

# ENVISAT ASAR 影像地理定位方法

陈尔学 李增元

(中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

**摘要** 随着 ENVISAT ASAR 传感器成功通过调试阶段, 国内将有越来越多的用户能够获取到 ASAR 数据。如何进行 ASAR 数据的地理定位是实际应用中需要解决的第一个关键问题。基于距离-多普勒(RD)模型发展了对 ASAR 主要影像产品进行地理定位的方法, 重点解决了不同影像产品类型距离向方程的构建方法; 对于斜距产品, 距离向方程由第一斜距和影像距离向像元大小所确定的直线方程描述; 精确地距模式影像元数据中仅提供一套 SRGR 参数, 可直接用于建立距离向方程; 而中分辨率地距模式影像元数据中提供了若干套 SRGR 参数, 需根据方位向成像时间与 SRGR 参数的方位向更新时间关系, 通过插值方法建立距离向方程。利用该方法对 APP-1P、APM-1P、APS-1P、IMP-1P 和 IMM-1P 共 5 景 ASAR 数据进行了地理定位试验。SAR 处理器在生成 ASAR 数据产品时, 已经对影像 4 个角点的地理位置进行了定位, 并将定位结果记录在 ASAR 数据的元数据中。本文以这些定位结果为基准对所发展的定位方法的相对精度进行了评价, 实验结果表明: 对于 APP-1P、APS-1P 和 IMP-1P 数据产品, 经度和纬度相对误差都小于 1m; 对于中分辨率 APM-1P 和 IMM-1P 数据产品, 最大经度误差为 59.73m, 最大纬度误差为 83.38m, 分别是影像像元大小的 0.8 倍和 1.1 倍; 总之, 本文定位结果和生产这些产品的 SAR 处理器的定位结果有很高的符合程度, 对进一步发展 ASAR 数据正射校正算法及其他相关雷达数据处理技术有一定的参考意义。

**关键词** ENVISAT ASAR RD 模型 地理定位 精度评价

**中图分类号:** TP721.2 TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)08-0991-06

## Study on ENVISAT ASAR Image Geolocation Method

CHEN Er-xue, LI Zeng-yuan

(Institute of Forest Resources Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

**Abstract** As the ASAR sensor has successfully passed the primary validation period, more and more users in China will be able to get ASAR data in the near future. If users apply the data to practical mapping, the first key problem which should be solved is to geolocate the SAR image. Based on Range-Doppler (RD) model, a geolocation method has been developed for the major imaging products of ENVISAT Advanced SAR (ASAR). As one special contribution of this paper, the way to construct range equations for different ASAR products has been solved successfully. The range function of slant range image products is just a linear equation in one order, which can be defined by the first range distance and the range pixel spacing. For precision ground range products, the one and only SRGR record provided by the metadata can be used directly to construct the range equation. But for median resolution ground range products, several SRGR records have been provided by the metadata, the range function should be established through interpolation method according to the relation between the azimuth time for each image line and the azimuth updating time for each SRGR records. Five scenes of ASAR image have been geolocated with this method and the relative geolocation accuracy has been evaluated taking the geographic locations of four image corners derived from SAR metadata as reference. The geographic locations of the four image corners have been calculated and stored in the metadata of SAR image product by the original SAR processor. The product type ID for the five image products is APP-1P, APM-1P, APS-1P, IMP-1P and IMM-1P respectively. It has been shown that the location error in both latitude and longitude direction is below 1.0 meter for precision products such as APP-1P, APS-1P and IMP-1P; For median resolution products such as APM-1P and IMM-1P, the maximum longitude error is 59.73 m, about 0.8 times of the image pixel space; and the maximum latitude error is 83.38m, about 1.1 times of the image pixel space. It shows that the geolocation

**基金项目:**国家自然科学基金项目(40171070);国家 863 项目(2001AA135100)

**收稿日期:** 2003-09-02; **改回日期:** 2004-03-10

result achieved by the developed method is quite consistent with that achieved by the SAR processor to produce these ASAR image products. Also, the result will be useful for the development of orth-rectification and the other relevant processing algorithms for ASAR image products.

**Keywords** ENVISAT ASAR, RD model, geolocation, accuracy evaluation

## 1 引言

地理定位(geolocation)是指对 ASAR 主要数据产品类型,在不利用任何控制点的情况下,仅利用影像头文件中记录的卫星轨道信息及其他一些成像参数建立距离-多普勒成像模型(RD),利用一定的模型解算方法,对影像任一像元的地理位置进行定位。

国内已经有一些有关星载 SAR 地理定位方法的研究。如星载 SAR 影像的地理编码算法,其定位模型为 RD 模型,模型解算方法的主要特点是对卫星轨道位置矢量和速度矢量随方位向时间(行号)的变化进行了参数化表示,并采用间接法实现影像的地理定位和正射校正<sup>[1]</sup>;对两种 RD 定位模型解算方法进行的对比研究<sup>[2]</sup>,一种是美国阿拉斯加(ASF)数据处理中心所采用的方法,另一种是相对定位法<sup>[2]</sup>,针对 RADARSAT-1 数据产品进行了定位算法研究和实验验证;在研究星载 SAR 复数图像配准时,提出的一种 RD 模型解算方法,该方法实际上和 ASF 算法相同<sup>[3]</sup>;以一景 RADARSAT-1 SAR 数据及相应 DEM 为例,提出的一种基于 RD 模型的间接地理编码方法<sup>[4]</sup>,并采用同样的几何校正模型研究了基于影像模拟的 SAR 几何校正自动方法<sup>[5]</sup>。从这些文献可以看出, RD 定位模型是国内广泛采用的星载 SAR 定位模型;对 RD 定位模型的基本解算方法,国内也已经有了较为深入的研究。另外,国外也对 RD 模型进行了研究<sup>[6~8]</sup>,如针对 SEASAT SAR 数据发展提出的 RD 地理定位模型<sup>[6]</sup>;一种基于该模型的 SAR 影像自动定位处理系统<sup>[7]</sup>,但没有论述 RD 模型的具体解算方法;对 DEM 用于 SAR 影像地理编码和地形校正的效果进行的评价研究<sup>[8]</sup>,以及 USGS EROS (EDC)数据中心发展的一种 RD 模型间接法定位解算方法;ASF 数据处理中心曾在其网络资源中公开的一种 RD 定位模型解算方法,这种解算方法也是国内较早研究的方法<sup>[2,3]</sup>。

总的来看,国内外公开发表的星载 SAR 地理定位方法,都是针对个别 SAR 传感器、某些产品类型的具体定位方法而提出的。RD 定位模型的基本原理对当前所有的星载 SAR 传感器的标准数据产品

都是适用的,但是在具体构建 RD 定位模型时,不同的传感器和数据产品会有各种不同的具体实现方法。ENVISAT 是欧洲空间局(ESA)2002 年 3 月 1 日成功发射的一颗地球观测卫星。RD 定位模型的基本方法同样适用于 ENVISAT ASAR 数据产品的地理定位。但目前尚未见针对 ENVISAT ASAR 主要数据产品地理定位方法的研究报道。本文将在 RD 定位模型和 ASF 模型解算方法的基础上,重点探讨 ASAR AP 和 IM 模式 1B 影像产品 RD 定位模型的具体构建方法。

## 2 RD 定位模型及其解算方法

ENVISAT ASAR RD 定位模型建立在地固坐标系(ECR)之上,其  $z$  轴和地球自转轴重合, $x$  轴自地心指向 E-CIO, $y$  轴过地心垂直于  $x-z$  平面,使  $o-xyz$  构成右手坐标系。ERS-1/2 SAR 和 ENVISAT ASAR 数据所提供的卫星轨道矢量都已转化为 ECR 坐标系。在 ECR 坐标系中, RD 定位模型由以下 3 个方程组成:

$$\frac{x_T^2 + y_T^2}{(R_E + h)^2} + \frac{z_T^2}{R_P^2} = 1 \quad (1)$$

$$R = R(i, j) \quad (2)$$

$$f_D = -\frac{2(R_S - R_T) \cdot (V_S - V_T)}{\lambda R} \quad (3)$$

其中,  $R_P = (1-f)(R_E + h)$ ;  $R_E$ 、 $R_P$  分别为地球椭球的半长轴、半短轴;采用 GEM6 椭球参数( $R_E = 6378.144\text{km}$ , 扁率  $f = 1/298.257$ );  $h$  为目标点的高程,对于地理定位来说,可设  $h = 0$ 。( $x_T, y_T, z_T$ )为目标点的位置坐标,也可用矢量  $R_T$  表示,是待求的未知数。

式(2)为距离向方程,其中,  $R$  为卫星到目标的斜距,是影像行号  $i$  与列号  $j$  的函数。设  $R_S$  是卫星位置矢量,  $R_S = [x_s, y_s, z_s]^T$ , 则斜距矢量  $R = R_S - R_T$ , 其绝对值就是  $R$ 。该函数可以通过雷达元数据信息完全确定。

式(3)为多普勒方程,其中,  $\lambda$  为雷达波长,  $V_S$  为卫星速度矢量,  $V_S = [x_v, y_v, z_v]^T$ 。  $V_T$  为目标速度矢量,对于 ASAR,其值为 0,即  $V_T = [0, 0, 0]^T$ 。由于

ERS-1/2 SAR 和 ENVISAT ASAR 都采用零多普勒成像方式,因此在 RD 模型中多普勒频移始终为 0 ( $f_D=0$ )。R, 和 V, 由方位向时间或行号确定。

总之,已知影像任一像元的行列号 ( $i, j$ ), 式(1)、(2)、(3)中除了目标点坐标外,无其他未知参数,这样联立 3 方程就可以解出目标点的坐标来。本文采用 ASF 的解算方法,具体方法请参见文献[2]。

### 3 ASAR 主要数据产品及其 RD 模型构建方法

ENVISAT ASAR 产品包括 0 级产品、1B 级产品和 2 级产品。其中,1B 产品是绝大多数用户所使用的产品,1B 产品包括 ASAR 5 种工作模式的数据产品,即 IM(成像模式)、AP(可选择极化模式)、WS(宽幅模式)、GM(全球监测模式)和 WV(Wave 模式)5 种模式。IM 和 AP 各包括 4 种产品类型:精确地距产品、单视复数产品、椭球地理编码产品和中分辨率产品,产品代号为 IMP\_1P、IMS\_1P、IMG\_1P、IMM\_1P、APP\_1P、APS\_1P、APG\_1P、APM\_1P。本文试验所用 ASAR 数据产品包括 APP\_1P、APS\_1P、APM\_1P、IMP\_1P、IMM\_1P。椭球地理编码产品(APG\_1P, IMG\_1P)已经过地理定位,因此本文不作研究。

从 RD 模型的 3 个方程可知,地球模型式(1)只要知道 GEM6 椭球参数就可以确定;多普勒方程式(3)仅需要方位向任意时刻卫星轨道矢量就可以确定,这对于所有的产品类型都是一样的;距离向方程式(2),对于精确斜距产品、精确地距产品和中分辨率地距产品则各有不同的确定方法。

#### 3.1 距离向方程建立方法

(1) 精确斜距产品 包括 APS\_1P 和 IMS\_1P 两种产品,距离向方程为

$$R(j) = R_0 + (j-1)\Delta R, j=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

其中,  $\Delta R$  为距离向像元大小,  $R_0$  为近距离第 1 像元的斜距,  $j$  为距离向列号,  $N$  为影像总列数。  $\Delta R$  和  $R_0$  可以直接从元数据中得到。式(4)将  $R$  表示成了影像列号  $j$  的函数,而和行号  $i$  无关。

(2) 精确地距产品 包括 APP\_1P 和 IMP\_1P 两种产品,其元数据中仅有一个地距转斜距(SRGR)记录。距离方程需要用到 SRGR 记录中的 5 个地距转斜距参数,设这 5 个参数为  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ , 则距离向方程为

$$R(j) = a_0 + a_1(j \cdot \Delta R_g) + a_2(j \cdot \Delta R_g)^2 + a_3(j \cdot \Delta R_g)^3 + a_4(j \cdot \Delta R_g)^4 \quad (5)$$

其中,  $\Delta R_g$  为距离向地距像元大小,  $j$  为影像列号。式(5)和行号  $i$  无关。精确地距产品方位向影像长度在 100km 左右,可以认为 SRGR 参数在该景影像成像期间是不变的。

(3) 中分辨率地距产品 包括 APM\_1P 和 IMM\_1P 两种产品。该类产品的影像在方位向长度为几百公里, SRGR 需要更新多次,因此该类产品有  $n$  个 SRGR 记录。SRGR 记录中除了 5 个参数外还记录了该 SRGR 记录在方位向的更新时间(UTC)。第 1 个 SRGR 的更新时间和影像第 1 行成像时间相同。要求任意一像元 ( $i, j$ ) 的斜距  $R$ , 需要根据该像元行号  $i$  确定其方位向成像时间  $t_i$ , 将  $t_i$  和所有 SRGR 记录的更新时间进行对比,找到和  $t_i$  最近的两条 SRGR 记录,分别利用这两条 SRGR 记录的地距转斜距参数和列号  $j$ , 采用式(5)计算得到两个斜距值,通过对这两个斜距值的线性插值,计算得到  $t_i$  对应的斜距,作为像元 ( $i, j$ ) 的斜距  $R$ 。

#### 3.2 卫星轨道矢量的计算

ENVISAT ASAR 和 ERS-1/2 数据一样,仍然是提供影像成像期间的 5 个时刻的轨道状态矢量数据。在影像元数据中可以直接得到第 1 个卫星轨道矢量的 UTC 时间  $t_0$  和相邻两个轨道矢量间的时间间隔  $\Delta t$ , 则第  $k$  个状态矢量对应的 UTC 时刻  $t_k$  可以由下式计算

$$t_k = t_0 + k \cdot \Delta t \quad (k=0, 1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

对于 ASAR,  $t_0$  和影像第 1 行的方位向成像时间是相同的,因此按照式(6)计算出的时间  $t_k$  就是相对于影像第 1 行的成像时间。  $t_k$  对应的卫星状态矢量可以直接从元数据中读取,这样卫星位置坐标 ( $x_s(t_k), y_s(t_k), z_s(t_k)$ ) 和速度坐标 ( $x_v(t_k), y_v(t_k), z_v(t_k)$ ) 就成为已知数。

根据这 5 个时刻的卫星轨道状态矢量,可通过多项式插值法计算出该影像成像期间任意时刻  $t_i$  对应的卫星位置  $R$  和速度矢量  $V$ 。这里方位向时刻  $t_i$  等于行号  $i$  与方位向每行数据成像时间的乘积。

## 4 地理定位效果评价

#### 4.1 评价方法

ENVISAT ASAR 数据不再采用 ERS-1/2 SAR 数据通常采用的 CEOS 格式存储和分发数据,

而是采用 PDS 文件格式。PDS 文件格式只包含一个文件,雷达信号数据和有关成像处理参数信息都存储在该文件中。建立上文所述 RD 模型所需的各种成像参数都可以从元数据中得到。而且,SAR 处理器在从 0 级产品生成 1B 产品时,已利用标准的地理定位算法计算出了影像 4 个角点的大地坐标,并将这些定位结果作为元数据信息存储在 PDS 文件中。本文所采用的成像参数全部取自于影像元数据,因此所利用的信息不会比生产该产品的 SAR 处理器更多。SAR 处理器所采用的地理定位方法同样基于 RD 模型,但其利用雷达成像参数构建和解算 RD 模型的技术细节是不对外公开的,因此无法直接进行算法的对比分析。但可通过比较定位结果差异的方法来评价本文定位方法的正确性和有效性。假设本文独立发展的定位算法和 SAR 处理器采用的算法正好完全相同的话,则这两种方法对同一个像元的定位结果应该是相同的,即相对误差应为零。若相对误差不为零,就可以从一定程度上说明,在 RD 模型的构建和解算技术细节上仍有需要改进的地方。具体评价过程如下:

设影像总行数为  $M$ ,总列数为  $N$ 。元数据中所提供的 4 个角点的影像坐标分别为  $P_1(1,1),P_2(1,N),P_3(M,1),P_4(M,N)$ 。从元数据中提取  $P_1、P_2、P_3、P_4$  点的大地坐标,记为

$$(\lambda_n, \varphi_n), n=0,1,2,3,4$$

其中, $\lambda$  为经度, $\varphi$  为纬度。利用本文的地理定位方法对这 4 个点进行地理定位,得到相应的大地坐标,记为

$$(\lambda'_n, \varphi'_n), n=0,1,2,3,4$$

则各点的经度相对误差绝对值可表示为

$$E_n^{(\lambda)} = |\lambda'_n - \lambda_n|, n=0,1,2,3,4$$

各点的纬度相对误差绝对值可表示为

$$E_n^{(\varphi)} = |\varphi'_n - \varphi_n|, n=0,1,2,3,4$$

然后分别计算出经度、纬度相对误差绝对值的最小值、最大值和平均值作为分析评价指标。本文定位结果的有效数字位数和元数据中给出的经纬度的有效数字位数保持一致(小数点后 6 位)。表 1 以一景 APP\_1P 数据产品为例具体说明了以上所述评价过程。该数据对应表 2 中的编号为 1、产品代号为 APP\_1P 的数据。

表 1 一景 APP\_1P 数据的相对定位精度计算过程

项目	元数据中记录的定位结果(度)		本文定位结果(度)		相对误差( $10^{-5}$ 度)		
	经度( $\lambda$ )	纬度( $\varphi$ )	经度( $\lambda'$ )	纬度( $\varphi'$ )	经度( $E^{(\lambda)}$ )	纬度( $E^{(\varphi)}$ )	
角点名称	$P_1$	6.721 859	47.347 365	6.721 866	47.347 335	0.7	3.0
	$P_2$	7.858 567	47.495 004	7.858 573	47.494 983	0.6	2.1
	$P_3$	6.998 609	46.407 215	6.998 607	46.407 215	0.2	0.0
	$P_4$	8.114 943	46.554 375	8.114 940	46.554 375	0.3	0.0
评价指标	最小值	/	/	/	/	0.2	0.0
	最大值	/	/	/	/	0.7	3.0
	平均值	/	/	/	/	0.45	1.28

### 4.2 评价结果

试验所用 5 景 ASAR 影像分别属于 5 种不同的产品类型,各影像的定位相对误差见表 2。

表 2 ASAR 数据产品地理定位相对误差

ASAR 试验数据		单位: $10^{-5}$ 度					
编号	产品代号	$E^{(\lambda)}$			$E^{(\varphi)}$		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
1	APP_1P	0.20	0.70	0.45	0.00	3.00	1.28
2	APS_1P	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00
3	APM_1P	0.10	43.6	20.73	0.00	75.80	37.23
4	IMP_1P	0.20	0.30	0.33	0.00	0.10	0.03
5	IMM_1P	0.00	54.30	25.45	0.00	56.40	27.43

#### 4.2.1 AP 模式 1B 数据产品

影像 1 是一景 ENVISAT ASAR 调试阶段接收

的 APP 1B 数据(精确地距),像元大小为  $12.5m \times 12.5m$ ,经度最大误差为  $7.0 \times 10^{-6}$  度,最小误差为  $2.0 \times 10^{-6}$  度;纬度误差更小。按照 1 度约等于 110km 计算,经纬度误差都在 1m 以内。

影像 2 为一景 APS 1B 产品数据。该影像距离向像元大小为 7.90m,方位向像元大小为 3.98m,属于精确斜距复数产品。该影像是在 ENVISAT 发射前利用 ERS SAR 数据模拟得到的产品,其纬度相对误差都为 0.0,最大、最小和平均经度误差都是  $7.0 \times 10^{-6}$  度,按影像 1 同样的方法换算成米后,误差也都小于 1m。它和影像 1 一样都是“精确”数据产品,差别在于一个是斜距产品,一个是地距产品。

影像 3 为一景 APM 1B 产品数据。该影像像元

大小为  $75\text{m} \times 75\text{m}$ 。距离向宽约为  $100\text{km}$ ，方位向约为  $800\text{km}$ 。方位向 SRGR 更新次数为 79 次。折合成米后，经度最大误差为  $47.96\text{m}$ ，纬度最大误差为  $83.38\text{m}$ 。而且误差超过  $1\text{m}$  的 2 个点对应于方位向最后一行上的 2 个角点。这可能是由于本文所采用的斜距插值方法和生产该影像的 SAR 处理器不完全相同造成的。

#### 4.2.2 IM 模式 1B 数据产品

影像 4、5 都是 ENVISAT ASAR 调试阶段接收的 IM 1B 数据。

影像 4 是一景精确地距产品的评价结果。该影像像元大小为  $12.5\text{m} \times 12.5\text{m}$ 。纬度误差最大为  $1.0 \times 10^{-6}$  度；经度最大误差为  $3.0 \times 10^{-6}$  度。它和影像 1 一样，同属于“精确地距”产品类型，相对定位误差也同样很小；它和影像 1、2 都属于“精确”产品；对比影像 1、2 和 4 这 3 种产品的相对误差可以看出，本文定位算法对于“精确”产品有很好的定位效果，无论是精确“地距”产品还是精确“斜距”产品。

影像 5 是一景中分辨率地距产品 (IMM\_1P)，距离向宽度、方位向长度及像元大小都和 APM\_1P (影像 3) 一样。方位向 SRGR 更新次数为 73 次。将其定位相对误差评价参数折合成米后，经度误差最大为  $59.73\text{m}$ ，纬度误差最大为  $62.04\text{m}$ 。其误差水平及其随方位向时间的变化规律也和 APM\_1P 产品的变化规律一致。

#### 4.3 讨论

综合分析 APP\_1P、APS\_1P 和 IMP\_1P 试验数据的相对定位精度，可以看出，这些“精确”数据产品，影像覆盖范围较小 (约  $100\text{km} \times 100\text{km}$ )，距离向方程不随方位向时间变化，只是影像列号  $j$  的函数，参数比较易于确定，因此和生产这些数据的 SAR 处理器的定位结果相比，本文所采用的定位方法达到了很高的相对精度。相比之下，中分辨率模式的 APM\_1P 和 IMM\_1P 数据的相对定位精度有随着方位向时间的增加而增大的趋势，尽管最大误差为  $83.38\text{m}$  (为影像像元大小的 1.1 倍)。这两景影像第 1 行 2 个角点的误差都在  $1\text{m}$  之内，而最后一行的两个角点最小误差却在几十米以上。在模型构建方法上除了距离向方程外，中分辨率影像和“精确”影像相比没有什么不同。因此可以推断，距离向方程是导致中分辨率影像相对误差随方位向时间增加而变大的原因。针对 IMM\_1P 和 APM\_1P 产品数据提出的距离方程是根据 ASAR 产品用户手册<sup>[9]</sup>关于

SRGR 的说明推测而得的，目前尚无法得知数据生产系统所采用的具体距离方程计算方法，这可能是造成较大相对误差的主要原因。根据给定的  $n$  组随时间变化的 SRGR，以时间为自变量通过计算得到任意时刻 (行号) 和任意列对应的斜距，有很多的插值实现方法，相信通过今后对多种方法的试验对比，可以探索出能使相对误差更小的斜距计算方法来。

研究结果可以说明，本文所发展的 ENVISAT ASAR 主要数据产品的地理定位方法和国外专用 ASAR 处理生产系统有几乎相同的定位结果。但由于目前作者尚未获取到国内试验区的 ASAR 数据，因此无法将定位结果和地面真实控制点进行对比评价，通过这种对比评价得到的结论将更有意义，这正是今后将要开展的工作。但应注意的是，这里研究的是以 GEM6 为地球模型的绝对地理定位方法，所计算得到的目标经纬度要和取自我国地形图的控制点进行对比，因此还需要先将定位结果进行 GEM6 到地形图所用大地坐标系统的转换。

在本文地理定位方法的基础上，容易实现 ASAR 影像的正射校正。正射校正处理需要已知地面目标的高程  $h$ ，这时式 (1) 中的  $h$  不再是 0。若正射校正也采用和地理定位相同的正向定位算法，目标点位置就是待求的未知数，而  $h$  只有在目标点位置确定后才能从 DEM 中得到其值，因此直接法不适用于正射校正。为了方便正射校正，通常采用间接法，即以目标点的位置矢量为已知 (根据目标点的经纬度和高程可以算出)，采用迭代法联立式 (1)、(2)、(3) 解出目标点对应的影像行列号来，在直接地理定位法的基础上很容易实现这种迭代解法。只利用影像元数据建立的 RD 模型，通常无法满足正射校正精度的要求，必须首先利用控制点对距离向斜距和方位向时间进行误差改正或模型参数优化，然后再将模型用于影像的间接法正射校正处理。因此本文实际上已经解决了 ASAR 正射校正的核心技术问题，在此基础上容易实现雷达影像模拟、当地人射角影像、叠掩区和阴影区影像生成和地形引起的辐射误差校正等数据处理方法。

## 5 结 论

在 RD 定位模型及 ASF 直接解算方法的基础上，根据 ASAR AP 模式和 IM 模式产品数据的成像几何特点，提出了针对不同数据产品的距离向方

程构建方法,发展了适用于 ENVISAT ASAR 主要成像产品类型的地理定位方法。

对于精确的 APP-1P、APS-1P 和 IMP-1P 数据产品,经度和纬度相对误差都小于 1m,说明本文定位结果和产品生产系统的定位结果有很高的符合程度。对于中分辨率 APM-1P 和 IMM-1P 数据产品,虽然最大经度误差为 59.73m,最大纬度误差为 83.38m,但与其 75m 像元大小相比,该定位结果仍然和该产品生产系统的定位结果相当。

对 ASAR 主要数据产品地理定位算法进行的有益探讨,对进一步发展基于 RD 模型的 ASAR 数据正射校正算法及其他相关雷达数据处理技术有一定的参考意义。

**致谢** 瑞士 SARMAP 公司及欧洲空间局数据处理中心(ESRIN)提供了本文试验所用的 ASAR 数据,在此表示由衷的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 陈尔学,李增元,车学位等. 星载 SAR 地理编码算法研究[J]. 高技术通讯, 2000, 10(2): 53~59.
- 2 周金萍,唐伶俐,李传荣. 星载 SAR 图像的两种实用化 R-D 定位模型及其精度比较[J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 191~197.
- 3 刘国详,丁晓利,李志林等. 星载 SAR 复数图像的配准[J]. 测绘学报, 2001, 30(1): 60~66.
- 4 张永红,林宗坚,张继贤等. SAR 影像几何校正[J]. 测绘学报, 2002, 31(2): 134~138.

- 5 张永红,张继贤,杨崇远. 基于影像模拟的 SAR 几何校正自动方法[J]. 遥感学报, 2003, 7(2): 106~117.
- 6 Curlander J C. Location of Space-borne SAR Imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1982, GE-20(3): 359~364.
- 7 Curlander J C, Kwok R, Pang S S. A post-processing system for automated rectification and registration of space-borne SAR imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 1987, 8(4): 621~638.
- 8 Wivell C E, Steinwand D R, Kelly G G, et al. Evaluation of terrain models for the geocoding and terrain correction of synthetic aperture radar (SAR) images [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 1992, 30(6): 1137~1144.
- 9 European Space Agency. ENVISAT ASAR Product Handbook [M/OL]. <http://envisat.esa.int/dataproducts/asar/CNTR.htm>. Issue 1.1.1, 2002: 511~512.



**陈尔学** 1968年生。副研究员。1995年毕业于山东农业大学林学院森林经理专业,获农学硕士学位。现从事资源环境遥感相关领域的研究,主要包括 SAR 影像的预处理及处理算法、INSAR 数据处理和应用、GPS 和 GIS 在资源环境遥感中的应用等。  
E-mail: chenerx@forestry.ac.cn



**李增元** 1959年生。研究员、博士生导师。目前主要从事 SAR、INSAR、Lidar、多光谱和高光谱等遥感数据在资源环境监测上的应用技术研究。