

基于 S-HOG 的遥感图像舰船目标检测



丁荣莉 李杰 张曼 刘艳丽 伍伟

上海航天技术研究院 上海 201109

摘要 随着高分辨率卫星遥感成像技术的不断发展,可见光遥感图像舰船目标检测成为热门课题,其在军舰探测、精确制导等军用领域以及海面搜救、渔船监测等民用领域具有极其重要的战略意义。针对遥感图像中的舰船检测易受云雾、波浪、岛屿等因素干扰导致虚警率高的问题,提出了基于舰船方向梯度直方图(Ship Histogram of Oriented Gradient, S-HOG)特征的舰船鉴别算法。首先利用异常点检测提取目标候选区域得到可疑目标切片,然后统计其 S-HOG 特征剔除虚警,从而有效提取真正的舰船目标。实验结果表明,所提算法能在保证高检测率的同时显著降低虚警率,抗干扰能力强,鲁棒性高。

关键词: 遥感图像;舰船检测;异常点检测;感兴趣区域;舰船方向梯度直方图

中图分类号 TP751

Ship Target Detection in Remote Sensing Image Based on S-HOG

DING Rong-li, LI Jie, ZHANG Man, LIU Yan-li and WU Wei

Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201109 China

Abstract With the continuous development of high-resolution satellite remote sensing imaging technology, ship target detection based on visible remote sensing image has become a hot topic, which is of great strategic significance in military fields such as warship detection, precise guidance, and civilian fields such as sea search and rescue, fishing vessel monitoring, etc. Aiming at the problem that ship detection in remote sensing image is easy to be interfered by cloud, wave, island and other factors, which leads to high false alarm rate, a ship identification algorithm based on the characteristics of ship histogram of oriented gradient (S-HOG) is proposed. Firstly, the candidate region of the target is extracted by abnormal point detection to get the suspicious target slice, and then the S-HOG feature is counted to eliminate the false alarm, so as to effectively extract the real ship target. Experimental results show that the algorithm can significantly reduce the false alarm rate while ensuring high detection rate, and has strong anti-interference ability and high robustness.

Keywords Remote sensing image, Ship detection, Abnormal point detection, Target candidate region, Ship histogram of oriented gradient

1 引言

遥感图像探测范围广,不受地面条件限制,图像数据富含信息,其中可见光遥感图像内容丰富易解译、直观易理解且空间分辨率高而引起广泛关注。可见光遥感图像的舰船目标检测指利用卫星遥感平台获取扫描区域的遥感数据,通过相应的目标检测算法处理获取海面舰船的精确定位和相关目标信息^[1]。其在军舰探测、精确制导等军用领域以及海面搜救、渔船监管等民用领域具有极其重要的战略意义^[2]。

近年来,可见光卫星载荷呈蓬勃发展之势,遥感图像分辨率和数据传输速率的不断提高,使得如何从海量数据中准确检测目标成为一个亟待解决的难题。目前传统光学遥感图像舰船目标检测常用算法有以下 3 类^[3]。

(1) 基于图像灰度统计特征方法,利用海洋背景在和舰船目标存在的灰度纹理差异性提取舰船目标^[4]。文献[5]通过图像灰度直方图得到强度辨别度以获取目标区域,但是当背景

环境复杂,存在强海杂波和云雾遮挡时,检测性能会有所下降。

(2) 基于视觉注意机制方法,其将人类视觉系统可快速聚焦于显著性区域的特性引入到目标检测中^[6-7]。Zhao 等基于 DCT 相位谱显著性的方法进行舰船目标检测^[8]。Guo 提出四元数傅里叶变换相位谱法 PQFT 处理彩色图像的多通道特征^[9]。文献[10]为突出检测结果中舰船目标区域的边缘轮廓信息,增大目标间的可区分性,在 PQFT 的基础上提出其改进算法,可抑制背景干扰,增强目标对比度。

(3) 基于机器学习的方法,主要工作包含目标特征提取和分类器设计^[11]。文献[12]提取舰船目标的形状和纹理特征,使用支持向量机分类器剔除虚警。文献[13]通过滑动窗口获取图像切片并计算其 HOG (Histogram of Oriented Gradients) 特征,通过 SVM 进行判别得到准确检测结果。

以上舰船检测算法在背景环境复杂时,检测率会有所下降且易受海面波浪、碎云等干扰而造成误检,因此本文提出基于 S-HOG 的舰船检测算法。

本文已加入开放科学计划(OSID),请扫描上方二维码获取补充信息。

基金项目:国家重点研发计划(2017YFB0802000)

This work was supported by the National Key R&D Program of China(2017YFB0802000).

通信作者:丁荣莉(1540352640@qq.com)

2 基本原理

2.1 基本框架

舰船作为海洋信息感知中的重要目标,其检测识别具有深远的现实意义,基于可见光遥感图像的舰船检测有以下特点:

(1)舰船目标检测主要针对高分辨率遥感图像展开,目标的形状和纹理信息等特征更为丰富;

(2)遥感图像容易受天气、光照和海况的影响,云雾遮挡、海面杂波和光照阴影使得建立目标检测模型具有挑战性;

(3)不同光学载荷的图像分辨率存在差异性,难以建立通用化的目标检测模型。

基于以上特点,参考国内外学者的目标检测算法研究思路^[14],本文采用一种由粗检测到细鉴别的策略。首先,根据不同载荷的成像质量和图像场景的差异性采取相应的预处理措施,便于后续的目标检测,其中海陆分割去除了陆地对舰船检测的干扰,图像增强抑制了背景噪声影响。目标检测阶段第一步为粗检测,利用舰船目标与海洋背景的差异提取可能存在舰船目标的候选区域;第二步为细鉴别,根据舰船与其他干扰因素的差别剔除候选区域虚警,提取出真正的舰船目标。整体算法流程如图 1 所示。

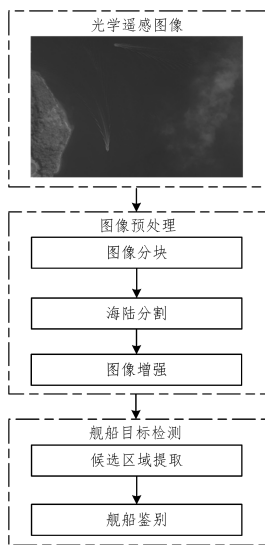


图 1 遥感图像舰船检测算法流程

Fig.1 Workflow of ship target detection algorithm

在进行海洋遥感图像舰船检测时,图像中可能存在陆地区域,由于陆地地貌环境的复杂性和地面物体的多样性,使得舰船检测难度大和虚警率高,且对不存在舰船的陆地地区进行目标检测会增加冗余计算,降低计算速度。因此应首先对存在陆地的图像进行海陆分割,以去除陆地区域得到纯海洋图像,本文已基于 GIS 库的海陆分割算法得到纯海洋图像,重点讨论海洋图像的舰船检测技术。采用中值滤波去除孤立噪声对图像进行增强^[15]后,根据算法流程图的技术路线,展开基于异常点和 S-HOG 的舰船目标检测算法研究。异常点检测提取目标候选区域一方面可以有效减少舰船检测的搜索区域,提高检测速度;另一方面也能避免无效区域内相似地物导致的虚警,提高检测的准确性。S-HOG 舰船鉴别可以有效剔除碎云海面波浪等干扰,降低舰船检测虚警率。

2.2 异常点检测

粗检测可以粗略地获取所有可疑目标所在的位置,在不遗漏目标的前提下尽可能多地排除非目标区域对检测带来的

干扰。海面表现为局部灰度和纹理相似性,当存在舰船时会破坏这种相似性,可将舰船目标当作海面异常点处理。舰船目标与其周围海域存在灰度差异且异常点灰度值出现频率低,通过计算图像灰度直方图,当某灰度值像素点的出现次数小于异常点判断阈值时,则此灰度值像素点为异常点当做前景目标。异常点判断阈值根据舰船所占像素点的数量来设置。

采用 512×512 大小的 GF 图像进行异常点检测,结果如图 2 所示。

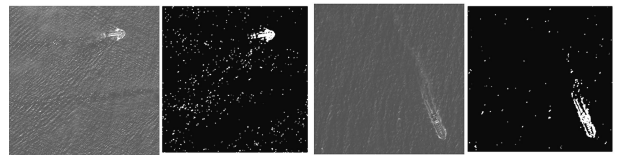


图 2 异常点检测二值化图像

Fig.2 Binarized image for abnormal point detection

从图 2 可以看出,异常点检测将像素值出现频率较低的像素点判断为前景目标,异常点二值化图像能够粗略地提取出舰船的轮廓信息,但舰船前景存在较多的小孔洞,导致候选区域连通性较差。为便于后续的舰船细鉴别,可先采用膨胀操作填充连通域孔洞,再利用腐蚀操作去除图像噪声。

2.3 S-HOG 原理

遥感图像数据中可能存在与舰船目标相似的干扰,如碎云、岛屿、强波浪和海上漂浮物等,导致候选区域提取结果中除舰船目标外可能存在虚警,因此需要进一步分析舰船与疑似目标的差异,从而提取舰船目标本身特征以进行目标鉴别和虚警剔除。本文在 HOG 特征的基础上提出更适用于遥感图像目标鉴别的舰船方向梯度直方图 S-HOG 特征。

2.3.1 PCA 规则化目标切片

PCA 主成分分析方法常用数据降维,通过线性变换将原始数据映射为一组各维度线性无关的表示,可用于提取数据的主要特征分量。

因 S-HOG 方向区间的特殊划分和判别条件的设置,要求切片目标的长轴与竖直方向平行,而遥感图像中目标长轴与竖直方向可能并非平行。舰船呈细长几何对称性质,目标像素点集中分布在舰船主轴方向上,可通过 PCA 计算目标像素点的最大方差方向即舰船第一主轴方向,得到目标与竖直方向夹角,并旋转使其和竖直轴方向保持平行。通过异常点判别得到疑似目标切片的像素点个数为 N ,每个像素点可由二维坐标向量表示:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2N} \end{bmatrix} \quad (1)$$

若目标与竖直方向夹角为 θ ,变换后的新坐标系为 $Y1-Y2$,则目标像素点的集合在新坐标系中表示如式(2)所示,由此可以得到规则化目标切片。

$$\mathbf{Y} = \mathbf{W}_{nk} * \mathbf{X} \\ = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1N} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2N} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3.2 S-HOG 舰船鉴别

梯度方向直方图(HOG)特征最早由 Dalal 等在 CVPR-2005 提出,是一种用于表征图像局部梯度方向和梯度强度分布特性的描述符,被广泛用于物体目标检测。基于 HOG 原理,根据舰船几何和纹理特征以及遥感载荷成像特点,文中提出了 S-HOG 舰船鉴别算法。

沿水平和垂直方向计算连通域图像梯度,计算公式如下:

$$g_x(x,y) = f(x+1,y) - f(x-1,y) \quad (3)$$

$$g_y(x,y) = f(x,y+1) - f(x,y-1) \quad (4)$$

则连通域图像的梯度幅值和梯度方向分别为:

$$g(x,y) = \sqrt{[g_x(x,y)]^2 + [g_y(x,y)]^2} \approx |g_x(x,y)| + |g_y(x,y)| \quad (5)$$

$$\theta(x,y) = \arctan\left(\frac{g_y(x,y)}{g_x(x,y)}\right) \quad (6)$$

如图 3 所示,将切片梯度方向划分为 8 个特定区间 1D—8D,以 8 个方向区间序号为直方图横轴,以对应方向区间的梯度幅值累加值为纵轴,统计其 S-HOG 特征^[13]。

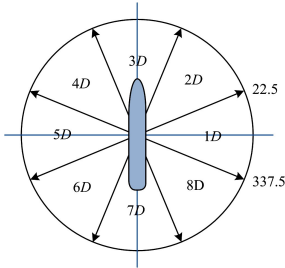


图 3 S-HOG 方向划分

Fig. 3 Direction division of S-HOG

为更有效地剔除与舰船相似的伪目标,将舰船切片分为 B1, B2 和 B3 3 部分计算其舰船方向梯度直方图,舰船切片分块方法如图 4 所示,舰船整体切片为 B1,切片水平均匀分割为 B2 和 B3 上下两部分。

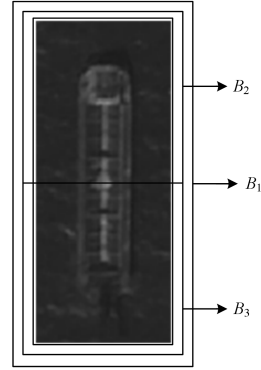


图 4 舰船方向划分

Fig. 4 Direction division of ships

舰船呈长条状对称分布且垂直方向幅值变化较大,由此可推测 bin1 和 bin5 统计值应高于其他 bins 且 bin1 和 bin5 对称分布。舰船、碎云和岛屿切片的梯度方向直方图特征如图 5—图 9 所示。

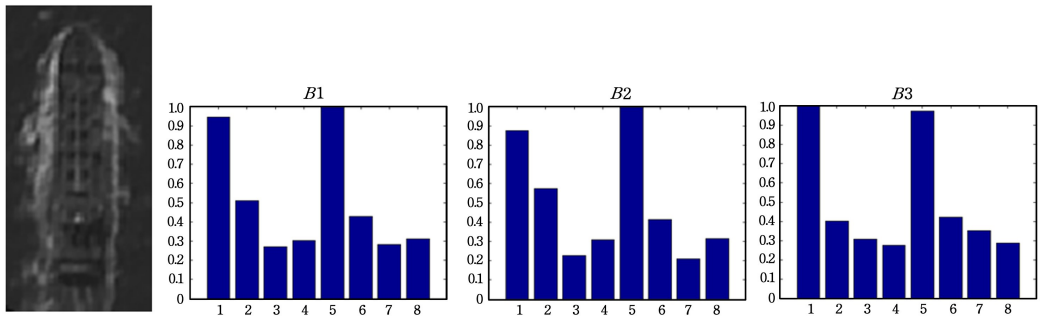


图 5 大舰船 S-HOG 特征

Fig. 5 Large ship S-HOG feature

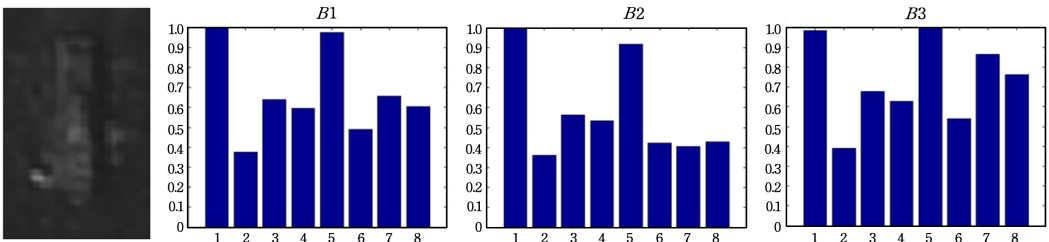


图 6 小舰船 S-HOG 特征

Fig. 6 Small ship S-HOG feature

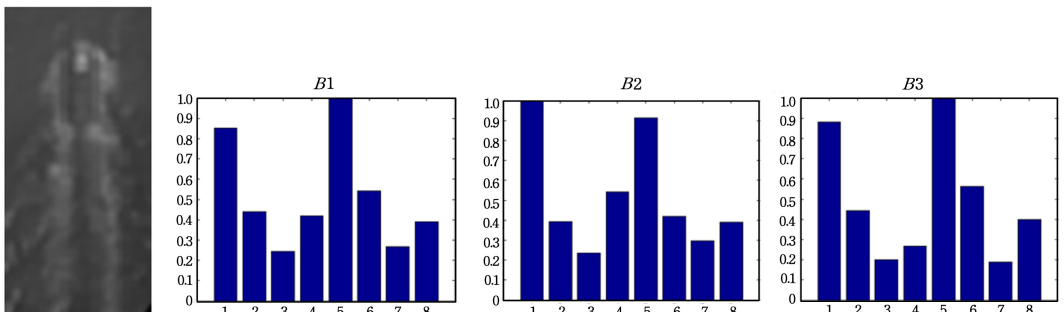


图 7 有尾迹舰船 S-HOG 特征

Fig. 7 Wake ship S-HOG feature

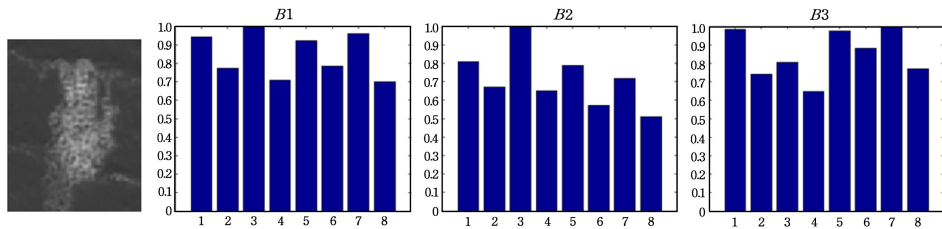


图8 碎云 S-HOG 特征

Fig. 8 Fractus S-HOG feature

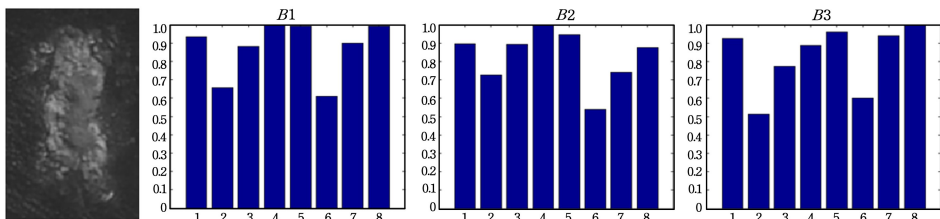


图9 岛屿 S-HOG 特征

Fig. 9 Island S-HOG feature

从图5—图9可以看出,相比于碎云和岛屿等容易造成虚警的物体,舰船的方向梯度直方图基本符合理论分析。因卫星载荷成像受光照的影响以及图像中存在海杂波的干扰, $bin1$ 和 $bin5$ 统计值近似等高,有一定的偏差。根据梯度方向直方图特征,设置式(7)一式(9)进行舰船鉴别。

$$\frac{\min H_f}{\max H_f} > 0.6 \quad (7)$$

$$\frac{\overline{H_p}}{H_f} > 0.8 \quad (8)$$

$$\frac{\min H_p}{\max H_f} < 0.95 \quad (9)$$

其中, $bin1$ 和 $bin5$ 梯度方向的统计值为 $H_f = \{h1, h5\}$,其他bins为 $H_p = \{h2, h3, h4, h6, h7, h8\}$, $\overline{H_p}$ 是 H_p 的平均值, H_f 是 H_f 的平均值。若疑似目标切片满足上式3个判别条件,则可判定其为舰船目标。

基于 S-HOG 特征的舰船鉴别算法不受图像和舰船目标尺寸限制,具有较高的鲁棒性且对图像分辨率有一定的自适应性。

3 实验结果

为验证上述算法的检测性能,采用 GF 图像进行裁剪以构建数据集,图像分辨率为 2 米。经过图像内容筛选和目标标定,得到 200 张 512×512 图像切片,共包含 82 只舰船目标,图像数据集海面背景分为平静海面和风浪海面,同时可能会存在碎云、厚云。

为评估算法性能,给出常用评价指标准确率、虚警率的定义,计算公式如下:

$$Far = fp / (tp + fp) \quad (10)$$

$$Cr = tp / nops \quad (11)$$

其中, Cr 表示检测的准确率, Far 表示虚警率, $nops$ 表示图像中真实舰船目标个数, tp 表示正确检测到舰船目标的个数, fp 表示检测到的虚警个数。

对图像数据集进行舰船目标检测,部分图像检测结果如图10所示。

可以看出,不同背景条件下,尺度不同的舰船均能被准确检出并标记,且能有效剔除碎云和岛屿等形态相似干扰物的影响,算法检测性能高,抗干扰能力强。

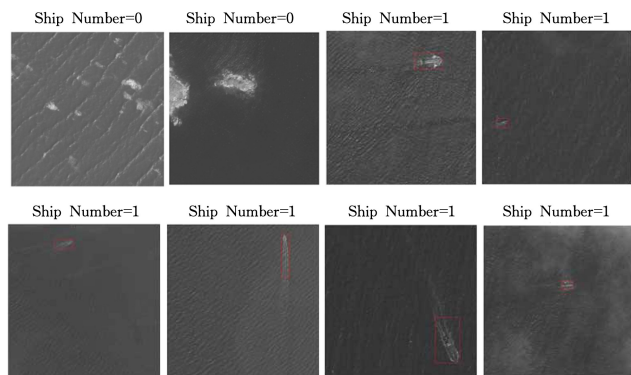


图10 舰船检测结果

Fig. 10 Result of ship detection

将图像数据集的舰船目标分为大舰船(长度大于 50 像素)和小舰船(长度在 10~50 像素之间)两类,分别统计其目标检测结果。并将算法检测性能与文献[13]算法以及文献[16]算法进行比较,具体结果如表1所列。

表1 舰船检测结果分析

Table 1 Analysis of ship detection results

	类别	真实舰船 个数	检测舰船 个数	准确率	误检 个数	虚警率
本文算法	大船	24	23	0.958	1	0.041
	小船	58	51	0.879	6	0.105
文献[13]	大船	24	22	0.917	1	0.043
	小船	58	42	0.724	14	0.25
文献[16]	大船	24	19	0.792	1	0.05
	小船	58	35	0.603	9	0.205

根据舰船检测结果统计表1可以看出,本文算法的大舰船检测准确率为 0.958,由于提取小舰船目标候选区域难度增加,小舰船检测性能略低于大舰船检测性能。舰船检测虚警率较低,S-HOG 鉴别算法能有效剔除虚警。采用文献[13]算法,当舰船所占像素点较少或目标与背景对比度较低时,检测的准确率相比于本文算法有所下降,同时易受碎云海杂波

等干扰,虚警率较高。文献[16]算法当图像存在云雾时,算法准确率较低。综合权衡算法准确率和虚警率,本文所提算法性能最优,在保障算法准确率的前提下能有效剔除碎云和岛屿等形态相似干扰物的影响。

结束语 为了提高复杂海面背景下可见光遥感图像舰船检测的性能并保障算法实时性,本文提出了一种基于 S-HOG 的检测算法。首先,根据舰船目标与海洋背景的差异,利用异常点检测从海域中准确获取舰船目标的候选区域;然后,对候选区域疑似目标进行规则化并统计其 S-HOG 特征进行以舰船鉴别。实验结果表明,该算法可以有效克服波浪、碎云、岛屿等因素的干扰且对舰船尺寸具有自适应性,算法检测精度高、虚警率低。今后的研究将考虑去除薄云雾的影响以进一步提高目标的检测率。

参考文献

- [1] CHEN L, WANG Z R, HAN Z, et al. Ship target detection and recognition method based on visible light remote sensing image [J]. *Science & Technology Review*, 2017, 35(20): 77-85.
- [2] LIN Y D. Research on Object Detection Algorithm of Optical Remote Sensing Image under Complex Background [D]. Southwest Jiaotong University, 2017.
- [3] WANG Y Q, MA L, TIAN Y. Overview of Ship Target Detection and Recognition in Optical Remote Sensing Images [J]. *Journal of Automation*, 2011, 37(9): 1029-1039.
- [4] TONG S, KANG S, WU X, et al. A ship target automatic detection method for high-resolution remote sensing[C]//IGARSS-2016. 2016; 1258-1261.
- [5] YANG G, LI B, JI S, et al. Ship detection from optical satellite images based on sea surface analysis [J]. *IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters*, 2013, 11(3): 641-645.
- [6] SHI P. Ship target automatic detection technology based on optical remote sensing image [D]. University of Science and Technology of China, 2010.
- [7] AN Y, WANG X F, XIA X Z, et al. Ship target detection in optical remote sensing image of naval battlefield [J]. *Wuhan University Journal (Engineering Science)*, 2015, 48(4): 568-573.
- [8] ZHAO C H, LUAN S J. Phase detection of ship target based on optical remote sensing image [J]. *Journal of Shenyang University (Natural Science Edition)*, 2015, 27(5): 369-375.
- [9] GUO C L, MA Q, ZHANG L M. Spatio-temporal saliency detection using phase spectrum of quaternion Fourier transform [C]//Proceedings of the 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, AL, USA, 2008: 23-28.
- [10] XU F. Research on key technologies for automatic detection of sea surface targets in visible light remote sensing images [D]. University of Chinese Academy of Sciences (Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences), 2018.
- [11] JI X F, QIN N L. Design and implementation of multi-target detection and recognition algorithm for optical remote sensing image [J]. *Journal of Computer Applications*, 2015, 35(11): 3302-3307.
- [12] ZHU C R, ZHOU H, WANG R S, et al. A novel hierarchical method of ship detection from spaceborne optical image based on shape and texture features [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, 48(9): 3446-3456.
- [13] QI S, MA J, LIN J, et al. Unsupervised ship detection based on saliency and S-HOG descriptor from optical satellite images [J]. *IEEE Geo-science & Remote Sensing Letters*, 2015, 12(7): 1451-1455.
- [14] YIN Y, HUANG H, ZHANG Z X. Research on Ship Target Detection Technology Based on Optical Remote Sensing Images [J]. *Computer Science*, 46(3): 88-93.
- [15] PENG J T. Research on ship target detection technology of optical remote sensing image [D]. Shanghai: Donghua University, 2017.
- [16] GAO L N, BI F K, LONG T, et al. A sea surface ship detection algorithm for optical remote sensing images [J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2011, 51(1): 105-110.



DING Rong-li, born in 1992, master, engineer. Her main research direction is remote sensing image processing.