

# SIR-C C波段和L波段雷达干涉数据 生成DEM的比较

庞勇 李增元 陈尔学 白黎娜

(中国林科院资源信息所遥感室, 北京 100091)

**摘要** 为了研究波长对干涉雷达生成DEM质量的影响,以黑龙江省加格达齐地区为实验区,通过对美国航天飞机SIR-C/X-SAR C波段和L波段雷达单视复型(SLC)数据的处理,分别得到了两个不同的DEM。这两个DEM存在着一定的差异,通过与干涉相关性、相位解缠等干涉处理中的关键因素相结合进行的分析,揭示了干涉SAR技术生成DEM的精度与干涉相关性、波长的关系;同时,从另一个侧面说明了用InSAR技术生成DEM的可行性和影响因素;最后,利用1:50 000地形图对干涉SAR生成的DEM误差进行了分析,并分析了地形图控制点精度对干涉SAR生成DEM的影响。

**关键词** 雷达干涉测量 数字高程模型 SIR-C

**中图法分类号:** TP751.1 P283.4 P231.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)07-0735-05

## Compare of DEMs Generated from SIR-C C-band and L-band SAR Data

PANG Yong, LI Zeng-yuan, CHEN Er-xue, BAI Li-na

(Remote Sensing Lab, Research Institute of Forest Resource and Information Technology,  
Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091)

**Abstract** SAR interferometry (InSAR) technology uses the phase information of single look complex (SLC) SAR data to get three-dimensional information of the earth surface. This technology has been in the front line of radar field since last decade. In recent years, this technology has been widely used in many remote sensing fields. To research the effect of wavelength to InSAR DEM, in the test site of Jiagedaqi district, Heilongjiang province, DEMs are generated from SIR-C/X-SAR C-band and L-band single look complex (SLC) data. There are some differences between them. Then the analysis are taken with interferometric coherence, phase unwrapping etc. So the relationships between accurate of DEM generated from InSAR and coherence, wavelength are illustrated, which also demonstrates the feasibility and affecting factor of DEM generated from InSAR. At last, 1:50 000 topographic map is used to evaluate the accurate of DEM. The effects of ground control points' (GCP) accurate are analyzed to InSAR DEM.

**Keywords** InSAR, DEM, SIR-C

## 0 引言

目前数字高程模型(DEM)及由其生成的其他产品已被广泛地用在地球科学中,而利用遥感数据获取高精度的DEM一直是遥感工作者的奋斗目标

之一。从光学图象的立体观测到雷达图象的立体观测,人们在不断寻求一种经济实用、快速有效的能满足实际需求的获取DEM的技术手段。合成孔径雷达干涉测量技术(SAR Interferometry,简称InSAR)的出现,在这方面显示出十分美好的应用前景。近年来,InSAR技术在应用中发展十分迅速,用

基金项目:国家863-308资助项目(863-308-14)

收稿日期:2001-04-20;改回日期:2001-12-11

其得到的 DEM 能满足用户的一般需要,现已逐渐进入实用阶段<sup>[1]</sup>,并被扩展应用到地壳形变测量<sup>[2-3]</sup>、土地利用分类<sup>[4-5]</sup>等领域。本文以 SIR-C/X-SAR C 波段和 L 波段单视复型(SLC)数据为数据源,用 InSAR 技术进行了生成 DEM 试验,同时对用 InSAR 生成 DEM 的主要流程进行了介绍,并结合雷达干涉处理中的关键因素对二者生成的 DEM 进行了分析,以期对用不同波段的雷达数据进行干涉处理得到的 DEM 做出初步的评价。

## 1 实验区概况和数据获取

### 1.1 实验区概况<sup>[6]</sup>

选择黑龙江省加格达奇地区大兴安岭林业科研站为实验区。该区位于北纬  $50^{\circ}00' \sim 50^{\circ}25'$ ,东经

$123^{\circ}30' \sim 124^{\circ}40'$ ,属寒温带大陆性季风气候。年降水量为 500mm 左右,且年际变化不大,降水多集中在 6~8 月份,这个期间的降水约占年降水的 70%,冬季降雪仅占年降水的 10% 左右。

该区地形为低山丘陵,实验区内有甘河从中部流过,沿河两岸和小支流处多为季节性沼泽地。从秋末到次年春末,沼泽和小河基本上完全干涸,这就保证了干涉数据获取间隔期内,雷达数据具有较高的相关值。该区土壤为寒温带森林土壤,以棕色针叶林土为主;植被主要有兴安落叶松林、白桦林、樟子松林等。

### 1.2 遥感数据获取

实验用遥感数据为 1994 年 10 月美国航天飞机获得的实验区的 SIR-C/X-SAR C 波段和 L 波段 SLC 图象各 3 景,如表 1 所示。

表 1 所获取的 SIR-C SLC 干涉数据

	L 波段			C 波段		
	数据 1	数据 2	数据 3	数据 1	数据 2	数据 3
图象编号	pr44286	pr44288	pr44290	pr44287	pr44289	pr44291
成像时间	1994-10-07	1994-10-08	1994-10-09	1994-10-07	1994-10-08	1994-10-09
中心经/纬度	50°17'/124°11'			50°17'/124°11'		

## 2 原理与方法

InSAR 数据处理的流程如图 1 所示,即把 C 波段和 L 波段 SLC 数据分别处理生成 DEM,由于 C 波段和 L 波段的干涉相关值有差异,且干涉相关值低的区域很难正确地进行相位解缠,因此需通过“阻隔墙”技术来把相关值低的区域标识出来,在相位解缠时,对被阻隔起来的区域不进行解缠处理,以保证相位解缠的正确性。同时在生成的 DEM 上,使这些区域的高程值为零。若采用同样的临界相关值,则二者的阻隔区域一般不会相同,且 C 波段的阻隔区域大于 L 波段的阻隔区域。为比较由 C 波段和 L 波段干涉处理生成的两个 DEM 的差异,需先求出两者未解缠部分的和,并把未解缠部分屏蔽掉,其所得到的图象即为通过干涉测量得到的 DEM;然后,再结合干涉处理中的关键因素,才能对这两个 DEM 进行分析比较。

使用 SIR-C 成像雷达 L 波段、C 波段单视复型数据(详见表 1)进行干涉处理,在每波段各 3 景共 6 种组合中,有 4 种组合成功地生成了 DEM(详见表 2),C 波段的两个组合因相干值太低,而未能生成

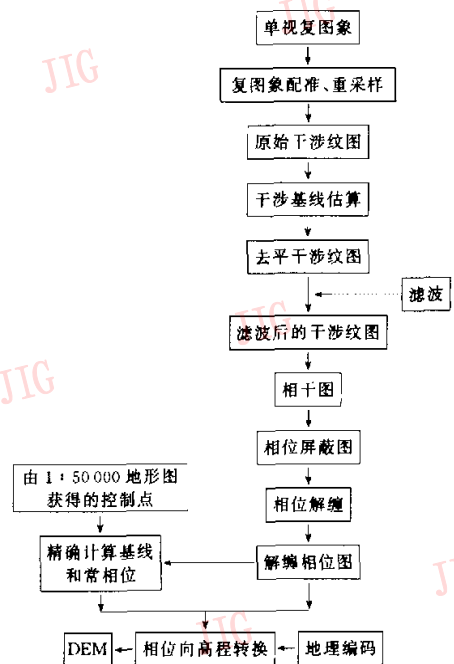


图 1 InSAR 处理流程图

DEM。下面主要针对 pr44286-pr44288、pr44287-pr44289 两种组合方式进行分析。

表 2 SIR-C 数据干涉处理结果

复图象对组合	生成 DEM	相关值		
		最小相关值	最大相关值	平均相关值
Pr44286_img-ceos_image Pr44288_img-reos_image	是	0	0.993 31	0.866
Pr44286_img-ccos_image Pr44290_img-ccos_image	是	0.000 31	0.990 33	0.754
Pr44288_img-ceos_image Pr44290_img-ceos_image	是	0.001 28	0.978 71	0.764
Pr44287_img-ccos_image Pr44289_img-ccos_image	是	0.000 28	0.862 27	0.448
Pr44287_img-ceos_image Pr44291_img-ccos_image	否	*	*	*
Pr44289_img-ccos_image Pr44291_img-ceos_image	否	0	0.500 64	0.172

\* 复图象对差异太大,未能进行精确配准

### 3 结果与分析

图 2 为实验区的 L 波段 SAR 强度图象,其中雷达回波越强的地方越亮,图 3 为相应的相干值图象,由两图可见,在两幅图象获取的间隔期内散射特性越稳定的地方越亮,图 4 为干涉生成的 DEM,其中高程值越大的地方越亮。

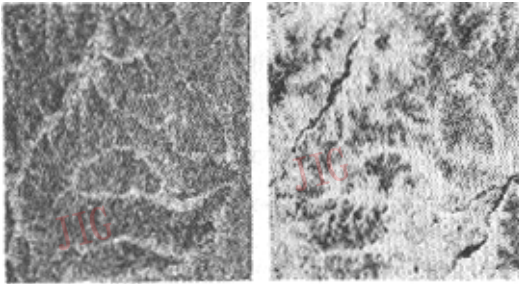


图 2 试验区 L 波段  
强度图象

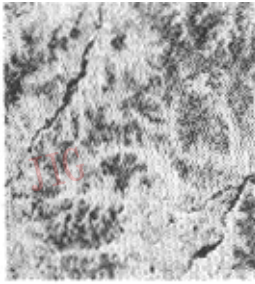
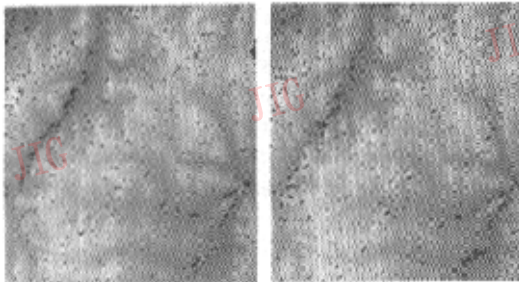


图 3 试验区 L 波段  
相干值图象



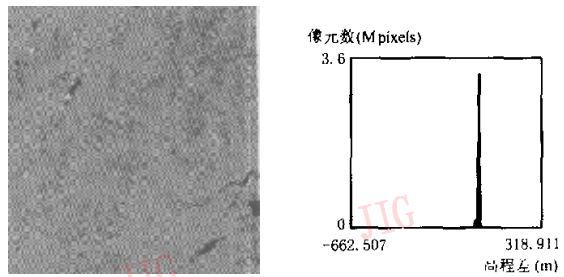
(a) L 波段 (b) C 波段

图 4 不同波段干涉处理生成的试验区的 DEM

### 3.1 C 波段和 L 波段生成的 DEM 比较

本文根据相干值的高低确定阻隔区域,一般来说,对于重轨干涉模式而言,L 波段的干涉相干值高于 C 波段的干涉相干值,因而若用相同的相干值阈值,则 L 波段的阻隔区域小于 C 波段,且 L 波段最终生成的 DEM 连续性也较好。为了对两个波段生成的 DEM 进行比较,采用了相同的阻隔区域(两个波段阻隔区域的和),因而在生成的 DEM 上有较多被屏蔽的区域(如图 4 所示)。但总体上,两个波段雷达数据干涉生成的 DEM 都很好地反映了当地的实际地形。

图 5(a)为图 4 的两个 DEM 直接相减(C 波段 DEM 减去 L 波段 DEM)得到的图象,可以看作两个 DEM 的差值图象,图 5(b)是其统计直方图,图 5(a)上亮的区域为高程正差异较大的区域,暗的区域为高程负差异较大的区域。从图 5(b)上可看出,二者的高程差差别不大,总的高程差统计平均值为 4.998 14m,且在这一点的附近分布十分集中,尽管差值的分布区间为 -662.5~318.9m,但从图 3 可明显看出,在差值大的区域像元数非常少,可忽略不计。通过进一步分析知,这些差值大的像元多分布在相干值低、地形起伏剧烈的地方。可见,只要相干性好,对地形起伏不太剧烈的地区,用 InSAR 技术生成的 DEM 质量是可靠的,且稳定性也较好。



(a) 差值图象 (b) 统计直方图

图 5 C、L 两个波段干涉生成的 DEM 差值图象  
及高程差统计直方图

### 3.2 干涉 SAR 生成 DEM 的精度评价和误差分析

为了评价干涉 SAR 生成的 DEM 的精度,分别从 1:50 000 地形图上和干涉生成的 DEM 上读出相应点的高程,并进行差异比较。鉴于 C 波段与 L 波段生成的 DEM 差别不大,本文只对 C 波段干涉生成的 DEM 进行了评价,结果如表 3 所示。从表 3 可见,干涉测量得到的高程与地形图相比存在着一定的误差,一般在 ±30m 以内,均方根误差为

17.093m. 考虑到从地形图上估计高程时的误差 (10m 以内), 则这个误差范围应为  $\pm 35\text{m}$ . 这个精度可满足一般用途的需要.

表3 基于地形图的精度比较

GCP 序号	GCP 坐标(列,行)	解算相位值(rad)	从地形图得到的高程(m)	从干涉测量得到的高程(m)	高程偏差(m)
1	46.3 380	55.076	367	355.132	-11.868
2	428.3 204	36.788	362	352.694	-9.396
3	1 579.2 697	-11.887	337	342.833	5.833
4	2 053.1 551	-21.173	355	381.765	26.765
5	1 745.1 790	1.271	393	415.953	22.953
6	286.5 259	42.476	410	430.165	20.165
7	905.3 882	13.283	365	366.594	1.594
8	61.4 929	55.222	408	426.074	18.074
9	2 314.4 643	-43.569	375	344.873	-30.127
10	383.2 013	49.949	389	365.694	-23.306
11	1 074.2 883	8.208	349	344.741	-4.259
12	2 305.2 580	-39.184	325	337.512	12.512
13	1 709.5 014	-19.748	392	385.515	-6.485
14	462.1 304	65.431	470	450.046	-19.954
15	1 797.3 172	16.213	385	384.521	-0.379
16	2 078.1 774	-23.795	347	374.437	27.437
17	1 104.2 797	7.981	348	348.546	0.546
18	482.2 062	43.542	375	360.160	14.540
均方根误差					17.093

实际上, 由于在估计干涉基线和常相位时, 也要用到地形图上的控制点, 因而最终干涉生成的 DEM 精度对地形图控制点的精度有一定的依赖性. 若有精确的控制点信息, 可望进一步提高干涉 DEM 的精度. 此外, 在地势平坦处及地形起伏缓和处, 干涉 SAR 生成的 DEM 精度较高, 而在地势起伏剧烈的地方精度较差. 需要指出的是, 雷达干涉测量得到的高程与控制点的高程精度有关, 即随着控制点的变化有轻微的波动. 这是由于所用的 1: 50 000 地形图的等高线间距为 10m, 因此从地形图上得到的高程值也会有 10m 以内的误差.

#### 4 结论与讨论

本文通过对 SIR-C/X-SAR C 波段和 L 波段干涉测量生成的 DEM 的比较分析, 可以初步得出以下几点认识:

(1) 干涉生成的 DEM 精度与相干性的关系很大. 一般说来, 相干值越高, 生成的 DEM 精度也越高; 在相干值低的区域, 很难得到高精度的高程信息.

(2) 就 C 波段和 L 波段而言, 若干扰数据的质量较高, 且地形起伏不太剧烈, 则生成的 DEM 与波段的关系不太大. 一般而言, 由于 C 波段波长比 L

波段短, 其对植被覆盖区、干旱裸地等的穿透深度也较小, 从而 C 波段干涉测量生成的 DEM 比 L 波段生成的 DEM 高程稍高一点.

(3) 雷达干涉测量得到的高程与控制点的高程精度有关, 即随着控制点精度的变化有轻微的波动.

#### 参考文献

- 1 The Shuttle Radar Topography Mission(SRTM), [http://www.jpl.nasa.gov/srtm/\[EB/OL\]](http://www.jpl.nasa.gov/srtm/[EB/OL]).
- 2 Massonnet D, Rossi M, Carmona C *et al.* The displacement field of the landers earthquake mapped by radar interferometry[J]. *Nature*, 1993, 364(6433): 138~142.
- 3 Massonnet D, Feigl K, Rossi M *et al.* Radar interferometric mapping of deformation in the year after the landers earthquake [J]. *Nature*, 1994, 369(6477): 227~230.
- 4 Wegmüller U, Charles L W. SAR interferometric signatures of forest [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, 33(5): 1153~1161.
- 5 Borgeaud M, Wegmüller U. On the use of ERS SAR interferometry for the retrieval of Geo-and Bio-Physical information[A]. In: Fringe '96 ESA Workshop on Applications of ERS SAR Interferometry[C], Held at University of Zurich, Switzerland, 1996.
- 6 高殿英等主编. 大兴安岭东部林区森林资源[R]. 加格达奇: 林业部大兴安岭林业管理局, 1995.



**庞 勇** 1976 年生, 2000 年获中国林科院资源信息所森林经理专业硕士学位, 现在资源信息所遥感室工作, 主要从事合成孔径雷达成像机理研究、干涉合成孔径雷达的处理等方面的研究。



**陈尔学** 1968 年生, 助理研究员, 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。



**李增元** 1959 年生, 1990 年获中国农业大学博士学位, 现为中国林科院资源信息所研究员, 博士生导师, 目前研究领域为 SAR 应用研究、光学遥感应用研究。



**白黎娜** 1956 年生, 副研究员, 1983 年初毕业于原北京工业大学第二分校计算机技术专业, 现主要从事遥感应用技术研究。

## 《中国图象图形学报》文后参考文献编排格式

### 1. 专著、论文集、学位论文、报告

[序号] 主要责任者. 文献题名[文献类型标识]. 出版地: 出版者(或存放单位), 出版年. 起止页码.

- 1 刘国钧, 陈绍业, 王凤. 图书馆目录[M]. 北京: 高等教育出版社, 1957: 15~18.
- 2 张筑生. 微分半动力系统的不变集[D]. 北京: 北京大学数学系数学研究所, 1983.

### 2. 期刊文章

[序号] 主要责任者. 文献题名[J]. 刊名, 年, 卷(期): 起止页码.

- 1 金显贺, 王昌长, 王忠东等. 一种用于在线检测局部放电的数字滤波技术[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1993, 33(4): 62~67.

### 3. 论文集集中的析出文章

[序号] 析出文献主要责任者. 析出文献题名[A]. 见(In): 原文献主要责任者(任选). 原文献题名[C]. 出版地: 出版者(或会议地点), 出版年: 析出文献起止页码.

- 1 钟文发. 非线性规划在可燃毒物配置中的应用[A]. 见: 赵玮. 运筹学的理论与应用——中国运筹学会第五届大会论文集[C]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1996: 468~471.
- 2 Middleton V, Owen M J, Elliman D G *et al.* Development in non-axisymmetric filament winding[A]. In: Proceedings of 2nd International Conference on Automated Composite'88 Noordwijkerhout[C], the Netherlands, 1988: 324~335.

### 参考文献类型及标识

参考文献类型	专 著	论文集	报纸文章	期刊文章	学位论文	报 告	标 准	专 利
文献类型标识	M	C	N	J	D	R	S	P

### 电子文献类型参考文献标识

电子参考文献类型	数据库	计算机程序	电子公告
电子文献类型标识	DB	CP	EB

### 载体类型标识

载体类型	联机网络	磁带	光盘	磁盘
载体标识	OL	MT	CD	DK