

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **3**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

目次

图像处理 and 编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镛(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 程金梅,叶永强,姜斌(393)

图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 冯永玖,韩震(441)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa. ac. cn
电话:010-68407995 010-82614429
网 址:www. cjig. cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

Contents

Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0365-05

论文引用格式: 任蕾, 施朝健, 冉鑫. 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 365-369

应用改进频率调谐的海上小目标检测方法

任蕾, 施朝健, 冉鑫

上海海事大学商船学院, 上海 200135

摘要: 提出了一种新的基于可见光图像的海上小目标检测方法。由于频率调谐方法将图像空间域整体均值与高斯滤波后差分结果, 作为显著性度量的标准, 因此当图像背景中存在较多杂波干扰时, 显著目标检测效果不理想。提出的方法对基于频率调谐的显著性检测方法进行了改进, 首先对图像 LAB 空间中 3 个特征分量进行分块, 在每个分块区域中应用频率调谐显著性检测方法, 进而将其结果合并为总显著图, 以检测海上小目标。该方法克服了频率调谐方法, 当海面背景中存在大量海杂波, 无法有效提取小目标的缺陷。实验结果表明了该方法的有效性。

关键词: 视觉注意; 频率调谐; 显著性; 海上小目标检测

Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection

Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin

Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China

Abstract: A new smalltarget detection method under sea surface environment is presented. Because the frequency tuned saliency detection is based on differences of the mean values of image features and the result of Gaussian filtering, the performance is not satisfying when there are many clutters in the background. The proposed approach makes improvement to frequency tuned saliency detection. The three components of image in LAB color space are divided into patches and within each patch, the frequency tuned saliency detection is conducted. The master saliency map is the fusion of each patch's saliency map. The proposed method overcomes the limitation of frequency tuned saliency detection when there are many clutters under sea background. The effectiveness of it is demonstrated by experiments.

Key words: visual attention; frequency tuned; saliency; small target detection under sea surface environment

0 引言

应用可见光图像进行海上小目标检测是海事监控、海难搜救等领域的重要问题之一。由于海面背景和背景均处于运动中, 二者的运动特征存在一定相关性, 且海上场景中的目标多为小目标, 因此传统的目标检测方法, 例如帧间差分法、光流场法和动态

背景建模等方法, 均存在局限性, 检测效果不理想^[1]。

近年来, 视觉注意机制引起了广泛关注, 众多学者在目标检测^[2]、图像压缩编码^[3]、机器人场景分类^[4]、基于内容的图像检索^[5]、图像尺度缩放^[6]等领域应用视觉注意机制进行了深入研究。其中最经典的模型是由 Itti^[7]提出的自底向上的视觉注意计算模型, 该模型首先对图像提取颜色、亮度和方向特

收稿日期: 2011-04-27; 修回日期: 2011-08-16

基金项目: 国家科技支撑计划(2009BAG18B04); 上海市重点学科项目(S30602); 上海海事大学科研基金项目(20110050)

第一作者简介: 任蕾(1979—), 女, 讲师, 上海海事大学载运工具运用工程在读博士研究生, 主要研究方向为计算机视觉, 智能船舶技术。E-mail: leiren@shmtu.edu.cn

征,并利用中央-周边差分,提取各特征的显著图,然后线性合并为总显著图,提取注意焦点并指导视觉注意焦点转移。该方法完全依赖于图像本身的特性,无需任何先验信息。在此基础上很多学者提出了各类改进方法,其主要研究问题集中在:图像特征选择、显著特征提取方法和显著特征合并策略3个方面。Bruce等人^[8]从信息论的角度出发提出了视觉注意模型。Gao等人^[9]则以特征区分能力定义显著性。

针对海上场景的应用,叶聪颖等人^[10]提出了基于HSI(hue, saturation, intensity)空间的船舶检测视觉注意模型,即在HSI颜色空间中,对3个分量采用多尺度差分计算获得各分量特征图,进而对其进行线性融合获得显著图。吴琦颖^[11]等人在海上运动目标实时监测和跟踪系统中引入视觉注意机制,提出了一种迭代的基于倒三角小模板的线性低通滤波方法,快速实现粗分辨率图像上的平滑去噪,以此凸显目标。由于粗分辨率上的平滑作用,使得该方法不利于海上场景中目标的检测。吴琦颖等人^[12]还提出基于可见光图像序列的海上运动目标快速检测方法,利用视觉注意模型首先在静态图像中分割感兴趣区域(ROI),进而仅在感兴趣区域中应用改进的时间差分法检测运动目标。上述的各算法,都是在Itti的视觉注意计算模型基础上进行的改进,直接在空间域检测显著目标,计算量大,不利于实时应用。

针对在空间域进行显著性检测方法的计算复杂度高、结果依赖于参数选择等问题,Hou等人^[13]提出频谱残差方法,尝试从频域解决显著区域检测问题。之后,Guo等人^[14]指出,图像显著性检测的关键是相位谱,并用四元数傅里叶变换方法,将图像的颜色特征和运动特征融入显著性检测中。但是由于这两类方法需将图像调整到适当的尺寸,往往是对图像的下采样,因此检测效果受到一定限制。Achanta等人^[15]提出了一种频率调谐显著性检测方法,该方法可以在图像原分辨率上提取显著目标,能将显著区域的轮廓较完整地提取出来,同时显著区域内部也较为一致,克服了频谱残差方法,显著图分辨率低,显著目标定位不准确的问题。同时,该方法在图像的Lab空间中实现,其亮度特征和颜色特征之间去除了相关性。频率调谐方法保留了较多的频域信息,实现简单。但该方法在图像整体上提取均值分量与高斯平滑后的差值,作为显著性的度量标准,更适合检测显著目标尺寸较大的情况,对小目标

检测效果不理想。之后,施鹏^[16]在光学遥感图像复杂海面背景下舰船目标检测问题中,为解决小目标检测问题,对频率调谐方法进行了改进,利用自适应的维纳滤波取代高斯滤波,通过计算周边像素统计信息,以凸显小目标抑制背景噪声的作用。同时,施鹏指出频率调谐方法其本质也是一种频谱残差。但这两种方法,当图像中存在较多与均值差别大的分散背景区域时,会使该部分背景突出,显著目标检测效果不佳。

为了解决这个问题,将频率调谐方法应用于基于可见光的海上小目标检测,对其进行了改进,将原始图像在Lab空间中的3个分量,首先分为多个子块,在每个分块中应用频率调谐方法,提取各自的显著区域,然后对其进行融合,得到总显著图。

1 改进的频率调谐方法

1.1 频率调谐方法

设输入图像为 $I_{m \times n}$,首先对其提取Lab颜色空间中的亮度和颜色特征,分别为 L, a 和 b 。对每个特征,分别计算其整体均值:

$$L_{\mu} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L(i, j) \quad (1)$$

$$a_{\mu} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a(i, j) \quad (2)$$

$$b_{\mu} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n b(i, j) \quad (3)$$

同时,对各特征,高斯平滑后的结果为

$$L_G(x, y) = L(x, y) * \mathbf{G}_{q \times q} \quad (4)$$

$$a_G(x, y) = a(x, y) * \mathbf{G}_{q \times q} \quad (5)$$

$$b_G(x, y) = b(x, y) * \mathbf{G}_{q \times q} \quad (6)$$

式中, $\mathbf{G}_{q \times q}$ 表示 $q \times q$ 的高斯平滑滤波器,其尺寸一般选择 3×3 或 5×5 像素。

图像中每个像素的特征可由 L, a 和 b 3个特征组成的矢量表示,因此上述可以综合为 $\mathbf{I}_{\mu} = [L_{\mu} \ a_{\mu} \ b_{\mu}]^T$ 和 $\mathbf{I}_G(x, y) = [L_G(x, y) \ a_G(x, y) \ b_G(x, y)]^T$ 。则频率调谐方法获得的显著图为

$$S_{\text{FreTuned}}(x, y) = \|\mathbf{I}_{\mu} - \mathbf{I}_G(x, y)\|_2 \quad (7)$$

式中, $\|\cdot\|_2$ 表示矢量或矩阵的2范数。

1.2 改进的频率调谐方法

海上场景中存在大量的海杂波,是图像的高频分量。若以图像的整体均值与高斯平滑后的差值作为显著性度量,则会出现大量的海杂波也被检测到。

为了解决海上场景中小目标检测问题,有效抑制海杂波,提出改进的频率调谐方法。

首先,对输入图像提取 L, a 和 b 3 个特征后,同样的,利用式(4)~(6)对图像整体进行高斯平滑。

将图像的亮度和颜色特征进行分块处理,在每个区域内分别使用频率调谐方法。这样的优势是,在海杂波大量分布的海面背景中,其局部的均值与高斯平滑后的结果相差缩小,因此起到抑制作用。

设每个图像块为 $p \times p$ 的方形区域,则根据图像的尺寸,可能出现两类情况:一是图像正好划分为整数个方形区域,共计 $\frac{m}{p} \times \frac{n}{p}$ 个;二是在边界处剩余无法正好分割的区域,此时,将剩余的部分也作为一个子块。则,对每个分块后区域中使用频率调谐方法,有:设对分块后第 k 个子块分别计算其均值,并与其高斯平滑后的结果进行差分,得到

$$L_{k\mu} = \frac{1}{p \times p} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p L_k(i, j) \quad (8)$$

$$a_{k\mu} = \frac{1}{p \times p} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_k(i, j) \quad (9)$$

$$b_{k\mu} = \frac{1}{p \times p} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p b_k(i, j) \quad (10)$$

同时,对各特征,高斯平滑后的结果为 $L_{kG}(x, y), a_{kG}(x, y), b_{kG}(x, y)$ 。

组合为矢量或矩阵为: $\mathbf{I}_{k\mu} = [L_{k\mu} \ a_{k\mu} \ b_{k\mu}]^T$, $\mathbf{I}_{kG}(x, y) = [L_{kG}(x, y) \ a_{kG}(x, y) \ b_{kG}(x, y)]^T$ 。

其显著图为

$$S_k(x, y) = \|\mathbf{I}_{k\mu} - \mathbf{I}_{kG}(x, y)\|_2 \quad (11)$$

从而总显著图为各子块显著图的拼接,即

$\mathbf{S}(x, y) = \{S_k(x, y) | k=1, 2, \dots, num\}$, 其中 num 是图像子块的个数。

2 实验与分析

2.1 实验

为了验证提出的显著区域提取方法的有效性,进行了实验。实验用的计算机为 Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU, 2.40 GHz, 2.00 GB 内存,实验平台为 Matlab2009(a)。

实验中对比了频率调谐方法、施鹏的改进方法和提出的改进方法。为了尽量保留小目标的信息,实验中使用的高斯平滑模板为 3×3 像素。

实验图像尺寸为 576×720 像素,图像子块的尺寸分别为 $8 \times 8, 16 \times 16$ 和 36×36 。

图1给出实验的原始图像,第1幅实验图像中有两个目标,一个为颜色鲜艳的救生艇,一个是海面上漂浮的小目标。第2幅实验图像中仅有漂浮的小目标。频率调谐方法和施鹏的改进方法实验结果分别在图2和图3中显示。可以看出两个方法对救生艇的检测效果较好,但小目标与大量的海杂波混合在一起难以检测。在施鹏方法得到的显著图中,小目标较经典的频率调谐方法要更加突出,但是大量海杂波的问题没有解决。图4、图5分别给出本文方法采用不同图像子块的实验结果。可以发现,利用本文方法,可以有效抑制海杂波的影响,同时能检测到海上小目标。

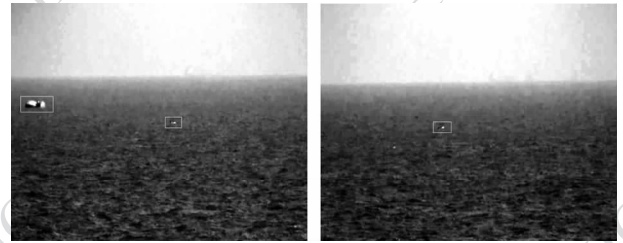


图1 实验图像1和实验图像2

Fig.1 Test image 1 and test image 2

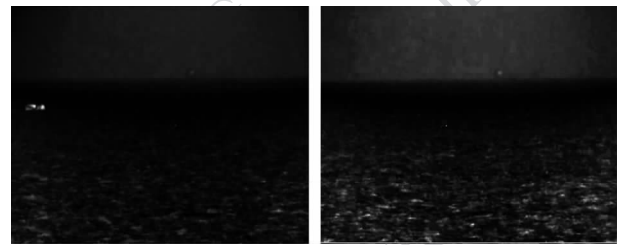


图2 频率调谐方法实验结果

Fig.2 Results of frequency tuned method

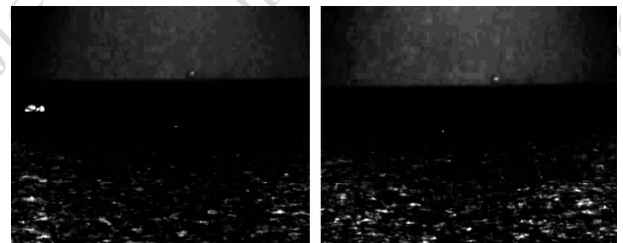


图3 施鹏的改进方法实验结果

Fig.3 Results of Shi Peng's method

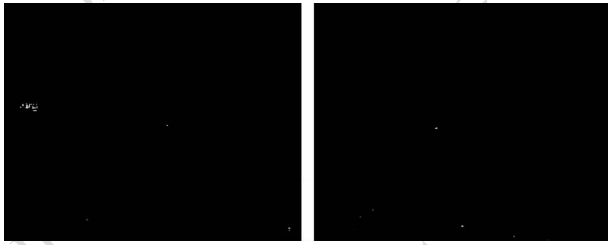


图4 本文方法(子块尺寸:8×8)

Fig. 4 Results of proposed method using 8×8 patches

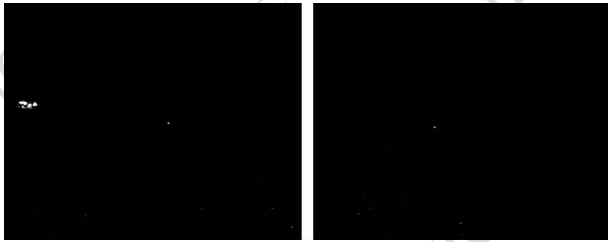


图5 本文方法(子块尺寸:16×16)

Fig. 5 Results of proposed method using 16×16 patches

2.2 分析

通过上述实验结果,可以看出,由于频率调谐方法或施鹏的改进方法,以图像整体考虑均值与高斯平滑或维纳滤波后的差分表示显著目标,若图像中存在大量分散的海杂波时,即图像数据中存在大量的局部噪声信号,则其对应的海面背景也会突出。本文改进的方法,由于考虑到海面背景的特点,利用局部化方法,通过分块处理,使得均值更能表示图像局部的特征,即当所取子块中没有目标时候,其均值与平滑后图像相差较小,能有效抑制海杂波;当存在目标时,若所取子块尺度适当,则其局部均值与平滑后图像的差值能突出目标。本文的方法能自适应图像数据中的局部特征,因此,对海上小目标检测问题效果较好。

值得注意的是,当所取分块区域中包含检测目标时,若所取分块尺寸太小,则会导致目标也被抑制。从图4的实验结果可以发现,分块尺寸为8×8时,测试图像1救生艇中大部分信息由于滤波作用已损失。当采用16×16子块尺寸时,救生艇的检测效果较好。同时,由于大量海杂波被抑制,因此海面上漂浮的小目标也较易检测。

同时,对频率调谐方法和本文改进方法,取3种不同尺度的子块,共4类情况,对比了其运行时间。将各算法运行100次,其时间均值如表1所示。

表1 频率调谐方法和本文改进方法运行时间对比表
Table 1 Running time comparison between FreTuned and proposed method using different patch size

FreTuned	本文方法		
	36×36	16×16	8×8
1.209 0	1.276 7	1.505 7	2.274 3

从表1中可以看出,当所取分块尺寸适当时,本文方法的运行时间较原方法相差不大,保持在同一数量级,但去除海杂波的效果更好。

为说明本文方法的优势,我们对比了经典频率调谐方法与提出的新方法在不同子块尺寸下的小目标检测效果。通过改变阈值得到二值化显著图,并计算检测率和虚警率。对两幅测试图像,其对应的ROC曲线图分别如图6和图7所示。

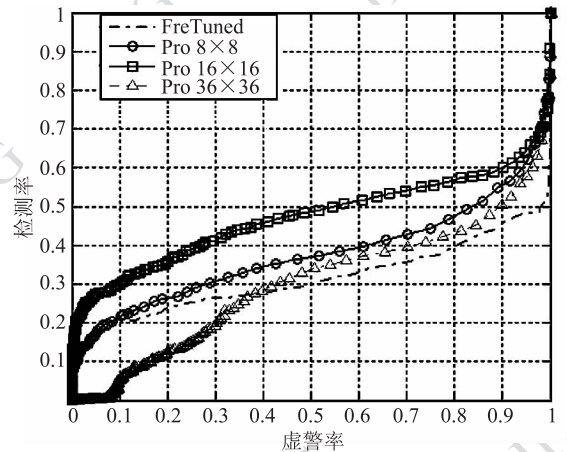


图6 第1幅测试图像的ROC曲线图

Fig. 6 ROC curve for the first test image

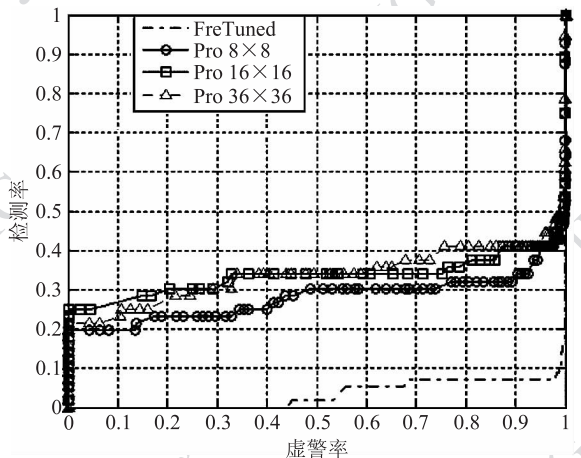


图7 第2幅测试图像的ROC曲线图

Fig. 7 ROC curve for the second test image

从图中可以看出,本文方法的 ROC 曲线所围绕的面积较大,效果较经典的频率调谐方法效果好。频率调谐方法对海上目标检测的最大问题是虚警概率很高,这是因为大量的海杂波没有被抑制的结果。不同的分块尺寸对小目标检测效果有影响,因此采用适中的尺寸很重要。

3 结 论

本文提出一种新的海上小目标检测方法,对频率调谐方法进行了改进,通过对原始图像分块后的每个区域中应用频率调谐方法,有效抑制了海杂波的影响。

参考文献 (References)

[1] Ran X, Ren L. Small and weak target detection on sea surface based on visible light video image processing [J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2010, 31(2):11-17.
[冉鑫,任蕾. 基于可见光视频图像处理的水上弱小目标检测方法[J]. 上海海事大学学报,2010, 31(2):11-17.]

[2] Laurent I, Gold C, Koch C. Visual attention and target detection in cluttered natural scenes [J]. Optical Engineering, 2001, 40(9):1784-1793.

[3] Laurent I. Automatic foveation for video compression using a neurobiological model of visual attention [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(10):1304-1318.

[4] Shubina K Tsotsos J K. Visual search for an object in a 3D environment using a mobile robot [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114(5):535-547.

[5] Feng S H, Xu D, Yang X. Attention-driven salient edges and regions extraction with application to CBIR [J]. Signal Processing, 2010, 90(1): 1-15.

[6] Chen D Y, Luo Y S. Content-aware video resizing based on salient visual cubes [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2011, 22(3): 226-236.

[7] Laurent I, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on

Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11):1254-1259.

- [8] Neil D B B, Tsotsos J K. Saliency, attention, and visual search: an information theoretic approach [J]. Journal of Vision, 2009, 9(3):1-24.
- [9] Gao D S, Mahadevan V, Vasconcelos N. On the plausibility of the discriminant center-surround hypothesis for visual saliency [J]. Journal of Vision, 2008, 8(7): 1-18.
- [10] Ye C Y, Li C H. Application of HSI based on visual attention model in ship detection [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2005, 44(4):484-488. [叶聪颖,李翠华. 基于 HSI 的视觉注意力模型及其在船只检测中的应用[J]. 厦门大学学报:自然科学版,2005, 44(4):484-488.]
- [11] Wu Q Y, Li C H. The approximation algorithms applied to maritime region of interest segmentation [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2007, 46(1):33-37. [吴琦颖,李翠华. 用于海上感兴趣区域实时分割的近似算法[J]. 厦门大学学报:自然科学版, 2007, 46(1):33-37.]
- [12] Wu Q Y, Li C H. Novel method for moving maritime objects detection [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(14):213-216. [吴琦颖,李翠华. 一种新颖的海上运动目标实时检测方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(14): 213-216.]
- [13] Hou X D, Zhang L Q. Saliency detection: a spectral residual approach [C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. N J: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007:1-8.
- [14] Guo C L, Ma Q, Zhang L M. Spatio-temporal saliency detection using phase spectrum of quaternion Fourier transform [C]//Proceedings of 26th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. N J: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008:1-8.
- [15] Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Frequency-tuned salient region detection [C]//Proceedings of 2009 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. NJ: IEEE Computer Society, 2009: 1597-1604.
- [16] Shi P. The ship detection based on optical remote sensing images [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010. [施鹏. 基于光学遥感图像的舰船目标自动检测技术[D]. 合肥:中国科学技术大学,2010.]