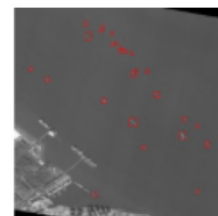




DOI: 10.12086/oe.2021.200249

## 结合层次化搜索与视觉残差网络的 光学舰船目标检测方法

徐安林<sup>1</sup>, 杜丹<sup>1\*</sup>, 王海红<sup>1</sup>, 张强<sup>1</sup>, 李雅哲<sup>2</sup><sup>1</sup>北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094;<sup>2</sup>北京市遥感信息研究所, 北京 100192

**摘要:** 星/机载光学遥感图像视场广阔、场景复杂, 且受岸边建筑、碎云影响易产生大量与舰船目标高相似虚警, 给舰船检测带来极大干扰, 传统海洋舰船检测算法难以有效提取利于检测的鉴别性特征, 导致舰船检测率低、虚警率高。鉴于此, 本文从低虚警、低漏检角度, 提出一种结合层次化搜索与视觉残差网络的光学舰船目标检测方法。首先基于纹理积分图分割出海陆区域; 其次, 结合多尺度局部结构特征提取目标候选区域; 然后, 通过基于多维度视觉特征的层次化策略进行初级虚警剔除; 最后, 基于视觉残差网络对疑似候选区进行精细化虚警剔除, 得到最终检测结果。基于 GF2 光学遥感数据对本文所提算法进行测试验证, 本文算法综合检测率 92.0%, 虚警率 12.58%, 平均处理时间 0.5 s, 检测效果好、效率高, 对各种场景的适应性好, 可实现复杂环境光学舰船的准确、高效检测定位。

**关键词:** 光学舰船; 纹理积分图; 层次化虚警剔除; 视觉残差网络**中图分类号:** TP391**文献标志码:** A

徐安林, 杜丹, 王海红, 等. 结合层次化搜索与视觉残差网络的光学舰船目标检测方法[J]. 光电工程, 2021, 48(4): 200249  
Xu A L, Du D, Wang H H, et al. Optical ship target detection method combining hierarchical search and visual residual network[J]. *Opto-Electron Eng*, 2021, 48(4): 200249

## Optical ship target detection method combining hierarchical search and visual residual network

Xu Anlin<sup>1</sup>, Du Dan<sup>1\*</sup>, Wang Haihong<sup>1</sup>, Zhang Qiang<sup>1</sup>, Li Yazhe<sup>2</sup><sup>1</sup>Tracking and Communication Technology Research Institution in Beijing, Beijing 100094, China;<sup>2</sup>Beijing Institute of Remote Sensing Information, Beijing 100192, China

**Abstract:** The star/airborne optical remote sensing image has a wide field of view and a complex scene. It is easy to produce a large number of false alarms that are similar to the ship's target due to the impact of the shore construction and broken cloud, causing great interference to the ship's detection. Traditional marine ship detection algorithms are difficult to be effective extracting discriminative features that are conducive to detection, results in low detection rates and high false alarm rates for ships. In view of this, this paper proposes an optical ship target detection method combining hierarchical search and visual residual network from the perspective of low false alarm and low missed detection. Firstly, the land and sea area are segmented based on the texture integral map; secondly, the target candidate area is extracted by combining the multi-scale local structural features; then, the primary false alarm is

收稿日期: 2020-07-06; 收到修改稿日期: 2020-11-20

作者简介: 徐安林(1984-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事航天系统总体的研究。E-mail: springerxal@163.com

通信作者: 杜丹(1979-), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事航天系统总体的研究。E-mail: 16726368@qq.com

版权所有©2021 中国科学院光电技术研究所

removed by the layered removal strategy based on multi-dimensional visual features; finally, the visual residuals are built the network finely removes false alarms from suspected candidate areas to obtain the final detection result. Based on the GF2 remote sensing GF2 set, the algorithm proposed in this paper is tested and verified. The comprehensive detection rate of this algorithm is 92.0%, the false alarm rate is 12.58%, the average processing time is 0.5 s, the detection effect is good, the efficiency is high, and the adaptability to various scenes is good. It can achieve accurate and efficient detection and positioning of optical ships in complex environments.

**Keywords:** optical ship; texture integral map; hierarchical false alarm rejection; visual residual network

## 1 引言

光学遥感具有成像清晰、分辨率高、侦察范围广的优势,尤其对目标视觉特性具有较好的表征。近年来,随着传感器与成像技术的日益提高,高分系统所获取的图像数据中目标细节更加丰富,与海面对比度更加强烈,基于海量数据的舰船目标预判也更加复杂,对舰船目标检测算法提出了更高的要求。为提高信息获取时效性,利用光学目标特性和遥感图像解译技术,完成遥感图像海面舰船目标快速筛选和自动检测,已成为未来高分光学数据舰船目标快速检测的必然要求。

目前高分光学图像舰船检测方法主要有三类,基于区域分割的检测技术<sup>[1-3]</sup>、基于变换域的检测技术<sup>[4-6]</sup>和基于深度学习的检测技术<sup>[7-8]</sup>。基于区域分割的检测技术基本思想是利用舰船目标与周围海域在灰度、纹理上的差异性,构造局部区域增强算法和自适应阈值迭代算法获取分割阈值,再利用该阈值对原始图像进行分割,获得舰船候选区域。例如:文献[9]引入域内一致性、域间差异性和形状复杂度 3 个指标对舰船进行分割提取;基于变换域的检测技术将时域中难以有效分离的舰船目标在小波域或频域进行重构,从而增加目标的区分性。例如:文献[10]提出了一种基于小波变换的光学遥感图像目标检测算法,该算法能有效地去除噪声和干扰;基于深度学习的检测技术基本思

想为借助深度学习强大的特征提取能力构建专用检测骨干基础网络,结合检测 head 和位置回归策略实现舰船目标的检测。例如:对 R-FCN 中的特征提取网络 ResNet 进行混合尺度卷积核处理,利用 R-FCN 提取海洋舰船目标。以上检测技术均利用舰船、虚警、海背景三者之间的差异性对舰船进行提取和鉴别,但遥感图像场景复杂、随机,存在较多的噪声和干扰,上述算法难以有效平衡检测性能和处理效率之间的关系,难以实现高效、准确的舰船检测。

针对光学遥感图像特点及上述存在的问题,本文提出了一种结合层次化搜索与视觉残差网络的光学舰船目标检测方法,通过基于纹理积分图的海陆分割处理、基于多尺度局部结构特征的候选区提取技术、基于多维度视觉特征的层次化虚警剔除技术、基于视觉残差网络的精细化虚警剔除技术实现光学舰船低虚警、低漏检、高效检测处理。算法流程如图 1 所示。

## 2 本文检测算法

### 2.1 基于纹理积分图的海陆分割技术

本文所重点关注的舰船目标均分布在海面上,大视场光学遥感图像中存在大规模无效陆地区域,给舰船检测带来大量虚警干扰和运算负担。因此,在对舰船进行检测之前,需借助海陆分割算法对陆地区域进行有效屏蔽。

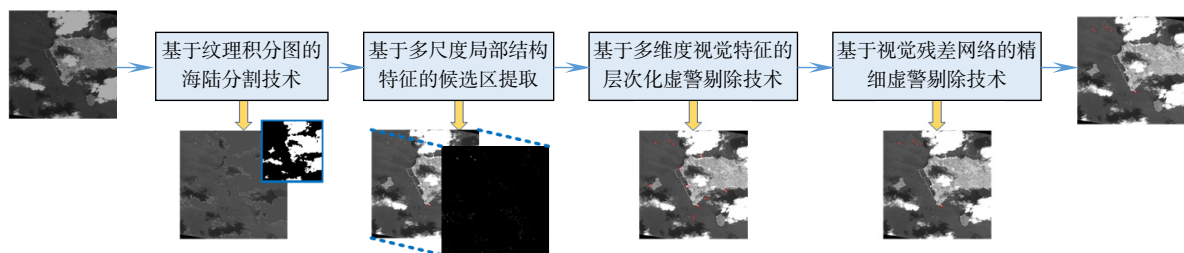


图 1 本文检测算法流程图

Fig. 1 The flow chart of the detection algorithm in this paper

本文采用基于纹理积分图的海陆分割技术实现以上任务需求, 该技术利用海面与陆地区域在梯度纹理上的差异性对两种典型地物类型实现有效分离。为排除高纹理舰船目标对区域分割带来的影响, 首先对原始图像进行 32 倍均值降采样处理, 该操作也可进一步减少纹理分割的运算负担。

其次, 对降采样后的图像进行纹理积分图重绘, 步骤如下:

1) 对降采样后的图像进行逐点梯度计算, 获得梯度图像;

2) 构造 3×3 的滑动窗口, 对梯度图像进行纹理积分图重绘, 即窗口覆盖区域像素以该区域像素点灰度均值进行重新赋值, 得到最终纹理积分图。

最后, 利用均值双峰迭代算法对所获得的纹理积分图进行自适应分割阈值求取, 并根据求取的分割阈值对纹理积分图进行二值化分割, 得到海陆分割模板。根据模板对陆地区域对应的像素进行屏蔽, 海陆分割结果如图 2 所示。

### 2.2 基于多尺度局部结构特征的候选区提取技术

遥感图像中舰船目标往往稀疏分布, 从大视场海面中快速、准确地分离出舰船候选区域, 是保证舰船检测率的重要前提。传统的目标候选区提取技术往往基于舰船灰度显著高于周域海洋背景这一假设前提设计提取策略, 对海面弱暗目标或涂装目标区域提取效果不佳。分析可知, 舰船目标的能量在局部背景中具有较强的显著性, 即舰船在局部范围内与背景有较大差异。基于此, 本文设计基于多尺度局部结构特征的候选区提取策略, 一方面增强舰船目标与周围海域的对比度关系, 另一方面可有效提取各种海况等级下的舰船目标, 流程如图 3 所示。

本文构造两个具有良好表征能力的局部结构特

征, 即局部方差和局部熵。该特征可以有效地表征图像局部窗口内灰度分布的复杂情况, 但是其作用效果与所选尺度有关, 当尺度较小或较大时都可能无法正确反映局部区域内灰度分布的变化情况。本文构造的多尺度局部熵和方差计算分别为

$$H(x,R) = -\sum_{g \in \{1, \dots, r\}} p(g, x, R) \lg p(g, x, R) \quad (1)$$

$$D(x,R) = \sum_{(i,j) \in R} [g(i,j) - \frac{1}{S_R} \sum_{(i,j) \in R} g(i,j)]^2 \quad (2)$$

其中:  $H(x,R)$  代表以  $x$  为中心的局部区域  $R$  内的熵,  $p(g, x, R)$  代表以  $x$  为中心的局部区域  $R$  内灰度  $g$  出现的概率,  $D(x,R)$  代表以  $x$  为中心的局部区域  $R$  内的方差,  $i, j$  代表区域  $R$  内像素的坐标,  $g(i, j)$  代表像素  $(i, j)$  的灰度值,  $S_R$  代表区域  $R$  内的像素总数。

对于舰船区域, 其局部熵和方差随尺度变化所产生的变化量要明显大于平缓的海面背景。本文利用多尺度下的方差与熵乘积的最大与最小值之差来表征图像中的所有像素, 进而达到凸显双极性舰船区域的目的。

经过多尺度局部结构特征处理后, 图像中舰船目标和其他过渡区域都得到了有效的增强。结合光学舰船图像的特点, 本文利用多尺度局部结构特征和梯度方向方差构建二维直方图, 通过最大类间方差法对强化后图像进行分割, 并对分割后图像进行连通域标记, 获得疑似目标候选区。

### 2.3 基于多维度视觉特征的层次化虚警剔除技术

大幅宽遥感场景复杂, 提取出的疑似目标区域中夹杂大量海洋杂波、碎云以及近岸人工建筑, 导致虚警数量多。根据虚警与舰船目标的相似程度构建不同复杂程度的虚警剔除策略, 从而层层递进、高效实现多类型虚警剔除。虚警剔除策略主要包括: 基于目标尺度特征的剔除、基于目标上下文特征的剔除和基于

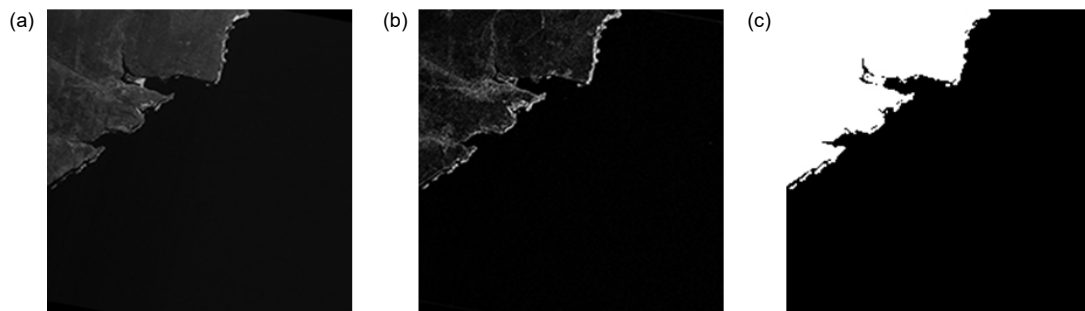


图 2 基于纹理积分图的海陆分割技术流程图。(a) 原始图; (b) 纹理积分图; (c) 海陆分割结果

Fig. 2 Flow chart of the sea and land segmentation technology based on texture integral image.

(a) Original image; (b) Texture integral image; (c) Result of sea and land segmentation

目标纹理特征的剔除三个阶段。

- 1) 基于目标尺度特征的剔除: 构建尺度滤波器对尺度过小和过大疑似目标进行剔除;
- 2) 基于目标上下文特征的剔除: 以疑似候选区为中心, 选取周围多个区域构成共生矩阵纹理描述子, 依靠决策判据进行虚警剔除;
- 3) 基于目标纹理特征的剔除: 提取目标自身多尺度纹理特征, 包括 Gabor、LBP、共生矩阵等, 输入向量机进行虚警剔除。本文构造的 SVM 模型和 RBF 核函数如下:

$$y(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K(\mathbf{x}, \mathbf{x}_i) + \mathbf{b} \quad (3)$$

$$K(\mathbf{x}, \mathbf{x}_i) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (4)$$

式中:  $\mathbf{x}_i$  为训练数据得到的支持向量, 个数为  $n$ ;  $\mathbf{x}$  为待判定图像提取的特征向量,  $\alpha_i$  为第  $i$  个支持向量对应的解,  $\mathbf{b}$  为对应支持向量的偏置,  $\sigma$  为函数的宽度参数。

### 2.4 基于视觉残差网络的精细虚警剔除技术

通过层次化虚警剔除, 可剔除大量与舰船在形状、尺度、纹理差异较大的虚警, 但部分碎云与舰船在浅层特征上存在较为相似, 难以有效鉴别。本文借助深度学习强大的特征提取能力对舰船进行进一步精细化剔除, 以保障检测过程的低虚警。本文以 ResNet-18 残差网络模型作为基础网络, 引入具有特征图选择机制的视觉注意模块, 极大提升特征图的利用效率, 提高网络的鉴别能力。

ResNet-18 网络模型结构如图 4 所示。

网络共有 4 个 Layer 模块层, 每一个模块均由两个基本残差块 BasicBlock 组成, 残差块构造如图 4 下排结构所示。其中, Layer1 残差块中卷积核维数为 64, Layer2 残差块中卷积核维数为 128, Layer3 残差块中卷积核维数为 256, Layer4 残差块中卷积核维数为 512。Max pool 和 Average pool 层分别为最大值池化层和均值池化层, 对特征具有抽象和聚合效果。网络输出采

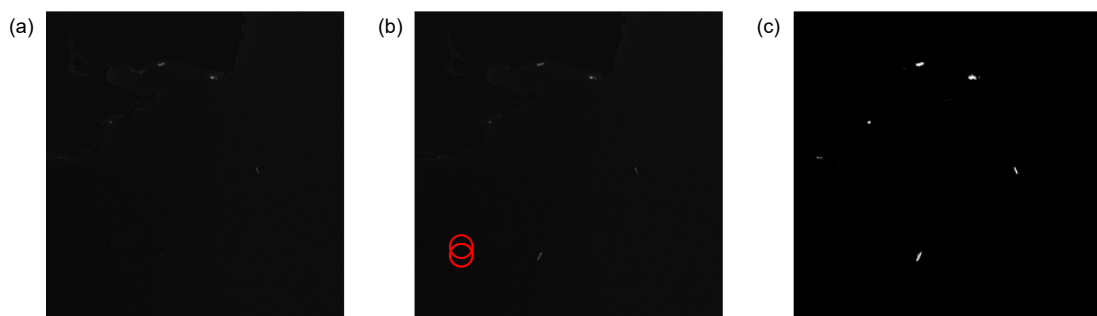


图 3 基于多尺度局部结构特征的候选区提取技术流程图。(a) 陆地屏蔽图; (b) 增强图; (c) 候选区提取结果  
Fig. 3 Flow chart of candidate area extraction technology based on multi-scale local structural features.  
(a) Land shield image; (b) Enhanced image; (c) Result of candidate area

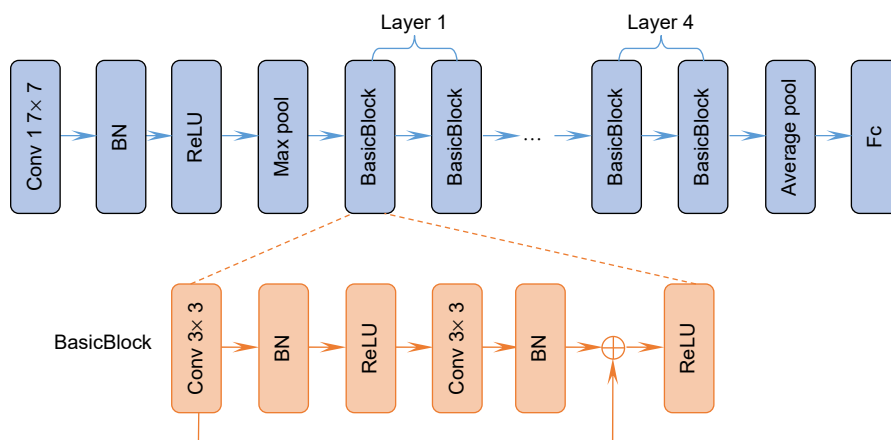


图 4 ResNet-18 网络结构图  
Fig. 4 ResNet-18 network structure diagram

用 Fc 全连接层, 在其后接 Softmax 层做概率计算和类别划分。

本文方法在以上基础结构的基础上引入视觉注意机制模块, 具体模块构造如图 5 所示。其中, 全连接层 Fc1 的通道数为 16, Fc2 的通道数为 32, Fc3 的通道数为 512。尺度聚合模块将特征图优选后输出的权重系数加权到残差网络上, 实现对鉴别特征的二次优化。整个过程表达式:

$$X_i = S_c * U_c, \quad (5)$$

其中:  $U_c$  为 ResNet-18 最后一层中某特征图,  $S_c$  为训

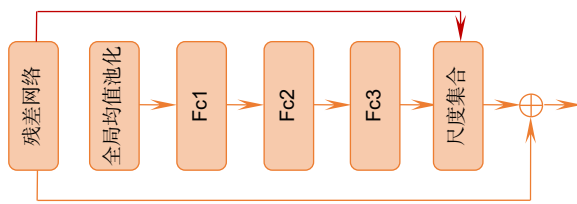


图 5 视觉注意机制模块结构图

Fig. 5 Visual attention mechanism module structure diagram

练学到的加权系数,  $X_i$  为输出。

### 3 仿真实验结果与分析

为验证本文算法的有效性, 基于 GF2 光学遥感数据, 在搭载 GTX 1080Ti 显卡的服务器上运行本文算法, 通过计算舰船目标的性能指标对检测结果进行主观评价。性能评价指标采用通用经典的检测率和虚警率。

实验中选取 120 景含有舰船目标的 GF2 光学遥感数据(单景大小  $4096 \times 4096$ ), 其中包括远洋海域、近岸港口、河道区域等场景类型及各种海况。检测率和虚警率测试结果统计如表 1 所示。

由表 1 可看出, 本文算法对各种海况下各类型场景的舰船目标均具有较好的检测效果, 综合检测率可达 92%, 虚警率 12.58%, 且对单景图像( $4096 \times 4096$ )平均处理时间 0.5 s, 本文算法在处理效率和处理精度上实现了较好的平衡。

表 1 处理结果统计

Table 1 Statistics of processing results

场景分类	图像景数	检测舰船数量	真实舰船数量	虚警个数	检出目标总数	检测率/%	虚警率/%	处理时间/s
远洋海域	50	210	225	24	234	93.33	10.26	0.52
近岸港口	40	325	350	46	371	92.86	12.40	0.50
河道区域	30	431	475	69	500	90.74	13.80	0.48
总计	120	966	1050	139	1105	92.00	12.58	0.50

表 2 三种算法的性能对比

Table 2 Performance comparison of three algorithms

算法名称	检测率/%	虚警率/%	处理时间/s
Faster-Rcnn	90.36	13.27	2.63
ssd(vgg-16)	87.24	14.35	0.95
本文算法	92.00	12.58	0.50

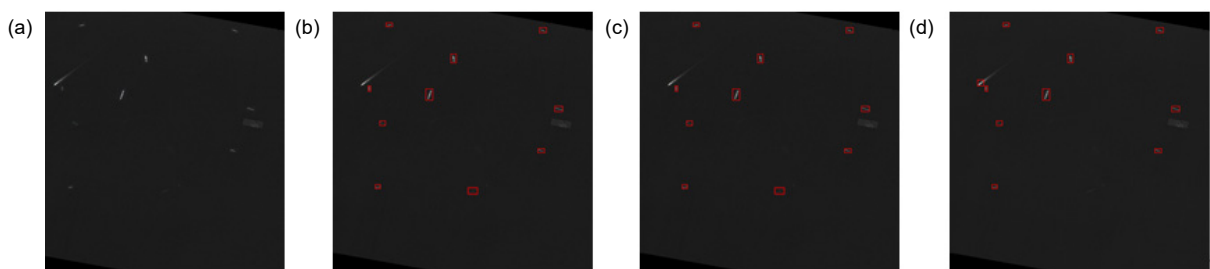


图 6 三种算法远洋海域检测结果一。(a) 原图; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) 本文算法

Fig. 6 The first detection results of three algorithms in ocean.

(a) Original image; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) The algorithm of this paper

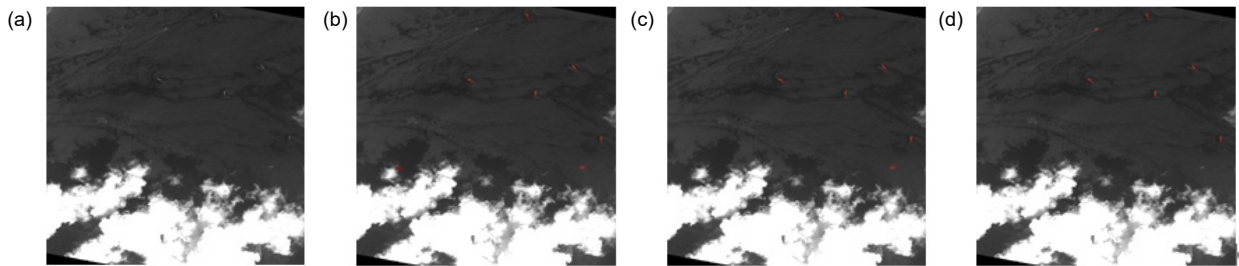


图 7 三种算法远洋海域检测结果二。(a) 原图; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) 本文算法

Fig. 7 The second detection results of three algorithms in ocean. (a) Original image; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) The algorithm of this paper

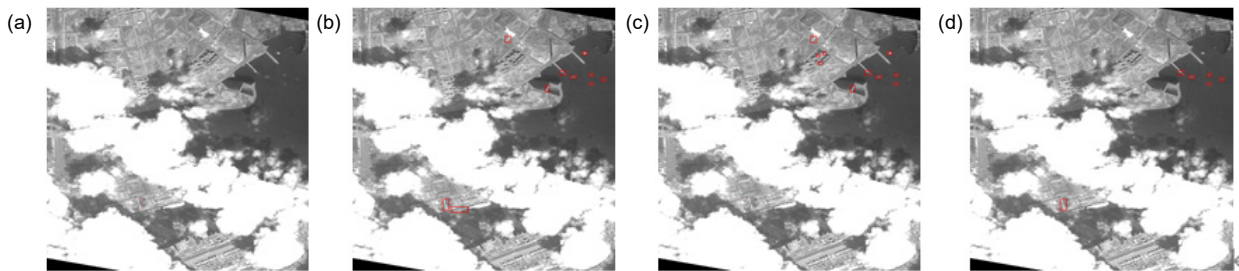


图 8 三种算法港口检测结果一。(a) 原图; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) 本文算法

Fig. 8 The first detection results of three algorithms in port. (a) Original image; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) The algorithm of this paper

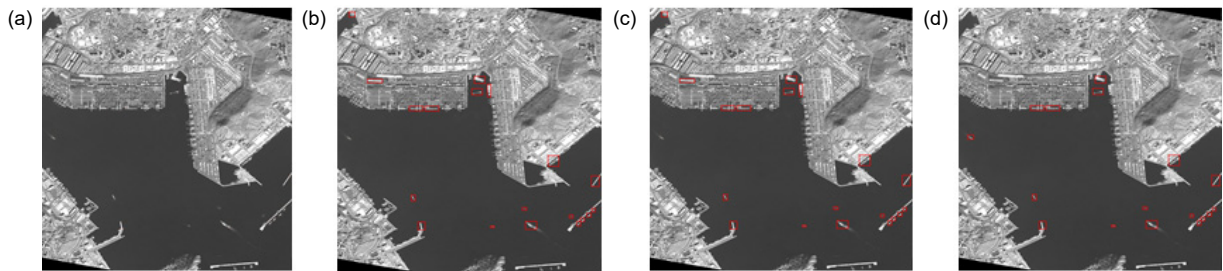


图 9 三种算法港口检测结果二。(a) 原图; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) 本文算法

Fig. 9 The second detection results of three algorithms in port. (a) Original image; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) The algorithm of this paper

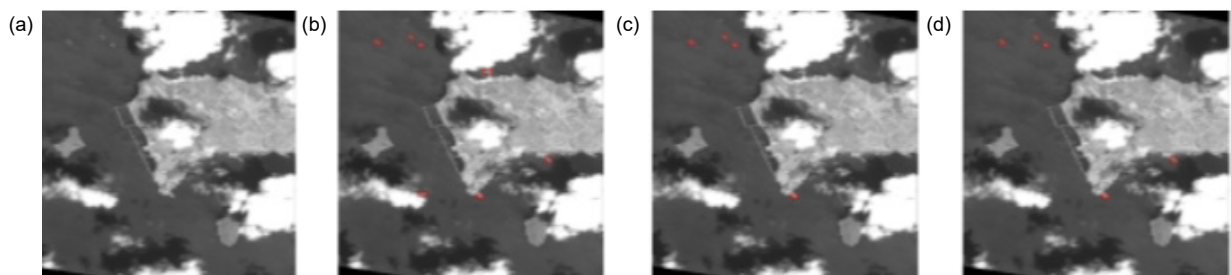


图 10 三种算法河道水域检测结果一。(a) 原图; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) 本文算法

Fig. 10 The first detection results of three algorithms in river. (a) Original image; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) The algorithm of this paper

基于 GF2 实测数据, 利用本文算法与经典检测算法 Faster-Rcnn、ssd(以 vgg-16 作为基网络)对测试数据进行检测处理, 统计检测率、虚警率、处理时间三项性能指标, 如表 2 所示。

本文算法对各种场景的典型检测结果如下图所

示。

由图 6、图 7 可以看出, 本文算法对高海况、平静海面、大云覆盖下的远洋舰船均具有较好的检测效果, 且虚警剔除能力强; 由图 8、图 9 可以看出, 在近岸港口区域本文算法可有效抑制岸边建筑带来的虚

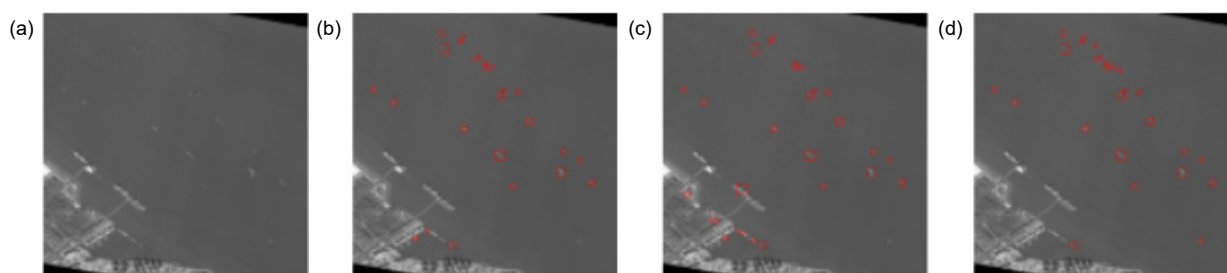


图 11 三种算法河道水域检测结果二。(a) 原图; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) 本文算法

Fig. 11 The second detection results of three algorithms in river. (a) Original image; (b) Faster-Rcnn; (c) ssd; (d) The algorithm of this paper

警干扰, 实现复杂场景下舰船目标的高置信检测; 由图 10、图 11 可以看出, 对于环境更为复杂、干扰因素更多的河道区域, 本文算法依然可以实现舰船目标的可靠检测, 且虚警数量较少。综上所述, 本文所提算法可较好兼顾处理效率和处理性能之间的平衡关系, 层次化搜索策略和深度学习网络的配合使用极大增加了算法的实际应用效能。

## 5 结论

针对光学遥感图像视场大、场景复杂导致舰船检测过程检测率低、虚警多的问题, 从平衡检测准确性和检测效率的角度, 本文提出了一种低虚警、低漏检、高效舰船检测技术。该技术的优点在于: 1) 通过基于纹理积分图的海陆分割技术快速屏蔽陆地区域, 提升算法处理效率, 同时有效地剔除陆地虚警的干扰; 2) 结合多尺度局部结构特征提取目标候选区域, 较好解决低质目标检测率低的问题; 3) 通过层次化虚警提出策略与视觉残差网络的搭建, 层层递进剔除各类型虚警, 提高算法效率。实验结果表明, 本文方法对于各种海况、场景的舰船目标都有较高的检测率, 准确率高、处理效率高, 实现光学遥感舰船目标的低虚警、低漏检检测。

## 参考文献

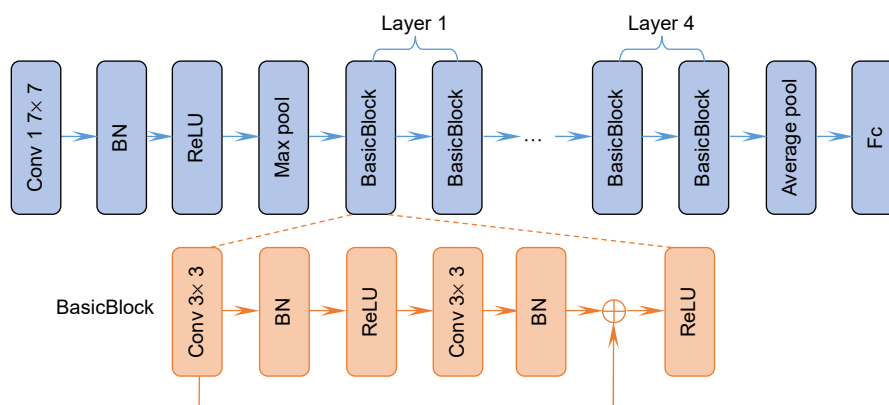
- [1] Yang F, Xu Q Z, Li B. Ship detection from optical satellite images based on saliency segmentation and structure-LBP feature[J]. *IEEE Geosci Remote Sens Lett*, 2017, **14**(5): 602–606.
- [2] Zhang X. A method for ship detection and recognition in port area based on template matching and deep learning[J]. *Inform Technol Inform*, 2019(4): 59–63.  
张旭. 基于模板匹配和深度学习的港口舰船检测识别方法[J]. *信息技术与信息化*, 2019(4): 59–63.
- [3] Xu F, Liu J H, Dong C, et al. Ship detection in optical remote sensing images based on wavelet transform and multi-level false alarm identification[J]. *Remote Sens*, 2017, **9**(10): 985.
- [4] Li Q F, He B, Wang W S, et al. Ship detection based on spectral residual and gradient texture fusion features[J]. *Chin J Liq Cryst Display*, 2019, **34**(8): 803–815.  
李庆峰, 何斌, 王文胜, 等. 基于谱残差和梯度纹理融合特征的舰船检测[J]. *液晶与显示*, 2019, **34**(8): 803–815.
- [5] Leng X G, Ji K F, Zhou S L, et al. Ship detection based on complex signal kurtosis in single-channel SAR imagery[J]. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 2019, **57**(9): 6447–6461.
- [6] Gao G, Huang K H, Gao S, et al. Ship detection based on oceanic displaced phase center antenna technique in along-track interferometric SAR[J]. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens*, 2019, **12**(3): 788–802.
- [7] Shi C, Chen E Q, Qi L. Ship detection from infrared video[J]. *Opto-Electron Eng*, 2018, **45**(6): 170748.  
石超, 陈恩庆, 齐林. 红外视频中的舰船检测[J]. *光电工程*, 2018, **45**(6): 170748.
- [8] Zhao P H, Meng C N, Chang S J. Single stage ship detection algorithm based on improved VGG network[J]. *J Optoelectron Laser*, 2019, **30**(7): 719–730.  
赵蓬辉, 孟春宁, 常胜江. 基于改进 VGG 网络的单阶段舰船检测算法[J]. *光电子·激光*, 2019, **30**(7): 719–730.
- [9] Wang M, Chen J Y, Wang G, et al. High resolution remote sensing image ship target detection technology based on deep learning[J]. *Optoelectron Lett*, 2019, **15**(5): 391–395.
- [10] Wang S M, Han L L. Moving object detection under complex dynamic background[J]. *Opto-Electron Eng*, 2018, **45**(10): 180008.  
王思明, 韩乐乐. 复杂动态背景下的运动目标检测[J]. *光电工程*, 2018, **45**(10): 180008.

# Optical ship target detection method combining hierarchical search and visual residual network

Xu Anlin<sup>1</sup>, Du Dan<sup>1\*</sup>, Wang Haihong<sup>1</sup>, Zhang Qiang<sup>1</sup>, Li Yazhe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tracking and Communication Technology Research Institution in Beijing, Beijing 100094, China;

<sup>2</sup>Beijing Institute of Remote Sensing Information, Beijing 100192, China



ResNet-18 network structure diagram

**Overview:** The star/airborne optical remote sensing image has a wide field of view and a complex scene. It is easy to produce a large number of false alarms that are similar to the ship's target due to the impact of the shore construction and broken cloud, causing great interference to the ship's detection. Traditional marine ship detection algorithms are difficult to be effective extracting discriminative features that are conducive to detection, results in low detection rates and high false alarm rates for ships. In view of this, this paper proposes an optical ship target detection method combining hierarchical search and visual residual network from the perspective of low false alarm and low missed detection, comprehensive utilization of advanced processing ideas of artificial intelligence. Firstly, the land and sea area is segmented based on the texture integral map; secondly, the target candidate area is extracted by combining the multi-scale local structural features; then, the primary false alarm is removed by the layered removal strategy based on multi-dimensional visual features; finally, the visual residuals are built the network finely removes false alarms from suspected candidate areas to obtain the final detection result. Based on the GF2 remote sensing GF2 set, compared with the current more typical ship inspection technology, the algorithm proposed in this paper is tested and verified. The comprehensive detection rate of this algorithm is 92.0%, the false alarm rate is 12.58%. The average processing time is 0.5 s, the detection effect is good, the efficiency is high, and the adaptability to various scenes is good. It can achieve accurate and efficient detection and positioning of optical ships in complex environments. The advantages of this technology are: 1) The land area is quickly shielded by the sea, and land segmentation technology based on the texture integral map, which improves the processing efficiency of the algorithm and effectively eliminates the interference of false land alarms; 2) Combines multi-scale local structure features to extract target candidates area, better solve the problem of low detection rate of low-quality targets; 3) Through hierarchical false alarms to propose strategies and the construction of visual residual network, gradually eliminate all types of false alarms, improve the efficiency of the algorithm. The ship target detection method proposed in this paper can be applied to the detection system of on-orbit or ground ships, and it plays an important role in the rapid and accurate detection of remote sensing moving targets. Simultaneously, the algorithm in this paper can also be applied to other rapid processing tasks of remote sensing targets. It can break through the bottleneck problem of insufficient accuracy of traditional algorithms and limited timeliness of deep learning algorithms and has a larger practical application prospect.

Xu A L, Du D, Wang H H, *et al.* Optical ship target detection method combining hierarchical search and visual residual network[J]. *Opto-Electron Eng*, 2021, 48(4): 200249; DOI: 10.12086/oe.2021.200249

\* E-mail: 16726368@qq.com