

GB-SAR 构建永久散射体网改正气象扰动方法

徐亚明^{1,2} 周 校¹ 王 鹏¹ 邢 诚^{1,2}

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

2 精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室,湖北 武汉,430079

摘 要:气象扰动对地基合成孔径雷达干涉测量技术的测量精度影响较大,选取合适的气象改正方法关系到测量结果的精度和可靠性。分析了常用的地基合成孔径雷达气象改正模型及方法,提出了一种利用永久散射体(permanent scatterers,PS)气象改正网的全场景气象改正方法,并将该技术应用到施工期的高危边坡监测实验中。结果表明,该方法可有效削弱气象影响,提高测量精度,准确探测出高危边坡中的不稳定区域。通过与传统选点气象改正的改正结果和测量机器人测量结果的比较分析,证明该方法可有效应用于高危边坡变形监测中,在复杂环境下气象影响可控制在亚 mm 级。

关键词:气象扰动;地基合成孔径雷达;精度;边坡监测;永久散射体(PS)

中图法分类号:P237; P258 **文献标志码:**A

与星载和机载合成孔径雷达干涉(interferometric synthetic aperture radar, InSAR)等技术相比,地基 InSAR 具有不含空间基线,采样周期短,空间分辨率高的特点,可高精度监测小范围区域的目标形变^[1]。国内外学者对该技术在桥梁^[2]、冰川^[3]、火山^[4, 5]、建筑物^[6-8]、大坝^[9]、滑坡^[10-13]、矿区沉降^[14]等方面的应用进行了大量研究。研究表明,该技术的测量精度受观测环境中气象扰动影响较大,干涉相位中气象扰动相位往往远大于目标形变相位,需要选取合适的气象扰动相位削弱方法对干涉相位进行气象改正。

目前常用的地基合成孔径雷达干涉(ground-based SAR, GB-SAR)气象改正方法主要有两种。一种是基于观测环境中的气象因子(温度、湿度、气压等),根据经验模型估算干涉相位中的气象影响值^[15],但该方法受限于模型及气象因子的测量精度,无法得到较高的气象改正精度;另一种是构建气象影响与雷达和目标物间距离(或目标物的高度信息)的关系方程,利用观测环境中不同位置处的稳定目标物获取气象扰动值,求解关系方程,进而对不同位置的目标点进行气象改正^[16-24]。这种方法的改正精度受观测环境中稳定点数量、分

布和提取精度等因素影响,当观测范围较小,环境中气象变化较平缓,观测场景内有明显稳定目标时,可得到较高的改正精度;但在气象变化较复杂、观测范围较大,场景内无明显已知稳定目标可供选取的环境下(如施工边坡等),上述方法无法取得理想结果。而此种状况下适用的 GB-SAR 气象改正方法目前国内外尚无相关研究。

本文首先介绍了基于稳定点的 GB-SAR 气象改正模型及方法,针对传统选点改正方法存在的不足,提出利用永久散射体(permanent scatterers, PS)技术构建 PS 气象改正网进行气象改正的新方法,并应用到 GB-SAR 对施工边坡变形监测的实验中,利用实验数据将本文提出方法与传统选点改正方法进行比较分析,最后结合测量机器人的测量结果验证了本文方法的有效性。

1 GB-SAR 气象改正模型及方法

1.1 基于稳定点的气象改正模型

GB-SAR 利用干涉测量技术可获取目标在两次观测时间内的干涉相位 φ^w , 由于 GB-SAR 不含空间基线,且观测周期较短,其干涉相位主要受两

收稿日期:2015-07-25

项目资助:国家自然科学基金(41274021, 41301434);2014 国家测绘地理信息局基础测绘科技项目;精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室开放基金重点项目(PF2015-1)

第一作者:徐亚明,博士,教授,主要从事精密工程测量的理论与方法研究。ymxu@sgg.whu.edu.cn

通讯作者:周校,博士。zhouxia09988@126.com.

次观测时间内目标形变 φ_{disp} 、环境中的气象扰动 φ_{atm} 和噪声 φ_{noise} 的影响, 四者之间关系如下:

$$\varphi^w = \varphi_{\text{atm}} + \varphi_{\text{disp}} + \varphi_{\text{noise}} - 2n\pi \quad (1)$$

式中, φ_{noise} 可通过选取高相关性的目标点和滤波处理进行削弱, 削弱后的噪声相位相对 φ_{disp} 和 φ_{atm} 可忽略不计。因此, 消除 GB-SAR 干涉相位中的气象扰动相位 φ_{atm} 即可获取目标的形变相位 φ_{disp} , 进而得到目标在雷达视线向的形变值。类似地, 观测场景内固定不动的稳定点形变相位 φ_{disp} 为零, 则该点的干涉相位可近似为气象扰动相位。

设雷达波频率为 f_c , 目标点与雷达之间距离为 r_n , 观测场景内的稳定点的大气延迟只受时间 i 影响, 即其变化与距离 r_n 无关并且在雷达传播往返的时间间隔内大气保持稳定, 则获取的雷达相位值 $\varphi(i)$ 为^[25]:

$$\varphi(i) = \frac{4\pi f_c r_n n(i)}{c} \quad (2)$$

式中, c 为光速; 大气延迟系数 n 与大气折射率 N 的关系为 $N = (n-1) \times 10^6$ 。

由于观测场景内的稳定点只受环境中气象扰动影响, 因此稳定点在不同观测时间内气象扰动引起的相位差 $\Delta\varphi$ 为:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi f_c r_n}{c} [n(i_2) - n(i_1)] \quad (3)$$

基于稳定点的气象改正方法假设观测场景内气象扰动影响 φ_{atm} 与目标物和雷达之间的距离 r 存在描述关系式(4), 利用稳定点获取的气象相位和该点到雷达之间的距离信息求解式中系数, 再利用求解的系数对目标点进行气象改正。

$$\varphi_{\text{atm}} = a \cdot r^2 + b \cdot r \quad (4)$$

式中, r 为目标点与雷达之间的距离; φ_{atm} 为 r 处气象扰动影响值; a 、 b 为方程系数。

1.2 基于 PS 气象改正网的改正方法

利用稳定点进行气象改正时, 需要准确选取观测场景内的稳定点, 而在实际应用中, 由于可获得的外部信息不足, 有时无法准确获取观测场景内的稳定点。同时, 当观测场景内环境较复杂时, 需要利用均匀分布的大量稳定点才能准确估算出场景内不同位置的气象扰动影响值。上述影响导致传统的选点气象改正方法无法取得良好效果。

针对传统选点气象改正存在的不足, 本文提出一种基于 PS 气象改正网的气象改正方法。首先利用 PS 技术提取出观测区域内的相位稳定点, 并对稳定点相位进行统计分析, 筛选观测场景内的稳定点, 设定距离阈值构建 PS 气象改正的 Delaunay 三角网, 利用构建的 PS 气象改正网对

目标点进行气象改正。其中位于网内的目标点利用该点所处三角形的顶点进行改正, 网外的目标点利用距离最近的 3 个 PS 点进行改正。该方法主要包括筛选 PS 点和建立 PS 网两步, 具体如下。

根据 PS 点具有散射性强和稳定性高的特点, 利用幅值阈值、相干系数阈值和幅值离散指数阈值结合的多重阈值方法逐层筛选观测场景中的 PS 点, 筛选步骤如下。

1) 解算 M 幅时序 GB-SAR 干涉图影像序列中每幅影像上的各像元点的相干系数, 并将各像元点的相干系数构建时间序列 γ_m ($m=1, 2, \dots, M$);

2) 解算构建时序的像元点的相干系数的平均值 $\bar{\gamma} = \sum_{m=1}^M \gamma_m / M$;

3) 设置相干系数阈值, 选取 $\gamma_m(i, j)$ ($m=1, 2, \dots, M$) $> \bar{\gamma}$ 的 PS 点作为候选点 P_1 ;

4) 计算时序 GB-SAR 干涉图中 P_1 的幅值离散指数 D_A ;

5) 设置合理的幅值离散指数阈值 T_{D_A} , 将 $D_A < T_{D_A}$ 的像元点作为 PS 候选点 P_2 ;

6) 解算时序 GB-SAR 影像幅值序列 m_A ;

7) 设置幅值阈值 T_{m_A} , 将 $m_A > T_{m_A}$ 的 P_2 进行筛选得到 P_3 。

随后对 P_3 点进行筛选并构建用于全场景气象改正的 PS 网, 其步骤如下。

1) 设定构建 PS 网的边长阈值, 将 P_3 中分布密集区域中的点进行筛选;

2) 根据式(3)~(4)估算 PS 点的气象影响值;

3) 对 PS 点相位消除上一步中解算的气象影响相位;

4) 对 PS 点的残余相位进行 t 检验, 设定相位残差的两倍中误差为阈值, 将残余相位超过阈值的 PS 点删除并返回步骤 2), 直到所选 PS 点均满足要求为止。

2 边坡监测实验与分析

2.1 实验区域及数据解释

实验采用 IBIS-L 系统对云南一水电站建设期间的开挖边坡进行了形变监测实验。该施工边坡在实验前曾发生过滑坡现象, 随后其表面采用混凝土进行了加固。为保证加固后施工边坡周围的施工安全, 需要对边坡及其周围区域进行稳定

性监测,因此,实验小组利用 GB-SAR 对整个边坡进行了 3 d 的连续测量,共采集 886 景 GB-SAR 影像用于监测加固边坡在周围施工影响下的稳定性,具体雷达观测参数设置为:雷达倾角 15° ,观测距离 1 000 m,观测时长 3 d 7 h,采样频率 6 min,起止日期为 2012-12-09~2012-12-12,获取雷达影像数为 886 条。架设 GB-SAR 的观测平台定位于被监测边坡底部等高的对岸,根据边坡先期的监测信息,调整雷达视线向与边坡的主下滑方向近似平行,因此可认为雷达监测值即为边坡的形变值。采集的观测场景雷达信号强度图与整体边坡实景的对应图如图 1 所示,其中施工边坡及周围区域位于图 1 中方框内。

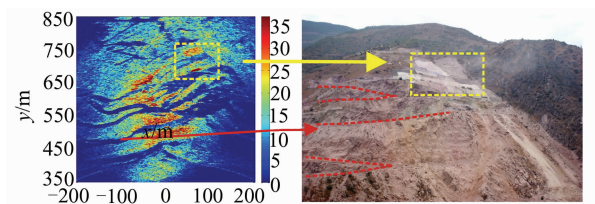


图 1 边坡实景与雷达信号强度对应图

Fig. 1 Relation Map Between Slop Area and Radar Signal Strength

2.2 气象扰动分析

为准确提取观测场景内的稳定点,在进行 PS 点选取时,为保证统计分析时干涉相位的可靠性,首先设定相干系数阈值为 0.99,选取相干系数最强的 PS 候选点,随后顾及 PS 点密度和幅值稳定特征,将幅值离散指数设为 0.15,幅值强度设为 25 dB,最后共选出用于气象改正分析的 2 712 个 P_3 点,如图 2 所示。

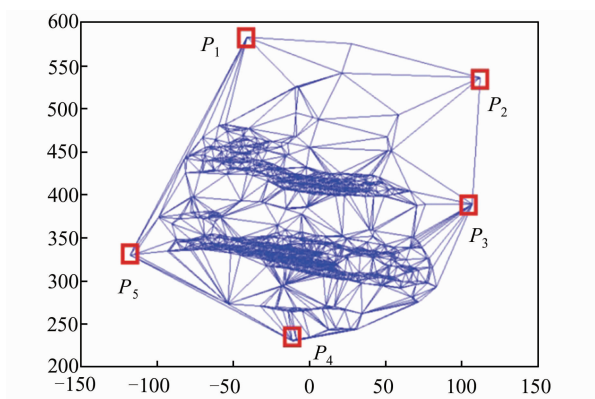


图 2 PS 选取点分布及构网图

Fig. 2 Selected PS Distribution and the Construct Network Diagram

随后设定距离阈值为 35 m,对 PS 点残差进行相位统计分析,对残差相位进行 t 检验,阈值设为 2 倍中误差,将不符合的 PS 点进行删除,最后

筛选出 18 个 PS 点构建气象改正网。同时为检验 PS 点估算的气象影响值可靠性,选取最外围的 5 个 PS 点进行残差相位分析,如图 2 所示。经过滤波后的 PS 残差相位值见图 3。由图 3 可知,气象改正后的 PS 点相位残差值控制在 0.5 mm 以内,且其估算的气象影响值较准确,可达到探测目标亚 mm 级形变的要求。为验证本文提出方法的可靠性,选择观测场景内 3 个不同距离处的目标点,分别采用该方法和传统选点方法进行气象改正。由于选点气象改正时没有其他外部信息可确定山体中的稳定点,考虑到山体底部区域多为基岩且相对较为稳定,故在底部区域选取稳定点进行气象改正。目标点原始形变、选点气象改正后形变及 PS 网改正后的目标形变分别见图 4、图 5、图 6。由图 4 可知,雷达测量结果受施工环境影响较大,原始测量结果的形变趋势与气象变化具有明显的相关性,气象影响值最大可达到 12 mm;由后期的测量机器人测量结果得知该区域内目标点并无明显形变。由图 5、图 6 可知,在气象影响较严重的时段内(中午时分),选点气象改正法无法有效削弱气象影响,其气象残差仍达到 3 mm;在该时段内, T_1 点表现为短时间的剧烈摆动,而 T_2 、 T_3 点表现为跳跃式形变;同时特征点的异常形变与观测时段内的气象变化仍具有明显相关性。由此可知,传统选点的改正方法无法有效削弱气象影响,从而无法得到准确的目标真实形变;采用 PS 网改正后气象影响值可有效控制在 1 mm 以内,改正后的目标点的形变更接近目标的真实形变。

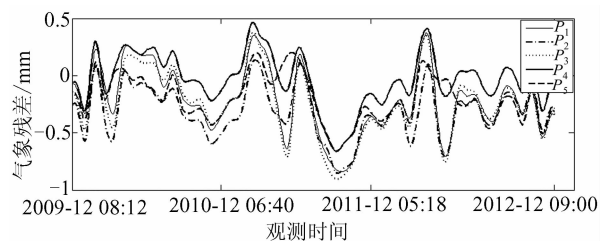


图 3 PS 点相位残差图

Fig. 3 Residual Phase of PS

3 边坡形变分析

利用 PS 气象改正网对观测场景内目标点进行气象改正后的边坡整体形变如图 7 所示(其中正值表示远离雷达视线向)。由图 7 可知,在 GB-SAR 监测期间内,整个边坡共出现三个形变值相对附近目标较大的异常区域,其中开挖边坡所在

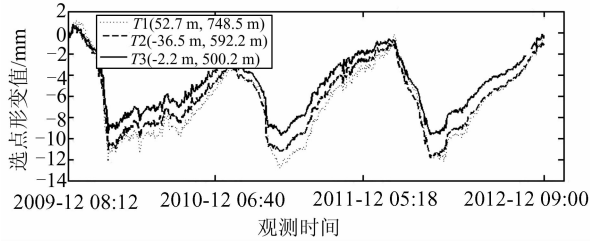


图4 目标点校正前干涉相位图

Fig. 4 Original Interferometric Phase of Targets

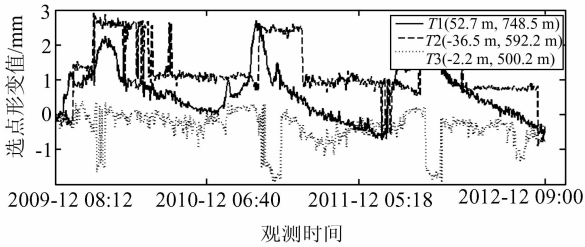


图5 选点气象改正法改正后相位图

Fig. 5 Phase Figure After Correction Using Choosing Point Method

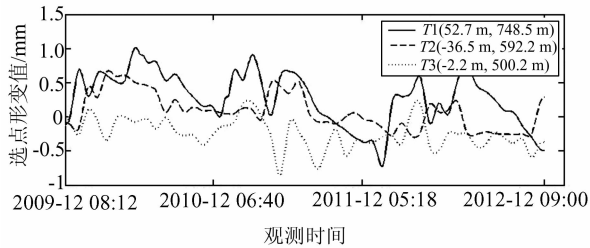


图6 PS网气象改正后相位图

Fig. 6 Phase Figure After Correction Using PS Network Method

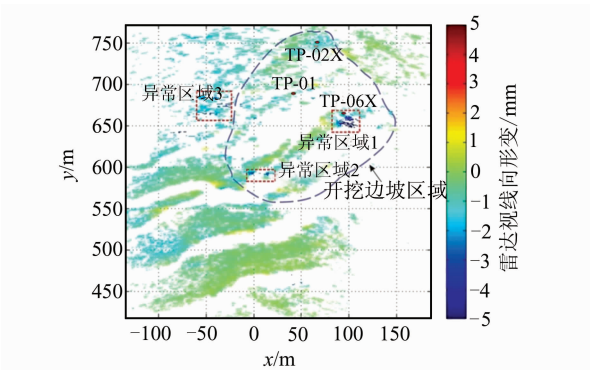


图7 边坡整体形变图

Fig. 7 Deformation Figure of Whole Slop

区域内出现两个异常形变区域,开挖边坡内的其他区域整体形变较小,边坡顶部区域相对中部区域形变较大,但累积形变量均未超过 1.5 mm。分别从开挖边坡区域中部位置及异常区域 1、2 各选取 1 个特征像元点,图 8 中表示为 X_1, X_2, X_3 。

观测其形变特征,像元点形变值见图 8。由图 8 可知,在异常区域 1、2 内的目标点呈现出明显的下降趋势,且形变量分别达到 4 mm 和 2.5 mm,表明该区域极易发生滑坡危险。为保证施工安全及检验 GB-SAR 测量结果,在异常区域 2 周围增设临时监测点 L13,采用全站仪对 L13、异常区域 1 周围的一个监测点和两个其他区域的边坡点共 4 个目标点进行监测,异常区域及监测点在开挖边坡处的位置如图 9 所示,4 个监测点的形变结果见表 1。由表 1 可知,异常区域内的目标点出现明显的下降趋势且形变达到 4 mm 之多,全站仪测量结果与 GB-SAR 测量结果基本吻合,需对该区域进行加固处理;开挖边坡其他区域形变趋势较平缓,边坡中部区域的位移小于 1 mm,边坡

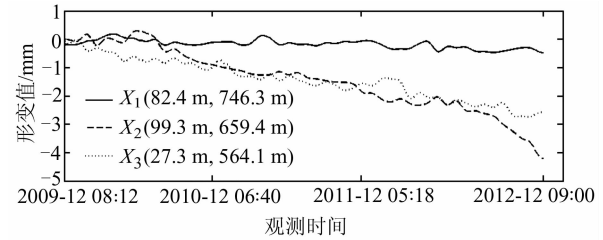


图8 特征像元点形变图

Fig. 8 Deformation of Characteristic Points



图9 开挖边坡实景图

Fig. 9 Live-action Photo of the Excavated Slope

表1 全站仪表观观测数据

Tab. 1 Observation Data of Total Station Instrument

测点编号	埋设高程/m	观测日期	变化量/mm	
			水平位移	垂直位移
TP-01	1 833	2012-12-14	0.6	0.6
		2012-12-20		
TP-02X	1 869.6	2012-12-14	1.8	-0.3
		2012-12-20		
TP-06X	1 814.9	2012-12-12	4	0.8
		2012-12-19		
L13	1 769.4	2012-12-14	4	-0.9
		2012-12-21		

顶部形变相对中部区域较大,边坡顶部在雷达视线向位移约为 1.8 mm,与雷达测量结果较一致。通过全站仪测量结果比较分析可知,GB-SAR 的测量结果准确反映出边坡不同区域的形变趋势。

4 结 语

本文探讨了 GB-SAR 气象改正模型及方法,提出多重阈值的 PS 选取及构建 PS 气象改正网的方法及详细步骤,并应用于边坡监测实践中。通过 GB-SAR 气象扰动分析可知,复杂环境下 GB-SAR 测量精度受气象影响较严重,用于施工边坡监测时受观测环境内灰尘、水汽等因素的干扰,气象影响值可达 12 mm。在气象影响较严重的时段(如中午时段),传统的选点气象改正法无法有效削弱气象影响,气象残差相位有时达到 3 mm,大于目标形变相位,气象改正后的结果无法准确反映目标真实形变。采用多重阈值 PS 选取方法结合 PS 点气象残差统计分析,可在无明显先验稳定点的观测场景中选取最优稳定点,设置相应的距离阈值,筛选出均匀分布的 PS 从而构建气象改正网,将影响值控制在 1 mm 以内。最后,由边坡监测的实验结果可知,采用本文方法改正后的 GB-SAR 测量结果准确探测出被测边坡的三个异常形变区域,与测量机器人探测的形变趋势基本吻合,从而验证了本文提出的气象改正方法的可靠性。

参 考 文 献

- [1] Monserrat O, Crosetto M, Luzi G. A Review of Ground-based SAR Interferometry for Deformation Measurement[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2014,93(7): 40-48
- [2] Xu Yaming, Wang Peng, Zhou Xiao, et al. Research on Dynamic Deformation Monitoring of Bridges Using Ground-based Interferometric Radar IBIS-S[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(7): 845-849(徐亚明, 王鹏, 周校, 等. 地基干涉雷达 IBIS-S 桥梁动态形变监测研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(7): 845-849)
- [3] Han H, Lee H. Motion of Campbell Glacier, East Antarctica, Observed by Satellite and Ground-based Interferometric Synthetic Aperture Radar[C]. The 3rd International Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (AP SAR), Seoul, Korea, 2011
- [4] Sabine R, Matthias B, Carl G, et al. Digital Elevation Model with the Ground-Based SAR IBIS-L as Basis for Volcanic Deformation Monitoring [J]. *Journal of Geodynamics*, 2010, 49(s3-4): 241-246
- [5] Noferini L, Mecatti D, Macaluso G, et al. A High Speed Microwave Interferometer Used for Monitoring Stromboli Volcano[C]. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, Cape Town, South Africa, 2009
- [6] Gentile C, Bernardini G. An Interferometric Radar for Non-contact Measurement of Deflections on Civil Engineering Structures: Laboratory and Full-scale Tests[J]. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2010, 6(5): 521-534
- [7] Zhou Xiao, Wang Peng, Xing Cheng. Micro Deformation Measurement of Building Based on GB-SAR[J]. *Journal of Geomatics*, 2012, 37(5): 40-43 (周校, 王鹏, 邢诚. 基于 GB-SAR 的建筑物微变形测量研究[J]. 测绘地理信息, 2012, 37(5): 40-43)
- [8] Wei Lianhuan, Liao Mingsheng, BALZ Timo, et al. Layover Building Scatterers Extraction via High-Resolution Spaceborne SAR Tomography[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(5): 536-540(魏恋欢, 廖明生, BALZ Timo, 等. 高分辨率 SAR 层析成像建筑物叠掩散射体提取[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(5): 536-540)
- [9] Alba M, Bernardini G, Giussani A, et al. Measurement of Dam Deformations by Terrestrial Interferometric Techniques[C]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, 2008
- [10] Takahashi K, Mecatti D, Dei D, et al. Landslide Observation by Ground-Based SAR Interferometry [C]. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, Munich, Germany, 2012
- [11] Bozzano F, Cipriani I, Mazzanti P, et al. Displacement Patterns of a Landslide Affected by Human Activities; Insights from Ground-Based InSAR Monitoring [J]. *Natural Hazards*, 2011, 59(3): 1 377-1 396
- [12] Casagli N, Catani F, Del Ventisette C, et al. Monitoring, Prediction, and Early Warning Using Ground-based Radar Interferometry [J]. *Landslides*, 2010, 7(3): 291-301
- [13] Yang Honglei, Peng Junhuan, Cui Hongyao. Slope of Large-scale Open-pit Mine Monitoring Deformations by Using Ground-based Interferometry [J]. *Progress in Geophysics*, 2012, 27(4): 1 804-1 811 (杨红磊, 彭军还, 崔洪曜. GB-InSAR 监测大型露天矿边坡形变[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(4): 1 804-1 811)

- [14] Pipia L, Aguasca A, Fabregas X, et al. Mining Induced Subsidence Monitoring in Urban Areas with a Ground-based SAR [C]. Urban Remote Sensing Joint Event, Paris, France, 2007
- [15] Iannini L, Guarnieri A M. Atmospheric Phase Screen in Ground-based Radar; Statistics and Compensation[J]. *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2011, 8(3): 537-541
- [16] Iglesias R, Fabregas X, Aguasca A. Atmospheric Phase Screen Compensation in Ground-based SAR with a Multiple-regression Model over Mountainous Regions [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2014, 52(5): 2436-2449
- [17] Xu Yaming, Zhou Xiao, Wang Peng, et al. Environment Correction Method of Ground-based Radar Interferometry[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2013, 33(3): 41-43 (徐亚明, 周校, 王鹏, 等. 地基雷达干涉测量的环境改正方法研究[J]. *大地测量与地球动力学*, 2013, 33(3): 41-43)
- [18] Zhou Wenbin, Xu Wenbin, Li Zhiwei, et al. Elevation-dependent MERIS Water Vapor Interpolation and Its Application to Atmospheric Correction on ASAR Interferogram[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(8): 963-977 (周文斌, 许文斌, 李志伟, 等. 考虑高程信息的 MERIS 水汽插值及其在 ASAR 干涉图大气改正中的应用[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2012, 37(8): 963-977)
- [19] Yan Ziping, Li Zhenhong. Comparison of Atmospheric Water Vapour Correction Models for InSAR Measurements[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(7): 723-726 (鄢子平, 李振洪. InSAR 大气水汽改正模型的应用研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2008, 33(7): 723-726)
- [20] Wu Yunsun, Li Zhenhong, Liu Jingnan, et al. Atmospheric Correction Models for InSAR Measurements[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(10): 862-867 (吴云孙, 李振洪, 刘经南, 等. InSAR 观测值大气改正方法的研究进展[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2006, 31(10): 862-867)
- [21] Fabregas X, Iglesias R, Aguasca A. A New Approach for Atmospheric Phase Screen Compensation in Ground-based SAR over Areas with Steep Topography[C]. The 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Nuremberg, Germany, 2012
- [22] Iwe H. Ground Based Interferometric Synthetic Aperture Radar for Monitoring Slowly Moving Surfaces [D]. Norway: University of Oslo, 2012
- [23] Yigit E, Demirci S, Unal A, et al. Millimeter-wave Ground-based Synthetic Aperture Radar Imaging for Foreign Object Debris Detection: Experimental Studies at Short Ranges[J]. *Journal of Infrared Millimeter & Terahertz Waves*, 2012, 33(12): 1227-1238
- [24] Song Xiaogang, Li Deren, Liao Mingsheng, et al. A Method to Correct Tropospheric Delay in SAR Interferometry from GPS Observations[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(3): 233-236 (宋小刚, 李德仁, 廖明生, 等. 基于 GPS 观测量的 InSAR 干涉图中对流层改正方法及其论证[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2008, 33(3): 233-236)
- [25] Pipia L, Fabregas X, Aguasca A, et al. Atmospheric Artifact Compensation in Ground-based DInSAR Applications[J]. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 2008, 5(1): 88-92

A Method of Constructing Permanent Scatterers Network to Correct the Meteorological Disturbance by GB-SAR

XU Yaming^{1,2} ZHOU Xiao¹ WANG Peng¹ XING Cheng^{1,2}

1 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Key Laboratory of Precise Engineering and Industry Surveying of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Wuhan 430079, China

Abstract: Atmospheric disturbance has a great influence on the measurement accuracy of Ground-Based SAR; thus the selection of a suitable atmospheric correction method is related to the reliability

Point Cloud Optimization for UAV Image Based on Non-fixed Initial Patch

YANG Nan^{1,2} SHAO Zhenfeng^{1,2} GUO Bingxuan¹ PENG Zhe¹ HUANG Lei³

1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Shenzhen Research and Development Center of State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Shenzhen 518057, China

3 ShenZhen Cadastral Surveying & Mapping Office, Shenzhen 518034, China

Abstract: UAV platform instability causes large geometric deformation in UAV images and unsatisfactory matching accuracy. To address this problem, Point Cloud Optimization for UAV images based on a non-fixed initial patch algorithm is proposed in this paper. By using the difference to calculate approximate normal vector of local tangent plane instead of the differential, and by using this approximate normal vector to establish the initial patch. Two groups of images in campus of Northwestern University and Yangjiang Area were used to test this method. Experimental results show that the Point Cloud Optimization for UAV Image based on a non-fixed initial patch algorithm improved the Patch-based Least Squares Image Matching method, and was superior to the optimization method in PMVS. This method increased the efficiency and the accuracy of point cloud optimization.

Key words: non-fixed initial patch; UAV images; least squares image matching; point cloud optimization

First author: YANG Nan, PhD candidate, specializes in dense matching, multi-view stereo matching and 3D reconstruction. E-mail: candyyanghot@126.com

Foundation support: National Key Foundation for Exploring Scientific Instrument, No. 2012YQ16018505; the National Key Technology Support Program, No. 2013BAH42F03; the New Century Excellent Talents in University, No. NCET-12-0426; Special Project on the Integration of Industry, Education and Research of Guangdong Province, No. 2012B090500016.

(上接第 1012 页)

and accuracy of measurement results. A whole scene atmospheric correction method using the PS atmospheric correction network is proposed, and applied in a experiment monitoring a high-risk slope under construction. The effectiveness of the meteorological correction method proposed in this paper was verified by a comparison with the results of conventional atmospheric correction method and surveying robot.

Key words: atmospheric disturbance; ground-based SAR; accuracy; slope monitoring; permanent scatterers

First author: XU Yaming, PhD, professor, specializes in precision engineering survey. E-mail: ymxu@sgg.whu.edu.cn

Corresponding author: ZHOU Xiao, PhD. E-mail: zhouxiao9988@126.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41274021, 41301434; 2014 Basic Surveying and Mapping Project of National Administration of Surveying; the Open Foundation of Key Laboratory of Precise Engineering and Industry Surveying of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, No. PF2015-1.