## 星载 PALSAR 影像几何精度定量评价与误差分析

燕 琴,邱志诚,辛少华

中国测绘科学研究院,北京 100039

摘 要: 选择有代表性的星载 PALSAR 影像,利用 Doppler、距离、椭球方程建立其成像模型,对其几何定位精度 进行了试验,获得了它的几何系统误差和几何纠正误差的定量值。根据地面高程误差是影响 SAR 影像几何纠正 精度主要因素的原理,利用计算机仿真技术定量系统地分析了地面高程误差对其几何纠正精度的影响,获得了地 面高程误差对视角的影响、视角误差对影像几何精度的影响以及单位高程误差对影像几何精度的影响等定量结论 及影响变化规律,为 PALSAR 影像的处理与应用提供了科学的依据,更重要的是为 SAR 影像几何精度分析和误差 分析提供了一种新的定量方法。

关键词: 合成孔径雷达,几何精度,误差分析,高程误差,PALSAR 中图分类号: TP751.1/TP722.6 文献标识码: A

### 1 引 言

SAR影像的几何精度是影响 SAR 影像应用的 重要环节之一。而 SAR 影像的精度评价与误差分 析方法目前还极度缺乏,且常规的方法多以公式推 导为基础,在假设前提和取舍一定的条件下进行, 难以实现精确定量化。本文从 SAR 影像几何系统 误差、纠正精度、视角误差和地面高程误差影响等 几个方面对具有代表性的日本 ALOS 卫星 PALSAR 影像的几何精度进行了定量评价,利用计算机仿真 技术系统地研究分析了地面高程误差对影像几何 精度的影响,获得了影像几何系统误差、单位高程 误差带来的平面误差等系列定量结论和误差影响 变化的规律,为 PALSAR 影像的处理和应用提供了 科学的依据。更重要的是为 SAR 影像几何精度分 析和误差分析提供了一种新的定量方法。

- 2 影像几何精度评价
- 2.1 试验数据

日本 ALOS 卫星于 2006-01-24 发射, PALSAR

收稿日期:2008-02-25;修订日期:2008-04-14

是 ALOS 卫星上 3 个传感器之一。PALSAR 有 3 种 观察模式,即精细模式(Fine)、扫描模式(ScanSAR) 和极化模式(Polarimetric)(ERSDAC,2006),本次试 验影像为双极化精细模式。

### 2.1.1 SAR 影像

试验区位于陕西省宝鸡地区,试验区内 3/4 为 山地,1/4 为丘陵和平地。影像于 2007-07-21 获 取,为双极化影像,即 HH、HV 极化,入射角为 34.3°,影像大小为 18432 × 4672,影像覆盖地面范 围约为 70km × 60km。

### 2.1.2 控制资料

包括试验区 20 世纪六七十年代测制的国家标准 1:10000 地形图,大约覆盖影像的 2/3,与实地信息相比较,变化较大;国家标准 1:50000 数字高程模型(DEM),格网间距为 25m×25m。

#### 2.2 几何纠正模型

SAR 影像的几何纠正方法已有许多文献报道 (Huang and Liu, 2007; Zhu *et al.*, 2003; Chen, 2004; He, 2005; Qian, 2004; Siqueira *et al.*, 2004)。本次影

基金项目:国家 973 项目(对地观测数据-空间信息-地学知识的转化机理,编号:2006CB701303),国家重大测绘专项(国家西部 1:50000 地形图空白区测图工程)

**第一作者简介:**燕 琴(1968—),女,博士,研究员,摄影测量与遥感专业,主要从事高分辨率卫星影像测图和土地利用遥感监测等方面的科研工作,已发表论文 30 余篇。

像几何纠正模型采用 Doppler 方程、距离方程和椭 球方程(Frey *et al.*, 2003),其方程如下:

$$f_{\rm d} = \frac{2 \times (V_s - (w \times P))(P - S)}{\lambda R} \qquad (1)$$

$$R^{2} = (\boldsymbol{S} - \boldsymbol{P})(\boldsymbol{S} - \boldsymbol{P})$$
(2)

$$\frac{P_x^2}{(a+h)^2} + \frac{P_y^2}{(b+h)^2} + \frac{P_z^2}{(c+h)^2} = 1 \quad (3)$$

在本次试验中,方程(1)采用:

$$f_{\rm d} = \frac{2 \times (V_s) (P - S)}{\lambda R} \tag{4}$$

式中:  $f_{d}$  为 Doppler 中心频率, P 为地面点坐标, S 为卫星位置, V 为卫星速度, R 为斜距,  $\lambda$  为雷达波 长, a 为椭球长半径, b 为椭球短半径, h 为相对于 椭球面的高度, w 为地球自转速度。式中,  $f_{d}$ , S, V, R 和 $\lambda$  由影像的辅助文件提供; a, b 为已知值; h 可 从地形图上读取或由 DEM 内插或实地测量获得。 利用这些已知值和3 个方程, 可解算出影像点对应 的地面点坐标, 与已知的控制点比较进行影像几 何精度的评价。

### 2.3 几何纠正试验结果

从 1:10000 地形图上共选取 21 个控制点,并准 确在影像上定位,供几何纠正与精度评定使用。

### 2.3.1 影像几何系统误差

不用控制点,只利用卫星参数计算影像点地面 点坐标,与控制点已知坐标比较,可得到影像的几 何系统误差。利用21个点的计算结果见表1。

### 表1 影像几何系统误差

 Table 1
 The systemic geometric errors of image

				,
RMS_X	RMS_Y	平面中误差	最小值	最大值
34.59	61.29	70.38	37.36	95.84

#### 2.3.2 影像几何纠正结果

选取 6 个点作为控制点,进行影像的几何纠 正,15 个点作为检查点,检查点的高程值分别从 1:10000地形图上读取和由 1:50000 DEM 内插获 得。控制点残差和检查点误差见表 2。

表 2 影像几何纠正结果 Table 2 The image geometric rectification result

	点类型	数量	高程值来源	RMS_X	RMS_Y	平面中误差	最小值	最大值
	控制点	6	1:10000 地形图	1.39	7.05	7.19	2.37	12.73
检查点	松木上	15	1:10000 地形图	11.92	17.41	21.10	10.45	34.12
	15	1:50000 DEM	12.47	26.08	28.91	4.92	56.66	

为了提高精度,日本对 ALOS 卫星及传感器不 断进行校准。根据 2006-10-23 发布的标准产品校 准结果(JAXA,2006),PALSAR 几何精度对于精细 模式中误差为 8m,标准差为 5m,全极化模式中误差 为 11m,标准差为 6m。2007-09-28 发布的标准产 品校准结果(JAXA,2007),对于精细和全极化模 式,中误差为 9.3m。与此相比,本试验结果精度偏 低。分析其原因,主要是选点精度较低。由于 SAR 的成像特点,其影像质量与光学影像相比,影像清 晰度和可判读的明显地物远不如光学影像,使得在 影像上选点极其困难,特别在山区,选点误差普遍 较大。

### 3 地面高程误差对影像几何纠正精 度的影响分析

星载 SAR 影像的视线方向(即视角)与斜距和地 面高程有关,根据斜距和高程可计算出视角值。为了 研究分析地面高程误差对影像几何精度的影响,采用 计算仿真技术进行定量计算与分析。内容包括:地面 高程误差对影像几何精度的影响和规律;不同视角时 地面高程误差对影像几何精度的影响和规律;单位地 面高程误差给影像几何精度带来的影响和规律。

### 3.1 地面高程误差的影响

利用在1:10000 地形图上选取的21 个点的影像 坐标和高程,用已知纠正参数计算它们的地面坐标;然

/m

后,在这些点的高程上加上一定数量的误差重新计算 它们的地面坐标,并与上一步的结果进行比较,得到地 面高程误差给影像纠正带来的几何位置误差,见表3。

表3 高程误差影响

Table 3 The effects from elevation errors

			/ m
点的高程误差	1	10	20
影像几何中误差	1.28	12.83	25.66

### 3.2 不同视角时地面高程误差的影响

首先利用无误差和有误差(这里取高程误差为 10 m)的高程分别计算出视角,利用不同视角分别 计算出像点的平面坐标,两者进行比较,相应坐标 差值见表4。结果表明,在相同的高程误差条件下, 当视角越小,影像纠正的几何误差越大。

表 4 不同视角时高程误差的影响 Table 4 The effects of elevation errors from different look angles

视角/(°) 坐标 差/m		10.40	20.30	30.46	40.36	50.08
	$\Delta X$	46.86	24.10	15.76	11.41	8.58
바 은 사 등	$\Delta Y$	8.90	0.73	-2.25	-3.81	-4.83
地心坐你	$\Delta Z$	-14.15	-9.54	-7.85	-6.97	-6.39
	$\Delta S$	49.75	25.93	17.75	13.90	11.74
	$\Delta X$	9.76	4.77	2.92	1.92	1.22
高斯坐标	$\Delta Y$	47.75	23.45	14.39	9.49	6.07
	$\Delta S$	48.74	23.93	14.68	9.68	6.20

### 3.3 地面高程误差对视角的影响

从表4可以看出,高程误差10m时引起的平面 位移,当视角从10°变到50°时,平面误差与高程误差 的比从5:1变化到约1:1,显然对SAR成像模式高程 误差的影响比较大。为了分析影响原因,对高程误差 对视角的影响进行了试验。利用斜距和高程可计算 出视角A<sub>1</sub>,斜距不变,高程加入误差又可计算出视角 A<sub>2</sub>,该视角的差值便是由高程误差引起。利用相同斜 距,不同高程计算出的视角及差值见表5。

表 5 高程误差对视角的影响

Table 5 The effects on the look angles from elevation error

$A_1$ [斜距与高程]	10.401116	20.302267	30.468649	40.367839	50.089539	
A <sub>2</sub> [斜距与(高程	10 405127	20 204250	20 460991	10 269672	50 000104	
+误差)]	10.403127	20.304230	50.409661	40.308073	50.090104	
差值/(°)	0.004011	0.001983	0.001232	0.000834	0.000565	
差值/s	14.4396	7.1388	4.4352	3.0024	2.0340	

表5结果表明,在相同高程误差条件下,视角越小,所得视角误差越大。因为视角越小,斜距越短,对 视角的影响也越大。视角误差增大,也必然使得地面 点误差增大。因此在 SAR 模式下,视角越小,地面高 程误差对影像几何纠正精度的影响越大。

### 3.4 单位高程误差的影响

为了验证高程误差对影像纠正精度的影响规律,利用15个检查点的数据,分别计算从1:10000 地形图上读取高程数据和由1:50000 DEM 内插高 程数据的情况下影像纠正的几何精度,结果见表6。

表 6 利用检查点数据得到的

高程误差对平面几何位置的影响

Table 6 The effects on the horizontal geometric positions

点号	$\mathrm{d} S_1 / \mathrm{m}$	${\rm d}S_2/{\rm m}$	$\mathrm{d}S_3/\mathrm{m}$	dh/m	$\mathrm{d}S_3 /   \mathrm{d}h  $
1	14.45	18.78	4.34	-3.40	1.2777
10	10.45	12.41	5.35	4.00	1.3384
11	22.27	22.33	0.27	-0.20	1.3384
12	14.66	14.56	0.99	-0.80	1.2433
13	17.55	14.56	14.11	- 11.50	1.2267
14	24.68	42.08	18.10	14.50	1.2481
15	34.12	56.68	22.67	18.30	1.2389
3	18.02	4.59	13.87	10.80	1.2842
32	16.11	54.11	68.79	52.90	1.3004
33	19.50	31.47	12.07	9.20	1.3120
34	14.78	25.85	11.15	8.60	1.2962
5	32.16	5.90	34.56	26.00	1.3294
6	10.89	19.26	22.23	16.80	1.3232
7	13.00	15.01	3.99	3.00	1.3289
9	32.65	30.51	3.96	3.00	1.3209
RMS	21.10	28.91	23.10m	/	1.2938

$$dS_{1} = \sqrt{\Delta X_{1}^{2} + \Delta Y_{1}^{2}}, dS_{2} = \sqrt{\Delta X_{2}^{2} + \Delta Y_{2}^{2}},$$
  

$$dS_{3} = \sqrt{(\Delta X_{2} - \Delta X_{1})^{2} + (\Delta Y_{2} - \Delta Y_{1})^{2}},$$
  

$$\Delta X_{1} = X_{1} - X_{i}, \Delta Y_{1} = Y_{1} - Y_{i},$$
  

$$\Delta X_{2} = X_{2} - X_{2} \Delta Y_{2} = Y_{1} - X_{2}$$
(5)

式中, $dS_1$  是利用 1:10000 地形图高程数据计算得到 的影像纠正平面几何误差。假设高程为准确值,则  $dS_1$  误差主要由影像选点引起。 $dS_3$  为由高程误差引 起的平面位移,dh 增大, $dS_3$  也增大,基本上为等比关 系。 $dS_2$  为利用 1:50000 DEM 内插高程数据计算得 到的影像纠正平面几何误差。该误差受选点和高程 两种误差的影响。 $X_i, Y_i$  为从 1:10000 地形图上读取 的高斯平面坐标, $X_1, Y_1, X_2, Y_2$  为根据影像坐标使用 上述不同高程数据计算出的高斯平面坐标,dh 为 1:50000DEM 内插高程与 1:10000 地形图读取的高程 之差,dS<sub>3</sub>/ldhl为单位高程误差引起的平面位移。从表7的结果可以看出,单位高程误差引起的平面位移为1.2938m,与表3的1.28m基本一致。利用不同的试验方法,得到的试验结果相同。

由于选点误差与高程误差的影响有时能部分 相互抵消,dS<sub>1</sub>、dS<sub>2</sub>和 dS<sub>3</sub>之间存在关系:

$$\sqrt{dS_1^2 + dS_3^2} > dS_2 > dS_3$$
 (6)

式(6)表明,若选点误差为零,即误差只是由高 程误差引起,则 dS<sub>2</sub> 中误差与 dS<sub>3</sub> 中误差相等。本 次试验 dS<sub>2</sub> 中误差为 28.91m,符合上述关系。

### 4 结 论

本文主要对 PALSAR 影像的几何精度和高程误差的影响进行了系统、深入的试验研究,得到了系列定量结论,为 PALSAR 影像及同类型的 SAR 影像的应用提供了科学的依据和误差定量分析的方法。

(1)利用 Doppler、距离和椭球方程建立 PALSAR 的几何纠正模型进行的影像几何纠正,系统中误差为 70.38m;从1:10000 地形图选取控制点和检查点时,检 查点中误差为21.10m。该误差主要受选点误差的影 响,比发布的标准产品的精度低;若检查点的高程从 DEM 内插获得,则检查点中误差为28.91m。

(2)利用计算机仿真技术进行了地面高程误差 对影像几何纠正精度的影响的定量分析,总结了误 差影响变化的规律,主要有:高程误差对于 SAR 成 像模式的影像几何精度的影响较大。利用本次试 验影像得到单位高程误差对平面精度的影响为 1.29m,即高程误差为 1m 时能引起平面误差 1.29m;星载 SAR 影像几何定位需利用斜距和地面 高程来计算视角,即视角与斜距和高程有关。斜距 越短,高程误差对视角的影响越大。视角越小,地 面高程误差对几何定位误差的影响越大。

(3)为了获得高精度的正射影像,星载 SAR 需要高精度的数字表面模型(DSM)。如果用 DEM 来 代替 DSM,对于森林和人工地物地区,将会产生较 大的影像纠正误差。地面高程误差是影响星载 SAR 正射纠正精度的决定因素,只有具备高精度的 DSM,才能获得高精度的正射影像。

### REFERENCES

- Chen E X. 2004. Study on Ortho-Rectification Methodology of Space-Borne Synthetic Aperture Radar Imagery. Beijing: Chinese Academy of Forest
- ERSDAC. 2006. PALSAR Project: PALSAR Sensor, http://www. palsar.ersdac.or.jp/e/about/sensor.html(11/8/2008)
- Frey O, Meier E, Nuesch D and Roth A. 2003. Geometric error budget analysis for TerraSAR-X. www. geo. unizh. ch/rsl/ research/SARLab/Publications/PDF/FMNR04. pdf(10/8/2008)
- He Y. 2005. Block Trianglation of SAR Imagery. Zhengzhou: Information Project University of PLA
- Huang S Q and Liu D Z. 2007. Analysis of some uncertain factors in spaceborne SAR imaging and SAR image. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2: 152—157
- JAXA. 2006. Initial calibration result of JAXA standard products. www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/data\_tekyo\_setsumei/ alos\_ hyouka\_e\_20061023.html(18/10/2008)
- JAXA. 2007. Calibration result of JAXA standard products. www.eorc. jaxa. jp/hatoyama/satellite/data\_tekyo\_setsumei/alos\_hyouka\_e. html (22/9/2008)
- Qian J. 2004. The Research and Applying of Principle of Radarclinometer. Wuhan: Wuhan University
- Siqueira P, Chapman B and McGarragh G. 2003. The coregistration, calibration and interpretation of multiseason JERS 1 SAR data over South America. *Remote Sensing of Environment*, 87:389–403
- Zhu C Y, Xu Q, Wu C H, Chi T H and He J B. 2003. Study on mathematical models for airborne SAR image rectification. *Journal* of Remote Sensing, 7(2):112–117

附中文参考文献

- 陈尔学.2004. 星载合成孔径雷达影像正射校正方法研究. 北京:中国林业科学院
- 何钰. 2005. SAR 图像区域网数字空中三角测量. 郑州:解 放军信息工程大学
- 黄世奇,刘代志.2007. 星载 SAR 成像与 SAR 图像中一些不 确定性因素分析.测绘学报,2:152-157

钱俊. 2004. 单幅雷达影像测图原理研究. 武汉:武汉大学

朱彩英,徐青,吴从晖,池天河,何建邦. 2003. 机载 SAR 图 像几何纠正的数学模型研究. 遥感学报, 7(2): 112-117

REMOTE SENSING

# Quantitative assessment and error analysis of geometric accuracy for satellite-borne PALSAR images

### YAN Qin, QIU Zhi-cheng, XIN Shao-hua

Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China

**Abstract:** The geometric accuracy of Synthetic Aperture Radar (SAR) is one of key factors influencing its final application. However, the method of quantitative accuracy assessment and error analysis for SAR imagery is still very lacking. This paper chose the representative satellite-borne PALSAR images to implement the experiments on geometric positioning accuracy, through establishing the imaging model with Doppler, slant range and the earth ellipsoid equations, and obtained the quantitative values of the systemic geometric errors and rectification errors. Subsequently, according to the fact that the elevation error is the main error source influencing the geometric rectification precision, computer simulation is used to discuss the systemic influence on the geometric rectification error to the view angle, the error of view angle to geometric accuracy, and the unit elevation error to the geometric accuracy. It can provide some scientific evidence on the image processing and application of PALSAR images, more important, a new method for quantitative error analysis and geometric accuracy analysis of SAR images.

Key words: SAR, geometric accuracy, error analysis, elevation error, PALSAR



