Sentinel-2 卫星的多光谱轻量级船舶目标检测算法

陈 丽^{1, 2, 3}, 王世勇^{1, 3}, 高思莉^{1, 3}, 谭 畅^{1, 2, 3}, 李临寒^{1, 2, 3}

1. 中国科学院上海技术物理研究所,上海 200083

2. 中国科学院大学,北京 100049

3. 中国科学院红外探测与成像技术重点实验室,上海 200083

摘 要 近年来深度卷积神经网络在可见光船舶检测方面取得了显著的进展,然而,大多数相关研究是通 过改进大型的网络结构来提高检测性能,因此加大了对更高计算机性能的需求。此外,可见光图像难以在 云、雾、海杂波、黑夜等复杂场景检测到船舶。针对以上问题,提出了一种融合红(red,R)、绿(green,G)、 蓝(blue,B)和近红外(NIR)4个波段光谱信息的由粗到精细的轻量型船舶检测算法。与现有的方法中根据光 谱特性利用水体检测算法提取水体区域不同之处是该算法是利用改进的水体检测算法来提取船舶候选区 域。为获取更准确的候选区域,对船舶、厚云、薄云、平静海面、杂波海面5种场景中4个波段的像素值进 行了统计分析,选取近红外大于阈值作为辅助判断,并以其中心点获取候选区域32×32大小的切片,并对 切片进行非极大值抑制,由此获得了船舶粗检测结果。随后构建了轻量级LSGFNet网络对船舶候选区域切 片进行精细识别。构建的网络融合了1×1卷积提取的波谱特征与3×3的提取几何特征,为防止光谱特征与 几何特征的信息在融合时"信息不流通",在LSGFNet网络中引入了ShuffleNet中的通道打乱机制,并减小 了模型结构,与典型的轻量级网络相比具有更好的效果且模型较小。最后,利用 Sentinel-2 卫星多光谱 10 m 分辨率数据构建了512×512大小的1 120 组数据进行粗检测,以及 32×32 大小的 6 014 组数据进行精细网 络训练,其中候选区域粗提取的查全率为 98.99%,精细识别网络精确度为 96.04%,不同场景下的平均精 确度为 92.98%。实验表明该算法在抑制云层、海浪杂波等干扰的复杂背景下具有较高的检测效率,且训练 时间短、计算机性能需求低。

关键词 多光谱;水体指数法;轻量级网络;Sentinel-2 中图分类号:P237 文献标识码:A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)09-2862-08

引 言

随着各国卫星数量的不断增加、卫星图像质量逐渐提高,这为海洋安全、海洋监视等相关研究带来了新的机遇。 舰船目标检测是海洋监视的重要手段之一,在维护国家安 全、海上交通、污染治理、边境管理等方面都有广泛的应用。 从1978年开始,利用遥感图像检测船舶受到越来越多的关 注,近年来,这种趋势还在继续。其中因可见光图像分辨率 高,富含丰富的细节信息,有利于目标的检测和识别,因此 为现利用光学遥感图像进行船舶目标检测的主要研究内 容^[1-3],但可见光图像在复杂背景中难以识别船舶目标。由 于海洋背景容易受到光照条件、云雾遮掩、海杂波等影响, 在这种复杂背景下可见光检船舶测精度较低,不满足实际场 景的检测需求。因此研究者们引入多光谱图像,利用不同目标在不同波段下的反射率,船舶目标检测提供更多的信息, 用于辨别受到云层、雾气、阴影等干扰的船舶目标。目前, 利用多光谱遥感数据的进行船舶目标检测情况如下^[46]。文 献[4]利用 G 和 MIR 波段提取掩膜,并结合 NIR 与红波段 提取船舶候选区域,最后利用决策树进行船舶候选区域准确 分类,但该方法只考虑了其光谱信息,没有考虑船舶结构形 状等信息。文献[5]中提出了由粗到细粒度的船舶目标检测, 利用不同波段之间的反射率梯度进行随机森林算法求出获选 区域,结合当前流行的 CNN 检测算法提出了轻量级特征融 合网络进行精细识别,该算法具有 97%的精确率,但需要引 用地理数据信息制作陆地掩膜,且算法较为复杂。文献[6] 针对传统显著性检测算法无法适用于复杂场景的问题,将 NIR 于 RGB 图像融合,对融合图像进行显著性检测,但该

作者简介: 陈 丽, 女, 1995 年生, 中国科学院上海技术物理研究所博士研究生

e-mail: 595043997@qq.com

收稿日期: 2021-08-19,修订日期: 2021-11-23

基金项目:国家"十三五"预研项目(104040402)资助

方法只简单将 NIR 与 RGB 图像融合,没有考虑其波段的光 谱特性,且仍难以适用于有云等场景。

由此可见,利用光谱信息,可以在复杂背景下提取出船 舶目标。基于此,本文提出了一种融合多光谱信息与几何信 息的轻量级网络算法以实现在各种场景下的舰船目标的检测 算法。

基于多光谱的轻量级船舶目标检测算法 框架

本文提出的融合 4 个波段光谱信息和几何信息的由粗到精细 的轻量型船舶检测算法步骤如下:

(1) 数据预处理

卫星传感器最终测得的地面目标总辐射亮度并不是物体 的真实反射率,其中包含了大气吸收、反射和散射引进的误 差。因此,为获取物体的真实反射率需对其进行大气校正。 对 Sentinel-2 卫星数据 level-1C 产品进行大气校正,随后将 获取的宽幅图像(10 980×10 980)进行裁剪,并从中筛选出 包含船舶的图像进行标注,如图 1 所示。



图 1 大气校正前后图像对比 (a):大气校正前;(b):大气校正后 Fig. 1 Comparison of images before and after atmospheric correction

(a): Before atmospheric correction;(b): After atmospheric correction

(2) 目标粗提取

利用船舶与水体在相同波段下具有不同吸收率的波谱特性,提出改进的水体检测算法提取船舶候选区域,并分析不同场景下的波段特性,在检测结果中利用分析结果做辅助判断。随后对其进行形态学滤波闭运算,并用极大值抑制(NMS)算法去除重叠候选区域,最终得到候选区域切片。

(3) 目标精检测

大型的网络需要强大计算能力和储存能力,难以适用于 小型设备,故构建了一个轻量级的融合四个波段光谱信息与 几何信息的 LSGFNet(lightweight spectral feature and geometric feature fusion network)网络对候选区域进行船舶目标 再次确认。其整体流程如图 2 所示。

2 候选区域粗提取

遥感影像是基于不同地物对电磁波的反射以及地物本身

的辐射信息产生^[7]。图3显示了典型地物的波谱特征。水的 反射主要集中在蓝绿波段,其他的波段吸收率很强,特别在 近红外、中红外波段有很强的吸收带,反射率几乎为零。根 据水体的这一特点,遥感影像处理中常常利用近红外波段确 定水体的位置和轮廓。对于海面图像,若去除水体,即可获 得船舶候选区域。



图 2 算法流程图





rigio spectra ca tes or typical surface reatary

2.1 改进的归一化水体指数法 PNDWI

在遥感影像处理中研究者们已经提出了多种水体提取算法,常用的方法之一为基于模型分类的光学影像水体提取法,可以分为单波段法和多波段法,其中多波段法又分为谱间关系法和水体指数法^[8]。本工作采用水体指数法。水体指数法是利用光谱反射特征强的波段与反射特征弱的波段构建比值运算,进一步扩大二者差异,从而突出水体信息,抑制非水体信息。最早由 Mcfeeters 利用绿光波段和近红外波段构建了 NDWI,水体在 G 波段反射率较强,NIR 吸收率强,而植被、土壤等地物在 NIR 的反射率强于 G 波段的反射率,可以用于提取水体,其计算公式如式(1)

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$$
(1)

式(1)中,当 NDWI>Th 时为水体,Th 为阈值,通常取 0。 但此算法适用于较为纯净的水体,当水中含有其他物质时, 反射光谱曲线会改变,导致其结果较差。如当水含有泥沙 时,可见光波段发射率会增加,峰值出现在黄红区,此时用 NDWI算法提取水体效果较差。基于此,本工作对 NDWI算 法进行改进,以便在水体含有泥沙作用时仍能较好的检测出 水体,改进公式如式(2)和式(3)

$$PNDWI_{(x, y)} = \frac{MP_{(x, y)} - NIR_{(x, y)}}{MP_{(x, y)} + NIR_{(x, y)}}$$
(2)

$$MP_{(x, y)} = \max(R_{(x, y)}, G_{(x, y)}, B_{(x, y)})$$
(3)

式中:(x,y)为图像坐标,求得的值为每一个像素对应的归 一化水体指数。

图 4 对比了在含泥沙海水和不含泥沙海水中利用 NDWI 算法和本算法提取水体对比图,为了便于观察,这里将水体 检测结果进行了取反操作,即黑的区域为水体,白色区域为 非水体。

由图 4 可以看出, PNDWI 算法可以有效提取含泥沙海 水的水体检测,且对于不含泥沙海水仍有较好的水体检测效 果。对于不含陆地的海面图像,可以通过水体检测,获取船 舶候选部分。

同时,对船舶、厚云、薄云、平静海面、杂波海面5种场 景情况进行了统计分析,每种场景都在不同的图像上采集8 ×8 区域的200幅子图像。图5给出了5种场景中4个波段 像素值取值范围的盒图以及盒图的解释。每个盒图的横坐标 1,2,3,4分别对应于R,G,B,NIR4个波段,纵坐标为像 素值。在实际数据中总是存在离群点数据,如采集薄云中可 能包含少量水体,采用盒图做统计分析可以减少离群数据导 致的整体特征的偏移。



图 4 NDWI 和 PNDWI 对含泥沙和不含泥沙海水水体提取对比 (a):含泥沙海水 RGB;(b):含泥沙海水 NIR;(c):含泥沙海水 ND-WI:(d):含泥沙海水 PNDWI;(e):不含泥沙海水 RGB;(f):不含 泥沙海水 NIR;(g):不含泥沙海水 NDWI;(h):不含泥沙海 水 PNDWI

Fig. 4 Comparison of NDWI and PNDWI extractions for seawater with and without sediment

(a): RGB image of seawater with sediment; (b): NIR image of seawater with sediment; (c): NDWI for seawater with sediment; (d): PNDWI for seawater with sediment; (e): RGB image of seawater without sediment; (f): NIR image of seawater without sediment; (g): NDWI for seawater without sediment; (h): PNDWI for seawater without sediment



(a):船舶盒图;(b):厚云盒图;(c):薄云盒图;(d):平静海面盒图;(e):杂波海面盒图;(f):盒图图示

Fig. 5 Statistical box plots of pixel values of 5 scenes in 4 bands and box plot interpretation

(a): Ship; (b): Thick clouds; (c): Thin clouds; (d): Smooth sea; (e): Sea clutter; (f): Box plot interpretation

从图 5 的对比看出各个场景均有其分布范围,各场景像 素值范围存在一定的交叉。但在 NIR 波段,可将其他场景与 平静海面场景进行区别,因此这里将设定阈值,当其小于阈 值 T 时,判定为平静海面。将其作为水体检测后的辅助判 断,在此 T 取值为 55。图 6 显示了在水体检测后加入辅助判 断的效果。

2.2 候选区域切片提取

同一船舶由于其不同部件由不同的材料构造,且呈现不

同的颜色,因此,用上述算法猜测出的船舶候选区域可能出 现船体残缺或只检测到了船舶轮廓等情况。为防止后续切片 提取时将同一部分的候选区域划分为两部分,对其进行形态 学滤波闭运算使其保持为同一部分。其公式如式(4)

$$g \bullet B = (g \oplus B) \bigoplus B \tag{4}$$

式(4)中,g表示原图,B表示为结构元素,•表示闭运算, ⊕以及⊖分别代表膨胀和腐蚀操作。

通过上述步骤,即可进行船舶候选区域粗提取。选取以



图 6 辅助判断过程 (a): RGB; (b): NIR; (c): PNDWI; (d): 辅助判断



(a): RGB; (b): NIR; (c): PNDWI; (d): Assisting determination

候选区域为中心点的 32×32 像素的候选区域切片,此步骤 是为防止船舶被多个切片检测到,对候选区域切片做非极大 值抑制(non maximum suppression, NMS)。当切片之间的重 叠面积(IoU)大于 0.1 时,即采用二值图中像素点多的切片。 重叠面积计算公式如式(5)

$$IoU = \frac{A \cap B}{A \cup B}$$
(5)

式(5)中, A和B分别为两个切片坐标位置的面积。

图 7 为最后提取的切片在 RGB 图像中的示意图。由图 7 看出候选区域中存在非船舶的情况,需要进一步精细检测。

3 LSGFNet 网络

随着卷积神经网络在计算机视觉检测任务中的大放异彩,已有一些研究者们将其应用于船舶检测^[9-11]。但这些网络大而复杂需要足够大的计算能力和储存能力,难以满足移动或嵌入式设备储存能力和计算能力小的实际需求。在这种情况下,有研究者们建议使用轻量级模型。轻量化模型设计



图 7 候选区域切片提取实列 Fig. 7 An example of candidate region slice extraction

思想为在模型性能(精度)损失较小的情况下,降低模型大 小,同时提升模型速度。现在典型的轻量级网络模型如 Res-Net^[12]、MobileNetV2^[13]、ShuffleNetV2^[14]均在图像识别邻 域取得了较好的效果。本工作结合 ShuffleNet 网络特点改进 了 ResNet 网络构建了一个轻量级的融合四个波段光谱信息 与几何信息的 LSGFNet(lightweight spectral feature and geometric feature fusion network)网络。

LSGFNet 网络做了如下设想,认为 1×1 卷积提取的为 波谱信息,而 3×3 卷积提取的为形态信息。对于图像上的每 一个像素点,都具有四个波段的光谱信息,通过不断的网络 传递可寻找到可将船舶与非船舶进行区分的特征,如图 8(a) 所示为其中某点的 4 个通道,通过神经网络的传递可以预测 出该点为船舶的概率,这里通过神经网络将各波段的光谱信 息考虑其中,提取的是光谱特征。将其对应到图像中即为 1 ×1 卷积,如图 8(b)所示。

而对于 3×3 卷积,其拥有更大的感受野,可以看作为特 征探测器或者边缘检测器,当网络程度加深时即获取了船舶 的几何信息。



图 8 (a)光谱特征提取示意图, (b)1×1 卷积示意图 Fig. 8 (a)Schematic diagram of spectral feature extraction, (b)1×1 convolution diagram



Fig. 9 Channel shuffling diagram

网络融合波谱特性和几何特性时,为了防止 1×1 卷积 与 3×3 卷积导致的"信息交流不通畅"的问题,引入了 ShuffleNet 中的特征通道有序打乱的步骤,以解决"信息流通问 题",图 9 展示了改进模型引用 ShuffleNet 中的通道打乱示 意图。

LSGFNet 网络网络结构包含了 3 个结构块,在每一个块 结构之前,需要将卷积结果进行融合并利用 Channel shuffle 进行通道打乱,每个块中不采用池化层直接利用的卷积步长 均为 2 实现图像下采样。在网络中的其他卷积均采用步长为 1。在结构块后加入 1×1 卷积加深通道深度,随后利用平均 池化的方式进行映射,最后利用两个全连接层输出结果。设 计的 LSGFNet 网络结构如图 10 所示。



图 10 LSGFNet 网络结构图 Fig. 10 1×1 Diagram of the LSGFNet network structure

4 实验分析

4.1 实验数据

采用公开的 Sentinel-2 卫星光学遥感相机采集的 2021 年 的 R, G, B和 NIR 四波段多光谱图像作为实验素材, 其 4 个 波段的分辨率均为 10 m。其中 R, G, B和 NIR 的中心波长 范围分别为 0.490, 0.560, 0.665 和 0.842 nm。对于不同场 景选取 1 120 组数据进行实验,图片大小为 512×512。数据 图像中船舶大小所占像素为 10~320,即小船在 2×5 个像元 左右,大船在 8×40 个像元左右。

在精检测网络中获取船舶2617组数据,非船舶(即云、 岛屿、海浪杂波等干扰)3424组数据。将图像数据分为训练 集、验证集和测试集3部分,比例为7:2:1。部分数据集数 据样本如图11所示。



图 11 精检测部分数据样本 Fig. 11 Part of the sample data for fine detection

4.2 实验结果分析

采用查全率(Recall)作为粗检测结果的评价指标,用精确率(Precision)、Params和FLOPs(Floating Point Operations)作为精检测网络的评价指标。查全率是指正确预测为 正的船舶占所有真实为正的比例;精确率是指正确预测为正 的船舶占所有预测为正的比例;AP是 Precision-Recall曲线 下的面积,用于分析模型检测的优缺点。FLOPs即模型的运 算次数,也称为时间复杂度;Params为模型的参数量。 Recall和 Precision 计算公式如式(6)—式(8)

$$\operatorname{Re}call = \frac{P_{\mathrm{T}}}{P_{\mathrm{T}} + N_{\mathrm{F}}} \tag{6}$$

$$Precision = \frac{P_{\rm T}}{P_{\rm T} + P_{\rm F}}$$
(7)

$$AP = \int_{0}^{1} \operatorname{Precision}\left(\operatorname{Recall}\right) d(\operatorname{Recall}) \tag{8}$$

式中: PT 为样本为正并且预估为正的比例; PF 为样本为负

预估为正的比例; N_F 为样本为正预估为负的比例。 首先对粗检测算法进行分析,表1给出了粗检测结果。

Table 1	Rough dectection results of snips		
	Recall		
粗检测	98, 99%		

然后,将本精检测算法与现有的典型轻量级算法进行了 对比,batchsize=128,初始学习率 learningrate=0.1,epoch =300。交叉熵作为损失函数,选用随机最速下降法 SGD 为 梯度下降函数,momentum=0.9,权重衰减值 weight_decay =0.00004。每次卷积之后均用了 batch normalize,激活函数 为 relu。表 2 为各算法在测试集的精确率以及各算法的复杂 度和参数量。图 12 分别为各算法迭代 10 000 次的验证集损 失下降图和精确率变化图,各算法采用相同的参数配置。

表 2 测试集轻量型网络算法对比 Table 2 Comparison of lightweight network

algorithms for test set

	$\operatorname{Precision}/\%$	FLOPs/M	Params/M
ResNet18	95.86	557.24	11
MobileNetV2	94.87	94.89	2.3
ShuffleNetV2	95.22	46.34	1.25
LSGFNet	96.04	38.99	1.1

由表 2 可见各算法之间在测试集上的识别精确度相差不 大,LSGFNet 网络的时间复杂度和运算参数均远小于其他 算法,但其在测试集上的识别精确率为 96.04%,略高于其 他算法。图 12 为在验证集上的迭代 10 000 次的损失下降图 和精确率变化图,由图 12 可以看出 LSGFNet 网络能够更快 的拟合且取得更好的效果。结合粗检测与精细检测,将本文 算法与典型算法 Yolov3,SSD 等进行了对比,其中 IoU(Intersection over Union)阈值为 0.5,结果如表 3 所示。

由表 3 结果可以看出,本算法比 YoloV3,SSD 算法的 mAP 值更高,检测效果更好。这是因为所检测的船舶均为较 小的船舶,且只有船舶一种目标,过深的网络容易导致过拟 合,因此本算法比其他算法效果更好。图 13 展示了本算法在 不同场景下的检测效果。





图 12 验证集迭代 10 000 次损失下降(a)和精确率变化(b) Fig. 12 Loss reduction (a) and precision variation (b) of verification set with an interation of 10 000

表:	3 各算	法检测结	果对比	

Table 3 Comparison of detection results by different algorithms

	YoloV3	SSD	Proposed
AP	90.10%	88.49%	92.98%

5 结 论

本算法利用四波段遥感图像,分析光谱信息,有效的解 决了在低储存低计算能力下从复杂背景中检测船舶目标的问 题。算法使用了由粗到精细的检测手段。在粗检测网络中, 利用改进的水体检测算法结合 NIR 像素值取值范围辅助判 断获取船舶候选区域。随后,设计了轻量级 LSGFNet 网络, 并对候选区域进行精细识别,其中粗检测查全率为 98.99%。 LSGFNet 网络算法结合了 1×1 与 3×3 两种卷积模式,分别 提取了 4 个波段的光谱特性与几何特性,并对其进行了融合 处理,最后精检测网络检测精确率为 96.04%。同时将 LSG-



图 13 检测结果 (a): RGB; (b): NIR; (c): 粗检测二值图; (d): 精细检测 Fig. 13 Detection result

(a): RGB; (b): NIR; (c): Binary images of rough detection;(d): Fine detection

FNet 与其他轻量级网络进行了对比,LSGFNet 网络时间复 杂度和模型参数量均最小,说明本模型更轻量,同时检测精 度略高其他网络。最后将本算法整体应用到了 Sentinel-2 卫 星数据,实验结果表明,本算法能够在云层、雾、海浪杂波 干扰的复杂背景中检测到船舶,不同场景下的平均精确率为 92.98%。与现有的 SSD,YOLOV3 算法对比,本算法 AP 值 更高,且无需强大的计算能力和储存能力,更有助于小型设 备进行船舶监测。

References

- Li J, Tian J, Gao P, et al. Ship Detection and Fine-Grained Recognition in Large-Format Remote Sensing Images Based on Convolutional Neural Network. IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2020. 2859.
- [2] Li Z, You Y, Liu F. IEEE Access, 2020, 8: 194485.
- [3] Wang P, Liu J, Zhang Y, et al. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(9): 932.
- [4] Kanjir U. Acta Astronautica, 2019, 155: 45.
- [5] Xie X Y, Li B, Wei X X. Remote Sensing, 2020, 12(5): 792.
- [6] WANG Wen-sheng, HUANG Min, LI Tian-jian(王文胜,黄 民,李天剑). Acta Optica Sinica(光学学报), 2020, 40(17): 191.
- [7] SU Long-fei, LI Zhen-xuan, GAO Fei(苏龙飞, 李振轩, 高 飞). Remote Sensing of Land and Resources(国土资源遥感), 2021, 33 (1): 9.
- [8] ZHOU Peng, XIE Yuan-li, JIANG Guang-xin(周 鹏, 谢元礼, 蒋广鑫). Remote Sensing Information(遥感信息), 2020, 35(5): 9.
- [9] Gong W B, Shi Z S, Wu Z H. International Journal of Remote Sensing, 2021, 42(7): 2622.
- [10] Chen L Q, Shi W X, Deng D X. Remote Sensing, 2021, 13(4): 660.
- [11] Jin L, Liu G D. Symmetry, 2021, 13(3): 495.
- [12] He K, Zhang X, Ren S, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- [13] Sandler M, Howard A, Zhu M, et al. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2018.
- [14] Ma N, Zhang X, Zheng H T, et al. ShuffleNet V2: Practical Guidelines for Efficient CNN Architecture Design. European Conference on Computer Vision, 2018.

Multispectral Lightweight Ship Target Detection Algorithm for Sentinel-2 Satellite

CHEN Li^{1, 2, 3}, WANG Shi-yong^{1, 3}, GAO Si-li^{1, 3}, TAN Chang^{1, 2, 3}, LI Lin-han^{1, 2, 3}

- 1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China
- 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
- 3. Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China

Abstract Recently, deep convolutional neural networks have made remarkable progress in visible light ship detection. However, most improve detection performance by improving large network structures, which require strong computer performance. In addition, the visible image is difficult to detect ships in the cloud, fog, sea clutter, night and other complex scenes. In order to solve these problems, this paper proposes a lightweight ship detection algorithm, which integrates the spectral information of Red, Green, Blue and NIR bands from coarse to fine. This paper uses the improved water detection algorithm to extract the ship candidate area from the existing methods that extract the water area by using the water detection algorithm according to the spectral characteristics. To obtain a more accurate candidate area, in this paper, the ships, the thick clouds, cloud, calm sea, five kinds of cluttered sea four bands of pixels in the scene have carried on the statistical analysis. Near-infrared is greater than the threshold as the auxiliary judgment, and in its center for candidate area the size of 32×32 slices, and to the maximum inhibition of slice, thus obtained the coarse detection results of the ship. Then constructs a lightweight LSGFNet network for fine identification of ship candidate regions. In the structural design of the network, the spectral features extracted by 1×1 convolution and the geometric features extracted by 3×3 are fused. In order to prevent the "information not flowing" during the fusion of spectral features and geometric features, the channel disruption mechanism in ShuffleNet is introduced in the LSGFNet network, and the model structure is reduced. Compared with the typical lightweight network, it has a better effect and a smaller model. Finally, 1 120 sets of data with 512×512 and 6014 sets of data with 32×32 were constructed for rough detection and fine network training using sentinel-2 multi-spectral 10-meter resolution data. Among them, the recall rate of rough extraction of candidate regions was 98.99%, and the fine identification network precision was 96.04%. The overall average precision is 92.98%. Experimental results show that the proposed algorithm has high detection efficiency in the complex background of suppressing clouds, sea clutter and other disturbances, the training time is short, and the computer performance demand is low.

Keywords Multispectral; Water index method; Lightweight network; Sentinel-2

(Received Aug. 19, 2021; accepted Nov. 23, 2021)

《光谱学与光谱分析》投稿简则

《光谱学与光谱分析》是由中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学 共同承办的专业学术期刊。国内外公开发行,从 2004 年起为月刊,大 16 开本,每期 332 页。《光谱学与光谱分析》主要报道我 国光谱学与光谱分析领域内具有创新性科研成果,及时反映国内外光谱学与光谱分析的进展和动态;发现并培育人才;推动和 促进光谱学与光谱分析的发展。为科教兴国服务。读者对象为从事光谱学与光谱分析的科研人员、教学人员、分析测试人员和 科研管理干部。

栏目设置和要求

1. 研究报告 要求具有创新性的研究成果,一般文章以 8000 字(包括图表、参考文献、作者姓名、单位和中文、英文摘要, 下同)为宜。

2. 研究简报 要求在前人研究的基础上有重大改进或阶段性研究成果,一般不超过 5000 字。

3. 评述与进展 要求评述国内外本专业的发展前沿和进展动态,一般不超过10000字。

4. 新仪器装置 要求介绍新型光谱仪器的研制、开发、使用性能和应用,一般不超过 5000 字。

5. 来稿摘登 要求测试手段及方法有改进并有应用交流价值,一般以 3000~4000 字为宜。

稿件要求

1. 投稿者请经本刊编委(或历届编委)一人或本专业知名专家推荐,并附单位保密审查意见及作者署名顺序,主要作者介绍。文章有重大经济效益或有创新者,请说明,同时注明受国家级基金或国家自然科学基金资助情况。

2. 来稿要观点明确、数据真实可靠、层次分明、言简意明、重点突出。来稿必须是网上在线投稿(含各种符号和外文字母大写、小写、正体、斜体;希腊字母、拉丁字母;上角、下角标位置应标清楚)。中文摘要以 800 字为宜,英文摘要(建议经专业英语翻译机构润色)与中文摘要要对照;另附关键词。要求来稿应达到"齐、清、定",中文、英文文字通顺,方可接受送审。

3. 为了进一步统一和完善投稿方式、缩短论文发表周期,本刊**只接收网上在线投稿**,不接收以邮寄方式或 e-mail 方式的 投稿,严禁"一稿多投",对侵权、抄袭、剽窃等学术不端行为,一经发现,取消三年投稿资格。

4. 文中插图要求完整,图中坐标、线条、单位、符号、图注等应标注准确、完整。如作者特殊要求需出彩色插图者,必须 在投稿时事先加以说明,并承担另加的彩印费用。图幅大小:单栏图 7.5cm(宽)×6cm(高);双栏图:14cm(宽)×6cm(高);图中 数字、图题、表题全部用中文、英文对照,图中数字、中文、英文全用 6 号字。电子文档中除实物图外,曲线图要用 Matlab,Excel, Visio 或 Origin 等软件制作,稿件中图片的原图并转成相应(可编辑)的文件格式(.fig,.xls,.vsd,.opj),非".jpg"格式 的文档,随电子版修改稿一同发送到本刊的修改稿专用邮箱。

5. 文中出现的单位必须按"中华人民共和国计量标准"及有关 GB 标准规定缮写。物理量符号一律用斜体,单位符号和词 头用正体字母。

6. 名词术语,请参照全国科学技术名词规定缮写。

7. 参考文献,采用顺序编码制,只列主要文献;以15~20条为宜。内部资料、私人通讯、未经公开发表的一律不能引用。 日文、俄文等非英文文献,请用英文表述;中文文献和中文图书采用中、英文对照表述,文献缮写格式请参照本刊。

8. 请在投稿第一页左下角写明投稿联系人的电话和两个 e-mail,以便及时联系。

稿件处理

1. 自收到稿件之日起,一个月内作者会收到编辑部的稿件处理意见。请根据录用通知中所提出的要求认真修改,希望修 改稿在 30 天内寄回编辑部,并作为作者最终定稿(当作者接到校样时,以此修改稿为准进行校对,请勿再做大的改动),若二个 月内编辑部没收到修改稿,将视为自行撤稿处理。

2. 有重大创新并有基金资助者可优先发表;不录用的稿件,编辑部将尽快通知作者,底稿一律不退,请自留底稿。

3. 来稿一经发表将酌致稿酬并送样刊2册。

4. 遵照《中华人民共和国著作权法》,投稿作者须明确表示,该文版权(含各种媒体的版权)授权给《光谱学与光谱分析》期 刊社。国内外各大文献检索系统摘录本刊刊出的论文;凡不同意被检索刊物无稿酬摘引者,请在投稿时事先声明,否则,本刊一 律认为已获作者授权认可。

5. 修改稿请寄:100081 北京市海淀区学院南路 76 号(南院南门),《光谱学与光谱分析》期刊社(收)

电话:010-62182998或 62181070 传真:010-62181070

e-mail: chngpxygpfx@vip. sina. com; 修改稿专用邮箱: gp2008@vip. sina. com 网址: http://www.gpxygpfx. com