

# 基于视觉注意机制的海洋监视卫星图像 舰船目标检测

许志涛<sup>1,2</sup> 刘金国<sup>1</sup> 龙科慧<sup>1</sup> 徐东<sup>1</sup> 周怀得<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

<sup>2</sup> 中国科学院大学, 北京 100049

**摘要** 将 Itti 模型应用于海洋监视卫星图像舰船目标的检测中。简要阐述了 Itti 模型的算法处理过程, 并将视觉注意点的提取转移过程建立为电容阵列充电模型。针对 Itti 模型的诸多问题, 比如所提取的显著区域形状大小固定、小半径检测实时性差、大半径检测包含背景区域多等, 提出了改进算法: 引入离散矩变换, 增强了图像纹理特征响应; 采用阈值分割的方法由显著点搜寻显著区域, 提高了检测精度和实时性。运用 Matlab 对算法进行测试, 实验结果表明, 改进算法所提取的显著区域形状大小基本与目标一致, 实时性好, 且显著区域包含背景少。与 Itti 模型相比, 改进算法更适合应用于海洋监视卫星图像舰船目标检测提取。

**关键词** 图像处理; 视觉注意; 显著特征; 海洋监视卫星图像; 舰船目标识别; 阈值分割

中图分类号 TN919.8

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP50.121001

## Ship Targets Detection of Ocean Surveillance Satellite Images Based on Visual Attention

Xu Zhitao<sup>1,2</sup> Liu Jinguo<sup>1</sup> Long Kehui<sup>1</sup> Xu Dong<sup>1</sup> Zhou Huaide<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China  
<sup>2</sup> University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** An improved Itti's model is applied on the ship targets detection of ocean surveillance satellite images. We illustrate the algorithm process of Itti's model, and introduce a capacitor array charging model to describe the extracting and transferring process of the focus of attention. To solve the problems existing in the traditional Itti's model such as the fixed shape and size of the extracted salient region, the poor real-time detecting performance when the radius of salient region goes too small, and excessive background areas contained in the salient region when the radius is set too large, the algorithm is improved in some aspects in this paper. Firstly, the discrete moment transform is introduced to the algorithm to enhance the response of image texture features. Then, the threshold segmentation method is chosen to extract the salient region with the focus of attention, and thus both the detection accuracy and real-time performance are improved greatly. According to the Matlab test results of the improved algorithm, it is verified that both the shape and size of the salient region are consistent well with the ship targets; the background contained in the salient region is also reduced significantly. Moreover, the improved algorithm has a good real-time performance. It comes to the conclusion that compared with Itti's model, the improved algorithm is more effective and suitable for the extraction of ship targets detection of ocean satellite images.

**Key words** image processing; visual attention; salient feature; ocean surveillance satellite image; ship targets detection; threshold segmentation

**OCIS codes** 100.2000; 100.3008; 280.0280

收稿日期: 2013-06-09; 收到修改稿日期: 2013-08-08; 网络出版日期: 2013-11-19

基金项目: 国家 863 计划(2008AA121803)、国家自然科学基金(6110066)

作者简介: 许志涛(1987—), 男, 博士研究生, 主要从事空间遥感图像处理方面的研究。E-mail: xuzhitao2008@126.com

导师简介: 龙科慧(1958—), 女, 硕士, 研究员, 主要从事空间传感器成像技术方面的研究。

E-mail: long\_kh@163.com(通信联系人)

# 1 引言

对于海洋监视卫星图像来说,舰船目标通常是关注的重点区域。从监视图像中检测提取出舰船目标这一研究有着广泛的应用:民用方面包括寻找和救助丢失舰船,监视管理捕鱼船和非法倾倒油污的船只,协调管理海洋水运交通等<sup>[1]</sup>;军用方面包括监视跟踪敌方舰船目标,及时获取敌方海上军事情报等<sup>[2]</sup>。此外,在高分辨率遥感图像中,检测提取出舰船目标,进而进行感兴趣区域压缩,既降低了图像传输对带宽的要求,又减少了感兴趣区域细节信息的丢失<sup>[3]</sup>。

目前有大量关于舰船目标提取的研究,其中常用的一种算法为恒虚警(CFAR)算法,但是该算法化适用于中低分辨率图像,而在高分辨率图像目标检测中的应用效果不理想<sup>[1]</sup>。文献[3]在小波变换后的 HH3 子带中采用外接矩形和一段环面的交集来提取舰船目标,但是这种算法容易造成漏检。文献[4]根据复杂背景下舰船目标的灰度统计特性,提出了自适应多阶阈值分割方法。文献[5]针对传统方法在检测舰船目标时不能兼顾黑极性目标的问题,在 CFAR 的基础上提出了一种基于广义似然比检验(GLRT)的算法。文献[6]首先采用双参数局部 CFAR 直接提取感兴趣区域(ROI),再利用改进的局部 Radon 变换及变换域峰值算法提取舰船目标的尾迹特征,该算法适用于航行中舰船目标的检测,而对停泊或靠岸的舰船目标检测效果不理想。文献[7]通过阈值分割方法将海陆分割,然后采用连通树结构方法将海域分割成若干个区域,引入递归神经网络(RNN)及信噪比的特征选择方法,在海域的各个区域中进行目标检测。该方法在生成连通树的时候,时间开销巨大,实时性不高。文献[8]对图像进行结构纹理分解,将舰船目标分解到纹理分量中,然后利用结构分量中的陆地及云块等先验信息去除这些因素在纹理分量中的干扰,之后对纹理分量进行 Gabor 滤波,从而增强舰船目标,实现目标检测的目的。以上所述算法是基于统计特性的,检测过程中或需要统计出灰度值的概率,或需要统计出灰度值的均值和方差,统计过程时间开销较大,实时性不高。文献[9]首先对图像进行海陆分割和去云等处理,然后采用一组 Gabor 滤波器增强舰船目标,之后排除岛礁等因素的干扰,实现舰船目标的检测。但是这种方法只考虑了图像中的纹理,而忽视了光照对目标检测的影响。

本文采用 Itti 等<sup>[10-14]</sup>提出的基于视觉注意机制的模型(Itti 模型)来检测海洋监视卫星图像中的舰船目标。它将图像的多种特征在多个尺度下进行融合,合成一幅显著特征图,然后在显著图中提取视觉注意点(FOA),并通过 FOA 的转移得到一系列的显著目标。模型对噪声、模糊、对比度和亮度等具有很好的稳健性,但是,Itti 模型所提取的显著区域形状大小固定<sup>[10-14]</sup>。针对此问题,本文对 Itti 模型进行了改进,与 Itti 模型相比,改进算法检测精度高,实时性好,显著区域与目标基本一致,更适合应用于海洋监视卫星图像舰船目标的检测提取。

## 2 Itti 模型

视觉注意机制主要分为自顶向下和自底向上两种类型,前者以人类视觉对物体的感兴趣度为出发点,进而展开研究,而后者以物体为中心,并将其引起人类视觉注意的容易度作为研究对象。Itti 模型是自底向上方法中的常用模型,其实现过程如图 1 所示,主要分为 3 步:1) 对图像进行线性滤波,计算强度、颜色和方向等特征,生成显著特征图;2) 通过胜者为王(WTA)机制,提取视觉显著区域;3) 利用返回抑制(IOR)方法抑制已提取区域的显著性,通过 WTA 机制选取下一个显著区域,从而实现显著区域的转移。

### 2.1 显著特征图的生成

Itti 模型对强度和颜色特征进行高斯滤波,并下采样得到强度高斯金字塔  $I(\sigma)$  及颜色高斯金字塔  $R(\sigma)$ 、 $G(\sigma)$ 、 $B(\sigma)$  和  $Y(\sigma)$ ;对方向特征进行 Gabor 滤波、下采样得到方向 Gabor 金字塔  $O(\sigma, \theta)$ 。 $\theta$  为图像的空间频率,为了简便, $\theta$  取  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $135^\circ$ ;  $\sigma$  表示金字塔的级数,取值范围是  $[0, 8]$ 。金字塔共 9 级,每级分辨率不同,第 0 级的分辨率与原图像相同,第 1 级分辨率是第  $l-1$  级的  $1/2$ 。

一个区域与周围环境特征的差异越大,该区域就越容易被视觉注意到。采用中心周边算子“ $\ominus$ ”对金字塔进行跨级数相减,从而计算图像各点与周围环境的特征差异。此外,视觉系统感受颜色时,存在“双敌色效应”:一种颜色刺激视觉感受野中央区域加剧兴奋,而另一种颜色抑制兴奋,两种颜色在周边感受区域的作用恰恰相反。双敌色共有 4 对:红和绿,绿和红,蓝和黄以及黄和蓝<sup>[10]</sup>。

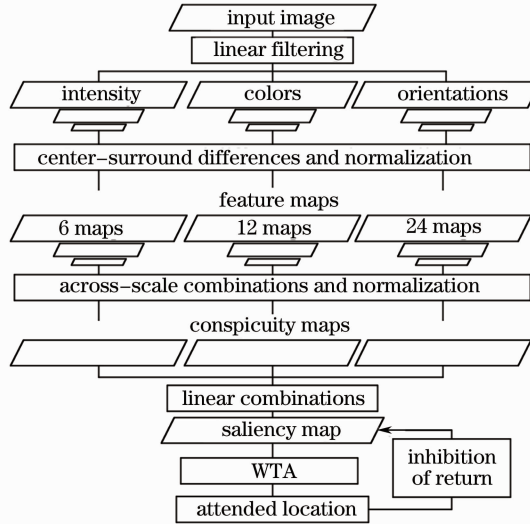


图1 Itti模型处理过程

Fig. 1 Processes of Itti's model

强度的中心周边差异为

$$I(c, s) = | I(c) \ominus I(s) |. \quad (1)$$

综合考虑双敌色效应和中心周边差异,则红绿色的中心周边差异为

$$RG(c, s) = | [R(c) - G(c)] \ominus [G(s) - R(s)] |, \quad (2)$$

蓝黄色的中心周边差异为

$$BY(c, s) = | [B(c) - Y(c)] \ominus [Y(s) - B(s)] |. \quad (3)$$

方向特征的中心周边差异为

$$O(c, s, \theta) = | O(c, \theta) \ominus O(s, \theta) |. \quad (4)$$

(1)~(4)式中,  $c$  表示中心级数,  $s$  表示周边级数, 二者的关系为

$$s = c + \delta, \quad (5)$$

式中  $c \in \{2, 3, 4\}$ ,  $\delta \in \{3, 4\}$ ,  $\delta$  为周边级数和中心级数之差。

通过跨级数相加“ $\oplus$ ”, 将计算出的中心周边差异进行合并, 得到三幅特征醒目图  $\bar{I}$ 、 $\bar{C}$  和  $\bar{O}$ , 计算公式为

$$\bar{I} = \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} N[I(c, s)], \quad (6)$$

$$\bar{C} = \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} \{N[RG(c, s)] + N[BY(c, s)]\}, \quad (7)$$

$$\bar{O} = \sum_{\theta \in \{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}} N \left\{ \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} N[O(c, s, \theta)] \right\}, \quad (8)$$

式中  $N(\cdot)$  表示归一化算子, 具体计算步骤为: 1) 将图像的值归一化到区域  $[0, M]$ ; 2) 寻找出最大值  $M$  的所在区域, 并求出其他区域局部极大值的平均值  $\bar{m}$ ; 3) 图像全局乘以  $(M - \bar{m})^2$ 。

最后采用归一化算子分别将三幅醒目图归一化, 并将其线性相加得到最终的显著特征图  $S$

$$S = \frac{1}{3} [N(\bar{I}) + N(\bar{C}) + N(\bar{O})]. \quad (9)$$

## 2.2 FOA 的提取和转移

FOA 的提取和转移是显著区域提取和转移的必要条件, 主要通过 WTA 和 IOR 机制来完成。Itti 模型中由两个神经元模型来实现 WTA 和 IOR 机制, 分别是 SM 神经元和 WTA 神经元。SM 神经元感受显著特征图  $S$ , 产生兴奋, 并传输给 WTA 神经元, 电荷在 WTA 神经元内积累, 当神经元某个区域的电压达到阈值之后, 该区域将会产生一个脉冲, 将其电荷释放出去<sup>[10]</sup>。与此对应, 本文建立一个电容充电阵列模型: 一个由光电效应产生的电源阵列不断对电容阵列充电, 当电容阵列的某点电压超过阈值后, 该点及其周围满足一定条件区域的电荷将被提取出, 其电压降为 0, 之后继续充电, 从而为下一区域的提取做准备。在电容阵

列充电的同时,采用 IOR 机制抑制电源阵列相应区域光电荷的产生<sup>[15-16]</sup>。其中,电源阵列对应 SM 神经元,电容阵列对应 WTA 神经元,而显著特征图  $S$  为本模型中的光源,其值作为光源的光照强度。

### 2.2.1 电容阵列电压变化

假设电源阵列电压为  $V_s$ ,  $t$  时刻电容阵列电压为  $V_c(t)$ , 则理想状态下,  $t + \Delta t$  时刻电压为

$$V_c(t + \Delta t) = V_c(t) + [V_s - V_c(t)] \cdot \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t}{RC}\right) \right], \quad (10)$$

式中  $R$  为充电线路电阻阻值,  $C$  为电容阵列的电容值。对(10)式求导, 可得  $t + \Delta t$  时刻电容阵列的充电电流为

$$I_{S2C}(t + \Delta t) = \frac{V_s - V_c(t)}{RC} \exp\left(-\frac{\Delta t}{RC}\right). \quad (11)$$

当  $\Delta t$  趋近于 0 时,  $t$  时刻和  $t + \Delta t$  时刻的电流近似相等, 其值为

$$I_{S2C}(t) = \frac{V_s - V_c(t)}{RC}. \quad (12)$$

电容两极板间的绝缘介质并不为理想绝缘状态, 存在一定的阻值  $R_{leak}$ , 因此, 电容两极板间存在泄漏电流  $\Delta I_C(t)$

$$\Delta I_C(t) = \frac{V_c(t)}{R_{leak}}. \quad (13)$$

由(12)式和(13)式可得  $t$  时刻电容阵列的充电电流为

$$I(t) = I_{S2C}(t) - \Delta I_C(t) = \frac{V_s}{RC} - \left( \frac{1}{RC} + \frac{1}{R_{leak}} \right) \cdot V_c(t). \quad (14)$$

$t + \Delta t$  时刻电容阵列的电荷变化量为

$$\Delta Q = \left[ \frac{V_s}{RC} - \left( \frac{1}{RC} + \frac{1}{R_{leak}} \right) \cdot V_c(t) \right] \cdot \Delta t. \quad (15)$$

所以,  $t + \Delta t$  时刻电容阵列的电压为

$$V_c(t + \Delta t) = V_c(t) + \frac{\Delta Q}{C} = V_c(t) + \left[ \frac{V_s}{RC} - \left( \frac{1}{RC} + \frac{1}{R_{leak}} \right) \cdot V_c(t) \right] \cdot \frac{\Delta t}{C}. \quad (16)$$

### 2.2.2 电源阵列电压变化

在电容阵列充电的同时, 起光照作用的显著特征图激励电源阵列产生光电荷, 光电荷累积促使电源阵列电压积分增大, 单位时间内产生的光电荷电量称为光电流。假设: 1) 光照强度与显著图灰度值相等; 2) 所有的光子全部转化为光电荷; 3) 照射光为单色光。则光电流  $I_s(t)$  与显著图的灰度值  $V_{SM}(t)$  成正比

$$I_s(t) = k_1 \cdot V_{SM}(t). \quad (17)$$

电源内部, 两极之间存在泄漏电流。此外, IOR 机制使得显著区域相应位置处光电荷的产生受到抑制。假设泄漏电导率和抑制电导率分别为  $g_{leak}$  和  $g_{inhi}$ , 则泄漏电流和抑制电流之和为

$$\Delta I_S(t) = (g_{leak} + g_{inhi}) \cdot V_s(t), \quad (18)$$

式中  $V_s(t)$  为电源阵列  $t$  时刻的电压。影响电源阵列电压变化的电流为

$$I(t) = I_s(t) - \Delta I_S(t) = k_1 \cdot V_{SM}(t) - (g_{leak} + g_{inhi}) \cdot V_s(t). \quad (19)$$

$t + \Delta t$  时刻电源阵列的电荷变化量为

$$\Delta Q = [k_1 \cdot V_{SM}(t) - (g_{leak} + g_{inhi}) \cdot V_s(t)] \cdot \Delta t, \quad (20)$$

所以,  $t + \Delta t$  时刻电源阵列的电压为

$$V_s(t + \Delta t) = V_s(t) + \frac{\Delta Q}{C_s} = V_s(t) + [k_1 \cdot V_{SM}(t) - (g_{leak} + g_{inhi}) \cdot V_s(t)] \cdot \frac{\Delta t}{C_s}, \quad (21)$$

式中  $C_s$  为电源阵列的电容值。

通过电容阵列充电模型搜寻出显著点以后, Itti 模型以该点为圆心, 人工确定半径, 提取圆形区域为显著区域<sup>[10]</sup>。

## 3 Itti 模型改进算法研究

通常情况下, 探测目标形状不规则, 大小不固定。但是 Itti 模型所提取的显著区域形状为圆形, 且半径为定

值,因此需要对 Itti 模型进行改进,从而使得提取出的显著区域形状及大小能够与所探测目标基本一致。如图 2 所示,改进算法引入了离散矩变换(DMT),与 Itti 模型中的 Gabor 变换互为补充,来提取纹理特征,在由显著点提取显著区域时,采用了阈值分割的算法,而非简单地以显著点为圆心划定圆形区域为显著区域。

### 3.1 离散矩变换

DMT 计算的是图像的局部中心矩,反映了图像强度的局部分布。图像纹理越复杂,强度变化越大,产生的 DMT 响应越强烈。DMT 的变换公式为<sup>[17]</sup>

$$D^{p,q}(i,j) = \sum_{r=-k}^{+k} \sum_{s=-k}^{+k} f(i-r,j-s)r^p s^q, \quad (22)$$

式中  $i$  和  $j$  是图像像素点的行、列序号; $p$  和  $q$  是 DMT 变换的阶数,且  $p, q = 0, 1, 2, \dots, 2k+1$  为 DMT 变换核的宽度; $f(i-r, j-s)$  为图像像素点  $(i-r, j-s)$  的灰度值。 $p$  和  $q$  的奇偶组合不同,则 DMT 的响应结果不同:组合为偶-奇时,垂直方向强度分布变化越大,DMT 响应越强烈;组合为奇-偶时,水平方向强度分布变化越大,DMT 响应越强烈;组合为奇-奇时,所得到的变换结果为平滑图像。考虑到计算的复杂度等问题,选用三组组合  $D^{0,1}, D^{1,0}$  和  $D^{1,1}$  来描述图像的纹理特征。

将  $D^{0,1}, D^{1,0}$  和  $D^{1,1}$  分别进行高斯滤波,得到 3 组高斯金字塔,然后采用中心周边算子对金字塔进行跨级数相减,获得 3 组 DMT 特征图: $D^{0,1}(c,s), D^{1,0}(c,s)$  和  $D^{1,1}(c,s)$ 。之后将特征图进行跨级数相加合并,计算出 DMT 醒目图:

$$\bar{D} = \sum_{(p,q) \in \{(0,1), (1,0), (1,1)\}} N\left\{ \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} N[D^{p,q}(c,s)] \right\}. \quad (23)$$

最后将其归一化,并与强度、颜色和方向醒目图进行线性相加,得到最终的显著特征图:

$$S = \frac{1}{4} [N(\bar{I}) + N(\bar{C}) + N(\bar{O}) + N(\bar{D})]. \quad (24)$$

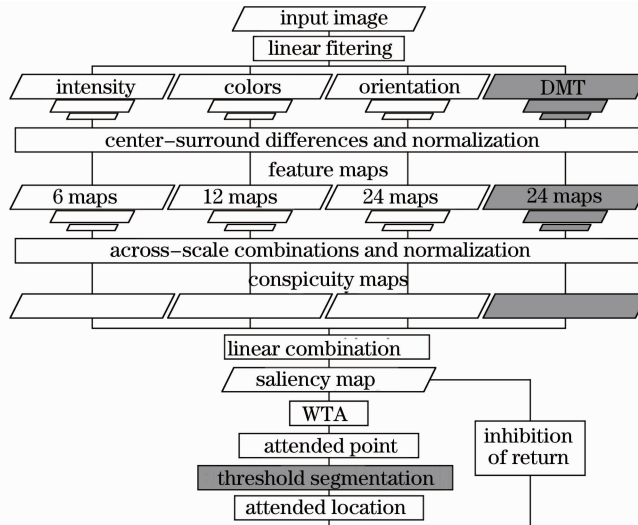


图 2 改进算法处理过程

Fig. 2 Processes of the improved algorithm

### 3.2 基于阈值分割的视觉显著区域提取

得到最终的显著特征图  $S$  之后,将其作为 2.2 节所建模型的光源,通过该模型提取出 FOA,根据 FOA 的值  $M$  设定阈值  $T$ :

$$T = t \cdot M, \quad (25)$$

式中  $0 < t < 1$ ,为阈值的计算参数。

在整个电容阵列中搜寻出大于阈值  $T$  的区域,通过形态学处理,选择与 FOA 相连的区域,去除不相连的区域,从而提取出显著区域,原始图像与该区域所对应的位置即为所要提取的显著目标。之后采用 WTA 和 IOR 机制提取下一个显著区域,避免重复提取同一区域,而忽略其他显著区域。

## 4 结果分析

采用 Matlab 对上述算法进行测试。通过截图工具,从 Google earth 中截取 20 幅包含不同舰船数目的海洋卫星图像,其背景由简单到复杂,包括平静海平面、有波浪的海平面、岛礁及港口附近的海平面。图 3~8 展示了其中 6 幅典型的图像及其检测结果,其中(a)为原图;(b)和(c)均为 Itti 模型检测结果,小半径和大半径表示显著区域的大小,由人工预先确定,测试时,小半径设定为 50 pixel,大半径设定为 150 pixel;(d)为改进算法检测结果。图中闭合黄线所包围区域为显著区域,闭合黄线越多,所需检测次数越多,所耗费时间就越长。表 1 为 Itti 模型及本文算法检测目标时所用时间。考虑到硬件设计时,图像强度、颜色、方向及纹理等计算可以并行处理,所以 Itti 模型及本文算法生成特征显著图所需时间相差不大,因此测试时只比较由显著图提取显著区域所需要的时间。表 2 为两种算法检测 20 幅图像中舰船目标时的虚警率和漏检率。

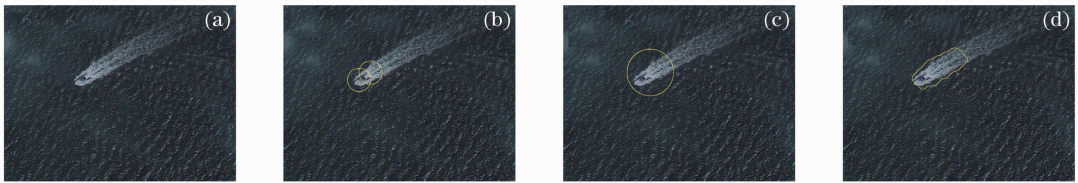


图 3 图像 HY-1 的检测结果比较。(a) HY-1 原图;(b) Itti 模型小半径检测结果;  
(c) Itti 模型大半径检测结果;(d) 改进算法检测结果

Fig. 3 Detection result comparison of image HY-1. (a) HY-1 original image; (b) the detected result of Itti's model with small radius; (c) the detected result of Itti's model with big radius; (d) the detected result of improved algorithm

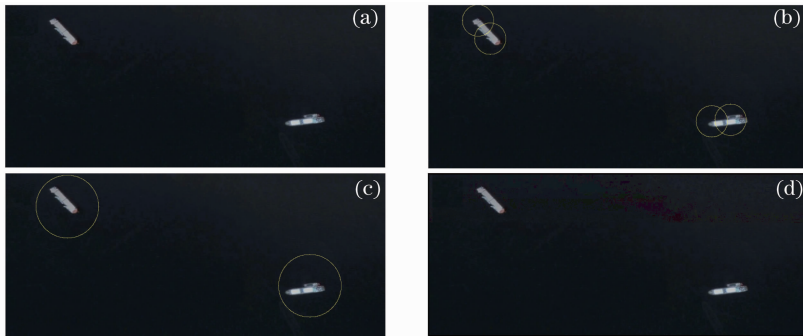


图 4 图像 HY-2 的检测结果比较。(a) HY-2 原图;(b) Itti 模型小半径检测结果;  
(c) Itti 模型大半径检测结果;(d) 改进算法检测结果

Fig. 4 Detection result comparison of image HY-2. (a) HY-2 original image; (b) the detected result of Itti's model with small radius; (c) the detected result of Itti's model with big radius; (d) the detected result of improved algorithm

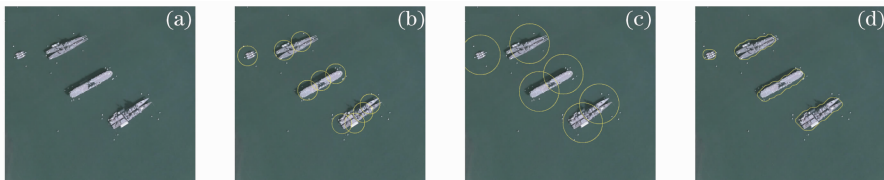


图 5 图像 HY-3 的检测结果比较。(a) HY-3 原图;(b) Itti 模型小半径检测结果;  
(c) Itti 模型大半径检测结果;(d) 改进算法检测结果

Fig. 5 Detection result comparison of image HY-3. (a) HY-3 original image; (b) the detected result of Itti's model with small radius; (c) the detected result of Itti's model with big radius; (d) the detected result of improved algorithm

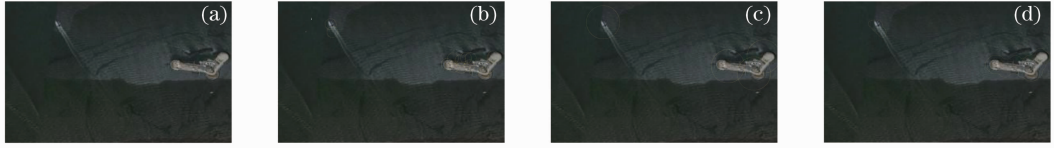


图6 图像 HY-4 的检测结果比较。(a) HY-4 原图；(b) Itti 模型小半径检测结果；  
(c) Itti 模型大半径检测结果；(d) 改进算法检测结果

Fig. 6 Detection result comparison of image HY-4. (a) HY-4 original image; (b) the detected result of Itti's model with small radius; (c) the detected result of Itti's model with big radius; (d) the detected result of improved algorithm

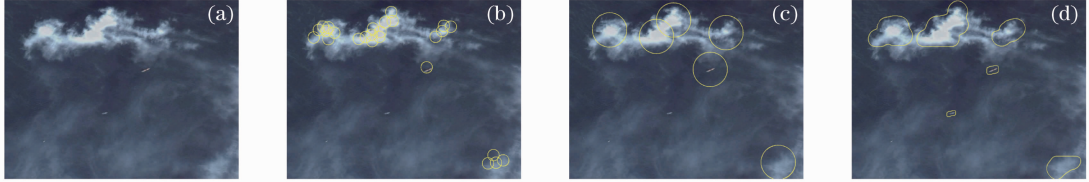


图7 图像 HY-5 的检测结果比较。(a) HY-5 原图；(b) Itti 模型小半径检测结果；  
(c) Itti 模型大半径检测结果；(d) 改进算法检测结果

Fig. 7 Detection result comparison of image HY-5. (a) HY-5 original image; (b) the detected result of Itti's model with small radius; (c) the detected result of Itti's model with big radius; (d) the detected result of improved algorithm

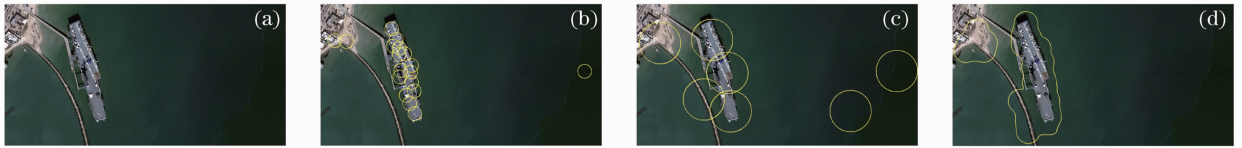


图8 图像 HY-6 的检测结果比较。(a) HY-6 原图；(b) Itti 模型小半径检测结果；  
(c) Itti 模型大半径检测结果；(d) 改进算法检测结果

Fig. 8 Detection result comparison of image HY-6. (a) HY-6 original image; (b) the detected result of Itti's model with small radius; (c) the detected result of Itti's model with big radius; (d) the detected result of improved algorithm

表1 由显著图提取舰船目标所用时间

Table 1 Time cost by detecting ships from the saliency maps

Image	Time /s		
	Small radius	Large radius	Proposed algorithm
HY-1	1.5	0.4	0.7
HY-2	1.6	0.7	1.3
HY-3	4.2	1.4	1.8
HY-4	4.6	1.7	2.0
HY-5	7.7	2.8	3.1
HY-6	10.5	2.5	2.2

表2 两种算法检测结果

Table 2 Detection results of two algorithms

	Small radius	Large radius	Proposed algorithm
False alarm	0.286	0.23	0.1429
Miss error	0.383	0.367	0.3

由结果图可知,Itti 模型及其改进算法均能检测出海洋监视卫星图像中的舰船目标,但是 Itti 模型检测结果不如改进算法。由图 3~8 的(b)和(c)可看出,Itti 模型每次提取的显著区域形状大小固定,与初始设置有关,而与目标物体无关;人工确定的显著区域半径越小,提取一个目标所需要的次数越多,所耗费的时间也越长,实时性越差;半径越大,显著区域所包含的背景区域越多。由(d)可看出,改进算法检测结果的形状与舰船目标基本一致,所包含的背景区域较少。由表 2 可知,与 Itti 模型相比,本文算法的漏检率和虚警率

都较小。在对 20 幅图像进行舰船目标检测时,两种算法对简单海平面中的舰船目标检测效果都比较好,漏检率和虚警率都较低,而在检测复杂海平面中的舰船目标时,两种算法的性能都有所下降,漏检率和虚警率都有所提高。但是本文算法的检测性能及效果要稍优于 Itti 模型。

## 5 结 论

Itti 模型是一个基于视觉注意机制的仿生学模型,本文将其应用于海洋监视卫星图像舰船目标的检测。但是 Itti 模型所提取的显著区域形状大小固定、小半径检测实时性差、大半径检测包含背景区域多。针对这些问题,对模型进行了改进:引入 DMT 变换,增强了显著特征图中纹理特征的响应,在由显著点搜寻显著区域时采用阈值分割的算法,提高了检测精度和实时性。实验结果表明,改进算法所提取的显著区域与舰船目标形状大小基本一致,所包含的背景区域少,实时性也比 Itti 模型好,所以改进算法较 Itti 模型更适合应用于海洋监视卫星图像舰船目标的检测提取。同时,在实验中发现,改进算法在检测简单海洋监视卫星图像中的舰船目标时效果比较好,但是,一旦图像中舰船目标周围出现了云、岛礁等复杂背景或者检测港口附近的舰船目标时,效果不理想,虚警率和漏检率有所增大。因此,该算法在复杂背景海洋监视卫星图像中舰船目标检测方面的应用仍有待进一步研究。

## 参 考 文 献

- 1 Tang Muen, Lin Tingqiang, Wen Gongjian. Overview of ship detection methods in remote sensing image[J]. Application Research of Computers, 2011, 28(1): 29-36.  
唐沐恩,林挺强,文贡坚. 遥感图像中舰船检测方法综述[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(1): 29-36.
- 2 Zeng Wenjing, Wan Lei, Zhang Tiedong, *et al.*. Fast detection of weak targets in complex sea-sky background[J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(2): 403-412.  
曾文静,万磊,张铁栋,等. 复杂海空背景下弱小目标的快速自动检测[J]. 光学精密工程, 2012, 20(2): 403-412.
- 3 Sui Yuping, He Xin, Wei Zhonghui. A compression algorithm of remote sensing image based on ROI for ocean surveillance satellite[J]. Optics and Precision Engineering, 2008, 16(7): 1323-1329.  
隋玉萍,何昕,魏仲慧. ROI 的海洋监视卫星遥感图像压缩算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(7): 1323-1329.
- 4 Wang Baoyun, Zhang Rong, Yuan Yuan, *et al.*. A new multi-level threshold segmentation method for ship targets detection in optical remote sensing images[J]. J University of Science and Technology of China, 2011, 41(4): 293-298.  
王保云,张荣,袁圆,等. 可见光遥感图像中舰船目标检测的多阶阈值分割方法[J]. 中国科学技术大学学报, 2011, 41(4): 293-298.
- 5 Xu Junyi, Ji Kefeng, Lei Lin, *et al.*. Ship target detection from optical satellite remote sensing image based on GLRT[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(4): 616-622.  
许军毅,计科峰,雷琳,等. 基于 GLRT 的光学卫星遥感图像舰船目标检测[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(4): 616-622.
- 6 Chen Hailiang, Lei Lin, Zhou Shilin. A method of anti-disturbance by ragged clouds for detecting ships on the sea[J]. Computer Engineering & Science, 2010, 32(12): 46-49.  
陈海亮,雷琳,周石林. 一种抗碎云干扰的海上舰船目标检测方法[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(12): 46-49.
- 7 Zhang Jianjun, Shi Tingyan, Yang Lichun. A method of ships detection from optical remote sensing images based on feature detection[J]. Command Control & Simulation, 2013, 35(2): 137-144.  
张建军,史廷彦,杨丽春. 基于目标特征的光学遥感图像舰船检测方法[J]. 指挥控制与仿真, 2013, 35(2): 137-144.
- 8 Wang Weiwei, Xi Dengyan, Yang Gongpeng, *et al.*. Warship target detection algorithm based on cartoon-texture decomposition[J]. J Xidian University (Natural Science), 2012, 39(4): 131-137.  
王卫卫,席灯炎,杨堃鹏,等. 利用结构纹理分解的海洋舰船目标检测[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2012, 39(4): 131-137.
- 9 Shi Peng, Zhuang Liansheng, Ao Huanhuan. Ship detection based on human vision perception[J]. J Atmospheric and Environmental Optics, 2010, 5(5): 373-379.  
施鹏,庄连生,敖欢欢. 基于视觉感知机理的舰船目标检测[J]. 大气与环境光学学报, 2010, 5(5): 373-379.
- 10 Laurent Itti, Christof Koch, Ernst Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254-1259.
- 11 Laurent Itti, Christof Koch. Computational modeling of visual attention[J]. Nature Reviews Neuroscience, 2001, 2(3): 194-203.
- 12 Zhang Libao, Wang Pengfei. Fast detection of regions of interest in high resolution remote sensing image[J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(7): 0714001.



- 张立保, 王鹏飞. 高分辨率遥感影像感兴趣区域快速检测[J]. 中国激光, 2012, 39(7): 0714001.
- 13 Zhang Libao. Fast detection of regions of visual saliency regions in remote sensing image based on region growing[J]. Chinese J Lasers, 2012, 39(11): 1114001.
- 张立保. 基于区域增长的遥感影像视觉显著目标快速检测[J]. 中国激光, 2012, 39(11): 1114001.
- 14 Zhao Hongwei, Chen Xiao, Liu Pingping, *et al.*. Adaptive segmentation for visual salient object[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(2): 531–538.
- 赵宏伟, 陈 霄, 刘萍萍, 等. 视觉显著目标的自适应分割[J]. 光学 精密工程, 2013, 21(2): 531–538.
- 15 C Kock, S Ullman. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry[J]. Human Neurobiology, 1985, 4(4): 219–227.
- 16 John K Tsotsos, Sean M Culhane, Winky Yan Kei Wai, *et al.*. Modeling visual attention via selective tuning[J]. Artificial Intelligence, 1995, 78(1-2): 507–545.
- 17 Vito Di Gesu, Cesare Valenti, Laurent Strinati. Local operators to detect regions of interest[J]. Pattern Recognition Lett., 1997, 18(11-13): 1077–1081.