

基于仿生视觉的海面船只检测方法

胡晓光¹, 高树辉¹, 李 卉², 钟 成³, 程承旗^{4*}

(1. 中国人民公安大学 刑事科学技术学院, 北京 100038; 2. 中国地质大学(武汉) 地球科学学院, 湖北武汉 430074; 3. 中国地质大学(武汉) 教育部长江三峡库区地质灾害研究中心, 湖北 武汉 430074; 4. 北京大学 工学院, 北京 100871)

摘要: 对地观测系统可以快速检测大面积区域, 为世界各沿海国家的船只监测任务带来了极大便利。针对遥感影像中的船只自动化检测问题, 利用船只相对于海面呈现明显的视觉显著特性, 提出了一种基于船只与海面反差特性的船只检测方法, 将对船只的检测定位转变为对场景中显著目标的发现与分割问题。方法以视网膜到初级视觉皮层 V1 这一视觉通路的生理过程为指导, 模拟了其中视觉信号的产生机制以获得场景的显著图。以光学影像为例进行的实验结果显示, 在没有目标先验知识的前提下, 基于反差特性的方法能有效地将视觉注意力集中于海面船只目标, 取得了较好的检测结果。

关键词: 船只检测; 遥感影像; 视觉注意; 反差特性

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201746.0226003

Ship detection method based on bionic vision

Hu Xiaoguang¹, Gao Shuhui¹, Li Hui², Zhong Cheng³, Cheng Chengqi^{4*}

(1. Institute of Forensic Science, People's Public Security University of China, Beijing 100038, China;

2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Three Gorges Research Center for Geo-hazard, Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

4. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Earth observation systems can quickly detect objects in a large area, which offers great convenience for ship detection and monitoring by the coastal countries in the world. Towards the automated ship detection in remote sensing images, a method that made use of the salient contrast between ship and sea was proposed. Thus, the ship detection and segmentation problem was converted to a salient object discovery and location problem. Inspired by the biological process of visual pathway from the retina to the primary visual cortex V1, the visual signal generating mechanism was simulated to acquire the saliency map of the scene. The experimental results, obtained from using optical images, show that the contrast based method can effectively concentrate on the ships in the sea without any prior knowledge. It is noteworthy that the proposed method achieves good results.

Key words: ship detection; remote sensing images; visual attention; contrast

收稿日期: 2016-06-20; 修订日期: 2016-07-20

基金项目: 中国人民公安大学中央高校基本科研业务费项目(2016JKF01315)

作者简介: 胡晓光(1980-), 男, 讲师, 博士, 主要从事计算机视觉、模式识别、地理信息系统等方面的研究。

Email: Michael.hu.07@Foxmail.com

通讯作者: 程承旗(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事地理信息系统、图像处理等方面的研究。Email: ccq@pku.edu.cn

0 引言

对地观测系统可以快速检测大面积区域,较好地满足了世界各沿海国家对渔业管理、船舶交通服务等船只监测任务的需要。作为观测手段之一,合成孔径雷达(SAR)因为能在全天候的环境工作,所以是一种海面目标捕获的常用方法^[1],但其视觉解译困难、分辨率偏低,对波浪和船只等目标的反射率变化非常敏感。光学遥感影像有着分辨率高、人工解译容易、不受目标回波影响的特点,逐渐成为了研究的热点。传统的船只检测方法有基于海面与船只之间灰度差异的灰度阈值法^[2],因船只出现使得海面灰度变化的混沌特征法^[3-4]以及由于船只边缘特征明显的边缘信息法^[5]等。这些方法取得了一些成果,但局限在于其多从机器认知的角度出发,当不满足其中的某项前提时,方法无法取得最佳效果。选择性注意是人类视觉系统(HVS)的特点。由此诞生的显著性理论现已被多个研究领域所关注。据此,文中在分析了海面目标特点的基础上,借助生物学上已有的研究,提出了一种基于视觉注意机制的海面船只检测方法。

1 海面船只的显著性分析

反差是一种重要的视觉感知方式,在目标和它周围的环境之间通常具有多种类型的反差,如:亮度、颜色和形状等。典型的海面遥感影像通常具有如下特点:(1)影像由海面和海面两部分区域组成;(2)船只与海面的亮度具有较大差异;(3)船只的朝向与平坦的海面具有明显差异。某种程度上,人能观测到船只也正是因为海洋和船只之间的这类反差特性引起了人眼感受野的强烈反映。

图 1 为文中算法的流程图。首先获取船只在不同特征下的显著图,这里选取亮度和方位特征;然后将在这两种特征中都有着显著不同的区域标记为最终的显著区域,得到影像的总显著图;最后通

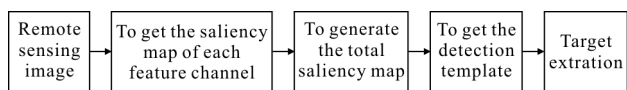


图 1 算法流程图

Fig.1 Flowchart of the algorithm

过阈值分割获得检测模版,与原始影像叠加提取目标。

1.1 特征显著图生成

各特征通道的显著性分析以视网膜到初级视觉皮层 V1 这一视觉通路的生理过程为指导,模拟了视网膜在接受外部场景光线刺激时会强烈响应其中高反差目标的现象和初级视觉皮层 V1 上的信号生成机制,且反差信息的生成遵循初级视觉皮层 V1 的层次结构。其中,人眼感受野对于大反差视觉信息的输入有强烈反应的生物特性可以借助高分辨率的中央层和低分辨率的周边层之间的差操作^[6]来模拟。灵长类的初级视觉皮层 V1 包含简单细胞和复杂细胞,简单细胞的感受野只包括视野中的一小部分,只有当这些局部的单元信息被汇集成具有全局意义的特征后,视觉系统才能感知其中的目标。研究表明复杂细胞是简单细胞集群的一种非线性时空整合^[7]。视反差为局部特征将视网膜输出的反差信息作为初级视觉皮层中简单细胞所感受到的局部单元信息,当这些局部的反差信息集成在一起形成场景中的反差区域时就构成了复杂细胞所感受的全局信息。计算池模型是沟通灵长类视觉皮层中简单细胞和复杂细胞的桥梁,有 Maximum model、Energy model 和 Half-wave model 等 3 种基本的计算池模型,研究显示最大化的计算池模型可能是简单细胞向复杂细胞汇集的方式^[8],因此文中选用它作为整合的方法。模拟这些生物学机制的具体步骤如下,其中的 S 单元和 C 单元分别表示简单细胞和复杂细胞。

(1) 生成影像金字塔。输入一幅彩色影像 Image 后,首先使用公式(1)和(2)分别计算其亮度图和方位图。Red, Green 和 Blue 分别表示一幅彩色影像的红绿蓝三种光谱波段。Gabor 表示对影像中方向、频率、尺度等信息敏感的 Gabor 滤波器。

$$M_I = \max(\text{Red}, \text{Green}, \text{Blue}) \quad (1)$$

$$M_{ORI} = \text{Gabor}(\text{Image}) \quad (2)$$

使用所得到的亮度图 M_I 和方位图 M_{ORI} 建立对应的高斯金字塔 $M_I(\delta)$ 和 $M_{ORI}(\delta)$ 。金字塔的层数经验性地设置为 4,所以 $\delta \in [1, \dots, 4]$,第 1 层是原始影像尺寸的 1/4,往后依次减半。

(2) 计算 S 单元的信息。在亮度图和方位图的

影像金字塔上进行中央周边差操作,即:精细尺度与粗略尺度影像的差操作,中央尺度 $c \in \{1,2,3\}$,周边尺度 $s \in \{2,3,4\} (s=c+\delta, \delta=1)$,将周边层插值后放大到和中央层相同的尺度,然后按照公式(3)和(4)计算多尺度反差显著图。其中 \ominus 表示跨尺度的减操作, $N(\cdot)$ 表示不同层影像的归一化操作。

$$S_{I,c,s} = N(M_I(c) \ominus M_I(s)) \quad (3)$$

$$S_{ORI,c,s} = N(M_{ORI}(c) \ominus M_{ORI}(s)) \quad (4)$$

(3) 计算 C 单元的信息。将来自 S 单元的多尺度反差显著图插值放大到和层数 $\delta=1$ 相同的大小,然后根据 Max 模型使用公式(5)和(6)对各特征通道中 S 单元的影像进行计算,得到亮度,方位通道各自的整体反差显著图 C_I 和 C_{ORI} 。式中的 Max 代表取最大值操作。

$$C_I = N(\text{Max}(S_I)) \quad (5)$$

$$C_{ORI} = N(\text{Max}(S_{ORI})) \quad (6)$$

1.2 总显著图生成

当获取到各个特征通道的显著图后,需要将这些图进行综合。对大量图片的特征显著图进行分析,发现其中亮度和方位反差最大的地方往往集中在船只处。如图 2(a)~(c)所示,依次为原图、亮度反差图和方位反差图。

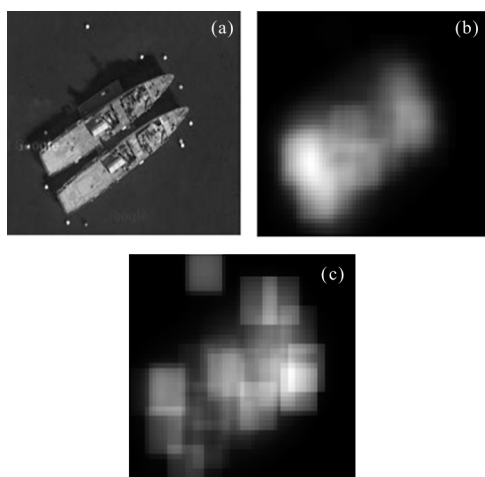


图2 特征的显著图

Fig.2 Saliency map of the features

因此,这里将两幅显著图进行叠加,并排除两幅显著图中都没有的区域,得到最终的总显著图。具体步骤如下:

(1) 生成总显著图 C_{total} 。对 C_I 和 C_{ORI} 做求交和

$N(\cdot)$ 操作,得到总显著图 C_{total} 。

$$C_{total} = N(C_I \cap C_{ORI}) \quad (7)$$

为了突出显著区域,获得更好的视觉效果,使用公式(8)对总显著图 C_{total} 进行高斯滤波以得到最终的总显著图 $S(\text{Image})$,文中的高斯滤波算子 h_g 大小为 9×9 ,方差为 8。

$$S(\text{Image}) = h_g \times C_{total} \quad (8)$$

(2) 得到注意结果图。先使用公式(9)对显著图进行阈值分割,得到二值化的显著图, $E(S(\text{Image}))$ 为显著图的平均强度,经验阈值 $\text{threshold} = E(S(\text{Image})) \times 3$ 。

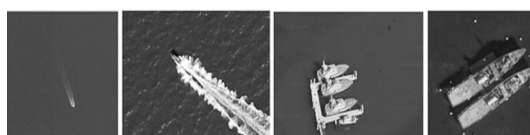
$$S(\text{Image}) = \begin{cases} 1 & S(\text{Image}) > \text{threshold} \\ 0 & S(\text{Image}) \leq \text{threshold} \end{cases} \quad (9)$$

然后将二值影像作为模板与实际影像进行叠加,获得注意结果图 Result。

$$\text{Result} = \text{Image} \times S(\text{Image}) \quad (10)$$

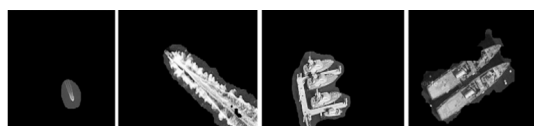
2 实验结果与分析

实验的软件环境采用 Matlab 2012a,硬件环境采用主频 2.4 GHz 的 Intel CoreTM2 Duo CPU 和 4 GB 的内存。以光学卫星影像为例,实验的测试集选择了来自 Google Map 和 Bing 地图的两套影像来评估方法的性能,样本总数为 505 幅,包含船只目标 583 个。影像的尺寸范围为 231×89 到 1179×498 ,包含了不同行驶状态、视角以及分辨率下拍摄的船只。影像不做任何预处理和剪裁,以保证其原始性。判断检测成功的标准是显著区域能否较完整地覆盖船体,从而不影响对船只的识别。检测的困难在于:(1) 完全通过视觉注意的能力而没有任何目标先验知识的帮助;(2) 在不同的天气和光线下同一目标可能有不同的外观;(3) 场景中存在许多干扰,如:港口和尾迹等。部分实验结果如图 3 所示,可以看到,虽然船只只有不同的尺寸和位置,场景中也可能包含非船只的干扰物,但方法依然能够检测到船只目标,且显著区域能较完整地覆盖船体。



(a) 原始图片

(a) Original images



(b) 总显著图

(b) Total saliency map



(c) 检测结果

(c) Detection results

图 3 目标检测的部分结果

Fig.3 Partial object detection results

方法在测试集中共检测到了 531 个目标,取得了约 91% 的检测率。但也要看到类似于图 3 中的第二和第三幅图片,当非船只区域也有着很高的反差显著性时,方法还无法排除这种干扰。时间消耗上,在 505 幅影像中的平均检测时间是 0.3 s。这是因为尽管方法需要创建高斯金字塔和进行中央周边差操作,但是步骤较少所以效率较高的缘故。

3 结 论

文中提出了一种新的船只检测算法,在分析了海面目标的特点后,从船只目标与海面的亮度和方位具有较大反差入手,模拟人眼对环境中大反差目标敏感的特性,在目标检测中引入了反差显著性机制,实验验证了方法的合理性。将视觉注意机制用于目标检测还有许多问题需要讨论,如:选取目标最佳显著特征的策略应如何量化、如何排除具有相似显著性的伪目标的干扰、如何将文中方法推广到其他类型遥感影像中的目标检测等。为了解决这些问题,在传统的显著性方法中引入智能的策略是一个值得研究的方向。

参考文献:

- [1] Crisp D J. The state-of-the-art in ship detection in synthetic aperture radar imagery [R]: Defence Science and Technology Organisation Salisbury Australia Info Sciences Lab, 2004.
- [2] Zhou Jing, Tian Jinwen. Method of detecting small target in port-sea background [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(4): 486-489. (in Chinese)
周静, 田金文. 基于海岸线背景的海面小目标检测方法[J]. *红外与激光工程*, 2005, 34(4): 486-489.
- [3] He Sihua, Yang Shaoqing, Shi Aiguo, et al. Image segmentation algorithm based on spatiotemporal chaos [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(1): 144-148. (in Chinese)
何四华, 杨绍清, 石爱国, 等. 基于时空混沌的图像分割算法[J]. *红外与激光工程*, 2009, 38(1): 144-148.
- [4] He Sihua, Yang Shaoqing, Shao Xiaofang, et al. Ship target detection on the sea surface based on natural measure feature of image block [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(9): 1812-1817. (in Chinese)
何四华, 杨绍清, 邵晓方, 等. 利用图像区域自然尺度特征的海面舰船目标检测 [J]. *红外与激光工程*, 2011, 40 (9):1812-1817.
- [5] Zhu Changren, Zhou Hui, Wang Runsheng, 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.
- [6] Koch Itti L C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20(11): 1254-1259.
- [7] Callaway E M. Neural mechanisms for the generation of visual complex cells[J]. *Neuron*, 2001, 32(3): 378-380.
- [8] Lampl I, Ferster D, Poggio T, et al. Intracellular measurements of spatial integration and the MAX operation in complex cells of the cat primary visual cortex [J]. *Journal of Neurophysiology*, 2004. 92(5): 2704-2713.

《红外与激光工程》征稿简则

《红外与激光工程》系中国光学工程学会会刊,由天津航技术物理研究所主办,是国内外公开发行的无线电电子、电信类学术期刊,旨在刊登和传播红外、激光技术等领域的原创性科研成果,并推广其应用,为同行业科技工作者提供交流、学术探讨平台。

1 征稿文种

本刊接收中文和英文稿件,其中英文稿件可酌情提前刊发。

2 稿件要求

稿件全文要求为 doc 或 docx 文件。

2.1 题目和摘要

来稿题目应简明扼要,提纲挈领,精准地概括全文主旨,字数不超过 20 个。

中文摘要须超过 250 字,英文摘要须超过 200 个单词,均须包含四个要素:目的、方法、结果、结论,其中一定要有数据和量化的东西出现。英文摘要要以第三人称撰写,句型简单、语句通畅、意思明确,中英文要相互对应。

2.2 中图分类号和关键词

中图分类号请参阅 <http://www.ztflh.com/>。

关键词 3~5 个为宜,其中第一个关键词须体现文章主旨或列出文章主要工作所属的学科名称。

2.3 基金项目 and 作者简介

文章页脚处标注基金项目和作者简介。

受资助的基金须为省部级及以上级别,注明基金项目名称及批准号。

作者简介(第一作者为学生的须再写出导师简介)格式如下:

姓名(出生年-),性别,学历,职称,研究方向,Email。

2.4 图、表和公式

图、表和公式在文章中按照先后顺序编排序号,并排在正文的相应位置。每个图、表要有简明的中、英文题名,图字、表文须以英文写出,有分图时用(a)、(b)、(c)等标号。特别指出:全文中图、表总数不能超过 10 个。

坐标图要特别注意:必须标注横纵坐标的“物理量、物理量规定的符号、单位”,这三者只有在不必标明(无量纲等情况)时方可省略。

2.5 名词术语、物理量符号、计量单位和缩略词

请使用国家标准名词术语。

容易混淆的大小写,上、下角标,算符等须清晰注明。

物理量符号用斜体,物理量单位用正体,矩阵、向量、矢量符号用黑斜体,注意物理量符号要全文统一。

计量单位应严格执行国家标准规定,已经废止的计量单位,必须按照现行标准折算,如(英寸(in)须折算为厘米(cm), $1\text{in}=2.54\text{cm}$)。

文章中首次出现的符号和缩略词须给出解释或者全称。

2.6 参考文献

参考文献8~10条为宜,要求近两年的文献要超过半数,中英文对照(外文文献只写出英文),在全文中要按照序号先后进行标注。

参考文献一般格式如下:

[编号] 作者(姓在前,名在后,至少三位). 题名[文献类型]. 期刊(书、会议)名, 出版年, 卷(期): 起止页码.

3 学术规范及版权

投稿前,须准备好全部作者签字、一级单位盖章的保密审查证明和版权转让协议,在投稿系统中上传电子版,文章录用后将原件邮寄至编辑部。投稿作者请务必遵守学术道德规范,请勿一稿多投,杜绝泄密、抄袭等学术不端行为。

4 费用及其他

文章一经刊发,将向作者支付稿酬,并寄送该期期刊2本。