

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.03.020

PS-DInSAR 时序差分干涉图公共主影像选取方法

罗海滨¹,何秀凤²

(1.南京信息工程大学遥感学院,江苏 南京 210044;2.河海大学卫星及空间信息应用研究所,江苏 南京 210098)

摘要:针对基于相干系数的 PS-DInSAR 时序差分干涉图主影像优化选取方法存在的干涉对垂直空间基线、时间基线和多普勒质心频率差 3 个因素中有任意一个因素大于临界值时,其他 2 个因素的影响将被忽略的问题,提出了基于正则化距离的主影像优化选取方法.实验结果表明,当干涉图序列的时空基线或多普勒质心频率差总体较大时,所提方法较基于相干系数的方法更加有效和可靠.
关键词:公共主影像;永久散射体;合成孔径雷达;差分干涉测量;优化选取
中图分类号: P228 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)03-0344-04

时空去相干及大气延迟误差是常规 DInSAR 技术目前面临的主要难题,为了解决这一难题, Ferretti 等^[1-2]提出了永久散射体差分干涉测量(PS-DInSAR)技术.与常规 DInSAR 技术相比, PS-DInSAR 技术具有以下优点: (a) PS-DInSAR 技术突破了常规 DInSAR 技术面临的时空基线的限制,提高了其对 SAR 影像的利用率和对缓慢形变的识别能力; (b) PS-DInSAR 技术能够估计并剔除 PS 点处低频大气的影响; (c) PS-DInSAR 技术可以利用精度低的 DEM,并且能对 PS 点处的 DEM 误差进行估计.凭借这些独特优势, PS-DInSAR 技术在监测区域地表形变如断层运动、火山运动以及城市沉降等方面已逐渐展现出广阔的应用前景^[3-11].

差分干涉相位序列是 PS-DInSAR 技术的基本观测量,其质量决定了 PS 处理的精度和可靠性.根据 DInSAR 理论,干涉对的时空基线和多普勒质心频率差是影响干涉相位质量的重要因素.在 PS 处理中,在 SAR 数据集一定的情况下,选取不同的 SAR 影像作为主影像将导致不同的时空基线和多普勒质心频率差集,从而产生质量不同的差分干涉相位序列.因此,如何在众多的 SAR 影像中有效地选取主影像,以最大限度地获得高质量的差分干涉相位序列,是 PS-DInSAR 技术必须解决的首要问题.

本文针对基于相干系数的主影像优化选取方法存在的问题开展研究,提出了基于正则化距离的主影像优化选取方法,并用模拟和盐城地区实测数据验证了所提方法的优势和可靠性.

1 基于相干系数的优化选取方法

根据文献[5,12],时序差分干涉图平均相干系数可采用以下公式计算:

$$\gamma_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N g(B_{k,m}^\perp, B_c) g(T_{k,m}, T_c) g(f_{k,m}, f_c) \tag{1}$$

其中

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 - \frac{|x|}{y} & |x| < y \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{2}$$

式中: γ_m ——备选主影像的平均相干系数; m ——备选主影像序号; N ——干涉像对个数; $B_{k,m}^\perp, T_{k,m}, f_{k,m}$ ——第 k 幅 SAR 影像与备选主影像的垂直空间基线、时间基线和多普勒质心频率差; B_c, T_c, f_c ——临界垂直空间基线、临界时间基线和临界多普勒质心频率差.在分布散射机制下,当干涉像对的垂直空间基线、时间基线或多普勒质心频率差大于其相应临界值时,干涉像对将完全不相干.对于欧空局的 ERS 卫星,上述 3 个临界参数通常取值 1 100 m、5 a 和 1 380 Hz^[5].由于 ENVISAT 卫星的各项参数(如波长、视角)与 ERS 相似,因

此,假定上述临界值对 ENVISAT 卫星也同样适用.基于相干系数的优化选取方法利用式(1)计算所有 SAR 影像对应的平均相干系数 γ 值,选取最大 γ 值对应的 SAR 影像作为最优主影像,从而完成主影像的选取.

2 基于相干系数的优化选取方法存在的问题

为了叙述的简洁,将基于相干系数的优化选取方法简称为相干系数法.为了具体说明相干系数法存在的问题,进行一个模拟实验.设某一地区有 5 幅 ERS SAR 影像,先以 3 号 SAR 影像为主影像,计算其他 SAR 影像相对其垂直空间基线、时间基线和多普勒质心频率差,结果见表 1.

需要说明的是,现实中 2 幅 SAR 影像的多普勒质心频率差通常不会为零,但为了计算简单,本模拟实验假设所有 SAR 影像间的多普勒质心频率差都为零,该假设对实验结果的分析不产生影响.用相干系数法对表 1 中的参数进行计算,结果所有备选主影像对应的平均相干系数 γ 均为零,这使得以 γ 的最大值为最优主影像选取标准的相干系数法不能做出正确的判断.导致相干系数法出现这一问题的原因是,无论以哪一幅 SAR 影像作为主影像,其对应的所有时间基线都大于临界值,这使得式(1)中的 $g(T_{k,m},T_c)$ 始终为零,此时不论垂直空间基线和多普勒质心频率差取何值, γ 都始终为零.可见,利用相干系数法选取主影像存在的问题是:当某一干涉对的垂直空间基线、时间基线和多普勒质心频率差 3 个影响因素中有任何一个大于临界值时,其他 2 个因素的影响将被同时忽略,这降低了 γ 序列的取值范围,造成主影像选取的困难.

3 基于正则化距离的优化选取方法

为了克服相干系数法的缺点,根据文献[13]中给出的正则化距离定义,给出时序差分干涉图平均正则化距离计算公式:

$$d_m = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{\left(\frac{B_{k,m}^\perp}{B_c}\right)^2 + \left(\frac{T_{k,m}}{T_c}\right)^2 + \left(\frac{f_{k,m}}{f_c}\right)^2}$$

(3)

式中 d_m 为备选主影像 m 的平均正则化距离.对所有备选主影像计算平均正则化距离 d ,取 d 最小值对应的备选主影像作为最优主影像.这里将基于式(3)的主影像选取方法称为正则化距离法.由式(3)可以看出,与相干系数法不同,当垂直空间基线、时间基线和多普勒质心频率差中的某一个甚至 3 个大于临界值时,正则化距离也不为零,这在一定程度上保证了平均正则化距离序列的取值范围,为正则化距离法做出正确的判断提供了保障.利用正则化距离法对表 1 模拟数据进行计算,结果见图 1.由图 1 可以看出,3 号影像对应的平均正则化距离最小,因此,正则化距离法将 3 号 SAR 影像选为最优主影像.事实上,由表 1 可以看出,3 号 SAR 影像确实是最优主影像,它使得干涉对序列的时空基线相对最短且分布均匀.这一实验结果充分地证明了正则化距离法优于相干系数法.

为了进一步比较相干系数法和正则化距离法的性能,利用 2 种方法分别对盐城地区 2003—2007 年共 10 幅 ENVISAT ASAR 数据所构成的数据集进行最优主影像选取实验.结果显示 2 种方法取得了相同的结果,对应最优主影像的时空基线分布如表 2 所示.

由表 2 可以看出,6 号 SAR 影像被选为最优主影像,该影像的获取时间位于整个 SAR 数据集的中间,这使得以它为主影像的干涉像对的时间基线相对最短且分布均匀.图 2 给出了分别以 1~10 号 SAR 影像作为主影像时的干涉像对的平均垂直空间基线和平均多普勒质心频率差.由图 2 可以看出,6 号 SAR 影像对应的平均垂直空间基线和平均多普勒质心频率差绝对值最小,这表明以它为主影像的干涉像对的垂直空间基线和多普勒质心频率差相对最短且分布均匀.综合以上分析,6 号 SAR 影像确为最优主影像,2 种方法的选取

表 1 主影像选取实验模拟数据

Table 1 Simulated data for common master image selection tests

SAR 影像 编号	垂直空间 基线/m	时间 基线/a	多普勒质心 频率差/Hz
1	-2	-11	0
2	-1	-6	0
3	0	0	0
4	1	6	0
5	2	11	0

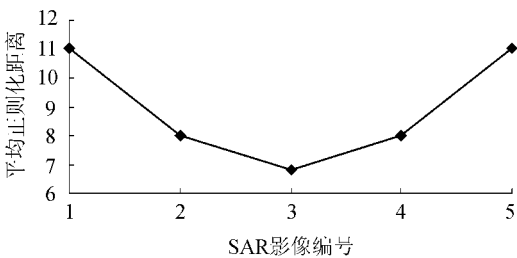


图 1 正则化距离法计算结果

Fig. 1 Calculated results of regularization distance method

结果是正确的.但需要特别指出的是,虽然2种方法都得到了正确的选取结果,但平均正则化距离序列 d 的标准差为0.74,要略大于平均相干系数序列 γ 的标准差0.63,这说明平均正则化距离序列的取值范围大于平均相干系数序列的取值范围,而较大的取值范围更有利于极值的确定,从这一角度看,正则化距离法要优于相干系数法.

表2 盐城 SAR 数据集最优主影像优化选取结果

Table 2 Optimum results of common master image selection for real SAR data in Yancheng									
SAR 影像 编号	影像 获取时间	垂直空间 基线/m	时间 基线/a	多普勒质心 频率差/Hz	SAR 影像 编号	影像 获取时间	垂直空间 基线/m	时间 基线/a	多普勒质心 频率差/Hz
1	2003-12-13	540	-1.7	-5	6	2005-09-03	0	0	0
2	2004-01-17	454	-1.6	-2	7	2005-10-08	-194	0.1	26
3	2004-09-18	238	-1.0	-2	8	2005-11-12	-480	0.2	23
4	2005-01-01	528	-0.7	-2	9	2006-02-25	414	0.5	23
5	2005-06-25	-483	-0.2	-10	10	2007-10-13	-92	2.1	22

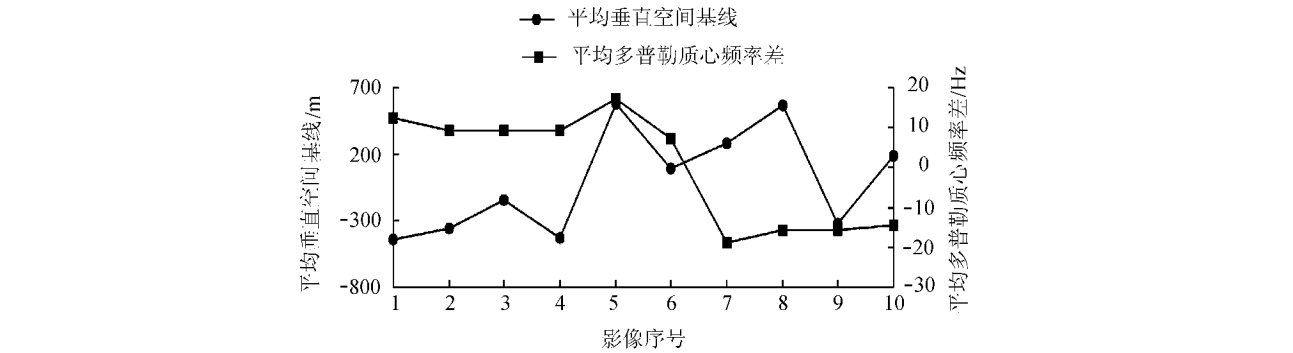


图2 平均垂直空间基线和平均多普勒质心频率差分布

Fig. 2 Distribution of average spatial baselines and Doppler centroid frequency differences

4 结 论

a. 当 SAR 数据集的时空基线总体较长或多普勒质心频率差总体较大时,利用相干系数法进行判断变得不可靠,但正则化距离法仍能取得正确的结果.

b. 当 SAR 数据集的时空基线总体较短且多普勒质心频率差总体较小时,正则化距离法和相干系数法都能取得正确的结果,但正则化距离法略优于相干系数法.

参考文献:

[1] FERRETTI A ,PRATI C ,ROCCA F. Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2000 38(5) :2202-2212.

[2] FERRETTI A ,PRATI C ,ROCCA F. Permanent scatterers in SAR interferometry[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2001 39(1) :8-20.

[3] LYONS S ,SANDWELL D. Fault creep along the southern San Andreas from interferometric synthetic aperture radar ,permanent scatterers , and stacking[J]. Journal of Geophysical Research 2003 ,108(B1) :1101-1124.

[4] 程滔 ,单新建. CR、PS 干涉测量联合解算算法研究[J]. 地震 ,2007 ,27(2) :64-71.(CHENG Tao ,SHAN Xin-jian. Research on algorithm of CRInSAR and PSInSAR combined calculation[J]. Earthquake 2007 27(2) :64-71.(in Chinese))

[5] HOOPER A. Persistent scatterer radar interferometry for crustal deformation studies and modeling of volcanic deformation[D]. Stanford , California Stanford University 2006.

[6] HOOPER A ,SEGALL P ,ZEBKER H. Persistent scatterer interferometric synthetic aperture radar for crustal deformation analysis ,with application to volcan alcedo ,Galapagos[J]. Journal of Geophysical Research 2007 ,112 ,B07407 ,doi :10.1029/2006JB004763.

[7] 王艳 ,廖明生 ,李德仁 ,等. 利用长时间序列相干目标获取地面沉降场[J]. 地球物理学报 ,2007 ,50(2) :598-604.(WANG Yan ,LIAO Ming-sheng ,LI De-ren ,et al. Subsidence velocity retrieval from long-term coherent targets in radar interferometric stack[J]. Chinese Journal of Geophysics 2007 50(2) :598-604.(in Chinese))

[8] 刘国祥 ,陈强 ,丁晓利 .基于雷达干涉永久散射体网络探测地表形变的算法与实验结果[J].测绘学报 ,2007 ,36(1) :13-18.
(LIU Guo-xiang ,CHEN Qiang ,DING Xiao-li .Detecting ground deformation with permanent-scatterer network in radar interferometry : algorithm and testing results[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica 2007 36(1) :13-18.(in Chinese))

[9] LIU G X ,BUCKLEY S M ,DING X L ,et al .Estimating spatiotemporal ground deformation with improved persistent-scatterer radar interferometry[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2009 47(8) :2762-2772.

[10] KIM S W ,WDOWINSKI S ,DIXON T H ,et al .Measurements and predictions of subsidence induced by soil consolidation using persistent scatterer InSAR and a hyperbolic mode[J].Geophysical Research Letter 2010 37 :1-5.

[11] 陈国汧 ,刘云华 ,单新建 .PS-InSAR 技术在北京采空塌陷区地表形变测量中的应用探析[J].中国地质灾害与防治学报 ,2010 21(2) :59-63.(CHEN Guo-hu ,LIU Yun-hua ,SHAN Xin-jian .Application of PS-InSAR technique in the deformation monitoring in mining collapse areas in Beijing[J].The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2010 21(2) :59-63.(in Chinese))

[12] 陈强 ,丁晓利 ,刘国祥 .PS-DInSAR 公共主影像的优化选取[J].测绘学报 ,2007 ,36(4) :395-399.(CHEN Qiang ,DING Xiao-li ,LIU Guo-xiang .Method for optimum selection of common master acquisition for PS-DInSAR[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica ,2007 36(4) :395-399.(in Chinese))

[13] PEPE A ,LANARI R .On the extension of the minimum cost flow algorithm for phase unwrapping of multitemporal differential SAR interferograms[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2006 44(9) :2374-2383.

Method of time series differential interferogram common master image selection for PS-DInSAR

LUO Hai-bin¹ , HE Xiu-feng²

(1. School of Remote Sensing , Nanjing University of Information Science & Technology , Nanjing 210044 , China ;
2. Institute of Satellite Navigation & Spatial Information System of Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The method of time series differential interferogram common master image selection for PS-DInSAR based on the coherence coefficient of interferometric pairs was analyzed. Its problem was pointed out as follows : one of the three factors of spatial baseline , temporal baseline and Doppler centroid frequency difference was greater than the critical value , the other two factors would be ignored. To solve the problem , an optimum method for the common master image selection by using the regularization distance was proposed. The simulated and real SAR data processing results show that the proposed new method is more effective and reliable than the method based on coherence coefficient when most of the spatial-temporal baselines or the Doppler centroid frequency differences are greater than the critical value.

Key words : common master image ; permanent scatterer ; synthetic aperture radar ; differential interferometry ; optimum selection