

星载 SAR 干涉技术的理论与方法研究

Study of the Theory and Technology of Space-borne SAR Interferometry

于晶涛

(同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092)

合成孔径雷达干涉(INSAR)测量和差分干涉(D-INSAR)测量是20世纪后期迅速发展起来的对地观测新技术。相对于传统的空间遥感方式,合成孔径雷达具有全天时、全天候、高分辨率以及对地面和植被有一定穿透能力等突出的优点,不仅是传统空间遥感和摄影测量方法的有效补充,而且开拓了全新的观测方式和应用领域,成为未来3维测图与区域地形形变监测领域最具潜力的新技术之一。但是,由于完全不同于其他遥感方式的成像机理以及海量的数据,对后期数据处理提出很高的挑战,极大地限制了这项新技术的推广应用。

本论文着眼于干涉测量数据处理的全过程,在深入分析SAR成像机理与干涉图的性质的基础上,广泛分析利用前人研究成果,对整个干涉处理过程做了系统、全面、深入的研究,重点解决数据处理中的关键问题,期望在推动该项新技术的普及应用特别是在国内的推广应用方面做一些先导性研究。

具体研究内容包括:

1. INSAR测高原理。尽管当前对合成孔径雷达干涉测量高程的原理解释模型多种多样,但均着眼于从不同理解角度和不同适用范围出发,侧重于干涉实现和计算公式推导。本文在阐述干涉测高原理的同时,有意地将“为什么需要干涉”,“干涉的本质目的何在”等理解性问题着重提出和阐述,有助于该领域的初学者更容易把握到INSAR的关键问题。

系统分析了SAR干涉测量的必要条件,重新推导了新形式的合成孔径雷达干涉测量中独立观测的测量误差对高程测量精度影响的误差传播公式,分析这些公式有助于更好的理解和设计INSAR干涉测量系统。

2. SAR复数影像匹配问题。对适用于复数影像匹配的匹配测度做了探讨,实现了包括重叠景区自动概略配准、像素级匹配和亚像素级匹配三个步骤的从粗到精的SAR复数影像自动匹配方案,将基于伪金字塔影像的分频道影像相关和回归分析法检验匹配联系点对有效性应用于SAR复数影像匹配,提高了SAR复数影像匹配的可靠性和匹配速度;

对不同匹配方法(包括实相关系数最小二乘匹配、复相干系数最小二乘匹配、复相干系数过采样匹配和最大干涉频谱匹配)的配准精度、适应性及计算效率做了比较分析;对考虑辐射和几何畸变改正的最小二乘法亚像素级精匹配与不考虑畸变改正的过采样亚像素级精匹配的匹配精度做了比较分析,并由此对当前的最小二乘匹配辐射畸变与几何畸变改正模型对复数影像匹配的合理性提出置疑。

3. 干涉图质量评价和去平地效应问题。分别从相干系数图、伪相干系数图、相位导数变化图及距离向相位差图的直方图等方面对相干质量进行评价;实现了轨道几何法去平地效应和距离向频谱检测法去平地效应。

4. 干涉条纹图滤波问题。分析了干涉条纹图滤波相对于一般数字图像滤波的特殊性和几种现有滤波算法的优缺点;在分析干涉条纹图一阶差分分布性质的基础上设计了新的椭圆加权滤波算法;对新滤波算法的滤波性能、加权模型和计算复杂度做了分析并推导了相关公式;在对真实ERS-1/2复数数据处理中比较评价了新滤波算法与几种已有滤波算法的性能,证明该新滤波算法具有噪声抑制能力强,边缘保持效果好以及运算速度快等优点。

5. 相位解缠问题。在介绍了二维相位解缠

中存在的问题后,分析了两大类经典的相位解缠算法(路径跟踪法和最小范数法)各自所存在的问题,在此基础上实现了将两类经典算法相结合的相位解缠方法;提出在没有可参考的高精度 DEM 可用情况下评价相位解缠质量的三种途径,对相位解缠的一致性和精确性做出比较客观且全面的评价;在实际的数据处理中,比较了这种融合的相位解缠方法与两类经典相位解缠算法的解缠效果,得出了具有启示意义的结果和结论。

6. 基线估计和差分干涉测量问题。笔者完成了一个从地球观测卫星委员会(CEOS)标准原始数据直到干涉生成 DEM 的完整实现方案,并

且完全自行编写了切实可操作的软件原型系统,积累了丰富的算法库函数。

于晶涛,男,吉林省东丰县人,1976年生,1999年获同济大学测量与国土信息工程系测量工程专业学士学位,1999年9月至2001年3月于同济大学测量与国土信息工程系地图制图学与地理信息工程专业攻读硕士学位,2004年3月获同济大学测量与国土信息工程系大地测量学与测量工程专业博士学位。主要研究遥感与数字摄影测量、数字图像处理等。

导师:陈映鹰

《测绘学报》2001~ 2005 年度选题方向

经第八届《测绘学报》编委会第一次会议的讨论,确定了本刊在 2001~ 2005 年度的选题方向,本刊将积极关注以下各方面的研究热点,刊载以下诸方面的论文。

1. 卫星导航定位的研究、服务和应用;
2. 地球重力场和地球动力学的研究;
3. 大地测量学同其他相关学科的综合研究;
4. 数字摄影测量;遥感图像处理的智能化问题;
5. 近景摄影测量与计算机视觉;
6. 高分辨率、高光谱和多角度遥感器原理和技术,激光扫描仪技术与应用;
7. 地图、地理的理论和技巧;地图数据的符号化、可视化研究;
8. GPS, RS, GIS 集成的理论、技术及其在社会经济可持续发展中的应用;
9. 基础地理信息的综合分析及集成应用;
10. 精密测量工程的理论、技术及其应用;
11. 海洋测绘;
12. 地图印刷的新技术和新方法。