

高分三号全极化 SAR 散射特性分析与精度评价

李佳慧¹, 王晓晨^{2*}

¹ 辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 12300;

² 中国科学院空天信息研究院, 北京 100190

摘要 基于 $H/A/\alpha$ 极化分解方法分析了 GF-3 全极化合成孔径雷达 (SAR) 的散射特性, 并结合近同时相 RADARSAT-2 全极化 SAR 影像, 分析了二者典型地物的极化散射特征, 提出了基于传统 H/α 散射特征平面以及改进的类内聚合度和类间离散度的极化测量精度的评价方法。结果表明: GF-3 全极化 SAR 不同地物的极化散射特性明显, 三类地物的散射熵和散射角的平均偏差分别约为 0.101 和 6.923, 均优于 RADARSAT-2 (0.132 和 7.206)。根据 H/α 散射特征平面评价方法可知, GF-3 与 RADARSAT-2 全极化 SAR 的总体极化精度相近, 均约为 0.7。根据类内聚合度和类间离散度联合因子评价方法可知, GF-3 下三类典型地物的联合因子 ρ_{cs} 分别为 85.34 (水体)、28.99 (建筑物) 和 122.72 (植被), 与 RADARSAT-2 的观测结果相近。另外, 对不同散射机制的地物类型进行特征分析后发现, GF-3 全极化 SAR 共极化通道观测精度与 RADARSAT-2 相近, 但交叉极化通道观测精度略差于 RADARSAT-2。

关键词 遥感; 高分三号; 合成孔径雷达; 极化; 散射

中图分类号 P237

文献标志码 A

doi: 10.3788/CJL202047.0310002

Analysis and Accuracy Evaluation of Scattering Characteristics of GF-3 Full-Polarized SAR

Li Jiahui¹, Wang Xiaochen^{2*}

¹ School of Geometrics, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China;

² The Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China

Abstract Herein, the scattering characteristics of GF-3 full-polarization SAR (synthetic aperture radar) images were evaluated based on $H/A/\alpha$ polarization decomposition method, and the polarization characteristics of typical ground features in GF-3 and RADARSAT-2 full-polarization SAR images were analyzed. Evaluation method of polarization measurement accuracy based on traditional H/α characteristic scattering plane and improved intra-class aggregation and inter-class dispersion were proposed. Results show that the polarization scattering characteristics of GF-3 full-polarization SAR are clearly for different types of surface features. The average deviations of scattering entropy and scattering angle of three types of surface features are approximately 0.101 and 6.923, respectively, which is better than that of RADARSAT-2 (0.132 and 7.206, respectively). Based on the evaluation method of H/α characteristic scattering plane, the overall polarization accuracy of GF-3 and RADARSAT-2 polarimetric SAR is similar, both of which are approximately 0.7. According to the combined factors of intra-class aggregation and inter-class dispersion, the combined factors of GF-3 are 85.34 (water bodies), 28.99 (buildings), and 122.72 (plants). The recognition ability of GF-3 full-polarization SAR images for these three typical features is similar to that of RADARSAT-2. Furthermore, we analyze the characteristics of ground features with different scattering mechanisms and find that the co-polarization measurement accuracy of GF-3 full-polarization SAR is similar to that of RADARSAT-2 but the cross-polarization channel accuracy is slightly worse than that of RADARSAT-2.

Key words remote sensing; GF-3; synthetic aperture radar; polarization; scattering accuracy

OCIS codes 280.6730; 280.5600

收稿日期: 2019-07-17; 修回日期: 2019-08-22; 录用日期: 2019-10-17

基金项目: 国家自然科学基金(41301500, 41431174, 61471358)

* E-mail: wangxc@radi.ac.cn

1 引 言

高分三号(GF-3)卫星是我国首颗分辨率达到1 m的C频段多极化合成孔径雷达(SAR)成像卫星,于2016年8月10日发射升空,填补了我国民用高分辨率合成孔径雷达卫星的空白^[1-2]。GF-3卫星能同时发射、接收水平波和垂直波,是我国首颗多极化SAR卫星,具备全极化观测能力,目前已被应用于对我国海域的监测与信息提取^[3-4]。全极化SAR具有极化信息丰富的特点,已被广泛应用于对海岸带信息的提取与分类。加拿大RADARSAT-2、日本ALOS-2等卫星均搭载了全极化SAR传感器,均已被作为地表监测业务化运行手段^[5-6]。其中RADARSAT-2的工作频率为C波段,国内外已开展了不少关于RADARSAT-2全极化SAR极化散射特性的研究,而GF-3全极化SAR作为我国最新的雷达传感器,其极化散射观测能力需要进一步进行可靠性分析与验证。目前关于GF-3全极化SAR地物类型极化散射的报道较少。Fang等^[7]针对GF-3全极化SAR提取了不同的极化特征,并利用随机森林分类法对SAR图像进行了分类研究;Zhang等^[8]介绍了GF-3SAR采用的多极化成像模式的突破性技术;Liu等^[9]利用GF-3全极化SAR数据对城市水体和建筑物阴影进行了区分,并实现了城市水体的快速提取;Guo等^[10]利用深度学习的方法对GF-3全极化SAR图像地表覆盖类型进行了分类,并与同位置RADARSAT-2全极化SAR影

像进行了比较;Wang等^[11]利用不同的极化分解方法对GF-3全极化SAR海岸带影像进行了极化特征分析。综上所述,尽管有部分学者开展了GF-3全极化SAR地物极化特性的分析,但尚未有足够多的研究论述GF-3全极化SAR自身的极化观测能力。考虑到RADARSAT-2全极化SAR和GF-3全极化SAR的工作频率均为C波段,因此有必要以业务化在轨运行的RADARSAT-2全极化SAR为参考,分析GF-3全极化SAR的极化观测能力,进一步分析不同地物类型的极化散射误差。

本文通过收集近同时相同区域的GF-3全极化SAR和RADARSAT-2全极化SAR影像,利用H/A/α极化分解方法提取了二者的极化特征,并以业务化运行的RADARSAT-2全极化SAR为参考,定量评价了二者全极化SAR极化特征的提取精度,最后进一步利用H/α散射特征平面分析了二者对不同类型地物的极化观测精度。

2 实验数据

本文用到的数据包括一景GF-3全极化SAR数据、两景RADARSAT-2全极化SAR数据和三景高分二号(GF-2)光学数据。由于缺少地面实测数据,故将高分辨率GF-2光学影像作为真实地物的提取结果。本文用到的全极化SAR影像参数如表1所示。影像覆盖区域主要位于黄河口。黄河口三角洲地处黄河入海口,湿地植被丰富多样,包括芦苇、碱蓬、互花米草等植被类型。

表1 本文用到的影像参数

Table 1 Image parameters used in this paper

Satellite	Scene ID	Acquisition time (UTC)	Sensor	Resolution /m	Swath width /km
GF-3	3018619	2016-11-15	SAR	8	30
RADARSAT-2	05350120	2016-08-26	SAR	8	25
RADARSAT-2	05350130	2016-09-10	SAR	8	25
GF-2	1786033	2016-08-26	PMS2	1	45
GF-2	1878224	2016-08-26	PMS2	1	45
GF-2	1786032	2016-08-26	PMS2	1	45

3 分析与讨论

3.1 极化相干矩阵

SAR图像中单个像元所记录的数据并不是单一的目标,而是表示这个单元内多个散射中心实际值的统计。极化相干矩阵能够更好地衡量这种统计散射效应,进一步对局部散射体进行分析。由极化散射矩阵的矢量形式获得的目标矢量^[12-13]为

$$\mathbf{k} = [\mathbf{S}_{hh} \quad \mathbf{S}_{hv} \quad \mathbf{S}_{vh} \quad \mathbf{S}_{vv}]^T \quad (1)$$

式中: \mathbf{S}_{hh} 为水平极化散射矩阵; \mathbf{S}_{vv} 为垂直极化散射矩阵; \mathbf{S}_{hv} 和 \mathbf{S}_{vh} 为交叉极化散射矩阵; \mathbf{k} 为散射矢量。

根据互易性定理 $\mathbf{S}_{hv} = \mathbf{S}_{vh}$,散射矢量可简化为三维表示:

$$\mathbf{k} = [\mathbf{S}_{hh} \quad \sqrt{2}\mathbf{S}_{hv} \quad \mathbf{S}_{vv}]^T \quad (2)$$

根据极化散射矩阵可以得到目标的散射特征矢

量,即

$$\mathbf{k} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times [\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv} \quad \mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv} \quad \mathbf{S}_{hv} + \mathbf{S}_{vh} \quad i(\mathbf{S}_{hv} - \mathbf{S}_{vh})]^\top. \quad (3)$$

考虑到互易性定理 $\mathbf{S}_{hv} = \mathbf{S}_{vh}$,可将散射矢量简化为三维表示,即

$$\mathbf{k} = \frac{1}{\sqrt{2}} [\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv} \quad \mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv} \quad 2\mathbf{S}_{hv}]^\top. \quad (4)$$

极化相干矩阵可表示为^[14-15]

$$\mathbf{T}_3 = \langle \mathbf{k} \mathbf{k}^* \rangle = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle |\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv}|^2 \rangle & \langle (\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv})(\mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv})^* \rangle & 2\langle (\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv})\mathbf{S}_{hv}^* \rangle \\ \langle (\mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv})(\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv})^* \rangle & \langle |\mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv}|^2 \rangle & 2\langle (\mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv})\mathbf{S}_{hv}^* \rangle \\ 2\langle \mathbf{S}_{hv}(\mathbf{S}_{hh} + \mathbf{S}_{vv})^* \rangle & 2\langle \mathbf{S}_{hv}(\mathbf{S}_{hh} - \mathbf{S}_{vv})^* \rangle & 4\langle |\mathbf{S}_{hv}|^2 \rangle \end{bmatrix}, \quad (5)$$

以下以 GF-3 全极化 SAR 为例进行分析。通过对极化散射矩阵进行处理得到了极化相干矩阵 \mathbf{T}_3 ,其中 \mathbf{T}_{11} 、 \mathbf{T}_{22} 和 \mathbf{T}_{33} 如图 1 所示。

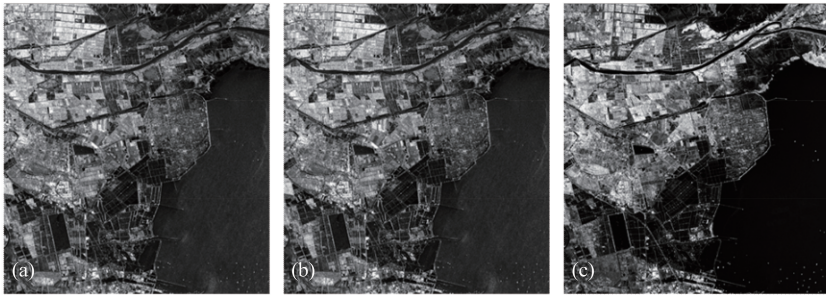


图 1 极化相干矩阵。(a) \mathbf{T}_{11} ; (b) \mathbf{T}_{22} ; (c) \mathbf{T}_{33}

Fig. 1 Polarization coherence matrices. (a) \mathbf{T}_{11} ; (b) \mathbf{T}_{22} ; (c) \mathbf{T}_{33}

3.2 极化特征提取与对比分析

地物目标的极化特性与它自身的形状结构有关,可以反映目标物的表面粗糙度、对称性与取向等信息,这是其他雷达参数所不能提供的。因此,提取目标物的极化特性就显得尤为重要,其理论核心就是极化分解^[16-17]。图 2 所示为 GF-3 和

RADARSAT-2 全极化 SAR Pauli 极化分解结果伪彩色图,可见,GF-3 和 RADARSAT-2 的 Pauli 分解极化特性十分相近。

为了进一步探究 GF-3 全极化 SAR 极化特征,本文对其进行 $H/A/\alpha$ 分解,得到了分解后的散射熵和平均散射角,如图 3 所示。

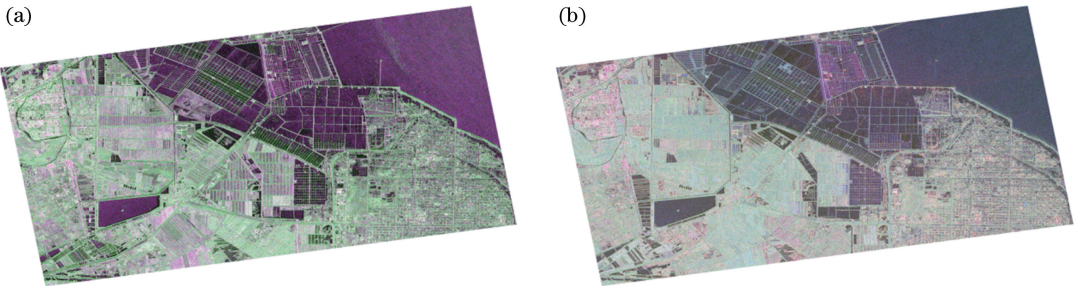


图 2 Pauli 分解伪彩色图。(a) GF-3; (b) RADARSAT-2

Fig. 2 Pauli polarization decomposition pseudo-color maps. (a) GF-3; (b) RADARSAT-2

散射熵描述了各散射机制在总散射中所占的比重,同时也描述了散射过程的随机性。散射角代表平均散射机制的类型。为了进一步研究 GF-3 全极化 SAR 对不同地物类型的极化响应,本文选择三类典型地物——水体、建筑物和植被,分别提取它们的极化参数值,并将其与对应的 RADARSAT-2 全极

化 SAR 得到的极化参数进行对比,对比结果如图 4 和表 2 所示。

如图 4 所示,GF-3 和 RADARSAT-2 的极化分解结果具有基本相近的变化趋势:建筑物的散射熵最高,植被次之,水体最小;植被的散射角最大,建筑物次之,水体最小。不同典型地物分解参数的偏差

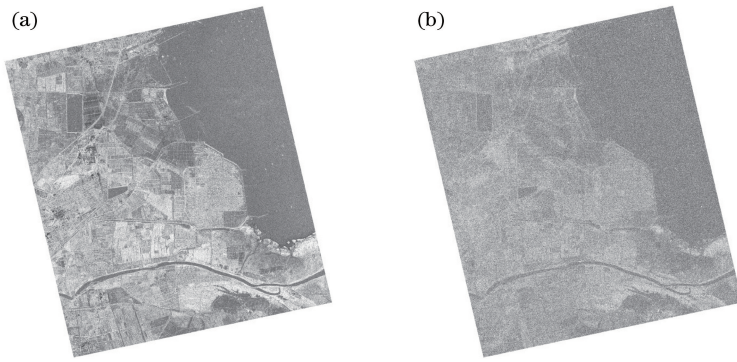


图 3 GF-3 全极化 SAR $H/A/\alpha$ 极化分解结果。(a) 散射熵;(b)平均散射角

Fig. 3 $H/A/\alpha$ polarization decomposition results from GF-3 full-polarized SAR.

(a) Scattering entropy; (b) mean scattering angle

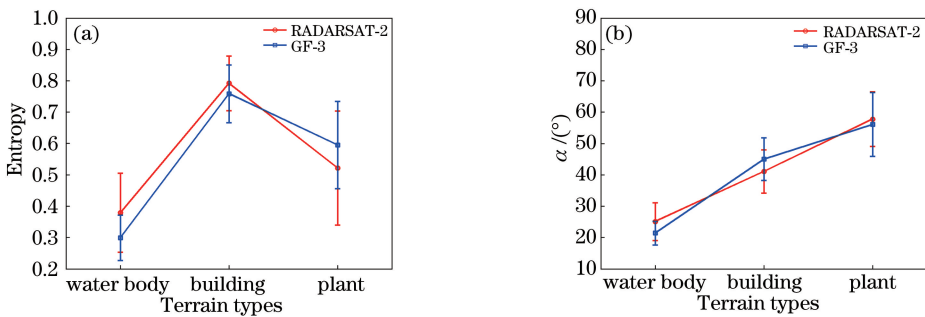


图 4 GF-3 和 RADARSAT-2 的极化分解结果。(a) 散射熵;(b) 散射角

Fig. 4 Polarization decomposition results from GF-3 and RADARSAT-2. (a) Scattering entropy; (b) scattering angle

表 2 GF-3 和 RADARSAT-2 极化分解参数的偏差

Table 2 Polarization parameters bias from GF-3 and RADARSAT-2

Parameter	GF-3				RADARSAT-2			
	Water body	Building	Plant	Mean	Water body	Building	Plant	Mean
H	0.072	0.092	0.139	0.101	0.126	0.087	0.182	0.132
α	3,740	6,800	10,230	6,923	6,045	6,901	8,673	7,206

见表 2,可见,GF-3 散射熵 H 和散射角 α 的极化值偏差略小于 RADARSAT-2,但二者相差不大。

3.3 基于传统的 $H-\alpha$ 散射特征平面的极化精度评价

根据 $H-\alpha$ 散射特征平面,当散射角的取值由 0 连续增加到 90° 时,其对应的散射机制由几何光学的表面散射,渐变为物理光学的表面散射和 Bragg 表面散射,在经过偶极子散射后转变为两个电介质表面的二次散射,最后转变为金属表面的二次散射。结合描述散射过程随机性的参量(极化熵)可知,所有随机散射机制都可以在 $H-\alpha$ 平面上进行表征^[13]。

图 5 表示水体(红色)、建筑物(绿色)和植被(蓝色)在 $H-\alpha$ 散射平面的分布,可知,GF-3 的 $H-\alpha$ 极化特征对水体的敏感程度要优于 RADARSAT-2,而 RADARSAT-2 对植被的敏感程度要优于 GF-3,二者对建筑物的敏感程度基本一致。为了更好地对 GF-3 和 RADARSAT-2 的极化精度进行评价,本研

究对三类典型地物在 $H-\alpha$ 平面的散点分布进行了统计。本文定义极化测量精度的计算公式为

$$P(i, j) = N_{\text{area}}(i, j) / N_{\text{total}}(i) \quad (6)$$

式中: $P(\cdot)$ 表示极化测量精度; $N_{\text{area}}(\cdot)$ 表示地物类型 i 位于 $H-\alpha$ 平面中区域 j 内的像元数; $N_{\text{total}}(\cdot)$ 表示地物类型 i 位于 $H-\alpha$ 平面中的总像元数。最后得到了不同地物类型的极化测量精度,如表 3 所示。

由表 3 可见:GF-3 与 RADARSAT-2 全极化 SAR 的总体极化精度相近,均为 0.7 左右;GF-3 对水体的平均精度 (0.9977) 优于 RADARSAT-2 (0.8460),GF-3 对植被的平均精度 (0.5786) 优于 RADARSAT-2 (0.4127),说明 GF-3 全极化 SAR 对水体和植被的响应更敏感;GF-3 对建筑物的平均精度 (0.7233) 低于 RADARSAT-2 (0.8600),说明 GF-3 全极化 SAR 对建筑物的响应稍差。

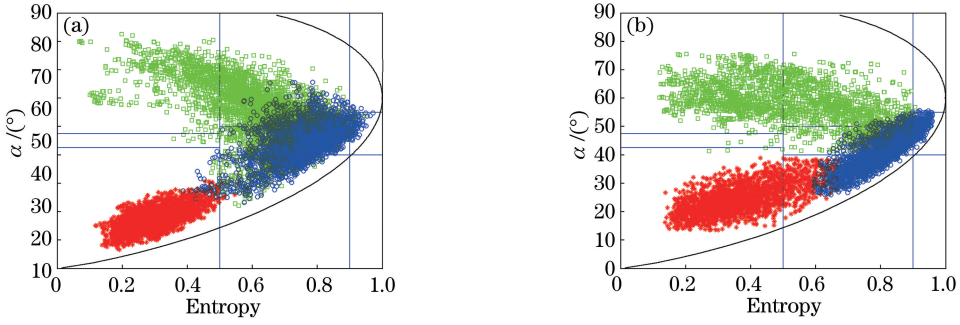


图 5 $H-\alpha$ 散射平面。(a) GF-3;(b) RADARSAT-2
Fig. 5 $H-\alpha$ scattering plane. (a) GF-3; (b) RADARSAT-2

表 3 极化精度统计

Table 3 Statistics of polarization measurement accuracy

No. of space in Fig.6	GF-3			RADARSAT-2		
	Water body	Plant	Building	Water body	Plant	Building
1	0	0.0023	0	0	0.0017	0.0007
2	0	0.0283	0.0017	0	0.0017	0.0030
3	0	0.1903	0.5063	0	0.0437	0.4147
4	0	0.5503	0.2117	0	0.4110	0.1317
5	0.0023	0.2160	0.0553	0.1540	0.4320	0
6	0	0	0.2170	0	0	0.4453
7	0	0	0.0040	0	0	0.0033
8	0.9977	0.0127	0.0040	0.8460	0	0.0013
Average accuracy	0.9977	0.5786	0.7233	0.8460	0.4127	0.8600
Overall accuracy		0.7665			0.7062	

3.4 基于改进的类内聚合度和类间离散度的极化精度评价

为了更全面地对 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化 SAR 极化精度进行评价,本文引入类内聚合度和类间离散度的概念对精度进行评价。类内聚合度表示某一类的离散程度,类间离散度表示各类之间的差异性。二者的定义分别为

$$\rho_c(k) | Y = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{\beta_i(\beta_i - 1)} \sum_{u=1}^{\beta_i} \sum_{v \neq u} |y_{u,k}^i - y_{v,k}^i|, \quad (7)$$

$$\rho_s(k) | Y = \frac{1}{M(M-1)} \times \sum_{i=1}^M \sum_{j \neq i} \frac{1}{\beta_i \beta_j} \sum_{u=1}^{\beta_i} \sum_{v=1}^{\beta_j} |y_{u,k}^i - y_{v,k}^j|, \quad (8)$$

式中: k 表示特征;地物类型为 $Y \in \{y^1, y^2, y^3, \dots, y^M\}$, 其中 M 为地物类型个数, y^i 表征第 i 个地物类型的训练样本集;每个地物类型的训练样本个数为 $\beta_i, i=1, 2, \dots, M$ 。进而,可以计算第 k 个特征对应的各地物类型的类内聚合度 ρ_c 和类间离散度 ρ_s 。本文对类内聚合度和类间聚合度进行改进,构建了一个联合的参数变量,即

$$\rho_{cs}(k) | Y = \alpha \rho_c(k) - (1 - m) \rho_s(k), \quad (9)$$

式中: m 为调节因子,在 0 到 1 之间变化。对于某一特征而言, ρ_{cs} 的值越小,该特征区分地物的能力就越强。本文设置 $m=0.5$ 来构造联合因子 ρ_{cs} ,进而用它对 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化 SAR 极化精度进行评价。本文分别计算了水体、建筑物和植被这三类典型地物在 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化 SAR 参数中的 ρ_{cs} ,结果如表 4 所示。

表 4 三类典型地物的联合因子 ρ_{cs}

Table 4 Joint factor ρ_{cs} of three kinds of typical ground features

Satellite	ρ_{cs}			
	Water body	Building	Plant	Mean
GF-3	85.34	28.99	122.72	79.01
RADARSAT-2	80.25	30.84	118.54	76.54

一般而言, ρ_{cs} 的值越大,表示其对该类地物的识别能力越强。如表 4 所示,GF-3 下三类典型地物的联合因子 ρ_{cs} 分别为 85.34(水体)、28.99(建筑物)和 122.72(植被),平均值为 79.01,略高于 RADARSAT-2(76.54)。结果表明,GF-3 全极化

SAR 影像对该三类典型地物的识别能力略优于 RADARSAT-2。

3.5 基于 Wishart 的 GF-3 全极化 SAR 最大似然分类

$H-\alpha$ 平面中所有的点均对应着不同的物理散射机制,而该物理散射机制则直接表征了地表上不同散射体的物理特性,根据像元所对应的极化特征就可以判断该像元的类别。为了进一步评价 GF-3 全极化 SAR 对海岸带的分类能力,本文基于得到的 $H/A/\alpha$ 极化分解理论,利用 Wishart 最大似然分类理论,对 GF-3 全极化 SAR 海岸带分类能力进行了评估^[18]。基于 $H/A/\alpha$ -Wishart 的最大似然分类流程如图 6 所示,遵循的步骤主要包括:

- (1) 首先从 GF-3 全极化 SAR 数据中提取极化相干矩阵 $\langle T \rangle$, 并进行极化目标分解和特征值分析, 得到 H 和 α 特征平面;
- (2) 确定平面边界, 得到 8 类初始聚类, 并将其输入 Wishart 分类器中, 进行迭代分类;
- (3) 引入 Anisotropy, 通过比较 8 类初始分类聚类中心结果的阈值, 进一步将其细化为 16 类聚类中心;
- (4) 用新得到的 16 类聚类中心再次初始化 Wishart 分类器, 运用最大似然准则对分类样本进

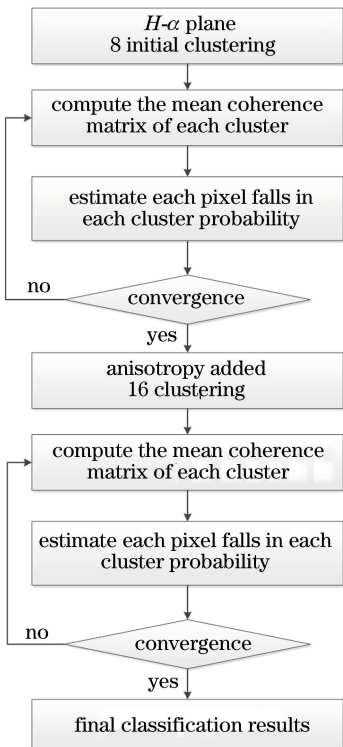


图 6 基于 $H/A/\alpha$ -Wishart 的最大似然分类流程图
Fig. 6 Maximum likelihood classification flow chart based on $H/A/\alpha$ -Wishart

行概率判别,得到最终的分类结果。

最终得到的 GF-3 全极化 SAR 海岸带分类结果如图 7 所示。分别选择海水、建筑物、植被、裸土、滩涂作为典型地物,随机选取 60000 个像素作为训练样本,输入分类器中;另外选取 60000 个像素作为验证样本。由于缺乏现场测量数据,故利用高分辨率 GF-2 光学影像作为参考数据。通过不断迭代计算,得到不同训练样本落入不同种类的最大似然概率,并以此判断样本点是否符合该类标准。表 5 表示初始分类训练参数列表,通过确定平面边界,得到 8 类初始聚类,循环迭代次数为 10 次,迭代判断阈值为像元总数的 10%,方位向和距离向的窗口为 5×5 。

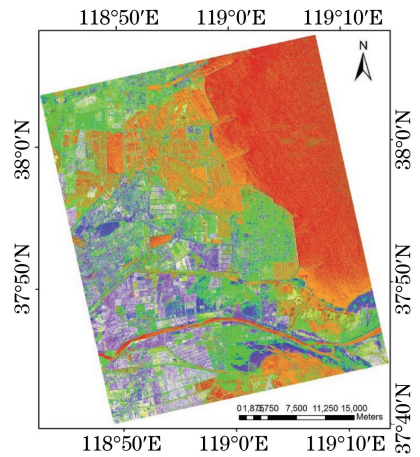


图 7 GF-3 全极化 SAR 黄河口分类结果
Fig. 7 Classification result of Yellow River delta by GF-3 full-polarization SAR

表 6 中给出了典型迭代变量的参数值。通过计算不同训练样本落入不同种类的最大似然概率,判断其是否属于该类。由表 6 可以看出,随着迭代次数增加,非收敛像元数逐渐减少,样本点与聚类中心最小距离逐渐稳定,样本点逐渐收敛。本次迭代的阈值像元数为 813927 (输入的影像大小为 $14416 \text{ pixel} \times 2823 \text{ pixel}$), 在第 8 次迭代时已经收敛。

最后得到了分类结果,并得到了如表 7 所示的混淆矩阵。可见,海水、建筑物、植被、裸土、滩涂的分类精度分别为 90.50%、74.30%、71.28%、66.02% 和 70.32%,总体平均分类精度为 82.33%,Kappa 系数为 0.73。

4 结 论

本文对近同时相的 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化 SAR 影像进行了对比分析,并基于 $H/A/\alpha$ 极

表 5 初始分类训练参数列表

Table 5 List of training parameters for initial classification

Initial iteration parameter	Value		
Number of iterations	10		
Non-convergent pixel proportion / %	2		
Window size	Azimuth direction	5	
	Range direction	5	
Boundary conditions of 8 initial clustering	No.1	$0.9 < H < 1$	$55 < \alpha < 90$
	No.2	$0.9 < H < 1$	$40 < \alpha < 55$
	No.3	$0.5 < H < 0.9$	$50 < \alpha < 90$
	No.4	$0.5 < H < 0.9$	$40 < \alpha < 50$
	No.5	$0.5 < H < 0.9$	$0 < \alpha < 40$
	No.6	$0 < H < 0.5$	$47.5 < \alpha < 90$
	No.7	$0 < H < 0.5$	$42.5 < \alpha < 47.5$
	No.8	$0 < H < 0.5$	$0 < \alpha < 42.5$

表 6 迭代过程的变量值

Table 6 Variable values in iterative process

Number of iterations	Non-convergent pixel number	Minimum distance
1	16777216	-9.635548
2	6398359	-11.468143
3	3690955	-12.511221
4	2418604	-12.684139
5	1868671	-12.705543
6	1374417	-12.712374
7	992203	-12.717149
8	748956	-12.720287
9	585886	-12.722660
10	487202	-12.724305

表 7 GF-3 全极化 SAR 黄河口分类结果的精度

Table 7 Accuracy of GF-3 full-polarization SAR classification results of Yellow River delta

Type	Accuracy / %				
	Water body	Plant	Building	Bare soil	Intertidal zone
Water body	90.50	0	0	10.35	12.30
Plant	0	74.30	2.2	0.28	8.02
Building	0	5.03	71.28	7.05	4.741
Bare soil	4.25	15.62	16.37	66.02	4.619
Intertidal zone	5.25	2.949	10.15	16.3	70.32

化分解方法对水体、植被和建筑物三类典型地物进行了极化特征值偏差统计分析。为了进一步评价 GF-3 的极化观测精度,本文利用 $H-\alpha$ 散射特征平面以及改进的类内聚合度和类间离散度联合因子精度评价方法,统计分析了 GF-3 和 RADARSAT-2 下三类典型地物的极化散射特征,结果表明,GF-3 的全极化 SAR 影像对该三类典型地物的识别能力与 RADARSAT-2 相近。另外,根据 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化 SAR 对不同散射机制的地物类型进行了特征分析,结果发现,GF-3 全极化 SAR 共极化通道的观测精度优于 RADARSAT-2,

但交叉极化通道观测精度略逊于 RADARSAT-2。

尽管本文针对 GF-3 全极化 SAR 的极化散射特性和精度进行了评价,但仍有部分工作需要继续完善。本文搜集的 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化影像为近同时相,二者在成像时差内的各地物类型可能会发生变化,这会对二者的极化测量精度分析带来影响。本文的研究结果表明,GF-3 全极化 SAR 交叉极化通道响应略低于 RADARSAT-2,下一步需要继续收集近同时相 GF-3 和 RADARSAT-2 全极化 SAR 影像,对本文研究结果进行更加深入的分析。

参 考 文 献

- [1] Zhang Q J. System design and key technologies of the GF-3 satellite [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(3): 269-277.
张庆君. 高分三号卫星总体设计与关键技术 [J]. *测绘学报*, 2017, 46(3): 269-277.
- [2] Ding C B, Liu J Y, Lei B, et al. Preliminary exploration of systematic geolocation accuracy of GF-3 SAR satellite system [J]. *Journal of Radars*, 2017, 6(1): 11-16.
丁赤飏, 刘佳音, 雷斌, 等. 高分三号 SAR 卫星系统级几何定位精度初探 [J]. *雷达学报*, 2017, 6(1): 11-16.
- [3] Fan J C, Wang D Y, Zhao J H, et al. National sea area use dynamic monitoring based on GF-3 SAR imagery [J]. *Journal of Radars*, 2017, 6(5): 456-472.
范剑超, 王德毅, 赵建华, 等. 高分三号 SAR 影像在国家海域使用动态监测中的应用 [J]. *雷达学报*, 2017, 6(5): 456-472.
- [4] Yi W, Zeng Y, Yuan Z. Fusion of GF-3 SAR and optical images based on the nonsubsampling contourlet transform [J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(11): 1110002.
易维, 曾湧, 原征. 基于 NSCT 变换的高分三号 SAR 与光学图像融合 [J]. *光学学报*, 2018, 38(11): 1110002.
- [5] Wan J H, Zang J X, Liu S W. Fusion and classification of SAR and optical image with consideration of polarization characteristics [J]. *Acta Optica Sinica*, 2017, 37(6): 0628001.
万剑华, 臧金霞, 刘善伟. 顾及极化特征的 SAR 与光学影像融合与分类 [J]. *光学学报*, 2017, 37(6): 0628001.
- [6] Buono A, Nunziata F, Migliaccio M, et al. Classification of the Yellow River delta area using fully polarimetric SAR measurements [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(23): 6714-6734.
- [7] Fang Y Y, Zhang H Y, Mao Q, et al. Land cover classification with GF-3 polarimetric synthetic aperture radar data by random forest classifier and fast super-pixel segmentation [J]. *Sensors*, 2018, 18(7): 2014.
- [8] Zhang Q J, Lin Y D. Overview of Chinese first C band multi-polarization SAR satellite GF-3 [J]. *Aerospace China*, 2017(3): 24-33.
- [9] Liu X Y, Liu L, Shao Y, et al. Water detection in urban areas from GF-3 [J]. *Sensors*, 2018, 18(4): 1299.
- [10] Guo Y J, Chen E X, Guo Y, et al. Deep highway unit network for land cover type classification with GF-3 SAR imagery [C] // 2017 SAR in Big Data Era: Models, Methods and Applications (BIGSAR DATA), November 13-14, 2017, Beijing, China. New York: IEEE, 2017: 17379655.
- [11] Wang X C, Shao Y, Tian W, et al. Evaluation of GF-3 quad-polarized SAR imagery for coastal wetland observation [C] // 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, July 22-27, 2018, Valencia, Spain. New York: IEEE, 2018: 7945-7948.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Lee J S, Grunes M R, Ainsworth T L, et al. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1999, 37(5): 2249-2258.
- [15] 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): 2299-2311.
- [16] Yamaguchi Y, Moriyama T, Ishido M, et al. Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2005, 43(8): 1699-1706.
- [17] Touzi R. Speckle effect on polarimetric target scattering decomposition of SAR imagery [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2007, 33(1): 60-68.
- [18] Xie X F, Xu X, Dong H, et al. A semi-supervised dimension reduction method for polarimetric SAR image classification [J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(4): 0428001.
谢欣芳, 徐新, 董浩, 等. 一种极化 SAR 影像分类中的半监督降维方法 [J]. *光学学报*, 2018, 38(4): 0428001.