

# 全极化 SAR 数据的最大后验概率分类

梁志锋<sup>1</sup> 凌飞龙<sup>1</sup> 陈尔学<sup>2</sup>

(1 福州大学空间信息工程研究中心,福州市大学城学园路 2 号,350002)

(2 中国林业科学研究院资源信息研究所,北京市海淀区香山南路东小府,100091)

**摘要:**结合后验概率对分类的影响和全极化 SAR 数据特点,提出了一种全极化 SAR 数据分类方法。首先将全极化 SAR 数据的协方差矩阵转换为 9 个服从正态分布的强度量;然后通过迭代分类计算类别出现的概率,对 9 个强度量进行基于最大后验概率的分类。以黑龙江省逊克县境内的一景 ALOS PALSAR 全极化数据为例,用该方法进行分类,总体精度和 Kappa 系数分别达到 81.34% 和 0.84,优于传统的最大似然分类方法。

**关键词:**分类; SAR; 极化; 后验概率

**中图分类号:**P237.3

全极化 SAR 数据土地覆盖分类主要是基于对极化协方差矩阵或相干矩阵进行目标分解,获取地物的雷达散射机制展开<sup>[1-6]</sup>,或结合目标分解并基于 Wishart 统计分布进行<sup>[7-9]</sup>。但是, Wishart 分布很难正确地描述极化 SAR 数据,给极化 SAR 分类造成了困难<sup>[10]</sup>。很多遥感图像分类都是基于数据服从正态分布的假设。将全极化 SAR 数据完全用强度形式表示,即可以用基于正态分布假设的分类方法(如最大似然分类)对其分类<sup>[11]</sup>。基于最大后验概率(maximum a posteriori, MAP)的分类方法,通过计算后验概率可以实现更高精度的分类<sup>[12]</sup>。而后验概率的计算可以在迭代分类的过程中实现,即对于每次分类结果统计某一类别出现的概率<sup>[13]</sup>。

极化 SAR 参数具有不同的统计分布和传统的分类方法,很少考虑类别的先验概率,影响了分类效果。针对这两个问题,本文提出一种基于极化转换和后验概率统计的全极化 SAR 数据分类方法。首先,引入一种极化转换方法,将极化协方差矩阵转换成 9 个服从统一的正态分布的强度量。然后,通过迭代分类方法估算类别出现的概率,对 9 个强度量进行基于最大后验概率的分类。将该方法应用于 ALOS PALSAR 全极化数据分类,取得了满意的结果。

## 1 研究区与数据

研究区位于黑龙江省逊克县境内(图 1),地处小兴安岭中段北麓。逊克县地势南高北低,属丘陵地区,海拔高度约为 200~400 m,境内地物主要以森林、农田和高盖度草地等为主。

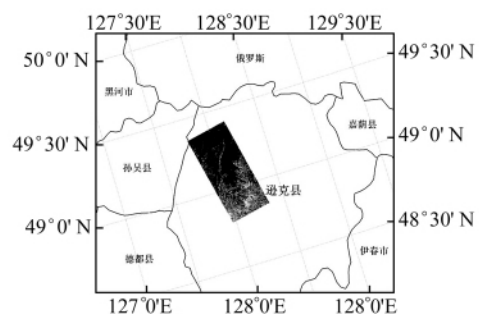


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical Location of Study Area

本文选用逊克县一景 ALOS PALSAR 全极化数据作为实验数据,具体参数见表 1。

用 GAMMA 软件对 SAR 图像进行预处理,处理流程包括主辅影像配准、多视、强度图像定标与配准、地理编码等。其中地理编码采用 30 m 分辨率的 ASTER GDEM 为参考。选用 2000 年

收稿日期:2013-01-25。

项目来源:国家青年科学基金资助项目(41101381);福建省科技计划资助项目(200910014);中欧“龙计划”合作项目(5314)。

表 1 ALOS PALSAR 数据参数

Tab. 1 Parameters of ALOS PALSAR Data

数据特征	参数
波长和极化	23.6 cm, hh+hv+vh+vv
中心入射角	21.5°
卫星轨道	太阳同步,升轨,轨道倾角 98.16°
幅宽	21.2 km
分辨率	方位向/距离向:3.5 m /9.4 m
数据获取日期	2007-05-14
中心经纬度	49.071°N,128.071°E

和 2005 年两期基于 Landsat TM 数据的东北地区土地覆盖分类图辅助进行本研究的分类精度验证。其中,2000 年的土地覆盖分类图包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地等 6 个一级土地利用类别和 25 个二级类别,总体精度达到 95.9%<sup>[14]</sup>。2005 年的土地覆盖分类图具有 10 种类别,经同时期的吉林省国家森林资源一类调查数据进行验证,森林/非森林总体精度为 83%。

## 2 方法

### 2.1 极化转换

研究区的 ALOS PALSAR 全极化原始数据是以水平和垂直线性极化基表示的散射矩阵:

$$S = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$S_{hh}$  表示水平极化发射、垂直极化接收的散射部分, $S_{hv}$ 、 $S_{vh}$  和  $S_{vv}$  命名类似。由后向散射互译性,令  $S_{hv} = S_{vh}$ ,则极化散射信息可以表示为一个复矢量:

$$h = [S_{hh} \quad \sqrt{2}S_{hv} \quad S_{vv}]^T \quad (2)$$

$S_{hv}$  是为了确保总功率计算的一致性。由此可以计算出复极化协方差矩阵(\*表示复数共轭):

$$C = hh^{*T} \begin{bmatrix} |S_{hh}|^2 & \sqrt{2}S_{hh}^* & S_{hh}S_{vv}^* \\ \sqrt{2}S_{hh}S_{hh}^* & 2|S_{hv}|^2 & \sqrt{2}S_{hv}S_{vv}^* \\ S_{vv}S_{hh}^* & \sqrt{2}S_{vv}S_{hv}^* & |S_{vv}|^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

为了消除斑点噪声的影响,首先对协方差矩阵进行多视化处理,方位向和距离向的参数分别为 7 和 1。再用  $3 \times 3$  窗口的增强 Lee 滤波进一步降低噪声。文中引入了一种把复协方差矩阵元素转换成以强度量形式极化的转化方法<sup>[11]</sup>,将全极化数据完全用服从正态分布的强度图像表示。复协方差矩阵的信息可以用其包含的上三角矩阵 3 个实数元素和 3 个复数的相关项表示,每个复数相关项各用 1 个实部和 1 个虚部表述,因此 9

个量就可以完全表示协方差矩阵的信息。这 9 个量可以通过极化基变换,转换成 9 个后向散射强度:

$$\begin{bmatrix} \langle S_{hh}S_{hh}^* \rangle \\ \langle S_{vv}S_{vv}^* \rangle \\ \langle S_{hv}S_{hv}^* \rangle \\ \text{Re}[\langle S_{hh}S_{vv}^* \rangle] \\ \text{IM}[\langle S_{hh}S_{vv}^* \rangle] \\ \text{Re}[\langle S_{hh}S_{hv}^* \rangle] \\ \text{IM}[\langle S_{hh}S_{hv}^* \rangle] \\ \text{Re}[\langle S_{hv}S_{vv}^* \rangle] \\ \text{IM}[\langle S_{hv}S_{vv}^* \rangle] \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \sigma_{hh}^2 \\ \sigma_{vv}^2 \\ \sigma_{+45}^0 \\ \sigma_{-45}^0 \\ \sigma_{ll}^0 \\ \sigma_{rr}^0 \\ \sigma_{h+45}^0 \\ \sigma_{hl}^0 \\ \sigma_{+45l}^0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,

$$B = \frac{1}{4\pi} \cdot$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & -\frac{1}{4} & \frac{3}{4} & -\frac{1}{4} & 0 & 0 & -2 \\ -\frac{3}{8} & \frac{1}{4} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{8} & 1 & 0 & 0 \\ \hline \frac{3}{8} & -\frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & 0 & -1 & 0 \\ \frac{3}{8} & -\frac{1}{8} & \frac{5}{8} & -\frac{3}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & -1 & 0 & 0 \\ -\frac{3}{8} & \frac{1}{8} & -\frac{1}{8} & -\frac{1}{8} & -\frac{5}{8} & \frac{3}{8} & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

这里,下标代表 3 种通用极化基的接收和发射方式:水平(h),垂直(v),左圆(l),右圆(r),45°线性(+或+45),-45°线性(-或-45)。

### 2.2 迭代 MAP 分类

基于数据的多元正态分布模型,最大似然分类方法中,像元  $x$  属于类别  $c$  的似然度为<sup>[15]</sup>:

$$p\{x | c\} = \frac{1}{(2\pi)^{K/2} |C_c|^{1/2}} \exp \left( -\frac{1}{2} (x - \mu_c)^t C_c^{-1} (x - \mu_c) \right) \quad (6)$$

这里, $K$  为波段数; $\mu_c$  为类别  $c$  的均值向量; $C_c$  是类别  $c$  的协方差矩阵。

最大似然分类方法没有考虑类别出现的先验概率,理论上不能达到最佳分类效果。考虑类别出现的先验概率  $p\{x\}$ ,像元  $x$  属于类别  $c$  的后验概率为:

$$p\{c | x\} = \frac{p\{c\}p\{x | c\}}{p\{x\}} \quad (7)$$

这里,  $p\{x\}$  是一个归一化的常量。

MAP 分类方法依据后验概率最大规则来确定每个像素的类别, 引入了先验概率信息, 理论上可能达到更高的分类精度。如果先验概率相等, 即为最大似然分类。

通过人工选取训练样本实现分类的初始化, 即采用最大似然监督分类方法实现第一次分类。迭代过程中, 以初始样本为基础, 不断优化更新其均值与协方差。设  $T_i$  为某一类别第  $i$  次迭代分类的像元总数, 当  $T_i - T_{i-1} \rightarrow 0$ , 即每一类别像元数趋近稳定时, 迭代终止。

### 3 结果

#### 3.1 极化转换结果

封二彩图 1 是按公式(4)进行极化转换前后 ALOS PALSAR 信息表达形式的比较。完全由强度量表示不仅直观表达了极化 SAR 的全部信息(包括强度和极化各通道间的相关信息), 而且这些量在统计上都服从正态分布, 可对其应用基

于数据正态分布假设的遥感图像分类方法。

#### 3.2 分类结果

基于极化转换得到的 9 个服从正态分布的强度图像, 分别采用本文提出的迭代 MAP 分类方法(封二彩图 2(b))和传统的最大似然分类方法(封二彩图 2(c))对其分类。为了比较, 我们还基于相同的训练样本对原始数据的强度图像(散射矩阵的  $hh$ 、 $hv$ 、 $vh$  和  $vv$  4 个强度量)进行了最大似然分类(封二彩图 2(d))。

采用基于混淆矩阵的方法对结果进行精度验证<sup>[16]</sup>, 总体精度由正确分类像元数与图像像元总数相除得到。生产者精度由某一类正确分类像元数与参考图像中该类像元总数相除得到; 漏分误差越大, 生产者精度越低。用户精度由某一类正确分类像元数与分类图中该类像元总数相除得到; 多分误差越大, 用户精度越低。

结合 2000 年和 2005 年两期基于 Landsat TM 的土地覆盖分类图, 通过目视解译的方法在原始图像上均匀地选取农田、森林、高盖度草地和居民地的样本进行精度评价, 结果见表 2。

表 2 分类精度比较

Tab. 2 Comparison of Classification Accuracy

分类方法	农田		森林		高盖度草地		居民地		总体精度/%	Kappa 系数
	PA/%	UA/%	PA/%	UA/%	PA/%	UA/%	PA/%	UA/%		
M1	70.55	58.94	58.57	78.62	47.27	46.80	42.71	47.45	64.16	0.70
M2	75.09	72.02	79.31	80.36	72.50	74.23	50.39	62.34	76.24	0.76
M3	77.14	80.59	74.33	87.20	81.67	72.48	71.31	60.25	81.34	0.84

注: M1 表示基于原始强度图像的最大似然分类; M2 表示基于转换后的 9 个强度量的最大似然分类; M3 表示基于转换后的 9 个强度量的迭代 MAP 分类。PA 表示生产者精度, UA 为用户精度。

### 4 结语

本文通过引入一种全极化 SAR 数据的极化转换方法, 并基于后验概率提出了一种全极化 SAR 数据分类方法。相比于用原始强度图像的最大似然分类, 基于 9 个强度量的图像的最大似然方法分类的总体精度和 Kappa 系数分别提高了 12.08% 和 0.06。仅用原始数据的 4 个极化强度进行分类, 则丢失了全极化数据的相位信息。本文引入的极化转换方法将相位信息用强度形式表示, 基于此分类即可充分利用数据包含的信息。基于转换后的 9 个强度图像, 通过引入先验概率, 总体分类精度和 Kappa 系数分别提高了 5.1% 和 0.08。由于居民地类别在图像上分布极少, 样本选择困难, 影响了该类别的分类精度。另外, 图像中部分区域仍存在几何畸变, 也是影响分类精度的另一原因。

### 参 考 文 献

- [1] 刘秀清, 杨汝良. 基于全极化 SAR 非监督分类的迭代分类方法[J]. 电子学报, 2004, 32(12): 1 982-1 986
- [2] Schmillius C, Baker J. SIBERIA—SAR Imaging for Boreal Ecology and Radar Interferometry Applications[R]. EC-Center for Earth Observation, Contract No. ENV4-CT97-0743-SIBERIA, 2000
- [3] 巫兆聪, 欧阳群东, 胡忠文. 应用分水岭变换与支持向量机的极化 SAR 图像分类[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(1): 7-10
- [4] 王贺, 张路, 徐金燕, 等. 面向城市地物分类的 L 波段 SAR 影像极化特征提取与分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(9): 1 068-1 072
- [5] Quegan S, Yu J J. Combining Unsupervised and Knowledge-based Methods in Large-scale Forest Classification[C]. International Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS), Hawaii, 2000

- [6] Cloude S R, Pottier E. A Review of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1996,34(2):498-518
- [7] Cloude S R, Pottier E. An Entropy Based Classification Scheme for Land Applications of Polarimetric SAR[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997,35(1):68-78
- [8] Lee J S, Grunes M R, Kwok R. Classification of Multi-look Polarimetric SAR Imagery Based on Complex Wishart Distribution [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(11): 2 299-2 311
- [9] Lee J S, Grunes M R. Unsupervised Classification Using Polarimetric Decomposition and the Complex Wishart Classifier[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(5): 2 249-2 258
- [10] Ferro-Famil L, Pottier E, Lee J S. Unsupervised Classification of Multi-frequency and Fully Polarimetric SAR Images Based on H-A-Alpha-Wishart Classifier[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001,39(11):2 332-2 342
- [11] Hoekman D H, Quinones M J. Land Cover Type and Biomass Classification Using Air SAR Data for Evaluation of Monitoring Scenarios in the Colombian Amazon[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000,38(2): 685-696
- [12] Hoekman D H, Vissers A M. A New Polarimetric Classification Approach Evaluated for Agricultural Crops[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(12): 2 881-2 889
- [13] Rignot E, Chellappa R. Maximum a Posteriori Classification of Multifrequency, Multilook, Synthetic Aperture Radar Intensity Data[J]. Journal at the Optical Society of American A, 1993, 10(4): 573-582
- [14] 陈富龙, 王超, 张红. 改进最大似然遥感影像分类方法——以 SAR 影像为例[J]. 国土资源遥感, 2008,75(1): 75-78
- [15] Liu J, Liu M, Deng X, et al. The Land Use and Land Cover Database and Its Relative Studies in China[J]. Journal of Geographical Sciences. 2002, 12(3):275-282
- [16] Devijver P A, Kittler J. Pattern Recognition: a Statistical Approach[M]. Englewood Cliffs N J: Prentice-Hall International, 1982
- [17] Congalton R A. Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 37(1): 35-46

第一作者简介:梁志锋,硕士生,现从事 SAR 森林应用研究。  
E-mail:lzf255@foxmail.com

## Classification of Full-polarimetric Synthetic Aperture Radar Data with Maximum a Posteriori

LIANG Zhifeng<sup>1</sup> LING Feilong<sup>1</sup> CHEN Erxue<sup>2</sup>

(1 Spatical Information Research Center, Fuzhou University, 2 Xueyuan Road, Fuzhou 350002, China)

(2 Institute of Forest Resources Information Research, Chinese Academy of Forest, Dongxiaofu, Xiangshan Road, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Considering the influence of the posterior and the statistic distributions of full-polarimetric SAR data, we proposed a new classification method of full polarimetric SAR data. First, the covariance matrix of polarization SAR data was converted to nine intensity quantities with normal distribution. Then, the probability of occurrence for each class was calculated with iterative initial classification. Finally, the nine intensity images were classified with maximum likelihood classification method taking the probabilities of occurrence for the classes into account. We applied the developed method to the ALOS PALSAR full-polarimetric data of Xunke County, Heilongjiang Province. The overall accuracy is 81.34% and the Kappa coefficient 0.84. The developed method showed higher accuracy than that from the traditional maximum likelihood classifier. This indicates that our method can improve the accuracy of classification.

**Key words:** classification; SAR; radar polarimetry; posteriori

**About the first author:** LIANG Zhifeng, postgraduate, majors in applications of SAR on forestry.

E-mail: lzf255@foxmail.com