

CryoSat-2 SARIn 数据干涉处理及 DEM 获取

董玉森¹ Chang Hsing-Chung² 张奎³ 马娇⁴ 汪舒³ 孙攀⁴

1 中国地质大学(武汉)计算机学院智能地学信息处理湖北省重点实验室,湖北 武汉,430074
2 麦考瑞大学环境科学学院,悉尼 新南威尔士,2109
3 重庆大学通讯工程学院,重庆市,400044
4 中国地质大学(武汉)地球科学学院,湖北 武汉,430074

摘 要: CryoSat-2 搭载的合成孔径/干涉雷达高度计能够精确地探测海洋与大陆冰面高程变化,其合成孔径干涉模式(synthetic aperture interferometric mode, SARIn)提供的干涉数据可以利用传统差分干涉测量技术反演地面的高程信息,但在欧洲空间局公布的 SARIn 二级产品没有充分地利用这一信息。介绍了 SARIn 模式工作原理,并结合传统干涉测量技术,提出利用 SARIn 一级(level 1b, L1b)数据进行数字高程模型提取的算法和流程。通过数据质量检查,剔除数据中的错误信息;通过信号强度和相干性选择合适的解缠起点,实现干涉数据的逐行解缠;计算出卫星视角,结合卫星姿态、速度、位置和视线向距离等信息计算地面点的三维信息,最终插值生成 SARIn DEM (digital elevation model)。利用该算法对 2012 年 1 月~4 月的 SARIn L1b 数据进行干涉处理,获得了南极 Lambert 冰川流域局部地区的数字高程模型。通过对比 ICESat DEM 和 RMAP DEM,表明 SARIn DEM 具有较高的精度,能够满足南北极等地区的高程变化研究。

关键词: CryoSat; SARIn; 干涉处理; 数字高程模型

中图法分类号: P237 **文献标志码:** A

数字高程(digital elevation model, DEM)是研究地球表面冰盖、冰川变化的重要资料之一^[1]。利用合成孔径雷达干涉测量(synthetic aperture radar interferometry, InSAR)技术^[2-3]、立体像对技术^[4-5]及星载测高技术^[6]可以获得不同地区的高程信息。不同时间高程信息的变化反应了冰盖、冰川的厚度变化信息,对研究南北极地区在全球气候变化背景下冰架、冰盖的物质平衡及其对全球海平面上升的贡献具有重要意义^[7-8]。

早期的星载(ERS-1/2、ENVISAT)高度计数据受到分辨率和数据质量的影响,导致星载高度计无法准确获得南北极地区冰盖的变化信息^[9],卫星轨道的影响导致一些关键的地区无法被观测到^[10-11]。这一现象随着 ICESat 投入使用而有所改善,但是 ICESat 所搭载的激光高度传感器容易受到天气的影响^[12]。CryoSat-2 是欧洲空间局(European Space Agency, ESA)于 2010 年发射的一颗专门用于精确探测地球海洋与大陆冰面变化的卫星^[13]。星上搭载的合成孔径雷达/干涉雷

达高度计(SAR/interferometric radar altimeter, SIRAL)能够提供海面高程、冰面高程等信息。SIRAL 具有低分辨率模式(low resolution mode, LRM),合成孔径模式(synthetic aperture mode, SAM)及合成孔径干涉模式(synthetic aperture interferometric mode, SARIn)^[14]三种工作模式。LRM 模式是利用单天线的有限脉冲测高仪模式, SAM 模式是利用单天线进行合成孔径测量。SARIn 模式则利用双天线模式获取地物返回信号的相位差,以获得高精度的地面高程信息,该方式与航天飞机雷达地形测绘使命(shuttle radar topography mission, SRTM)工作方式类似。目前,基于 SIRAL 的数据,研究人员发现了海面高度变化、南极和格陵兰岛的高程变化及物质平衡变化,为全球变化研究提供重要的参考^[7,8,15]。

由于 SARIn 一级(Level 1b, L1b)数据本身具有与传统雷达干涉模式具备的信息,能够通过干涉处理获得条带式的 DEM 信息^[15-16]。但是在

收稿日期:2016-04-28

项目资助:国家自然科学基金(41001248, 41404027);中国地质调查局(1212011220106, 12120115063201);智能地学信息处理湖北省重点实验室开放研究课题(KLIGIP201605)。

第一作者:董玉森,博士,讲师,主要从事地学遥感及全球变化的理论与方法研究。dongyusen@gmail.com

ESA 公开的 SIRAL 数据产品中, SARIn 数据的二级产品数据仅仅包含了单点的经纬度坐标和高程信息^[17], 没有充分地利用 SARIn 双天线干涉信息。本文通过分析 SARIn 模式的原理, 建立了从 SARIn 一级产品 (L1b 数据) 获取 DEM 的干涉处理流程, 并以南极 Lambert 冰川地区为例, 结合参考 DEM 数据, 分析 SARIn 数据处理过程中的误差来源及获取的 DEM 精度。

1 SARIn 模式工作原理

CryoSat-2 卫星上装载了两部 SIRAL 天线。在 SARIn 模式下, 左天线向地面发射波长为 0.022 1 m 的 Ku 波段脉冲信号, 左右天线同时接收地面反射回来的信号。通过计算左右两个天线接收到信号的相位差及信号返回时间, 可以精确地计算地物的三维信息^[16]。SARIn 模式的信号传输模式如图 1 所示。

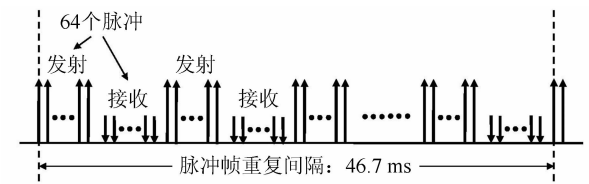


图 1 SARIn 模式下 SIRAL 信号传输与接收示意图
(据 Wingham^[14] 修改)

Fig. 1 SARIn Transmission and Reception Mode

SIRAL 脉冲信号传输模式与传统的 SAR 有所不同。在 SARIn 模式下, 64 个脉冲重复频率 (pulse repetition frequency, PRF) 为 18.182 kHz 的脉冲被组合在一起, 形成一个脉冲帧; 脉冲帧的重复频率 (burst repetition frequency, BRP) 为 21.4 Hz。在时间序列上, SIRAL 首先发射一个脉冲帧, 然后接收地面反射的信号, 这里线性调频信号的带宽为 350 MHz, 远大于 SARIn 模式的采样频率 11.43 MHz。回波信号的采样窗口约为 240 m, 共包含 512 个采样数据。

类似于传统的 SAR 模式, 在 SARIn 数据处理中, 采用了“停-走-停 (Stop and Go)”的模式。由于 PRF 非常高, 相比传统的 SAR, SARIn 不需要进行方位向压缩处理, 仅仅需要进行距离向处理^[18]。经过类合成孔径雷达成像技术处理后, 该数据包含了卫星的位置、姿态、速度、基线矢量及地面目标的平均反射强度、干涉相位及相干性等信息^[17]。在 SARIn L1b 干涉获取时, 假设 O 为地面观测点, A 、 B 分别为 SIRAL 的左、右天线, θ 为 A 天线视线与垂直方向夹角, β 为卫星的滚动

角, 其基本原理如图 2 所示。

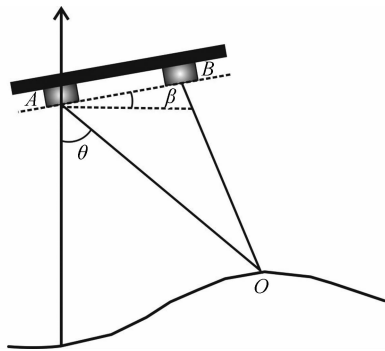


图 2 SARIn 干涉原理图
Fig. 2 Principle of SARIn Operation

在不考虑卫星滚动角 β 情况下, 相对于地面点 O , 天线 A 、 B 接收到的相位差 $\Delta\varphi$ 可以表示为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi B_l \sin\theta}{\lambda} \quad (1)$$

式中, B_l 为基线长度; λ 为波长。 θ 与 $\Delta\varphi$ 的关系可以表达为:

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{1}{B_l} \cdot \Delta\varphi = \Delta\varphi / k_0 B_l \quad (2)$$

式中, k_0 为载波数。

当引入滚动角 β 后, 公式 (2) 可以写为^[14]:

$$\sin(\theta + \beta) = \Delta\varphi / k_0 B_l \quad (3)$$

因此, 在 SARIn L1b 数据中已经提供了为解缠的相位信息 $\Delta\varphi$ 及基线的矢量信息, 可以按照传统的 InSAR 处理模式完成 DEM 的提取。

2 SARIn 干涉处理流程

Cryosat-2 卫星由 ESA 进行管理并发布相关的数据产品。SARIn 模式的 L1b 数据为“DBL”格式, 每一个文件中包含了一个沿轨方向长条状的多组数据信息。每两组数据之间在沿轨方向上的间隔大约有 300 m。在当前的基线 (baseline, B) 模式下每一组数据对应一组经过多视处理后的返回脉冲信号, 包含 512 个采样点, 对应距离向约 240 m, 转换为地面距离约为 15 km^[17]。但是在最终发布时, 这一数据被重采样, 对应距离向减少到约 120 m, 距离向分辨率提高一倍。

根据 SARIn L1b 数据的特点, 参照 InSAR 干涉数据处理的原理, 可以建立 SARIn DEM 数据处理流程, 具体如图 3 所示。

2.1 数据质量检查

在 SARIn L1b 进行解缠处理时, 首先需要对数据进行质量检查, 剔除由于记录或前期处理中出现的错误信息^[20]。在强度图中存在错误的数

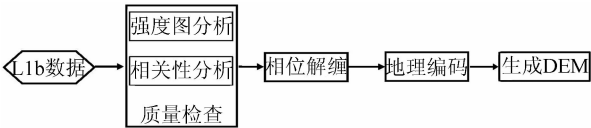
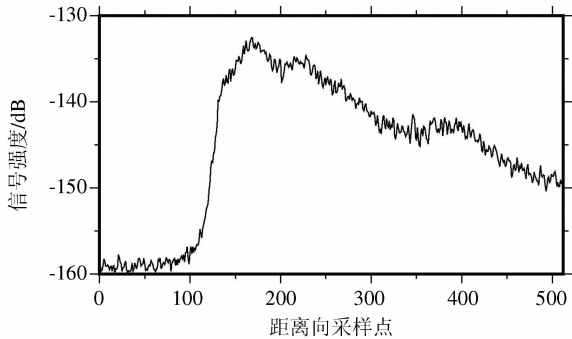


图 3 SARIn DEM 数据处理流程图

Fig. 3 Flowchart of SARIn DEM Generation

据组与两侧的数据中地物存在明显的不连续,在处理过程中必须删除这些数据,以免在后期平滑处



理时引入新的误差。同时,较低的信号强度可能对应系统的热噪音,且相干性较低的区域在解缠中会带来新的误差。因此在质量检查中,不但要删除空间错位的数据,也需要在每一组数据中根据反射强度和相干性对数据进行掩膜处理。本文以 2011 年 2 月 7 日通过研究区的 SARIn L1b 降轨数据中的第 1 500 组数据为例,说明数据的处理及解缠过程。该组数据的信号强度及相干性如图 4 所示。

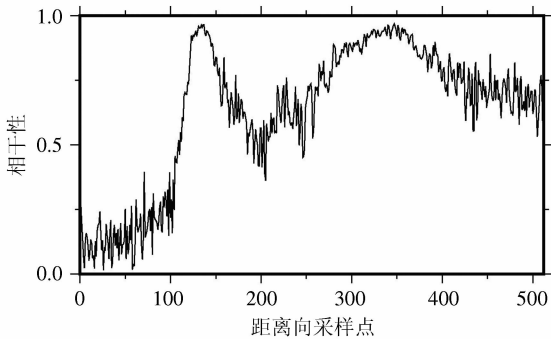


图 4 单组数据中的信号强度值与相干性

Fig. 4 Return Power and Coherence in Single Line

2.2 相位解缠

干涉图中的相位是缠绕后的相位值,通过对干涉数据进行相位解缠,将缠绕后的干涉相位恢复到原始状态,获得对应式(3)中真实的 $\Delta\varphi$ 值。在解缠之前,首先对相位值进行平滑处理,然后采用逐行解缠一维解缠方法进行相位解缠,这也是目前在 SARIn L1b 解缠处理中常用的一种方法^[15]。

为了提高解缠精度,我们在选择解缠初始点时,对每一组数据分别从中选择反射强度及相干性比较高的点为起始点向两侧进行解缠处理,这样避免了解缠起始点噪音较大带来的解缠误差。在解缠的过程中,忽略相关性低于 0.2 的采样点,且只保留信号强度大于 0.4 倍最大强度值的采样点。相位解缠前及相位解缠后的结果如图 5 所示,其中红色方块代表该组数据相位解缠起始点位置。

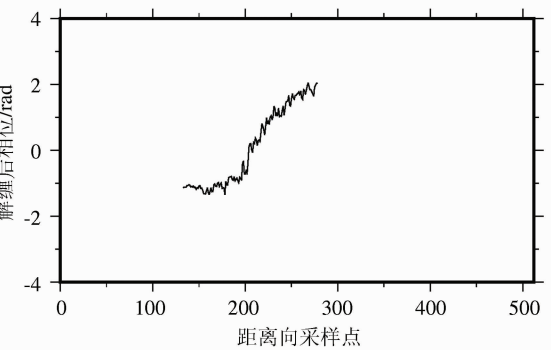
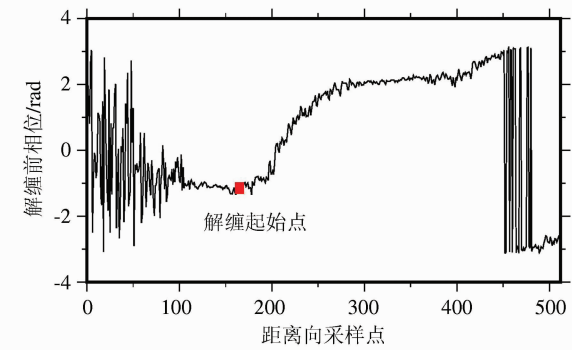


图 5 单组数据解缠前及解缠后的相位值

Fig. 5 Original Phase and Unwrapped Phase

2.3 高程计算及地理编码

在完成相位解缠后,可以得到 L1b 数据中每一个采样点的相位值。利用式(3),计算出卫星的视角大小和方向。由卫星的位置、卫星视角方向、卫星基线矢量、卫星与观测目标的距离等参数,可以计算出地面观测点的坐标和高程信息。

3 实验结果及精度验证

3.1 研究区域及数据情况

研究区位于南极东部的 Lambert 冰川流域。该流域是南极最大的冰川流域,面积占整个南极冰盖的 1/8^[21]。本文选取了通过该流域的 2011

年 1~4 月 500 多期次的 SARIn L1b 数据,利用本文提出的算法,获得了每一个条带上有效点的高程及坐标,并建立覆盖该区域部分地区的 DEM 数据。研究区有效高程点在 200 m 分辨率下的分布密度情况如图 6 所示。为了验证所获得的 DEM 的精度,我们从美国国家冰雪数据中心(National Snow and Ice Data Center, NSIDC)收集了该区域的 RAMP DEM(V2)和 ICESat DEM 作为参考 DEM,对所获得的 DEM 进行验证。

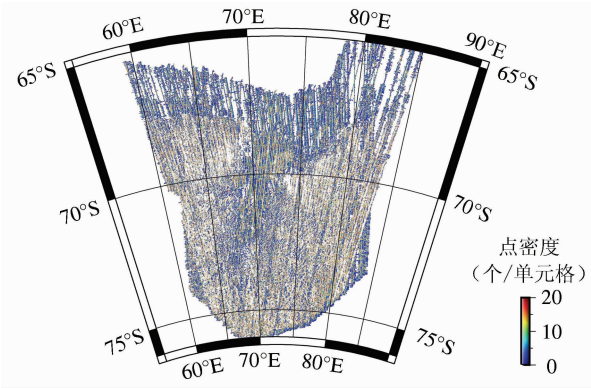


图 6 SARIn 有效点高程点分布密度情况示意图
Fig. 6 Density of Effective Points of SARIn DEM

RAMP DEM 是利用 RADARSAT 雷达干涉数据获得的高精度 DEM,本文研究中使用了 NSIDC 所提供的 200 m 分辨率的第二版 DEM 数据,其精度随地形复杂程度而有所不同,在地形

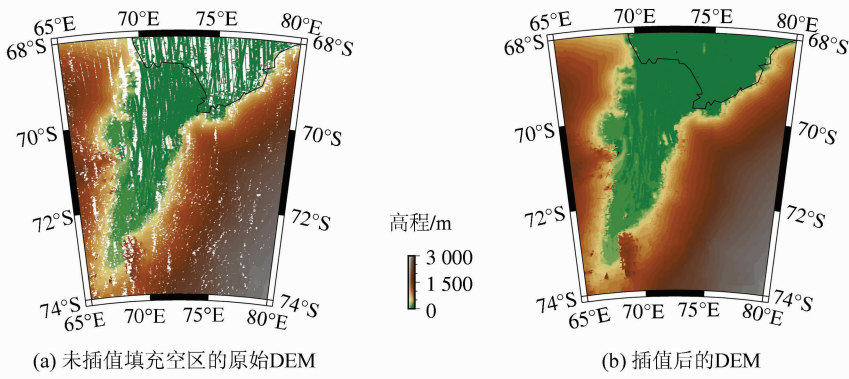


图 7 插值前及插值后的 SARIn DEM
Fig. 7 SARIn DEM with and Without Interpolation

从图 8 中可以看出,SARIn DEM 与 ICESat DEM 之间的误差较小,其均值为-4.96 m,标准差为 16.22 m,ICESat 所获得的高程值要大于 SARIn DEM。而对于 RAMP DEM, SARIn DEM 与其差异的均值为 15.89 m,标准差为 21.79 m。这表明后者与 SARIn DEM 之间存在着较大的误差。这主要是由于不同的高程获取机

复杂的山区 RAMP DEM 的垂直精度约为 100~130 m,在内陆冰盖区的精度优于 15 m,冰架区优于 2 m,在坡度较大的沿岸地区垂直精度约为 35 m^[22]。而 ICESat DEM 则是利用 2003~2006 年的 ICESat/GLAS 测高数据处理后得到的高精度 DEM。其分辨率为 500 m,垂直精度随着点密度从极地到赤道方向逐步减少而有所降低^[23]。

为了保证上述数据在同一坐标体系和同一分辨率下进行对比,将所有 DEM 投影为南极极地坐标系,同时通过通用制图工具(Generic Mapping Tools, GMT)^[24]的 blockmean 功能计算不同分辨率尺度下每一个格网内所有 SARIn 数据有效点的均值作为该格网所代表的高程,将 SARIn DEM 分辨率分别采样为 200 m 和 500 m,分别对应 RAMP DEM(V2)和 ICESat DEM。最终所获得的 200 m 分辨率有效高程点分布密度图如图 6 所示,DEM 如图 7 所示。尽管部分空白区域无高程点信息,但经过插值后的 DEM 能够反映出地表的形态。

3.2 SARIn DEM 精度验证

为了避免数据插值带来的误差,本文利用在同分辨率下采取点对面的方式统计 SARIn DEM 与参考 DEM 之间的差异。利用 ArcGIS 计算 SARIn DEM 中每一个有效单元的高程值与参考 DEM 之间的差值,得到了区域内 SARIn DEM 与参考 DEM 之间的差异情况(如图 8 所示)。

理引起的^[25-26]。ICESat GLAS 主要是测量了冰雪表面的高程^[27],RAMP DEM 所用 RADARSAT 卫星所使用的 C 波段雷达对冰雪表面具有一定的穿透性^[26],而 SARIn 所用的 Ku 波段雷达对冰雪同样具有穿透性^[28],但穿透程度低于 C 波段。因此, SARIn DEM 的平均高程值要低于 ICESat DEM 但高于 RAMP DEM。

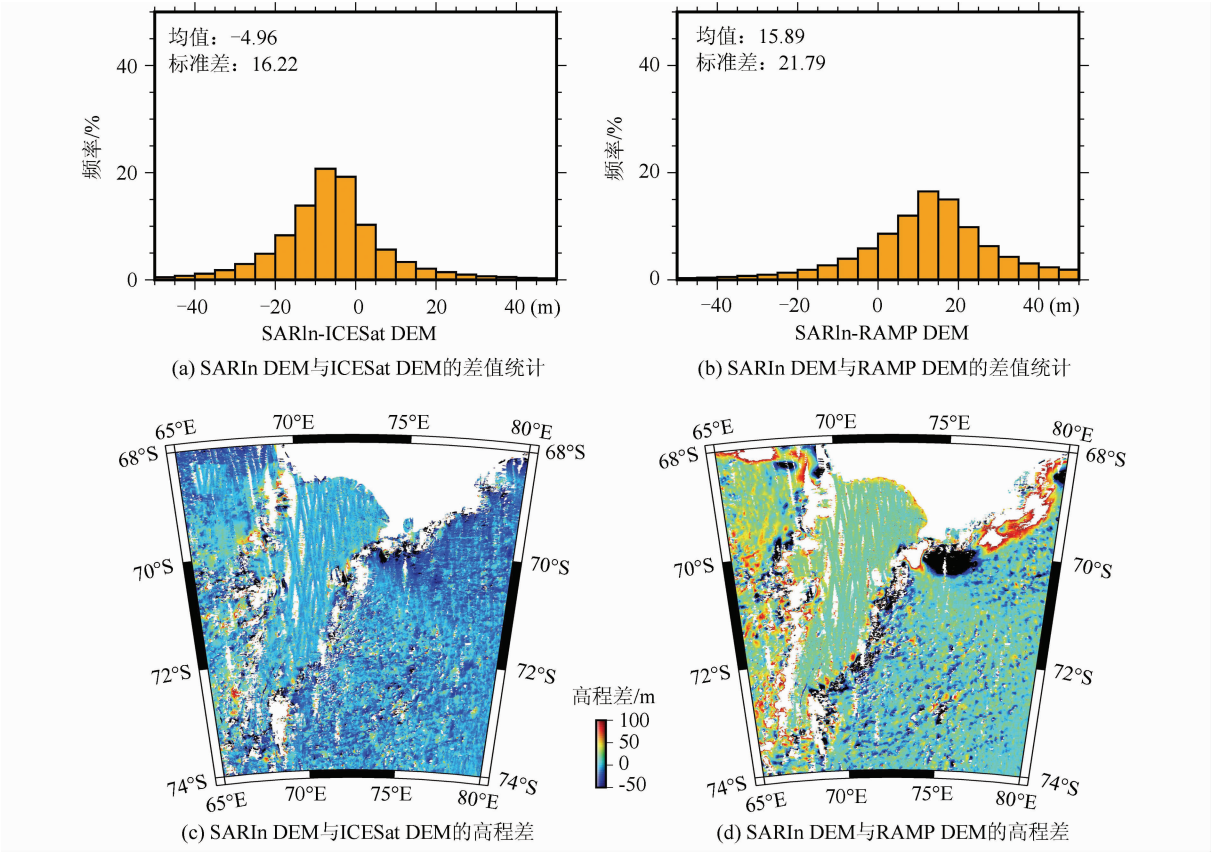


图 8 SARIn DEM 与参考 DEM 的差值图及误差分布频率

Fig. 8 Frequency and Difference Between the SARIn DEM and Reference DEM

在图 8(c)及图 8(d)中存在 SARIn DEM 与参考 DEM 的误差在空间分布上具差异性,在图 8(d)中误差分布尤其明显。这主要是由于 SARIn DEM 与参考 DEM 在平面上的误差引起的。这种平面误差存在于常用的 DEM 中,如 SRTM 和 GDEM^[5, 29, 30]。本文在处理过程中忽略了不同 DEM 的平面误差。

4 结 语

CryoSat-2 是欧洲空间局^[31]发射的一颗高性能的地球海洋与大陆冰面的观测卫星,利用其 SARIn 观测模式可以获取高精度的地形信息。本文通过分析 CryoSat-2 卫星 SAR/干涉雷达高度计的工作方式,特别是其中的 SARIn 模式工作原理,结合 InSAR 数据处理方法,建立了 SARIn L1b 干涉数据到 DEM 的算法流程。

基于这一流程,本文以南极 Lambert 冰川地区为研究区,利用 2011 年 1 月~4 月 500 多次的 SARIn L1b 数据,获取了该区域的 SARIn DEM,并利用 ICESat DEM 和 RAMP DEM 对其精度进行了验证。结果表明,利用 SARIn 模式的 L1b 数据,可以有效地获取研究区的 DEM。因

此,SARIn DEM 可以为极地冰盖高程变化及物质平衡研究提供重要参考。

后续将结合美国冰桥(IceBridge)科学计划的高精度观测数据对利用 SARIn 干涉生成的 DEM 和 L2 数据生成 DEM 分别进行检验,评价不同 DEM 的精度。

致谢:感谢欧洲空间局(ESA)及美国国家冰雪数据中心(NSIDC)提供研究所需的数据。

参 考 文 献

[1] Pepin N, Bradley R S, Diaz H F, et al. Elevation-dependent Warming in Mountain Regions of the World[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5: 424-430

[2] Zhou Y, Zhou C, Deng F, et al. Improving InSAR Elevation Models in Antarctica Using Laser Altimetry, Accounting for Ice Motion, Orbital Errors and Atmospheric Delays[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 162: 112-118

[3] Dong Yusen, Ge Linlin, Chang H-C, et al. Mine Subsidence Monitoring by Differential InSAR[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(10): 888-891(董玉森, Ge Linlin, Chang H-C, 等. 基于差分雷达干涉测量的矿

- 区地面沉降监测研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(10): 888-891
- [4] Cook A J, Murray T, Luckman A, et al. A New 100-m Digital Elevation Model of the Antarctic Peninsula Derived from ASTER Global DEM: Methods and Accuracy Assessment[J]. *Earth System Science Data*, 2012, 4(1): 129-142
- [5] Dong Y, Chen W, Chang H-C, et al. Assessment of Orthoimage and DEM Derived from ZY-3 Stereo Image in Northeastern China[J]. *Survey Review*, 2015, 48(349): 247-257
- [6] Liu J, Tong X, Liu S, et al. Elevation Change of Lambert-Amery System from ICESat/GLAS Data [C]. 2012 Second International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), Shanghai, China, 2012
- [7] Helm V, Humbert A, Miller H. Elevation and Elevation Change of Greenland and Antarctica Derived from CryoSat-2[J]. *The Cryosphere*, 2014, 8(4): 1 539-1 559
- [8] Mcmillan M, Shepherd A, Sundal A, et al. Increased Ice Losses from Antarctica Detected by CryoSat-2[J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41(11): 2014GL060111
- [9] Wen J, Jezek K C, Monaghan A J, et al. Accumulation Variability and Mass Budgets of the Lambert Glacier-Amery Ice Shelf System, East Antarctica, at High Elevations [J]. *Annals of Glaciology*, 2006, 43(1): 351-360
- [10] Liu H, Jezek K C, Li B. Development of an Antarctic Digital Elevation Model by Integrating Cartographic and Remotely Sensed Data: A Geographic Information System Based Approach[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104(B10): 23 199-23 213
- [11] Brenner A C, Dimarzio J P, Zwally H J. Precision and Accuracy of Satellite Radar and Laser Altimeter Data Over the Continental Ice Sheets[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2007, 45(2): 321-331
- [12] Slobbe D C, Lindenberg R C, Ditmar P. Estimation of Volume Change Rates of Greenland's Ice Sheet from ICESat Data Using Overlapping Footprints[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(12): 4 204-4 213
- [13] Abdalati W, Zwally H J, Bindshadler R, et al. The ICESat-2 Laser Altimetry Mission[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2010, 98(5): 735-751
- [14] Wingham D J, Francis C R, Baker S, et al. CryoSat: A Mission to Determine the Fluctuations in Earth's Land and Marine Ice Fields[J]. *Advances in Space Research*, 2006, 37(4): 841-871
- [15] Gray L, Burgess D, Copland L, et al. Interferometric Swath Processing of Cryosat Data for Glacial Ice Topography[J]. *The Cryosphere*, 2013, 7(6): 1 857-1 867
- [16] Jung D-T L H-S, Yoon G-W. Development of an Efficient Processor for SIRAL SARIn Mode[J]. *Korean Journal of Remote Sensing*, 2010, 26(3): 335-346
- [17] Bouzinac C. CryoSat Product Handbook[R]. London, UK: ESA and Mullard Space Science Laboratory - University College London, 2012
- [18] Wingham D J, Phalippou L, Mavrocordatos C, et al. The Mean Echo and Echo Cross Product from a Beamforming Interferometric Altimeter and Their Application to Elevation Measurement[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2004, 42(10): 2 305-2 323
- [19] Scagliola, M. CryoSat Footprints[R]. SAR-CRY2-TEN-6331; European Space Agency, Paris, France, 2013
- [20] Kleinherenbrink M, Lindenberg R C, Ditmar P G. Monitoring of Lake Level Changes on the Tibetan Plateau and Tian Shan by Retracking Cryosat SARIn Waveforms[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 521: 119-131
- [21] Ren Jiawen, Xiao Cunde, Qin Dahe, et al. Mass Balance of the Lambert Glacier Basin, East Antarctica[J]. *Science in China (Serie D)*. 2002, 32(2): 134-140(任贾文, 效存德, 秦大河, 等. Lambert冰川流域物质平衡和南极冰盖变化[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2002, 32(2): 134-140)
- [22] Liu H, Jezek K C, Li B, et al. RADARSAT Antarctic Mapping Project Digital Elevation Model Version 2 [R]. Boulder, Colorado, USA: National Snow and Ice Data Center, 2001
- [23] John D. GLAS/ICESat 500 m Laser Altimetry Digital Elevation Model of Antarctica [R]. Boulder, Colorado, USA: National Snow and Ice Data Center, 2007
- [24] Wessel P, Smith W H, Scharroo R, et al. Generic Mapping Tools: Improved Version Released[J]. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 2013, 94(45): 409-410
- [25] Baek S, Kwoun O-I, Braun, et al. Digital Elevation Model of King Edward VII Peninsula, West Antarctica, From SAR Interferometry and ICESat Laser Altimetry[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2005, 2(4): 413-417
- [26] Rignot E, Echelmeyer K, Krabill W. Penetration Depth of Interferometric Synthetic-aperture Radar

Signals in Snow and Ice[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(18): 3 501-3 504

[27] Zwally H J, Yi D, Kwok R, et al. ICESat Measurements of Sea Ice Freeboard and Estimates of Sea Ice Thickness in the Weddell Sea[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 2008, 113(C2)

[28] Kwok R, Cunningham G F. ICESat over Arctic Sea Ice: Estimation of Snow Depth and Ice Thickness [J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 2008, 113(C8)

[29] Rodriguez E, Morris CS, Belz JE. A Global Assessment of the SRTM Performance[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2006, 72 (3):249-260

[30] Dong Y, Chang H C, Chen W, et al. Accuracy Assessment of GDEM, SRTM, and DLR-SRTM in Northeastern China [J], *Geocarto International*, 2015, 30(7):779-792

[31] Michele S, Marco F. Known Biases in CryoSat Level1b Products[R]. European Space Agency, Paris, France, 2013

CryoSat-2 SARIn Interferometric Processing for DEM Generation

DONG Yusen¹ CHANG Hsing-Chung² ZHANG Kui³ MA Jiao⁴ WANG Shu³ SUN Pan⁴

- 1 Hubei Key Laboratory of Intelligent Geo-Information Processing, College of Computer Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
- 2 Department of Environmental Sciences, Macquarie University, NSW 2109, Australia
- 3 College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China
- 4 School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The SAR/interferometric radar altimeter (SIARL) on the CryoSat-2 platform is designed to accurately determine the height changes in the Earth’s continental and marine ice fields. In addition, its synthetic aperture radar interferometry mode (SARIn) is capable of providing precise three-dimensional measurements. However, SARIn level 2 products provided by the European Space Agency (ESA) do not fully utilize interferometric information. In this paper, the basic principles of the SARIn mode are introduced. By integrating the traditional interferometric synthetic aperture radar (InSAR) technique, a processing scheme is proposed for SARIn level 1b (L1b) data to extract digital elevation models (DEMs). This processing scheme uncludes three steps. Firstly, checking the quality of the input data eliminates erroneous information. Secondly, a starting point for phase unwrapping is determined, based on the magnitude and the coherence of the received signals and a targeted algorithm is accirdingly designed and implemented to unwrap the interferometric phase along the across-track direction on a line-by-line basis. Thirdly, the look angle of the satellite is calculated and used to estimate the 3D information of ground points. After a process of interpolation, DEM are generated. With the use of the proposed scheme, the SARIn L1b data acquired between January 2012 and April 2012 were processed. The ground elevation of Lambert Glacier in Antarctic was mapped and compared to the ICESat DEM and RAMP DEM. The results demonstrate that a DEM generated based on SARIn data can satisfy the research requirements for ice cap mapping in polar areas.

Key words: CryoSat; SARIn; Interferometric Processes; DEM

First author: DONG Yusen, PhD, lecturer, specializes in geological remote sensing and global changing. E-mail: dongyusen@gmail.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41001248, 41404027; the China Geological Survey project, Nos. 1212011220106, 12120115063201; the Open Research Project of The Hubei Key Laboratory of Intelligent Geo-Information Processing, No. KLIGIP201605.