps. *J. Geophys. Res.*, 1997, 102(B4): 7 547~7 563
 - 8 Gabriel A K, Goldstein R M, Zebker H A. Mapping Small Elevation Changes over Large Areas: Differential Radar Interferometry. *J. Geophys. Res.*, 1989, 94(B7): 9 183~9 191
 - 9 Zebker H A, Werner C, Rosen P A, et al. Accuracy of Topographic Maps Derived from ERS-1 Interferometric Radar. *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 1994, 32: 823~836
 - 10 Goldstein R. Atmospheric Limitations to Repeat-track Radar Interferometry. *Geophys. Res. Lett.*, 1995, 22(18): 2 517~2 520

第一作者简介: 李振洪, 博士生。研究方向为 InSAR、GPS 与其他卫星数据的集成方法及其在高精度形变监测领域中的应用。

Error Analysis in InSAR Data Processing

LI Zhenhong¹ LIU Jingnan² XU Caijun³

(1 Research Center of GPS, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 Presidential Secretariate, Wuhan University, Luojia Hill, Wuhan 430072, China)

(3 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper investigates the impacts of the uncertainties of phase measurement, orbits and topography on the products of repeat-pass InSAR, Two-pass DInSAR and Three-pass DInSAR, respectively. The sensitivity of deformation with respect to phase measurement errors is about 3 000 times lower than that of topography to phase measurement errors. The longer the effective baseline is, the less the impact of the uncertainty of baseline on heights is. For a small area (e.g. 5 km), a moderate DEM accuracy (e.g. 16m) can be reached by using the baseline with an accuracy of 1m, only if the effective baseline is moderate (e.g. 200 m). But for a large area, a baseline accuracy of 5 cm should be expected in topography mapping.

Key words: InSAR; DInSAR; satellite orbit; topography; error analysis

About the first author: LI Zhenhong, Ph. D candidate, interested in the research on the integration of InSAR, GPS and other satellite datasets and its applications to surface displacement detection.

(责任编辑: 平子)