

# 基于雷达后向散射特性进行湿地植被识别与分类的方法研究

王安琪,周德民,宫辉力

(首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048)

**摘要:**选择东北地区典型内陆沼泽湿地——三江平原洪河自然保护区作为研究区,结合 SAR 的极化特性,分析了多时相 ENVISAT ASAR 不同极化下洪河湿地保护区不同地物植被类型的散射特性,利用长波 L 波段 PALSAR 数据对植被的可穿透性及水分的敏感性,结合与光学影像 TM 融合后进行神经网络分类的方法,应用决策树方法进行了多波段、多时相 SAR 合成湿地植被识别试验。本文将两种方法相结合,分两步完整识别出沼泽、灌丛、岛状林、草甸、开阔水体及少量农田。

**关键词:**湿地;SAR;后向散射系数;决策树;影像融合

**doi:**10.3969/j.issn.1000-3177.2012.02.003

**中图分类号:**TP79   **文献标识码:**A   **文章编号:**1000-3177(2012)120-0015-05

## A Research on Method of Wetland Vegetation Identification and Classification Based on Radar Backscatter Characteristics

WANG An-qi,ZHOU De-min,GONG Hui-li

(College of Resource Environment and Tourism,Capital Normal University,Beijing 100048)

**Abstract:**This paper selected typical northeast inland wetlands-Honghe nature reserve in Sanjiang Plain as the study area, and utilized the different vegetation backscatter characteristics of multi-temporal,multi-polarization of ASAR and the vegetation penetrability of PALSAR to identify marsh,bush,forest,grass,open water and farm land by combining the decision tree method and neural network method after fusing TM and PALSAR image. It can be seen that the radar system has ability of detecting hydrology,vegetation type and soil moisture information,connecting with the “wetness” information of wetland,and is a reliable data resource of wetland study.

**Key words:**wetland;SAR;backscatter coefficient;decision tree;image fusion

### 1 引言

湿地是全球价值最高的生态系统之一,它在区域和全球环境变化中发挥着重要的作用。湿地的多种功能造福于地球,它可以控制洪水、为珍稀物种提供栖息地、稳定自然水环境等<sup>[1]</sup>。湿地植被以湿生和水生植物为主<sup>[2]</sup>。由于湿地地貌复杂多变,其部分地区的不可达性限制了地面调查,促使了遥感数

据的介入。目前光学遥感作为主要数据源在湿地植被监测中的研究已开展很多<sup>[3~6]</sup>,但是由于受到云层覆盖、恶劣天气和植被冠层异质性的制约<sup>[7]</sup>,雷达手段被引入到湿地研究中。

自上世纪 70 年代,雷达数据首次与湿地研究结合至今<sup>[8]</sup>,SAR 数据在国内外湿地研究中已有许多成功案例<sup>[9~13]</sup>。雷达作为微波数据,可以弥补光学和热通道数据的不足。同时它提供了独特的数

收稿日期:2011-04-01

基金项目:GIS 和 RS 支持下的内陆平原淡水湿地水文生态模型研究(NSFC40871241)资助。

作者简介:王安琪(1986~),女,主要从事遥感应用研究。

E-mail:wonderful112003@yahoo.com.cn

据,雷达后向散射系数对物体的介电特性敏感(植被含水量和土壤含水量),同时还受到地表的几何特性的影响,如粗糙度。在大面积云层覆盖、天气不稳定的区域,雷达是唯一可以获得的持续、可靠的数据来源。由于光学和热通道数据不能穿透植被,而雷达在一定程度上可以获取植被冠层以下的信息。

近期研究表明多极化多波段多角度的 SAR 数据与光学影像的结合给湿地研究提供了一个很有潜力的空间<sup>[14]</sup>。不少研究者针对湿地植被的后向散射特性进行了分析<sup>[12,14~15]</sup>,与多种传感器 SAR 数据建立联系。相关研究证明 C-HH 最有利于识别植被下方有水体的草本植被<sup>[16~17]</sup>,但是如果植被覆盖茂密,C 波段 SAR 达到饱和,则无法穿透植被,则识别精度会降低<sup>[18]</sup>。L 波段波长较长,可以穿透茂密的草本植被及高大的林地。在湿地研究中,光学遥感与雷达相结合的多源数据可发挥优势互补的作用,将光谱信息与散射机制相结合,捕捉植被层以下的特征,并更好地弥补纹理特征的识别。Limpitlaw et al.<sup>[19]</sup>、TÖYRÄ et al.<sup>[9~10]</sup> 研究表明,单独使用光学影像或 SAR 在识别开阔水体、浸水植被和非浸水植被时,精度并不理想,而将两种影像融合,优势互补后可以提高这 3 种地物的识别精度。

本文研究旨在以 SAR 为主要遥感数据源,分析湿地植被后向散射特性,选用高分辨率 L 波段 PALSAR 与 TM 影像融合、C 波段多时相多极化 ASAR,将决策树分类与神经网络分类相结合,探索新型遥感平台 SAR 数据在国家级三江平原洪河自然保护区湿地植被探测中的应用潜力。

## 2 研究区及数据

### 2.1 研究区概况<sup>[20]</sup>

研究区位于黑龙江洪河国家级自然保护区,是一块重要的国际湿地。它地处黑龙江省三江平原腹地,同江市与抚远县交界处,总面积为 21835.7ha。地理位置为 47°42'18"N~47°52'00"N,133°34'38"E~133°46'29"E,是中国沼泽湿地的集中分布区之一(见图 1),以沼泽化草甸和沼泽植被为主。我国众多学者都对该地区做了相关湿地识别研究<sup>[21~27]</sup>。

本文根据洪河保护区湿地生态系统的具体组成情况,将该区湿地划分为 5 类:沼泽湿地、草甸湿地、灌丛湿地、岛状林湿地、开阔水体。此外保护区内还有一特殊类型:农田。

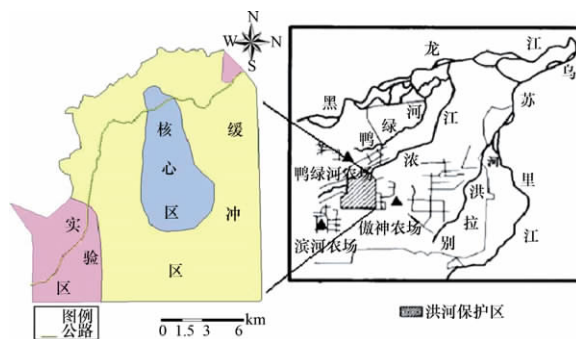


图 1 研究区地理位置

### 2.2 数据及预处理

研究采用的数据包括遥感数据和实测数据。遥感数据有两个时相的 ASAR APP 数据,分别为 2008 年 3 月 3 日 HV/HH 和 2009 年 8 月 26 日 HH/VV;一景 2009 年 8 月 26 日的高分辨率 PALSAR-HH 极化数据,分辨率为 6.25m×6.25m,入射角为 34.3°;景 2009 年 8 月 26 日接收的 Landsat-5 TM 影像。实测采样时间为 2009 年 8 月 14 日至 8 月 17 日,这段时间是草甸植被和沼泽植被生长最旺盛的时期。

SAR 图像的预处理主要包括:辐射定标、几何纠正、图像滤波和生成后向散射系数 dB 值。以上 SAR 影像预处理在中国林业科学研究院资源信息研究所开发的 SARInfoRS 平台下实现<sup>[28]</sup>。TM 影像预处理包括几何纠正和大气校正。

## 3 研究方法

### 3.1 地物后向散射特性

照射地物目标的入射电磁波特性与地物目标本身的特性间的相互作用过程,决定了地物目标的散射特性。雷达遥感散射类型主要包括:面散射、体散射和硬目标的散射。本文分析水体、草甸、沼泽、灌木、岛状林、农田等 6 种地物的实测样点在 2009 年 8 月 26 日 ASAR 数据 HH、VV 极化、2008 年 3 月 3 日 ASAR 数据 HV 极化的后向散射特性,并且分析不同时相、极化数据的地物识别能力。

夏季农田区的主要种植作物为豆类,处于生长期,其植被后向散射增强。而草甸、灌丛与林地地区后向散射差异比较小。沼泽区域正处于季节积水期,与其他植被后向散射差异较明显。夏季,平静的水面是平滑表面,雷达图像上呈黑色。由于研究区地处东北,三月气温低,仍属于冬季。HV 极化是冬季数据。由图 2 可见交叉极化 HV 下林地与水体、其他植被类型的后向散射差异较大。农田和草地地

区主要表现为土壤的后向散射特征;水体结涸成冰,而且不是成片的光滑冰面,上面又有雪的覆盖,因而镜面反射大大减弱,雷达回波显著增强,其后向散射系数数值增加,雷达图像上呈白色。

由统计发现:夏季 ASAR HH、VV 数据下,农田和其他植被类型后向散射值差异明显,水体的后

向散射系数低于农田、草甸、灌木、林地和沼泽的后向散射系数。VV 极化较 HH 极化,沼泽的后向散射系数与草甸、灌木和林地后向散射系数的差异更明显。冬季数据 ASAR HV 极化数据下,林地与其他地物类型的后向散射系数差异明显,但其他几种地物难以区分。

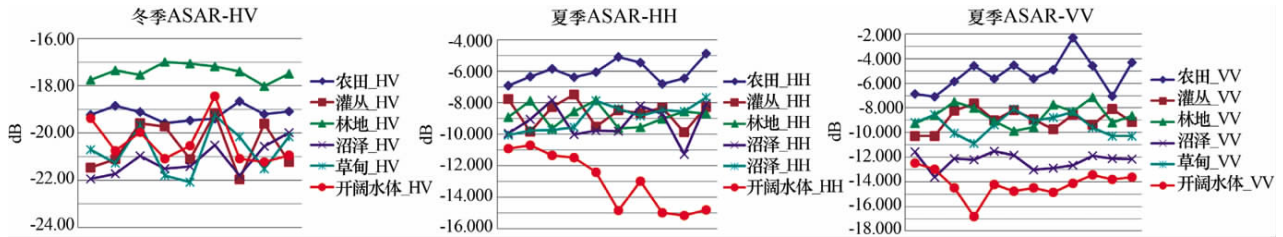


图2 HH(左)、VV(中)、HV(右)极化下地物后向散射系数统计

### 3.2 基于地物后向散射特性的决策树湿地植被识别方法

决策树方法也广泛应用于基于遥感的土地利用类型分类<sup>[29~30]</sup>中,不少研究者也将此方法在湿地识别中付诸实践<sup>[31~33]</sup>。作者<sup>[34]</sup>在2009年曾根据地物后向散射特性采用决策树分类方法对该研究区进行了分类试验,结果显示草甸、灌丛、农田的识别仍然存在一定误差,灌丛分辨率仅达到37.21%。多时相ASAR影像对水体、沼泽和树林的分辨率有较大的贡献率,精度较高。

### 3.3 改进后的湿地植被识别方法

在洪河自然保护区,主要草本植被为苔草、小叶草,部分植被下方有水体浸泡,即季节性沼泽湿地。由于研究区植被覆盖茂密,沼泽区域与草甸区域植被光谱特征相似,C波段ASAR达到饱和,无法穿透植被,PALSAR数据较ASAR数据来讲,波长较长,可以穿透茂密的草本植被及高大的林地。

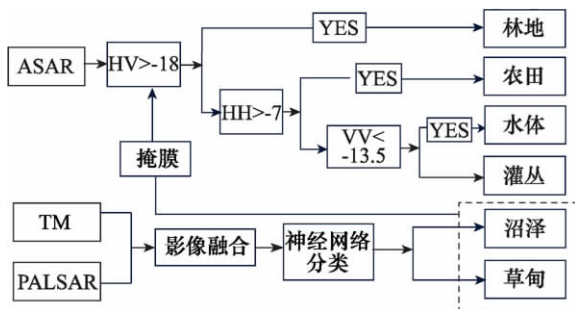


图3 方法流程图

将L波段PALSAR-HH影像与TM影像融合,在保持了HH极化优势的同时,增加了植被的可穿透性,更有助于识别沼泽与草甸这两种草本植被。融合影像既保持了TM的光谱特征,另外具备了SAR图像纹理特征好的优点,利于进行地物识别。将融合影

像采用监督分类下的神经网络分类方法,根据沼泽和草甸的实测样点建立训练区,进行分类试验。将沼泽和草甸的分类结果建立掩膜,分析其他几种地物的后向散射特性,建立决策规则,完善识别结果。采用的数据为夏季ASAR HH、VV极化数据、冬季ASAR HV极化数据。在已有基础上区分开阔水体、林地、灌丛和农田,图3为该方法的具体示意。

## 4 结果分析

本文采用了多源遥感数据、两种分类方法相结合的办法,利用L波段HH极化数据与光学影像融合后监督分类的办法合理地降低了决策树分类中C波段达到植被饱和后数据不准确的影响、草甸和灌木可能混淆的情况,改进了作者<sup>[34]</sup>在2009年曾根据地物后向散射特性采用决策树分类方法。图4为草甸、沼泽这两种光谱特征相似的植被类型的分类结果,图5为最终植被识别结果。

将分类结果利用实测样点进行精度检验,识别总体精度达到87.8648%,如表1。灌丛的识别精度较低,这也与其分布特征比较杂乱有关。其他几种植被类型的识别率均在85%以上,满足湿地调查的应用精度。不论是总体精度还是单个植被类型的识别精度,针对决策树分类方法结果而言,都有不同程度的提高。

由洪河湿地保护区植被分布图发现沼泽植被主要分布在浓江河沃绿兰河的河道内,草甸植被和灌丛主要遍布河间地带。岛状林主要沿公路分布,研究区东北地区比较密集。灌丛断续分布于林地的外围,其外围则广泛地分布着草甸。农田主要集中分布于洪河保护区的缓冲带,那里地势相对较高、并且人类易进入的地区。

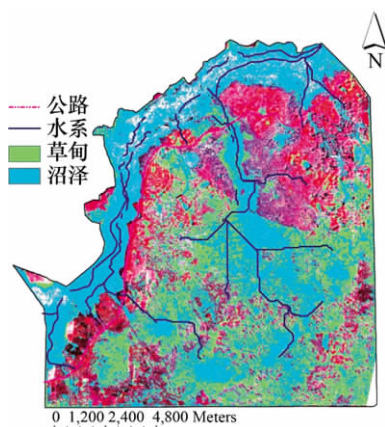


图 4 草甸与沼泽分类结果

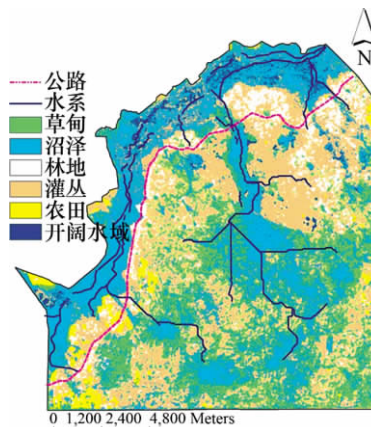


图 5 洪河湿地保护区植被分布图

表 1 各个植被类型分类精度 (%)

	总精度	沼泽	草甸	灌丛	林地	水体	农田
改进方法	87.86	86.86	90.27	70.31	96.34	99	95.41
决策树方法	79.5	84.73	67.6	37.21	74.56	95	89.36

周德民等<sup>[22]</sup>的湿地群落的水文生态空间格局耦合分析表明,洪河保护区的植物群落分布表现出与水文地貌的明显一致性。而雷达可以探测到水文、植被类型、土壤水分的信息,Hess et al.<sup>[31]</sup>研究结果反映出 SAR 后向散射系数的差异信息下植被类型与水文信息的关系中的浸水植被与非浸水植被的差异性,而不是植被本身物种类型的差异。雷达数据对水分信息的敏感,在探测湿地水生植被、湿生植被、洪水淹没范围等方面具有独特的优势,基于物理的后向散射特性与湿地的“湿”信息紧密结合,是雷达优于光学影像的一个特点。

### 5 结束语

将多波段、多极化 SAR 作为主要数据来源,结合光学数据,运用多种方法,对洪河湿地保护区进行植被识别研究,达到一个较满意的结果。在本文的研究过程中,由于时间、实测数据获取和当前 SAR 数据应用技术等客观原因,难免存在不足,在以后的研究中还有待提高。

在研究中若能得到多波段、多时相、最佳极化的数据组合,可以更有效地进行湿地信息的识别。在

研究中应该注意以下几点:

(1)多数研究选用 C 波段和 L 波段 SAR 数据,结果表明林地的识别 L 波段数据更适合,草本植被(高度一米左右)的识别使用 C 波段数据即可,但是如果草本植被茂盛,C 波段数据达到饱和,最好使用波长较长的 L 波段数据,以便更好的穿透植被。C 波段数据对木本植被的识别有一定的不确定性。

(2)同极化 HH、VV 均可区分草本沼泽和其他植被,因为夏季沼泽区域正处于季节积水期,发生了植被与水面的二次散射,因此与其他植被后向散射差异较明显。只有 HV 极化下,可以区分林地和其他类型。

(3)虽然说雷达入射角对地物的识别有一定的影响,但是和分辨率相比,影响小的多。研究选用中等入射角即可。

总的来说,雷达后向散射系数与植被层的相互作用是一个非常复杂的过程,本文的侧重点在定性研究,应该向定量模型方向延伸。SAR 作为一种新型的传感器数据,在湿地中的应用潜力还有很大的挖掘空间,如果提高数据的分辨率,改善研究方法,从定性向定量延伸,可以在更细致的湿地群落尺度上进行识别研究,促进湿地研究领域的发展。

### 参考文献

[1] Novitzki, R., Smith, R., Fretwell, Wetland functions, values and assessment[C]//National Water Summary on Wetland Resources, 1996:79-86.  
 [2] 刘兴土,等. 东北湿地[M]. 北京:科学出版社,2005.  
 [3] Asner, G. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001 (18):3855-3862.  
 [4] Hansen, M. C., Defries, R. S. . Detecting long term global change using continuous fields of trees-cover maps from 8-km advanced very high resolution radiometer (AVHRR) data for the year 1982-99[J]. Ecosystems, 2004(7):695-716.  
 [5] Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Loveland, T. R., Townshend, J. R. G., DeFries, R. S. . Humid tropical

- forest clearing from 2000 to 2005 quantified using multi-temporal and multi-resolution remotely sensed data[C]//Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008(105):9439-9444.
- [6] Ju, J., Roy, D. P. . The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008(112):1196-1211.
- [7] Saalovara, K., Thessler, S., Malik, R. N., Tuomisto, H. . Classification of amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005(97):39-51.
- [8] WAITE, W., MACDONALD, H. . Vegetation penetration with K-band imaging radars[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1971(9):147-155.
- [9] TÖYRÄ, J., PIETRONIRO, A. . Towards operational monitoring of a northern wetland using geomatics-based techniques[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005(97):174-191.
- [10] TÖYRÄ, J., PIETRONIRO, A., MARTZ, L. . Multisensor hydrologic assessment of freshwater wetland[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001(75):162-173.
- [11] LI, J., CHEN, W. . A rule-based method for mapping Canada's wetlands using optical, radar and DEM data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005(26):5051-5069.
- [12] BAGHDADI, N., BERNIER, M., GAUTHIER, R., NEESON, I. . Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001(22):71-88.
- [13] Kasischke E S, Smith K B, Bourgeau-Chavez L, et al. Effects of seasonal hydrologic patterns in South Florida wetlands on radar backscatter measured from ERS-2 SAR imagery[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 88(4):423-441.
- [14] Floyd M. Henderson, Anthony J. Lewis. Radar detection of wetland ecosystems: A review[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008(29):5809-5835.
- [15] Costa, M., Novo, E., AHERN, E., MITSUO, E., II, MANTOVANI, J., BALLESTER, M., PIETSCH, R. . The Amazon flood plain through radar eyes: Lago grande de monte alegre case study[J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1998(24):339-349.
- [16] KASISCHKE, E., BOURGEOU-CHAVEZ, L. . Monitoring south Florida wetlands using ERS-1 SAR imagery[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997(63):281-291.
- [17] HESS, L., MELACK, J., SIMONETT, D. . Radar detection of flooding beneath the forest canopy: A review[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990(11):1313-1325.
- [18] TOWNSEND, P. . Mapping seasonal flooding in forested wetlands using multi-temporal Radarsat SAR[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001(67):857-864.
- [19] LIMPITLAW, D., GENS, R. . Dambo mapping for environmental monitoring using Landsat TM and SAR imagery: Case study in Zambian Copperbelt[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006(27):4839-4845.
- [20] 周德民, 宫辉力. 洪河保护区湿地水文生态模型研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [21] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎. 三江平原流域湿地景观多样性及其 50 年变化研究[J]. *生态学报*, 2004, 24(7):1472.
- [22] 周德民, 宫辉力, 胡金明, 赵魁义. 三江平原淡水湿地生态系统景观格局特征研究[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1):86.
- [23] 金翠, 张柏, 宋开山. 基于 MODIS 数据的三江平原土地覆被分类[J]. *资源科学*, 2009, 31(3):515.
- [24] 潘响亮, 邓伟, 张道勇, 栾兆擎. 东北地区湿地的水文景观分类及其对气候变化的脆弱性[J]. *环境科学研究*, 2003, 16(1):14.
- [25] 郑利娟, 李小娟, 胡德勇, 周德民. 基于对象和 DEM 的湿地信息提取: 以洪河沼泽湿地为例[J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(3):346.
- [26] 那晓东, 张树清, 李晓峰, 于欢, 刘春悦. 基于 QUEST 决策树兼容多源数据的淡水沼泽湿地信息提取[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(2):357.
- [27] 陈定贵, 周德民, 吕宪国, 王润华. 三江平原洪河自然保护区湿地遥感分类研究[J]. *遥感技术与应用*, 2007, 22(4):485.
- [28] www.sarinfors.com
- [29] Hansen, M., Dubayah, R., DeFries, R. Classification trees: An alternative to traditional land cover classifiers[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996(17):1075-1081.
- [30] Michaelson, J., Schimel, D. S., Friedl, M. A., Davis, F. W., Dubayah, R. O. Regression tree analysis of satellite and terrain data to guide vegetation sampling and surveys[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1994(5):673-696.
- [31] Hess, L. L., Melack, J. M., Filoso, S., Wang, Y. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar[J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 1995(33):896-904.
- [32] Simard, M., De Grandi, J. F., Saatchi, S., Mayaux, P. Mapping tropical coastal vegetation using JERS-1 radar data with a decision tree classifier[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(7):1461-1474.
- [33] Simard, M., Saatchi, S., De Grandi, G. F. The use of decision tree and multiscale texture for classification of JERS-1 SAR data over tropical forest[J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2000, 38(5):2310-2321.
- [34] Anqi Wang, Demin Zhou, Huili Gong. Wetland mapping by using multi-band and multi-temporal SAR images: A case study of Hong He National Natural Reserve[C]//2010 18th International Conference on Geoinformatics. 2010:18-20.