

ALOS PALSAR 数据在漳江口 红树林提取中的应用

肖伟山¹, 汪小钦¹, 凌飞龙^{1,2}

(1. 福州大学空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福州大学福建省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350002; 2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要:红树林是国际上生物多样性保护和湿地生态保护的重要对象, 及时获取红树林面积变化是加强红树林保护的迫切需求。以福建漳江口红树林国家级自然保护区为研究区域, 对 2007 年多时相的 ALOS PALSAR 数据进行处理, 分析红树林与各典型地物 L 波段 HH、HV 极化的后向散射值的时间变化特征及去极化特征。红树林在 L 波段 HH 和 HV 极化的后向散射随时间变化不明显, 与其它林地较为相似, 但两者去极化能力差异明显。相对于时相信息, 极化信息对于提取红树林的作用更为重要。基于面向对象分类方法, 提出应用 HH、HV 和 HV 与 HH 比值进行红树林提取的方法, 取得较好的分类结果。

关 键 词:红树林; ALOS PALSAR; 后向散射系数; 去极化特性; 漳江口

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2010)01-0091-06

1 引 言

红树林分布于热带亚热带海岸潮间带及海陆相接的河口带, 是世界上生产力最高的生态系统之一, 是国际上生物多样性保护和湿地生态保护的重点对象。红树林湿地不仅具有促淤沉积、改善环境、护堤防波等生态功能, 而且还为许多海洋动物提供重要的栖息地和食物。随着经济的发展, 由于围海造地、围海养殖、砍伐等人为因素, 再加上工农业废水对近海污染的日益严重, 红树林资源遭受严重破坏, 面积日趋减少, 生态功能退化。因此, 及时获取红树林生长面积的变化成为加强红树林保护的迫切需求。

由于红树林生长于近海滩涂上, 红树林内泥、沙松软, 且植被郁密度高, 很难进入其中进行实地监测。在全球范围内, 人们广泛应用遥感技术进行红树林资源监测, 大部分的研究是利用光学遥感数据开展红树林资源监测^[1-3]。随着雷达技术的发展, 人们日益认识到雷达相较于光学遥感在红树林监测上所具有的优势: 雷达的穿云透雾特点使其具有全天

时、全天候的观测能力, 这对于生长于多云多雨热带亚热带的红树林, 监测上不受时间和气象的限制, 特别是更有利于获得较低潮位的数据; L 波段雷达波长较长, 能反映冠层以及冠层下的枝干信息; 雷达的多极化方式, 能获取红树林更多的信息。

人们最早应用机载雷达系统进行红树林监测, 通过机载的多波段多极化的 SAR 数据, 对红树林的生物量等进行定量分析^[4-7]。星载雷达系统的发展, 为定期监测红树林资源提供了更好的数据源, Hervé Trebosse^[8]等利用 ERS 数据(C 波段)更新快的特点, 监测红树林的海岸演变情况, 并利用监测结果更新沿海海图。随着 ENVISAT ASAR 和 ALOS PALSAR 雷达传感器的相继投入使用, 其所具有的多极化、多入射角的重复观测能力, 为更好地研究红树林提供了可能。

2006 年 1 月成功发射的先进对地观测卫星 ALOS 是 JERS-1 的后继星, 其上搭载的高性能 PALSAR 雷达传感器, 具有更高的空间分辨率和多种极化方式。本文利用多时相的 ALOS PALSAR 数据, 进行漳江口红树林资源的提取研究。

2 研究区概况

福建漳江口红树林国家级自然保护区位于福建省漳州市云霄县漳江入海口(图 1),地理位置为 117°24′07″~117°30′00″E,23°53′45″~23°56′00″N,

保护区总面积 2 360 hm²,为福建省最重要的湿地生态系统类型的国家级自然保护区。该保护区的红树林植被类型主要有秋茄林和白骨壤林两个群系,滨海盐沼为天然互花米草盐沼群系,红树林高 2~3 m,郁密度 80%~90%^[9]。

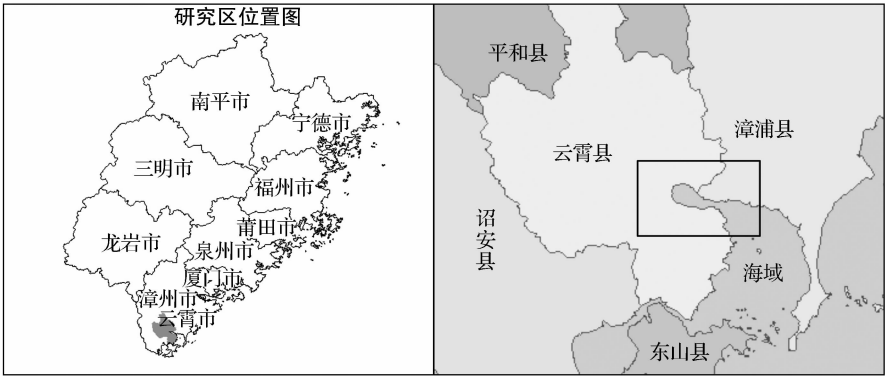


图 1 研究区在福建省的位置(黑框内为研究区)
Fig. 1 Location of study area in Fujian province

3 ALOS PALSAR 数据处理

研究所用的 PALSAR FDB 双极化 Level 1A 数据,包括 2007 年 7 月 13 日、8 月 28 日、10 月 13

日 3 个时相的 HH、HV 双极化共 6 个通道数据。包括原始前视、星下点和后视图像文件,分别附带独立的辐射定标和几何定标参数文件。数据处理流程如图 2 所示。

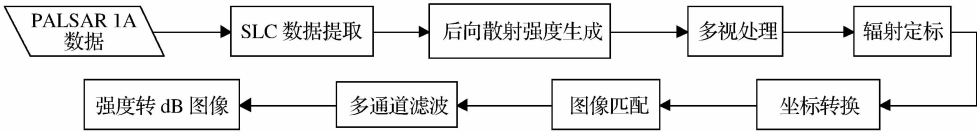


图 2 PALSAR 数据处理流程
Fig. 2 Processing of PALSAR data

从 Level 1A 数据中提取出的为单视复数 (SLC)数据,它包含幅度信息 A 和相位信息 ϕ 。本研究应用的是后向散射能量信息,需将幅度和相位信息转换为强度信息。用幅度信息 A 和相位信息 ϕ 记录的微波信息服从方程(1)的分布。

$$P_{z_1,z_2}(z_1,z_2) = \frac{1}{\pi\sigma} \exp\left(-\frac{z_1^2+z_2^2}{\sigma}\right) \tag{1}$$

其中: $z_1 = A\cos\phi, z_2 = A\sin\phi, P_{z_1,z_2}$ 为随机变量为 z_1, z_2 的概率密度函数^[10]。估计每个微波分辨单元的后向散射强度信息,在同相信息 $z_1 = A\cos\phi$ 和正交信息 $z_2 = A\sin\phi$ 已知条件下,代入方程(2) 便得到每个分辨单元的最大似然估计平均强度 I 。

$$I = z_1^2 + z_2^2 = (A\cos\phi)^2 + (A\sin\phi)^2 = A^2 \tag{2}$$

数据转为强度信息后,对图像进行多视处理。进行多视处理,会增强辐射分辨率,降低斑点噪声水平,同时也会降低空间分辨率,但有利于识别出更多的空间分布特征及地物特征信息^[11]。为保持较高的

图像分辨率,设置距离向和方位相视数分别为 1 和 3,距离向和方位向分辨率约为 9.4 m * 9.5 m。

多视处理后,对图像进行辐射定标,使不同景数据以及同一景数据不同区域的辐射特征具有可比性,辐射定标运用方程(3) 和方程(4) 进行。

$$I_0 = \langle z_1^2 + z_2^2 \rangle \times 10^{-11.5} \tag{3}$$

$$\sigma^0 = 10.0 \times \log_{10} \langle z_1^2 + z_2^2 \rangle - 115.0 \tag{4}$$

其中: I_0 是辐射定标后向散射强度, σ^0 是以 dB 表示的后向散射系数, $\langle \rangle$ 代表空间平均。

将由距离和方位表示的雷达坐标图像转换为 UTM 坐标图像,单景雷达图像的处理就完成了。要使多时相图像具有可比性从而进行分析,就必须对不同相的图像进行高精度配准,以一景图像作为基准图像,运用相关匹配技术,将其它图像以基准图像为参考图像进行匹配。配准后的图像误差控制在 1 个像元大小以内。

噪声是雷达图像分析时不能忽略的问题,大量不同相位的散射点构成了雷达图像的单元,同时造成干涉现象和像噪声似的斑点。在雷达后向散射系数重建时斑点是无用的,称为斑点噪声,它影响图像几何形状和性质的提取,需进行滤波来消除这种影响。本文采用多通道滤波方法^[12]对多时相多极化的数据进行滤波处理。

$$J_k = \frac{\sigma_k}{M} \sum_{i=1}^M \frac{I_i}{\sigma_i}, k = 1, \cdots, M$$

(5)

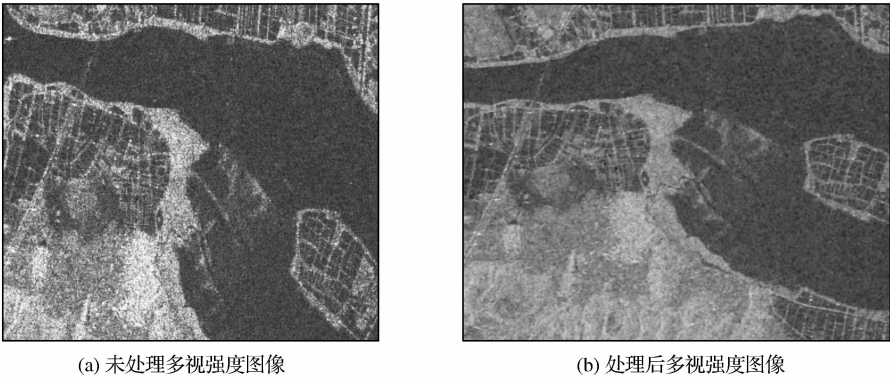


图 3 雷达图像处理前后对比

Fig. 3 Radar image compared before and after processing

4 红树林散射特性分析

4.1 红树林的散射机理分析

根据 Mougin^[4] 和 Nicolas Delbart^[13] 等的研究,L 波段能穿透森林冠层,透射到冠层下的枝干,森林的 L 波段后向散射信息的构成包括以下几部分:冠层单次散射、冠层及枝干间的多次散射(体散射)、地表直接散射和地表与枝干间散反射(二面角散射)。

与森林一样,红树林对 L 波段能发生冠层单次散射。冠层单次散射的雷达波只占传感器接收到的后向散射的一部分,而相当多的雷达波则穿透冠层,在冠层及枝干间发生多次散射,这部分散射为体散射,此过程会对微波产生去极化作用。体散射主要表现在 HV 通道上。农作物由于其植被层较矮,枝叶细小,L 波段能透射入冠层下的部分,大部分会穿透植被层,较少部分发生体散射作用,HV 值的差异可用于区分红树林与农田。透过红树林间隙的雷达波被地表直接散射,由于漳江口红树林为浓密的灌木状,枝干稠密,L 波段透射入冠层的大部分雷达波被枝干散射回去,能直接到达地面的雷达波很少。Ling Feilong^[14]对沿海防护林的研究发现沿海防护林二面角散射对 L 波段的后向散射很强,而崎岖山

其中: I_i 是 M 景原始强度图像之一, J_k 是对应的滤波后图像, M 是参与滤波的图像景数, σ_k 是对第 k 景原始影像中的像元值取窗口平均运算,将距离像元某一距离内的像元取均值赋予此像元所得后向散射系数图像。将 3 时相下的 HH、HV 共 6 个通道进行多通道处理,得到滤波后图像。进行后向散射系数分析时,需把强度图像转为 dB 格式,转换公式为: $\text{dB} = \log_{10} I, I$ 为强度图像。处理前后 PALSAR 图像如图 3 所示。

地上森林的二面角散射较弱,二者之间的后向散射值差异很大,下述 4.2 节里红树林和森林在 HH、HV 极化上差别不明显,说明在本研究区的红树林二面角散射部分也较微弱。

综上分析,雷达传感器所获取的红树林后向散射信息主要为冠层的单次散射,冠层及枝干间的体散射,而地表的直接后向散射、地表与枝干间的二面角散射则贡献较小。

4.2 红树林与其它典型地物后向散射分析

在研究区内选取各典型地物的样本子区,各子区 HH、HV 极化后向散射系数随时间的变化如图 4 所示。

在时相变化上,红树林和本地的亚热带森林常年常绿,其后向散射信息稳定,随时间变化较小,后向散射值仅次于居民地;农田里作物生长状态随着时间的变化而变化,相对应的后向散射值在不同时相上变化明显;居民地常年状态稳定,其后向散射值也很稳定,且在 HH、HV 极化上值都是最高的;水体和滩涂由于潮汐作用的影响,随时相的变化而变化,且值相对较小。

对于同为植被覆盖的农田、森林、红树林 3 种地物,由于其植被高度、冠层结构、地表结构的差异,导致对 L 波段雷达波的后向散射能力的差异。HH

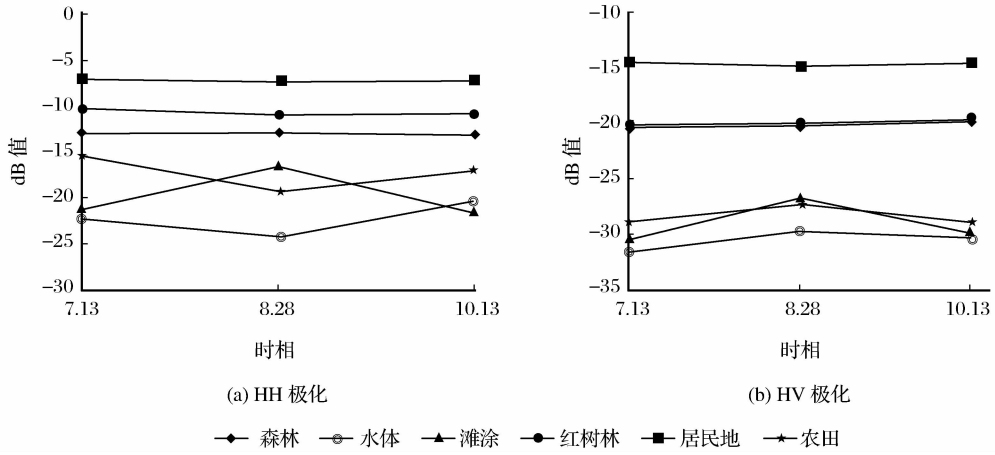


图 4 典型地物后向散射值变化
Fig. 4 Backscatter changes of typical calsses

极化主要表征植被冠层的单次散射信息。农田里植被高度矮、密度小,对 HH 极化后向散射能力较弱;红树林的冠层和枝干比较浓密、紧凑,较农作物高度高,红树林在 HH 极化上后向散射值较农田强;本地森林相较于红树林植株稀疏,冠层也没有红树林浓密、紧凑,其 HH 极化后向散射强度较红树林弱些。

HV 极化主要表征植被的体散射信息。在 HV 极化上,红树林和本地森林的值差别很小,原因如下:红树林的冠层和枝干浓密,但是其垂直高度矮,只有 2~3 m,而本地森林冠层和枝干虽然相对红树林较稀疏,但植株高度高达十几米,体散射强度信息也能达到红树林的水平。

通过对红树林与各类典型地物在时相上、HH、HV 两种极化方式上的后向散射分析,红树林的后向散射值仅与本地森林在 HV 同极化上相似,而与其它地物差异明显,虽然随时相的变化,水体、滩涂、农田的后向散射值会发生变化,但与红树林之间差异仍然很明显,利用单时相的后向散射值差异即可将红树林、本地森林与其它典型地物区分开来。

4.3 红树林去极化分析

去极化的含义是改变微波的极化方式。在红树林和本地森林中,树组分间的多次散射是入射波产生去极化作用的原因,微波在森林冠层和枝干间多次散射时,发生复杂物理变化,极化方式发生改变。

HH 极化主要反映各类地物表层后向散射能力,HV 极化主要反映各类地物体散射,也就是透射入地物内部后向散射的能力。我们用同时相的 HV 极化和 HH 极化两个通道的比值来表征地物去极化能力的差异,计算如方程(6)所示,3 个时相去极

化结果如图 5 所示。

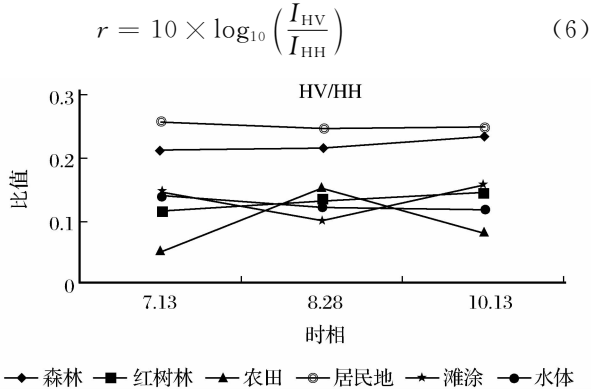


图 5 HV/HH 比值变化
Fig. 5 Changes of HH/HV

图 5 中,3 个时相的居民地、森林和红树林去极化能力稳定,随时间变化不大,但红树林和森林的去极化能力差异明显,可利用此差异将两者区分开来。

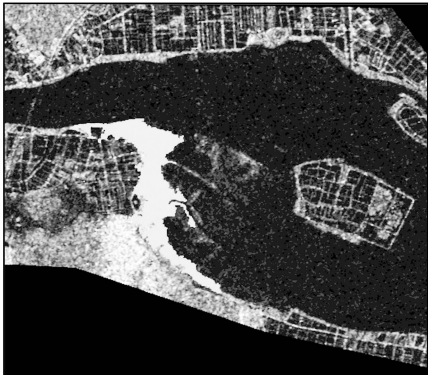
5 红树林提取与分析

根据上述对各类地物 3 个时相的 HH、HV 后向散射值及去极化能力的分析,得到不同地物在 HH、HV 后向散射强度上及去极化能力 3 个方面的差异。在 3 个时相上,红树林、森林与其它地物类型在 HH、HV 后向散射值上差异较大,可运用 HH、HV 散射值将红树林、森林与其它地物区分开;红树林与森林在去极化能力上差异明显,利用去极化能力的差异将两者区分开。

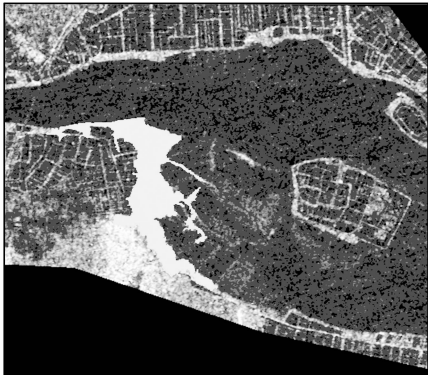
基于面向对象的分类方法,将 HH、HV 及 HH/HV 3 个图像层作为提取红树林的 3 个权重因子,选取适当的分割尺度,提取红树林。提取结果如图(6)所示。利用 2007 年 1 月 28 日获取的 ALOS

PRISM 与 AVNIR-2 融合的 2.5 m 分辨率影像进行精度评价。随机生成 512 个点,对每次分类的结果都用相同的 512 个点。结果如表 1 所示。7 月 13 日的图像分类结果较好,跟红树林实际的分布情况

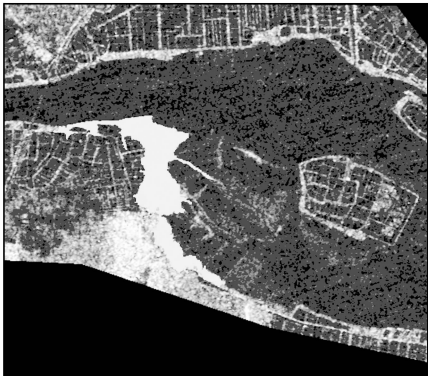
吻合度最高,8 月 28 日和 10 月 13 日的分类结果稍差些。7 月 13 日的各类地物的后向散射值差异较大,各地物的去极化比值差别也较大,分割界限较易确定,故提取结果较好。



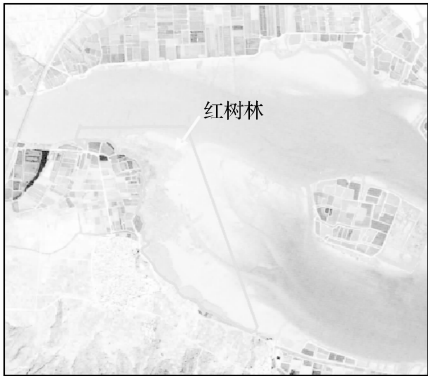
(a) 2007 年 7 月 13 日提取结果



(b) 2007 年 8 月 28 日提取结果



(c) 2007 年 10 月 13 日提取结果



(d) 2007 年 1 月 28 日 ALOS 影像

图 6 红树林提取结果图及 ALOS 影像

Fig. 6 Extraction result of mangrove forest and ALOS image

表 1 精度评价表

Table 1 Accuracy assessment table

	7 月 13 日	8 月 28 日	10 月 13 日
用户精度/%	100	76.92	84.62
生产者精度/%	92.86	100	100
总精度/%	99.80	99.41	99.61
Kappa 系数	0.962	0.8666	0.9147

6 结 语

本文利用 ALOS PALSAR 数据对 L 波段雷达的红树林后向散射机理和去极化能力进行了分析,得出以下结论:

(1) 冠层单次散射和冠层及冠层下枝干间的多次散射(体散射)是红树林后向散射能量的主要组成部分,冠层及冠层下枝干间的多次散射(体散射)是红树林 HV 值的主要来源。

(2) 红树林的后向散射较为稳定,与森林较为接近,但去极化能力与森林有较大的差别。

(3) 极化信息比时相信息更为重要,利用单一时相的 HH、HV 及其去极化特性,可以较好地进行红树林信息的快速提取。

参考文献:

[1] Lin Rongsheng, Lin Minji, Teng Junhua. Remote Sensing Survey and Mapping of Mangroves in Western Xiamen Harbour [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1994, 13(3): 297-302. [林荣盛, 林敏基, 滕骏华. 厦门西港红树林的卫星遥感测绘[J]. 台湾海峡, 1994, 13(3): 297-302.]

[2] Hosking E J, Bach C S, Applegate R J, et al. Mangrove Monitoring Using Sequences of Landsat Imagery in the Mary River Wetlands[C]//Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, 2001, 1: 2241-2243.

[3] Saleh M A. Assessment of Mangrove Vegetation on Abu Minqar Island of the Red Sea[J]. Journal of Arid Environments,

- 2006,68(2):331-336.
- [4] Mougin E, Proisy C, Marty G, *et al.* Multifrequency and Multipolarization Radar Backscattering from Mangrove Forests [J]. *Geoscience and Remote Sensing*, 1999, 37: 94-102.
- [5] Proisy C, Mougin E, Fromard E, *et al.* Interpretation of Polarimetric Radar Signatures of Mangrove Forests [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 71: 56-66.
- [6] Thirion L, Chenerie I, Galy C. Study of the Backscattering Coefficient and the Interferometric Coherence of Mangrove Forests [C]// *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, 2003, 7: 4217-4219.
- [7] Proisy C, Mougin E, Fromard F. Investigating Correlations between Radar Data and Mangrove Forests Characteristics [C]// *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1996, 1: 733-735.
- [8] Trebosse H, Deffontaines B, Classeau N, *et al.* Monitoring Coastal Evolution and Associated Littoral Hazards of French Guiana Shoreline with Radar Images [J]. *Comptes Rendus Geosciences*, 2005, 337: 1140-1153.
- [9] Zhang Yihui, Wang Wenqing, Wu Qiucheng, *et al.* The growth of *Kandelia Candel* Seedlings in Mangrove Habitats of the Zhangjiang Estuary in Fujian Province, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1648-1656. [张宜辉, 王文卿, 吴秋城, 等. 福建漳江口红树林区秋茄幼苗生长动态 [J]. *生态学* 报, 2006, 26(6): 1648-1656.]
- [10] Oliver C, Quegan S. Understanding Synthetic Aperture Radar Images [M]. ScitTech Publishing, Inc, 2004.
- [11] Guo Huadong. Theories and Application of Radar for Earth Observation [M]. Beijing: Science Press, 2000. [郭华东. 雷达对地观测理论与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.]
- [12] Shaun Quegan, Jiong Jiong Yu. Filtering of Multichannel SAR Images [J]. *Geoscience and Remote Sensing*, 2001, 39: 2373-2379.
- [13] Delbart N, Melon P, Florsch G, *et al.* Forest Biomass Retrieval Using L-band Polarimetric Measurements [J]. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2002, 3: 1789-1891.
- [14] Ling Feilong, Li Zengyuan, Chen Erxue, *et al.* Forest Mapping with Multi-temporal Dual Polarization ALOS PALSAR Data [C]// *International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis*, 2008, 7285: 728517-1-728517-11.
- [15] Chi Hong, Wang Xiaoqin. The Application of ENVISAT ASAR Data on Littoral Shelter Forest Extraction [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(3): 138-140. [池泓, 汪小钦. Envisat ASAR 数据在沿海防护林提取中的应用 [J]. *测绘科学*, 2008, 33(3): 138-140.]
- [16] Li Xia, Ye Jiaan, Wang Shugong, *et al.* Estimating Mangrove Wetland Biomass Using Radar Remote Sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 387-396. [黎夏, 叶嘉安, 王树功, 等. 红树林湿地植被生物量的雷达遥感估算 [J]. *遥感学报*, 2006, 10(3): 387-396.]

The Application of ALOS PALSAR Data on Mangrove Forest Extraction

XIAO Wei-shan¹, WANG Xiao-qin¹, LING Fei-long^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;*
2. *Institute of Forest Resources Information Technique, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China*)

Abstract: Mangrove forest is an important vegetation type on biodiversity conservation and wetland ecological protection. Acquisition changes on mangrove area timely is an urgent need for protection. In this paper, taking Fujian Zhangjiang Estuary National Nature Reserve as study area, multi-temporal ALOS PALSAR data acquired in 2007 are processed. The temporal change characteristics and depolarization characteristics on L band HH、HV channel are analyzed. On L band HH、HV channel, backscatter information does not change significantly over time, which is similar to local forests, but depolarization ability between mangrove forests and local forests is obviously different. Compared to temporal information, polarization information is more important for mangrove forests extraction. Based on object-oriented approach classification, we proposed a method for mangrove forests extraction by using HV, HH polarization and their ratio from a mono temporal data. The results show that mangrove can be extracted with high accuracy.

Key words: Mangrove forests; PALSAR; Backscatter coefficient; Depolarization characteristics; Zhangjiang Estuary