# 基于高度计数据的南极冰水边界识别算法研究

张 婷1,张 杰1,王红霞1,2,张 晰1,纪永刚1

(1. 国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛 266061; 2.中国海洋大学,山东青岛 266003)

摘要:海冰边缘线是南极海冰监测的重要内容之一。本文基于 ENVI RA-2 (ENVISAT Radar Altimeter 2) 高度计数据开展了南极海冰边缘线提取方法研究。首先根据海冰和海水后向散射系数的不同,利用其 各自方差对两者进行区分,获得了冰水分界线;其次通过 ENVISAT-ASAR (ENVISAT-Advanced Synthetic Aperture Radar)数据和冰况图对提取的海冰边缘线的正确性进行了验证;最后简要分析了误 差存在的原因。研究结果表明,高度计数据在提取大范围海冰边缘线方面具有优势。

关键词: 南极海冰; 海冰边缘线; 高度计数据; SAR (Synthetic Aperture Radar)
中图分类号: P352 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)10-0012-05
doi: 10.11759/hykx20131031002

南极洲位于地球最南端,是世界上最大的天然 冰库。南极海冰不仅直接影响海洋环流,还对全球大 气环流起到举足轻重的作用。因此,对南极海冰要素的 监测具有重大意义,其中,监测海冰外缘线对海冰覆 盖范围估计和气象研究等具有重要的指导作用<sup>[1]</sup>。

现今,遥感技术已成为监测南极海冰的主要手段,具有覆盖面积大、快速获取及近实时等特点。其中的微波遥感对光照条件不敏感,不受云层覆盖影响,具有全天候、全天时的特性,尤其适用于南极的海冰监测。微波遥感中的高度计在高纬度地区轨道较密集,对极地海冰的连续监测十分有利。现在利用高度计开展海冰探测,尤其是对海冰边缘线、冰面高度及体积等参数的探测还是比较多的<sup>[2-6]</sup>。微波遥感中的 SAR (Synthetic Aperture Radar)可以生成高分辨率影像,能够精确观测海冰,分析海冰边缘区域和云层覆盖的冰缘区域特性<sup>[7-8]</sup>。

本文主要基于高度计和 ENVISAT-ASAR (ENV-ISAT-Advanced Synthetic Aperture Radar)数据开展南 极海冰边缘线探测,利用 ENVI RA-2 (ENVISAT Radar Altimeter 2)高度计数据提出了基于海冰后向 散射特性的海冰边缘线提取方法,并通过 ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar)数据和冰况图对 提取结果的正确性进行了验证。

1 实验区域与数据源介绍

本文目的在于提取南极海冰边缘线,因此选择 冰水相交的区域。本文研究南极海冰所用到的高度 计和 SAR 数据分别由搭载在 ENVISAT 卫星上的 RA-2 高度计和 ASAR 获取。RA-2 选用 Ku(13.575GHz) 波段和 320MHz 带宽。RA-2 高度计在 320MHz 带宽 时对各种地物的探测精度最高<sup>[9]</sup>。通过与较高分辨率 的 ASAR 影像及冰况图获得的结果进行对比,来验 证海冰外缘线提取结果的正确性。SAR 影像源自搭 载在 ENVISAT 卫星上的 ASAR Wide Swath 影像,极 化方式是 VV/HH,成像宽度为 400 km,分辨率为 150 m。冰况图是由世界气象组织定义的海冰信息格 式,其中包含指定区域中的海冰总密集度、每类海冰 的密集度、每类海冰的类别标识及浮冰尺寸等。

# 2 基于高度计数据的南极海冰边缘 线提取方法

高度计能够通过探测到的后向散射回波来反映 地物的特性。用高度计数据提取海冰边缘线,是基于 海冰和海水后向散射回波能量不同的原理。海冰和 海水后向散射回波的不同可以从下面 2 个方面给予 解释。一方面,脉冲的传输时间与卫星和测量面(海 洋、陆地或者是海冰面)之间的距离是成比例关系的。 脉冲传输时间越长,卫星和测量面之间的距离越大, 反之,则越小。海冰是浮在海水上的,因而,卫星与 海冰面之间的距离比它到海水的距离要小。在用高

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目 (GY02-2009G13);龙计划三期项目(ID:10510)

收稿日期: 2013-10-31; 修回日期: 2014-05-22

作者简介:张婷(1982-),女,山东淄博人,助理工程师,硕士,从事 微波遥感数据处理研究,电话: 0532-88960569, E-mail: zhangting@ fio.org.cn

度计探测海冰时,相对于用其探测海水,其雷达脉 冲的传输时间较短、损耗的能量较少、散射回来的 能量较大。另一方面、海冰和海水本身的物理构成不 同、海水的构成成分比较单一、雷达接收到的能量 就是来自干海水的单一的表面后向散射。而海冰内 部有很多的卤水泡以及盐粒等小散射体、这些小散 射体使得海冰比海水又多了一层体散射。综上所述, 在用高度计对海冰和海水进行探测时,海冰的后向 散射值要比海水的大。本文正是基于它们后向散射 值的不同来提取海冰边缘线的。在用高度计数据提 取海冰的后向散射值时应注意: 高度计地球物理数 据(Geophysical DataRecord, GDR)中的后向散射值虽 然已经经过定标了, 但是为了计算精确的后向散射 值、还应考虑到大气中的水汽引起的衰减。本文中所 用到的由高度计提取的海冰后向散射值都是经过了 大气校正的。

由于高度计回波信号具有波动性,因而我们考虑用方差 *S<sup>2</sup>* 这个物理量来描述海冰和海水后向散射 值的变化程度。

$$S^{2} = \frac{1}{n-1} [(x_{1} - x)^{2} + (x_{2} - x)^{2} + \dots + (x_{n} - x)^{2}] \quad (1)$$

公式(1)中, n 表示样本点个数, x<sub>i</sub>(i=1, 2, 3, …, n)表示 第i个样本点的值, x 表示 n个样本点的均值。方差  $S^2$  越大代表后向散射值的变化越剧烈、反之、则小。 在对高度计获得的海冰和海水后向散射值求方差时 发现,选取合适的样本点个数 n 可以有效保留后向 散射值的波动性。经过试验发现, n 取 4 时, 能较好 地保持海水和海冰后向散射值自身的波动性特征。 然后对结果进行拟合。基于后向散射值的方差提取 海冰边缘线的模型如图 1 所示。通过统计分析发现, 海冰后向散射值的方差及其变化范围比较大,而海 水后向散射值的方差及其变化范围相对较小。前者 的方差都大于  $1dB^2$ ; 而后者的方差在  $0\sim 1dB^2$ , 基本 都在0附近。并且在海冰和海水的交界区域、方差值 的变化最剧烈、曲线明显出现陡降、即图1中由A点 到 B 点这段。本文设定二者的中点, 即 A、B 两点差 值的一半 C 点处所对应的位置为冰水的分界点。本 文方法流程图见图 2。

## 3 海冰边缘线提取方法的应用实例

### 3.1 RA-2 数据与 ASAR 影像的匹配

本文选用 2009 年 6 月 27 日和 8 月 2 日获取的 经过定标的高度计二级产品 GDR 和波形数据(Sensor



图 1 高度计提取的海冰边缘线模型图

Fig.1 Sea ice edge model diagram extracted by altimeter



图 2 高度计提取冰水边界算法流程图



Geophysical Data Record, SGDR),对南极海冰进行 了探测研究。ASAR 影像已经过定标、校正以及滤噪 处理,并与高度计数据进行了匹配。RA-2 高度计和 ASAR 数据的匹配结果如图 3 所示,图中红色的线表 示高度计足迹。在高分辨率的 ASAR 影像上可以清 楚地看到海冰边缘线,区分开海水和海冰。

#### 3.2 海冰边缘线的提取

首先分别提取图 3 所示 2 d 的高度计数据的经纬 度以及后向散射值信息,并绘制其后向散射特性图, 如图 4 所示,海冰和海水后向散射值的变化幅度(后 向散射值的波动性)差别较大,显然可以用上述方法 提取海冰和海水的边缘线。

对于 2009 年 6 月 27 日的高度计数据, 求其方差 *S*<sup>2</sup>, 并进行拟合, 如图 5 所示。海冰后向散射值的波



图 4 高度计后向散射特性图

Fig.4 Altimeter backscatter characteristics diagram



图 5 海冰、海水后向散射值方差图



动范围大于 1dB<sup>2</sup>, 而海水的波动范围比较小, 在 0 附近。海冰和海水的分界点在第 28 个点上, 如图 5 中的圆点所示, 其方差为 1.014 dB<sup>2</sup>。转换成经纬度 表示为(58.919°S, 10.852°W)。又运用此方法提取了 2009 年 8 月 2 日高度计数据的海冰和海水的边缘线, 其分界点经纬度为(66.909°S, 104.847°W)。

## 3.3 海冰边缘线提取结果的验证

本文通过高分辨率 ASAR 影像来对结果进行验证, 如图 6 所示, 并辅以冰况图进行判断, 如图 7 所



图 6 2009 年 6 月 27 日 ASAR 影像及高度计足迹匹配图 Fig.6 ASAR images and altimeter orbits on June 27, 2009

示。从图 6 的 ASAR 影像和高度计足迹匹配图中可 以看到,海冰边缘线与高度计足迹的交点,即海冰、 海水分界点位于(59°S,11°W)处,这也可通过图 7 冰 况图进行验证。由此可见,利用本文的海冰边缘线提 取算法得到的结果与更高分辨率的 ASAR 影像和冰 况图上获得的海冰和海水边界线基本相符。

另外,图 6 中黄色的海冰边缘线是基于 ASAR



图 7 2009 年 6 月 29 日冰况图 Fig. 7 Icemap on June 29, 2009

影像纹理特征的方法提取的,从图6中可以看出,ASAR 提取的海冰边缘线效果比高度计提取的要好,但是由

#### 表1 海冰边缘线误差

#### Tab.1The deviation of sea ice edge

于高度计在南极区域轨道密集且重访周期短,可以 获得大量的南极海冰数据,有利于在南极地区大范 围提取冰水分界点,这一点成为利用高度计数据提 取南极冰水分界点的优势。

本文又用相同的方法验证了2009年8月2日高度计 数据提取的海冰和海水边缘线的结果。2次提取结果的误 差如表 1 所示。用高度计提取的海冰和海水边缘线位置 与用 ASAR 提取的边缘线位置平均距离误差为 14 km, 平均经纬度误差为 0.1°。此误差产生的原因是由于边缘 线处的碎冰被风吹散,向开阔海面延伸,其散射回来的 能量被高度计接收,从而使得其提取的冰水边缘线向海 水处延伸。虽然有误差的存在,但考虑到高度计数据沿轨 分辨率大约为 7 km,本文提取结果的精度是可以接受 的。也表明了高度计可以大范围的提取海冰边缘线。

时间(年-月-日)	ASAR 经纬度	RA-2 经纬度	经纬度误差(°)	距离误差(km)
2009-06-27	(59°S, 11°W)	(58.919°S, 10.852°W)	(0.081°, 0.148°)	18
2009-08-02	(67°S, 105°W)	(66.909°S, 104.847°W)	(0.091°, 0.153°)	10

## 4 结论

本文基于高度计提取的海冰后向散射特征,提 取了海冰边缘线,结果与更高分辨率的 ASAR 影像 和冰况图中获得的海冰边缘线位置基本相符,但同 时也存在一定的误差。由于高度计在南极区域轨道 密集且重访周期短,可以获得大量的南极海冰数据, 有利于在南极地区大范围提取冰水分界点,这一点 成为利用高度计数据提取南极冰水分界点的优势。

如果在以后的工作中能够获得更多的多传感器 同步数据,可基于本文方法提取更大范围的南极海 冰外缘线,从而获得更多的南极海冰信息。

#### 参考文献:

- [1] 纪永刚,张杰,孟俊敏.用 AMSR 数据极化比 PSSM
   算法检测渤海海冰边缘线[J].海洋科学进展,2007, 25(2): 226-232.
- [2] Gudmandsen P E. Application of microwave remote sensing to studies of sea ice[J]. Philosopical Transactions of the Royal Society London, 1983, A309: 433-445.
- [3] Robin G Q, Drewry D J, Squire V A. Satellite observations of polar ice fields[J]. Philosophical Transactions

of The Royal Society London, 1983, A309: 447-461.

- [4] Robin G Q. Polar research by remote sensing[J]. Physics Bulletin, 1984, 35: 242-244.
- [5] Squire V A, Drewry D J, CowanA M, et al. Cryospheric data products available through satellite altimetry[J]. Proceeding of the ERS-1 radar altimeter data products workshop, 1984, SP-222: 51-57.
- [6] Thomas R H. Observing polar regions from space[J]. Recent advances in Civil space remote sensing, Society of Photo-optical Instrument Engineering, 1984, 481: 165-171.
- [7] Simil M. SAR image segmentation by a two-scale contextual classifier[J]. Image and signal processing for remote sensing, Proc, 1994, 2315: 434-443.
- [8] Scheuchl B, Caves R, Cumming I, et al. Automated sea ice classification using spaceborne polarimetric SAR data[J]. Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE 2001 International, 2001, 7: 3117-3119.
- [9] European Space Agency.Envisat RA2-MWR Product Handbook2.2[EB/OL].[2007-02-27]. https://earth.esa. int/handbooks/.

### 研究报告 REPORTS

# Identification of the Antarctic sea ice boundary using altimeter

ZHANG Ting<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>1</sup>, WANG Hong-xia<sup>1, 2</sup>, ZHANG Xi<sup>1</sup>, JI Yong-gang<sup>1</sup> (1. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China; 2. Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Received: Oct., 31, 2013

Key words: Antarctic sea ice; sea ice edge; altimeter; SAR (Synthetic Aperture Radar)

Abstract: Sea ice edge is one of the important contents of Antarctic sea ice detection. In this paper, the extraction method of Antarctic sea ice edge was performed using ENVI RA-2 altimeter. The difference between backscattering coefficients of sea ice and sea water could be denoted by respective variance ( $S^2$ ). Sea ice edge was extracted by  $S^2$ . The resultswerevalidated by those ASAR data and the ice edge code. And its error was analyzed simply. It was indicated that altimeter had an advantage of detecting sea ice edge of large area.

(本文编辑:李晓燕)