

CRInSAR 大气校正模型比较与分析

王兴旺 (天津市政工程设计研究院, 天津 300201)

摘要 人工角反射器辅助雷达干涉测量(CRInSAR)中,电磁波信号受各种因素的影响,其中大气能够引起信号延迟和传播路径弯曲,在此先对已有大气中对流层校正模型进行比较,然后对基于GPS数据和气象观测数据的大气改正方法进行试验研究,证明大气校正模型对雷达干涉测量的影响和消除的有效性。

关键词 雷达干涉测量;人工角反射器;大气校正

中图分类号 S163 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)13-03966-03

Comparison and Analysis of CRInSAR Atmospheric Correction Model

WANG Xing-wang (Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300201)

Abstract Corner Reflector Interferometric Synthetic Aperture Radar(CRInSAR), electromagnetic wave signal is affected by various factors. The atmosphere can cause signal delay and propagation path curve. First, the available atmospheric correction models were compared. Then, atmospheric correction methods based on GPS data and meteorological observation data were studied, the influence of atmospheric model to the radar interferometry and effective elimination were proved.

Key words Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR); Corner reflector; Atmospheric correction

在雷达干涉测量(InSAR)中,电磁波信号受各种因素的影响,其中大气能够引起信号延迟和传播路径弯曲^[1]。大气影响是一种不确定的因素,不能用固定的算法模拟。对于高精度测量如形变监测,大气的就会成为一个重要因素。大气中对流层和电离层是主要影响信号传播部位,对流层大气温度、湿度和气压变化大,电磁波信号会在这种介质中传播时路径发生变化。电离层中,是受测区范围的影响,要是测区范围大,不同部位电离层的发布情况就必须考虑,如果测区面积小,电离层产生的影响可以认为是相同的。大气校正模型可以分为统计型和物理型两类^[2]。统计型是基于陆地表面变量和分析遥感数据的相关关系,容易建立且可以有效地概括从局部区域获取的数据。物理模型遵循遥感系统的物理规律,它们也可以建立因果关系,实际操作中很难完全实现。笔者在此首先对已有大气中对流层校正模型进行比较,然后对基于GPS数据和气象观测数据的大气改正方法进行试验研究,证明大气校正对雷达干涉测量的影响和消除的有效性。

1 常用的统计型大气校正模型

1.1 相位累积平均法 对试验区的多幅干涉图进行相位解缠,然后求平均,来达到降低大气影响的目的。此方法的缺点是相同SAR干涉影像很难获取;相位梯度无法检核,需要相位解缠;形变速率必须假设为常数;突发的影响无法去除。

1.2 利用GPS数据和气象观测资料 GPS可以提高时间分辨率和平面位置精度,气象数据提高了外部数据的空间分辨率。此法的优点是可以应对各种气象条件,且精度高;缺点是数据要求苛刻,需要有SAR卫星过境时的GPS数据^[3]。

1.3 永久散射体(PS)技术 利用特定的点上的相位数据来估计地球物理信号。此方法的优点是通过识别高相干目

标,获取地区干涉相位的不同成分。此方法的缺点是需要25~30幅SAR影像才能获得比较;依赖于测区可靠的高相干点的数量和分布。

1.4 利用MODIS和MERIS的数据 反映可降水汽总量。此方法缺点是只有在晴朗的天气条件下收集到的PWV值才可以用来改正InSAR的测量结果;MODIS-PWV高估了水汽量,需要先校准。

这些大气校正方法各有优缺点,不同的校正方法适合在不同的条件下。可以根据实际情况选择方法,最终达到有效去除大气效应的影响。在此对基于GPS数据和气象观测数据的大气改正方法进行试验与研究。

2 基于GPS和气象数据的CRInSAR大气校正模型

基于研究区域有连续运行的GPS基准站,可以满足有SAR卫星过境时的GPS数据^[4],大气校正模型的实施步骤如下。

2.1 对流层总的天顶对流层延迟(ZTD)数据获取 其计算公式为 $ZTD = ZHD + ZWD$,其中, ZHD 为天顶静力学延迟(Zenith Hydrostatic Delay), $ZHD = \frac{0.002277P_s}{f(\varphi, H)}$, $f(\varphi, H) = 1 - 0.00266\cos(2\varphi) - 0.00028H$,其中,地面气压 P_s 和CR点的地面高程 H 是已知的; ZWD 为天顶湿延迟(Zenith Wet Delay), ZWD 是通过获取InSAR卫星过境前后时间段的相关GPS的连续观测数据,运用GAMIT软件分析,获得各点 ZWD ,即 $ZWD = 0.002277\left(\frac{1}{T_0} + 0.05\right)e_0$,其中, T_0 是气象观测站测到的近地表大气温度(K); e_0 是气象观测站测到的水汽偏压(hPa)。

2.2 CR(人工角反射器)点上的天顶延迟(ZHD)计算 由于大气层延迟改正的空间分辨率上,GPS方法远小于InSAR方法,必须对GPS得到的对流层改正数进行内插计算^[5]。常用的内插计算方法有距离反比加权内插法(IDW)和克里金内插法(Kriging),由于研究区域CR点、GPS站点的坐标和高程已知,克里金插值(Kriging)法能够更好地满

足精度要求。

2.3 大气延迟计算 大气延迟的计算原理就是将计算得到的 ZTD 转换到视线方向。

2.4 对流层延迟改正 改正对流层延迟的方法有双差算法和精密单点定位 (PPP) 法, 在此采用的是双差算法。对于重复轨道干涉测量, 分别获取对应于主、辅影像的不同时刻的天顶湿延迟。把主、辅影像的天顶湿延迟作差, 映射到视线方向, 转换成相位值, 就得到 InSAR 大气延迟相位改正值。j 号 CR 点在 i 幅的干涉影像的大气相位值可以表示为: $\varphi_{atmos}^{i,j} = \frac{4\pi}{\lambda \cos(\theta_{i,j})} (ZWD(t^i, j) - ZWD(t^0, j))$, 式中, λ 为 SAR 信号波长, θ 为 SAR 信号入射角。差分的大气相位 $\Delta\varphi_{atmos}^{i,j}$ 可以表

示为 $\Delta\varphi_{atmos}^{i,j} = \varphi_{atmos}^{i,j} - \varphi_{atmos}^{i,0}$ 。将所得数据与 IGS 网站提供数据进行对比分析, 结果显示双差法估计对流层延迟有较高精度; 但在双差法解算过程中, 必须要有远距离测站参与解算才能保证对流层延迟估计的精度。

3 实例分析

以天津滨海新区为例, 收集的 10 个连续 GPS 站 (图 1) 的数据。在 InSAR 卫星过境时刻的前后 12 h 范围内, 取得相关的 GPS 的连续观测数据, 并用 GAMIT 处理得到每个站点过境时刻的 ZWD (表 1)。将 10 个站所得到的 ZWD 数据用 simple Kriging 插值法插值到 CR 点上, 分别得到 4 个 CR 点上的 ZWD (图 2)。



图 1 滨海新区连续 GPS 站位置和 CR 角反射器放置的位置

表 1 2010 年滨海新区连续 CGPS 站 InSAR 卫星过境时刻的 ZWD

时间	GPS1	GPS2	GPS3	GPS4	GPS5	GPS6	GPS7	GPS8	GPS9	GPS10
01-09	0.304 6	0.259 2	0.329 2	0.336 6	0.337 8	0.271 5	0.336 2	0.324 1	0.261 4	0.275 1
02-26	0.419 6	0.376 1	0.398 5	0.359 2	0.383 7	0.343 2	0.362 9	0.412 1	0.364 6	0.416 1
04-14	0.378 3	0.396 6	0.384 6	0.433 9	0.471 3	0.364 8	0.475 3	0.374 3	0.416 3	0.407 5
08-08	0.322 9	0.299 7	0.329 9	0.367 6	0.309 5	0.343 0	0.339 1	0.293 7	0.361 1	0.299 6
10-12	0.249 7	0.278 5	0.331 1	0.265 4	0.324 9	0.298 4	0.316 7	0.260 0	0.295 4	0.311 9
12-28	0.169 3	0.210 8	0.186 4	0.194 6	0.161 2	0.227 1	0.188 3	0.233 8	0.175 0	0.245 9

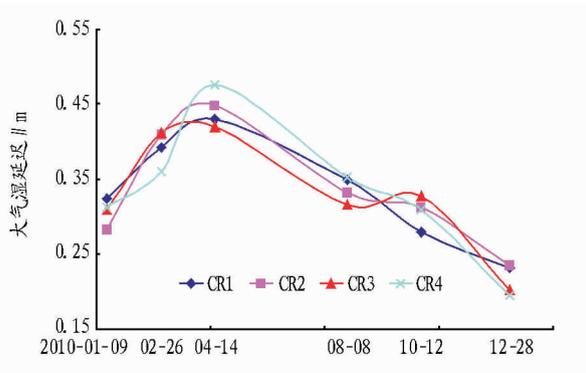


图 2 CR 点上插值出的大气湿延迟

差分 ZWD 用以校正干涉相位的大气的时间差异。在此以 2010 年 4 月 14 日的数据为参考时间, 利用 simple Kriging 插值法计算估算出滨海新区的差分 ZWD。从未经过改正的与经过改正后的 InSAR 形变结果的相位值 (图 3) 可以明显看出, 干涉图的相位变化明显降低, 由试验的数据得知, 干涉图的相位变化从改正前的 2.21 cm 降低至改正后的 1.08 cm, 改善程度达 51.1%。

4 结论

CRInSAR 技术能够解决较小区域的形变监测, 为测绘外业工作节省了大量的人力物力。但在实现高精度形变监测时, 必须去除大气延迟影响。文中通过总结比较现有常用的大气校正模型, 建立了基于 GPS 观测数据的大气改正模型,

并通过试验数据反映出滨海新区布设的角反射器点位上的大气影响,从试验数据看出,大气校正模型对雷达干涉测量

的影响消除效果明显。去除大气的影响,为后续形变监测的数据精度提供了保障。

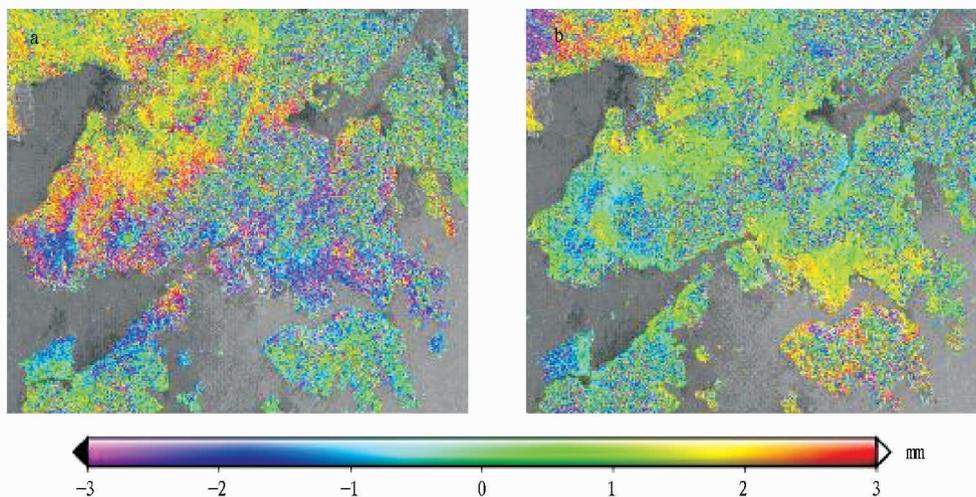


图3 干涉对未经过大气改正的(a)与经过大气改正后(b)生成的差分干涉

参考文献

- [1] GOLDSTIEN R. Atmospheric limitations to repeat-track radar interferometry[J]. *Geophys*, 1995, 22(18): 2517-2520.
- [2] 郑伟, 曾志远. 遥感图像大气校正方法综述[J]. *遥感信息*, 2004(4): 66-70.
- [3] LI Z W, DING X L, LIU G X. Modeling Atmospheric Effects on InSAR with Meteorological and Continuous GPS Observations; Algorithms and Some Test results [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2004, 66: 907-917.
- [4] LI Z W, DING X L, HUANG C, et al. Modeling of atmospheric effects on InSAR measurements by incorporating terrain elevation information [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2006, 68(11): 1189-1194.
- [5] LI Z. Correction of water vapor effects on repeat-pass InSAR using GPS MODIS and MERIS data. Department of Geomatic Engineering [D]. London: University of London, 2005.

(上接第 3934 页)

与工程用地、林地、园地、旱地、天然湿地、人工湿地(表 1)。

表 1 白塔河省级湿地公园土地利用规划

湿地类型	面积 hm ²	占土地总 面积比例//%
风景游赏与设施用地	62.09	10.13
交通与工程用地	3.10	0.50
旱地	21.50	3.46
林地	10.40	1.67
人工湿地	9.60	1.55
天然湿地	513.50	82.69
合计	620.19	100.00

10 效益评析

10.1 生态效益评析 白塔河省级湿地公园是典型的以泛滥地等天然湿地为主,同时由多类型组合而成的湿地公园,具有巨大的综合生态系统服务功能,对过度的人为干扰活动进行了严格管理和控制,特别是在对项目区域内湿地和森林生态系统进行保育的基础上,建立了流域复合生态系统,保护和营建多样性的湿地生境,丰富了湿地公园内湿地景观类

型,为各类湿地生物提供多样化栖息空间,显著提升了湿地公园生态承载力和综合生态效益。

10.2 社会经济效益评析 ①引导湿地保护与利用走上科学轨道,实现了资源开发与环境保护协调发展。在保护湿地独特生态环境的前提下,合理利用了湿地自然资源和文化资源等,发展了生态休闲旅游等特色产,为当地增收致富和经济发展起到促进作用。②在保护生物多样性方面具有显著作用,科学地保护了湿地这一稀缺自然资源,有效增加了水禽、湿地植物等物种数量,带来了好的经济和社会效益。③有效地保护了白塔河湿地生态系统的完整性,在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、降解环境污染等方面取得了很好的效益。

参考文献

- [1] 彭镇华. 中国城市森林[M]. 北京:中国林业出版社, 2003.
- [2] 国家林业局湿地保护管理中心. 国家湿地公园总体规划导则[EB/OL]. (2010-02-23) <http://www.doc88.com/p-9052004492783.html>.
- [3] 国家环保部,中国科学院. 全国生态功能区划[EB/OL]. (2008-07) <http://www.docin.com/p-4047461.html&endPro=true>.
- [4] 全国绿化委员会,国家林业局. 全国造林绿化规划纲要(2011-2020年)[EB/OL]. (2011-06) <http://www.nmshgch.com/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=244>.