

ALOS /PALSAR InSAR 数学模型研究

吴宏安, 张永红

(中国测绘科学研究院对地观测技术国家测绘局重点实验室, 北京 100039)

摘要:日本 ALOS 卫星携带的相控阵型 L 波段合成孔径雷达(PALSAR), 因其较长的波长使得相同时间间隔内地面具有较高的相干性, 因而极具 InSAR 应用潜力。本文首先介绍 ALOS PALSAR, 进而详细分析该数据在 InSAR 数学模型(包括距离向频谱、干涉临界基线距、模糊高度、差分相位对形变的敏感度)中的特点, 并与常见的 ERS SAR 数据进行比较。

关键词: InSAR; 数学模型; ALOS; PALSAR

doi: 10. 3969/ j. issn. 1000- 3177. 2011. 02. 020

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000- 3177(2011) 114- 106- 05

Study on InSAR Model of ALOS/ PALSAR Data

WU Hong an, ZHANG Yong hong

(Chinese Academy of Surveying and Mapping,

Key Laboratory of Mapping from Space of State Bureau of Surveying and Mapping, Beijing 100039)

Abstract: The Phased Array type L band Synthetic Aperture Radar (PALSAR), carried by Japan Advanced Land Observing Satellite (ALOS), has longer wave length than C band, thus during the same temporal interval, interferometric coherence of PALSAR data covering the same area is higher than C band correspondingly. Obviously, PALSAR data has great potential in InSAR applications. This paper first introduces ALOS and PALSAR data. Then several main InSAR parameters are analyzed based on PALSAR Fine Beam Single polarization (FBS) and Fine Beam Dual polarization (FBD) data, including spectrum in range, critical baseline, ambiguity height, sensitivity of differential phase to deformation. Meanwhile, they are also compared with ERS SAR data.

Key words: InSAR; mathematical model; ALOS; PALSAR

1 引言

合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术目前在地形测绘以及形变监测领域正发挥着越来越重要的作用, 并且极具发展前景和应用潜力。然而当前 InSAR 技术所采用的数据源主要是 C 波段的欧空局 ERS SAR 和 ENVISAT ASAR 数据以及加拿大 RADARSAT-1 数据^[1~5], 其波长较短(约 0.056m), 对形变较

为敏感。但 C 波段的地表穿透能力较弱, 在较长的时间间隔内地表不能保持很好的相干性, 对于植被分布较多的山区和农村地区, 噪声影响严重, 难以提取有用的相位信息。因此, 对于采用 InSAR 进行大范围的地表形变以及地震、滑坡等地质灾害监测, 都亟需波长更长的雷达数据。

ALOS 卫星于 2006 年 1 月发射, 其带有的相控阵型 L 波段合成孔径雷达(PALSAR), 波长为 0.236m

收稿日期: 2009- 12- 24 修订日期: 2010- 01- 18

基金项目: 国家 973 计划(2006CB701303), 中国测绘科学研究院基本科研业务费资助(7771031)和对地观测技术国家测绘局重点实验室经费项目(K201001)。

作者简介: 吴宏安(1981~)男, 研究方向是 InSAR 的算法与应用研究。

E mail: wuha@casm. ac. cn

(L波段),分辨率为7m~100m。由于ALOS PALSAR运行时间较晚,各地区积累的数据量还不多,目前利用PALSAR数据进行InSAR应用还较少^[6-8]。为了充分利用该数据进行InSAR研究,有必要系统地分析该数据在InSAR模型中的特点。本文将从介绍ALOS-PALSAR成像参数入手,详细分析PALSAR数据的主要InSAR模型参数特点,并与ERS SAR数据进行对比。希望通过本文的研究,能够为相关研究人员合理选择ALOS PALSAR数据进行干涉处理提供依据。

2 ALOS-PALSAR 简介

2.1 ALOS 简介

2006年1月24日成功发射的先进陆地观测卫星(Advanced Land Observing Satellite, ALOS)是在日本地球资源卫星1号(Japanese Earth Resources Satellite 1, JERS-1)和先进地球观测卫星(Advanced Earth Observing Satellite, ADEOS)之后的又一颗使用先进对地观测技术的卫星,它可以用于地图测绘、区域观测、灾害监视以及资源调查等诸多领域。

ALOS带有3台传感器:立体测绘全色遥感仪器(Panchromatic Remote sensing Instrument for Stereo Mapping, PRISM),先进可见光与近红外辐射计-2型(Advanced Visible and Near Infrared

Radiometer type 2, AVNIR-2),以及相控阵L波段合成孔径雷达(Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar, PALSAR)。为了充分利用由这些传感器获得的数据,ALOS采用了两种先进技术:一种是高速大容量飞行任务数据处理技术;另一种是卫星位置与姿态精确测定技术。这两种技术都是未来高分辨率遥感卫星必不可少的。

2.2 PALSAR 介绍

PALSAR是一台主动式微波传感器,可以获取单极化、双极化和全极化SAR数据,是日本国家空间发展局和日本资源观测系统组织(JAROS)之间的一个联合项目。它利用L波段进行陆地观测,其优点是不受云的干扰,可昼夜进行观测。PALSAR的性能要比JERS-1的合成孔径雷达高^[9]。

PALSAR的高分辨模式是一种常规模式,包括精细波束单极化模式(Fine Beam Single polarization, FBS)和精细波束双极化模式(Fine Beam Dual polarization, FBD)。PALSAR还有一个重要的观测模式,即扫描模式(ScanSAR),该模式以空间分辨率为代价获取宽度达250km、350km(取决于扫描数)的合成孔径雷达影像。该影像刈幅要比常规合成孔径雷达影像的刈幅宽三至四倍。此外,全极化SAR数据则可以通过PALSAR的极化模式(Polarimetric)获取,目前作为实验模式(Experimental mode)运行。表1列出了PALSAR的主要技术参数。

表1 ALOS PALSAR主要技术参数一览

参数	模式			
	FBS	FBD	ScanSAR	Polarimetric
中心频率			1270 MHz(L波段)	
线性带宽	28MHz	14MHz	14MHz, 28MHz	14MHz
极化	HH 或 VV	HH+HV 或 VV+VH	HH 或 VV	HH+HV+VH+VV
入射角	8°~60°	8°~60°	18°~43°	8°~30°
距离分辨率	7~44m	14~88m	100m(多视)	24~89m
观测刈幅	40~70km	40~70km	250~350km	20~65km
位长	5 bits	5 bits	5 bits	3 or 5bits
数据速率	240Mbps	240Mbps	120Mbps, 240Mbps	240Mbps
NE sigma zero	< -23dB(刈幅宽度70km) < -25dB(刈幅宽度60km)		< -25dB	< -29dB
S/A	> 16dB(刈幅宽度70km) > 21dB(刈幅宽度60km)		> 21dB	> 19dB
辐射测量精度	场景: 1dB/ 轨道: 1.5dB			

注:①PALSAR不能观测南北纬度超过8°的区域;②由于功耗方面的原因,工作时间将受到限制。

3 PALSAR InSAR 数学模型分析

由于 PALSAR 有 3 种观测模式(精细、扫描和极化),为了便于与常用雷达数据 ERS SAR 和 ENVISAT ASAR Image Standard(IS2) 比较,我们仅选用精细模式(FBS, FBD) 数据进行分析。表 2 显示了它们

表 2 PALSAR FBS、FBD 与 ERS SAR、ENVISAT ASAR 技术参数比较

参数名称	传感器			
	ALOS PALSAR		ERS SAR	ENVISAT ASAR(IS2)
	FBS	FBD		
波长(m)	0.236	0.236	0.0566	0.0562
载频(GHz)	1.27	1.27	5.3	5.331
卫星高度(km)	691.65	691.65	780	800
中心入射角(°)	34.3	34.3	23.3	23.3
方位分辨率(m)	3.169	3.169	3.983	4.049
距离分辨率(m)	4.684	9.368	7.905	7.804
地距分辨率(m)	8.31	16.62	19.98	19.72
方位向带宽(Hz)	1523	1523	1387	1316
距离向带宽(MHz)	28	14	15.55	16
方位向采样率(Hz)	2159	2159	1679	1652
距离向采样率(MHz)	32	16	18.96	19.21
多普勒中心频率(Hz)	~ 135	~ 90	~ 350	~ 175
轨道状态采样数	28	28	5	5

注:多普勒中心频率在不同成像时刻会有变化。

之间的异同。可以看出,ALOS PALSAR FBS 和 FBD 数据的各项主要参数与 ERS SAR、ENVISAT ASAR 都有很大不同,使得它们在干涉处理时存在较大差异。由于 ERS SAR 和 ENVISAT ASAR 参数接近,下面我们重点分析 PALSAR FBS 和 FBD 与 ERS SAR 在 InSAR 数学模型中主要参数的异同。

3.1 距离向频谱

SAR 对地成像入射角不同,在距离向主辅影像的数据频谱会出现偏移 Δf_r , 其表达式可表示为^[10]:

$$\Delta f_r \approx f_0 \cdot \sin\theta \left\{ \frac{1}{\sin\theta_2} - \frac{1}{\sin\theta_1} \right\} \quad (1)$$

其中, $f_0 = \frac{c}{\lambda}$ 为雷达载频, c 为光速, λ 为波长,

θ_1 和 θ_2 分别为主辅影像的入射角, $\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ 。将上式按泰勒级数展开后,可以得到如下的公式^[11]:

$$\begin{aligned} \Delta f_r &\approx f_0 \frac{B_{\perp}}{R \tan(\theta - \xi)} = f_0 \frac{B_{\perp} \cos\theta}{H \tan(\theta - \xi)} \\ &= f_0 \frac{B \cos(\theta - \alpha) \cos\theta}{H \tan(\theta - \xi)} \quad (2) \end{aligned}$$

其中 R 为斜距, H 为雷达高度, ξ 为地形坡度角, α 为基线与水平方向夹角, B 和 B_{\perp} 分别为基线距和垂直基线距。从该式可以看出,频谱偏移量与垂直基线距成正比关系,当 B_{\perp} 增加时,主辅影像的

频谱偏移量 Δf_r 也随之增加,公共频谱部分随之减少,两影像的相干性将降低。为了增加两影像的相干性,需要消除频谱的非公共部分,即对主辅影像作距离向频域滤波。

ALOS/ PALSAR FBS 和 FBD 模式成像数据,雷达高度 $H = 691.65\text{km}$, 雷达波入射角 $\theta = 34.3^{\circ}$, 且设地形坡度角 $\xi = 0$ 。对于不同垂直基线距 B_{\perp} 的距离向频谱偏移 Δf 可用表 3 表示。该表同时也给出了 ERS SAR 干涉像对的频谱偏移情况。

从该表可以看出,对 PALSAR FBS 数据而言,在干涉处理时可以容许相当大的垂直基线距,即使达到 1000m,其频谱偏移也只占距离向带宽的 7.9%; FBD 数据距离向带宽较小,距离向频谱偏移相对较大,当垂直基线距为 1000m 时,其频谱偏移占距离向带宽的 15.7%。而对于 ERS 数据,当垂直基线距为 300m 时,距离向频谱偏移在带宽中的百分比就达 27.96%,因此需要严格控制基线,并作适当距离向频域滤波。

表3 ALOS PALSAR(FBS,FBD)与ERS SAR 频谱偏移对比

雷达数据	垂直基线距 B_{\perp} (m)	距离向频谱偏移 Δf (MHz)	偏移百分比 $\Delta f/Br$ (%)	是否 需要滤波
ALOS PALSAR	100	0.22	0.79	否
FBS	300	0.66	2.36	否
($Br=28\text{MHz}$)	1000	2.2	7.86	否
ALOS PALSAR	100	0.22	1.57	否
FBD	300	0.66	4.71	否
($Br=14\text{MHz}$)	1000	2.2	15.7	是
ERS SAR ($Br=15.55\text{MHz}$)	100	1.45	9.32	否
	300	4.35	27.97	是
	1000	14.5	93.2	是

3.2 干涉临界基线距

当 Δf_r 大于距离向带宽时, 主辅影像将完全失相干, 我们称此时的垂直基线距为干涉临界基线距 $B_{\perp c}$ 。将(2)式变形有:

$$B_{\perp c} = \frac{B_r R \tan(\theta - \xi)}{f_0} = \frac{B_r H \tan(\theta - \xi)}{f_0 \cos \theta}$$

$$= \frac{B_r H \tan(\theta - \xi)}{c \cdot \cos \theta} \quad (3)$$

由表2的各项参数可以计算出 ALOS PALSAR FBS/FBD 数据、ERS SAR 数据的干涉临界基线距(如表4)。可以看出 PALSAR 数据的临界基线距明显大于 ERS SAR 数据, 这使得干涉组合时, 能够使更多的影像参与干涉计算处理, 提高数据的利用率。

表4 PALSAR 与 ERS SAR 数据临界基线距对比

雷达数据	距离向带宽 Br (MHz)	临界基线距 $B_{\perp c}$ (m)
ALOS PALSAR (FBS)	28	12580
ALOS PALSAR (FBD)	14	6290
ERS SAR	15.55	1100

3.3 模糊高度

雷达干涉测量中的模糊高度是指一个周期 2π 的相位条纹所代表的地表高程, 可表示为:

$$h_{2\pi} = -\frac{R \sin \theta_0}{2B_{\perp}} = -\frac{\lambda}{2 \cos \theta_0} \frac{H \sin \theta_0}{B_{\perp}} \quad (4)$$

式中, H 为雷达高度, θ_0 为雷达波入射角。模糊高度与波长 λ 成正比, 与垂直基线距 B_{\perp} 成反比, 反映了干涉相位反演地表高程的精度。

表5对比了 PALSAR 和 ERS SAR 数据不同垂直基线距时的模糊高度。可以发现, PALSAR 数据的模糊高度远远大于 ERS SAR 数据。这也说明

利用 PALSAR 数据生成数字高程模型的精度不如 ERS SAR 数据, 不适合高精度的高程反演。

表5 PALSAR 数据与 ERS SAR 数据模糊高度对比

雷达数据	垂直基线距 B_{\perp} (m)	模糊高度 $h_{2\pi}$ (m)
ALOS PALSAR	100	557
	300	185.7
	1000	55.7
ERS SAR	100	95
	300	31.9
	1000	9.5

3.4 差分相位对地表形变的敏感度

在雷达差分干涉处理中, 差分相位直接反映了地表形变的大小, 二者关系可表示为:

$$\frac{\varphi_{def}}{\delta \rho} = -\frac{4\pi}{\lambda} \quad (5)$$

式中, φ_{def} 为差分相位, $\delta \rho$ 为视线向(LOS)的形变量。从该式可知, 差分相位对形变的敏感度取决于波长大小, 与波长成反比。一个周期 2π 的相位变化对应着半个波长的视线向形变量。

以 ERS SAR 为例, 其波长 λ 为 5.6cm, 当视线向发生 2.8cm 的形变时就会引起一个 2π 的相位变化。对于 PALSAR 数据, 其波长为 23.6cm, 因此其差分相位的敏感度为 11.8cm。与 ERS SAR 的 2.8cm 相比, 若不采用特殊算法(如多基线差分干涉)处理, PALSAR 数据对形变监测的精度更低。但是由于 PALSAR 数据的波长较长, 它对地表的穿透力更强, 相同的时间间隔内地表的相干性维持的更好, 有利于植被覆盖较多地区的形变监测。而 ERS SAR 的波长较短, 地表去相干严重, 很难有效地监测植被较多地区的地表形变。

4 结 论

ALOS PALSAR 传感器利用 L 波段多模式成像,且提供高精度的轨道状态矢量,极大地丰富了对地观测雷达数据。在今后的全球地形测图、地面沉降、冰川移动、地震以及滑坡监测等 InSAR 应用中,PALSAR 数据将发挥巨大作用。

本文通过分析 ALOS PALSAR 在 InSAR 数学模型中特点,得到如下结论:

(1) 在 InSAR 处理中,PALSAR 数据允许较大的

临界垂直基线距,在 FBS 模式下,可达到 12580m。

(2) 在相同垂直基线距前提下,PALSAR 的距离向频谱偏移远小于 C 波段的 ERS SAR 数据,因而其几何去相干影响更小,容易组合大量干涉像对,提高 SAR 数据的使用率。

(3) 由于较长的波长,PALSAR 的模糊高度较大、对地表形变敏感度较低,不适合小范围高精度的地形测绘和形变反演,但因其较强的地表穿透能力,在相同时间间隔内地物相干性更强,因而对于大范围甚至全球尺度的 InSAR 监测具有巨大的应用潜力。

参考文献

- [1] J. Bai, Prinnet, V. . PS InSAR technique and its application in Beijing area[C]// ISPRS. 2005.
- [2] Colesanti, C. , Zan, F. D. , Ferretti, A. , et al. . Generation of DEM with sub metric vertical accuracy from 30° ERS ENVISAT pairs[C]//FRINGE. 2003.
- [3] Colesanti, C. , Ferretti, A. , Prati, C. , Rocca, F. . Monitoring landslides and tectonic motions with the permanent scatterers technique[J]. Engineering Geology, 2003(68): 3- 14.
- [4] Pepe, A. , Sansosti, E. , Berardino, P. , Lanari, R. . On the generation of ERS/ ENVISAT DInSAR time series via the SBAS technique[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2005, 2(3): 265- 269.
- [5] Worawattanamatekul, J. , Hoffmann, J. , Adam, N. , et al. . Urban deformation monitoring in BANGKOK metropolitan (Thailand) using permanent scatterer and differential interferometry techniques[C]//FRINGE. 2003.
- [6] Iwashita, M. Kudo, H. Baba, et al. Study of ground surface displacement estimation using ALOS/PALSAR D-InSAR interferometry[C]//IGARSS. 2007.
- [7] D. Raucoules, C. Colesanti, C. Carnec. Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence[J]. C. R. Geoscience, 2007(339): 289- 302.
- [8] D. Myer, D. Sandwell, B. Brooks, et al. Inflation along Kilauea's Southwest Rift Zone in 2006[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2008(177): 418- 424.
- [9] Rosenqvist, M. Shimada, N. Ito, et al. ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global scale monitoring of the environment[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2007, 45(11): 3307- 3316.
- [10] Bamler R. , Just D. . Phase statistics and decorrelation in SAR interferograms[C]//IGARSS. 1993: 980- 984.
- [11] Gatelli, F. , Guarnieri, A. M. , Parizzi, F. , et al. . Wavenumber shift in SAR interferometry[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1994, 32(4): 855- 864.

(上接第 101 页)

结果来看,同时满足这些条件的 3 个波段是不存在的。为此,必须从客观实际出发,兼顾影像目视效果,同时尽量满足理论条件来选择波段组合。

综合考虑彩色合成后影像的目视效果和定量评价结果,RapidEye 数据模拟自然真彩色的最佳彩色合成方案为本文提出的红波段、新绿波段和蓝波段组合。

4 结束语

通过对 RapidEye 数据质量进行的较全面分析,得出了科学、合理的结论,提供了使用过程中应注意的问题和建议。另外,通过对该数据彩色合成方案的研究,确定了该数据模拟自然真彩色的最佳波段组合,为该数据的进一步应用提供了借鉴和参考。

参考文献

- [1] 赵英时,等.《遥感应用分析原理与方法》[M]北京:科学出版社,2003.
- [2] 孙家柄,舒宁,关泽群.《遥感原理、方法和应用》[M]北京:测绘出版社,1997. 6.
- [3] 戴昌达,姜小光,唐伶俐.《遥感图像应用处理与分析》[M]北京:清华大学出版社,2004. 3.