

文章编号: 1672-8785(2015)10-0027-05

基于图像等级多样性的海上红外舰船显著性检测

闫 喆 陆 斌 郭少军

(海军航空工程学院, 山东烟台 264001)

摘 要: 海天和海岛背景下的海面多舰船红外目标检测一直是图像处理方面的难题。多舰船目标监视采用较广的视场和较大的景深, 囊括了更多的目标信息和海天背景成像像素, 使多舰船目标显著性的提取难度增大。同时, 景深的增大使舰船目标成像更多地表现为小目标, 轮廓特征不再明显, 这对舰船目标的显著性检测造成了极大的困难。将图像等级多样性和超级像素理论用于海面多舰船目标显著性检测, 提出了海面多舰船目标显著性检测方法。

关键词: 多舰船目标; 显著性检测; 图像等级多样性; 目标检测

中图分类号: TP 391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.10.007

Saliency Detection of Infrared Ship Target Based on Graph-based Manifold Ranking

YAN Zhe, LU Bin, GUO Shao-jun

(Navy Aeronautical and Astronautical University, YanTai 264001, China)

Abstract: In image processing, the detection of multiple infrared ship targets against the background of sea/sky and island is always difficult. The monitoring of multiple ship targets usually uses a wider field of view and a greater field depth. Although this can cover more target information and more imaging pixels against the sea/sky background, the extraction of saliency of multiple ship targets becomes more difficult. At the same time, the increase of field depth makes the ship targets much smaller and their outlines are no longer clear. This may cause great difficulty for the saliency detection of ship targets. By applying the theory of image level diversity and superpixel to the saliency detection of multiple ship targets at sea, a new saliency detection method for multiple ship targets at sea is proposed.

Key words: multiple ship targets; saliency detection; image level diversity; target detection

0 引言

传统的基于阈值分割、基于边缘检测和基于多梯度^[1]的红外目标检测方法在复杂海天背景和岛屿干扰情况下的目标检测效果并不理想, 尤其是当视场中还存在多艘舰船(舰船编队或其他情况)时, 靠近视场边缘和较小的目标的检测

效果较差, 甚至造成漏检。

当红外照相机对海面进行监视时, 在舰船目标出现在一定距离范围内时会表现出一定的轮廓和纹理细节信息, 如果能够有效保留这些信息而屏蔽其他无用信息, 提高信噪比, 获得舰船目标的纹理细节, 则可以建立相关特征模型与其

收稿日期: 2015-09-21

作者简介: 闫喆(1987-), 男, 四川绵阳人, 硕士, 主要从事目标识别与跟踪技术研究。 E-mail: n13791268762@126.com

匹配, 实施进一步的舰船分类。

近年来, 随着计算机视觉、人体仿生学和视觉注意机制 (Visual Attention Mechanism) 的发展及应用, 很多显著性检测方法被提出。目标显著性检测通常是产生边界框^[1,2]、二值化目标和背景^[3-6]或者通过生成图像中每个像素的显著性映射图像, 再设定显著性阈值进行分割而获得目标的。然而这些方法无法保留目标内部的细节纹理信息。Goferman^[7]等人提出了基于人类视觉注意力特征的注重纹理的图像区域显著性检测方法, 这种方法通过 KL 距离公式计算图像中心区域与周边区域特征分布的差异^[8]。Xie^[9]等人引用了图像低显著性等级和中显著性等级, 提出了在贝叶斯框架下目标显著性检测方法。Sun^[10]等人改进了 Xie 的方法, 引入了区域处理与软分割思想。最近, Perazzi^[11]等人证明了图像对比和显著性估计可以用标准高维高斯滤波器来获得。

以上提到的方法都是通过对比图像局部中心区域与周边区域特征的不同来进行显著性检测的。Gopalakrishnan^[12]等人把显著性检测问题看成一个二值化分割和图像显著性标注问题, 同样这个方法掩盖了目标纹理细节, 并且检测效果并不理想。Chuan Yang^[13]等人提出了基于图像等级多样性的显著性检测方法, 该方法基于人类视觉观察目标集中于图像中部的特点, 计算目标与图像的四个边缘的显著性差异, 完成目标区域的显著性提取。该方法对中心目标区域的提取效果显著, 然而对边缘目标的提取却差强人意, 甚至会发生漏检。

针对 Chuan Yang 等人的方法无法有效处理多舰船目标的问题, 本文提出目标区域粗提取限制显著性检测区域, 引入超级像素^[14]和形态学方法^[15]进行目标局部区域的图像等级多样性检测。通过对一系列图像进行实验, 表明在复杂海天背景和岛屿干扰情况下, 本文方法优于以往的显著性检测方法。整个流程如图 1 所示。

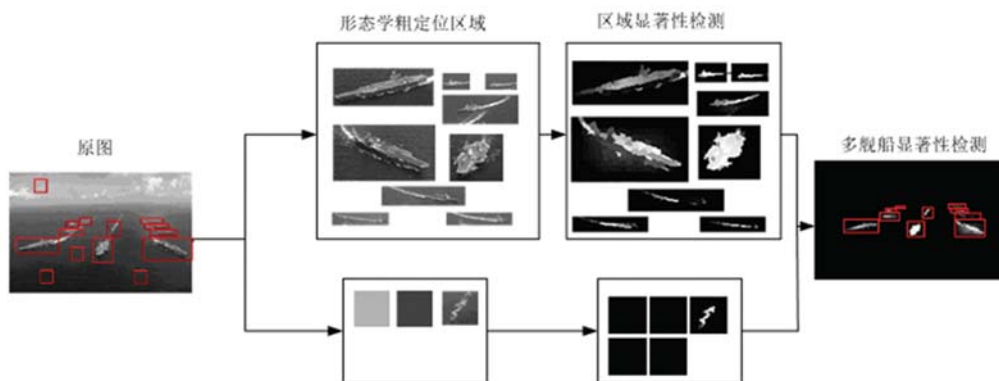


图 1 本文算法流程图

1 海上舰船图像等级多样性

可以将海面舰船图像等级多样性作这样的描述: 以图像中的目标或背景点作为索引, 创建相关性函数, 利用点与点之间的相关性 (颜色信息或灰度信息、梯度信息等) 计算其它点与索引点的相似度, 并作好相似度标记, 标记值呈现的不同数值体现了图像像素的等级多样性^[13]。

1.1 舰船图像多样性等级标记

利用图像数据结构等级进行舰船图像像素标记的方法如下: 对于一个给定数据集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l, x_{l+1}, \dots, x_n\} \in R^{m \times n}$, 标记其中一些数据点为索引点, 计算其它点与索引点的相关性强度, 按强度的不同将点分等级^[16]。构建一个相关性强度计算函数 $f = [f_1, f_2, \dots, f_n]^n$, f_i 表示 x_i 与索引点的相关强度等级。另外构建一

个矩阵 $y = \{y_1, y_2, \dots, y_l, y_{l+1}, \dots, y_n\}$, y_i 表示 x_i 的属性, $y_i = 1$ 表示 x_i 是索引点, 非索引点用 $y_i = 0$ 标记。根据数据集定义一个图 $G = (V, E)$, 表示数据集 X , E 表示数据点之间的边, 由权值 $W = [w_{ij}]_{n \times n}$ 表示相关强度, 对于一个图 G , 构建对角矩阵:

$$D = \text{diag}\{d_{11}, \dots, d_{nn}\}, d_{ii} = \sum_j w_{ij} \quad (1)$$

基于相似度计算的最优等级分类要解决的问题就是对式 (2) 的最优化问题^[17]:

$$f^* = \arg \min_f \frac{1}{2} \left(\sum_{i,j=1}^n w_{ij} \left\| \frac{f_i}{\sqrt{d_{ii}}} - \frac{f_j}{\sqrt{d_{jj}}} \right\|^2 + \mu \sum_{i=1}^n \|f_i - y_i\|^2 \right) \quad (2)$$

式中, μ 为平滑性约束因子, 对一个好的分类函数来说, 数据点分类前后差异不会变化很大。 $\left\| \frac{f_i}{\sqrt{d_{ii}}} - \frac{f_j}{\sqrt{d_{jj}}} \right\|^2$ 表示两个数据之间的空间距离, 意味着相邻像素之间的差异不会很大。可以认为 f^* 是一个关于分类函数 f 的联合高斯分布函数^[19]。为了获得最优解, 设式 (2) 中关于 f 的导数为零, 得到

$$f^* = (I - \alpha S)^{-1} y \quad (3)$$

式中, I 是单位矩阵, $\alpha = 1/(1 + \mu)$, S 是标准化的拉普拉斯矩阵, $S = D^{-1/2} W D^{-1/2}$ 。对式 (3) 进行变形, 不再使用拉普拉斯矩阵, 可得

$$f^* = (D - \alpha W)^{-1} y \quad (4)$$

通过对实验数据进行处理, 发现变形后的公式获得的效果更佳。因此, 本文采用式 (4) 来进行数据等级分类。

1.2 索引数据优化

利用式 (4) 对一幅给定的舰船数据图像 (部分点标记为索引) 进行显著性等级计算。为了简化分析, 设 $f^* = Ay$, $A = (D - \alpha W)^{-1}$, $f^*(i)$ 为数据点 x_i 的等级数值, 是矩阵 A 第 i 行数据与 y 的内积。因为 y 是二值化的数据, 所以 $f^*(i)$ 也可以看作为 x_i 与所有索引点的相关度之和。

索引标记存在错误标记的可能性, 需要计算可信度。对于每个索引数据, 利用其它索引数据来衡量它的可信度: 设矩阵 A 的对角线元素为 0, 然后计算式 (4), 获得各个索引的等级分类数值, 并将该值当作可信度值。设置矩阵 A 对角线元素为 0, 以避免错误索引点自身关联值过大造成其它索引关联值的削减, 从而降低错误索引出现的概率。

1.3 舰船显著性检测

为了在图像显著性检测获得目标后能够保留其纹理细节和内部的连通性, 首先对图像像素进行超级像素计算^[14,18], 使具有相似颜色或灰度信息的邻近像素聚集在一起成为一个数据点。然后, 根据人类视觉的特征, 既显著性目标都处在图像中央, 分别计算以每条边为背景标记的超像素显著性分类等级。

以转化为超级像素的图像边界像素为背景索引数据, 构建数据关系图 $G = (V, E)$ 。可以明显地发现, 大部分数据间是没有直接联系的, 也就是说, 约束矩阵 W 的大部分元素值为 0。定义边之间的关联约束值为

$$w_{ij} = e^{-\frac{\|c_i - c_j\|}{\sigma^2}} \quad i, j \in V \quad (5)$$

式中, c_i 和 c_j 表示两个超级像素在 CIE LAB 颜色空间的均值; 是用来控制权值的常数, 权值的计算是基于两个超级像素点在颜色空间上的距离来计算的^[14,19]。

如前面所述, 分别以四个边的超像素作为背景索引, 计算其它像素的等级分类数值。获得的四个等级分类矩阵 S_T 、 S_B 、 S_L 和 S_R 分别表示以上下左右边为索引计算得到的等级分类值矩阵。再将四个矩阵的元素相乘, 获得每个超级像素的整体等级分类值:

$$S_{bq}(i) = S_T(i) \times S_B(i) \times S_L(i) \times S_R(i) \quad (6)$$

通过对部分数据图像的处理, 发现直接以四个边界数据为背景索引的效果较分别以四个边做索引再联合要差。原因有两点: (1) 在四个边上的超级像素之间存在很大的距离差异, 也可能存在很大的颜色差异, 如果同时以四个边的所有数据作为背景索引, 则会造成有些目标分

类等级值变小；(2) 分别计算相关等级值再联合的方法能够减少不精确索引的影响。

如果以背景作为索引，则图像的显著性映射值为 $S_{fq} = 1 - S_{bq}$ ，再以所有像素的显著性等级分类值均值作为阈值进行显著性图像分割，获得显著性目标图像。

基于图像等级多样性的目标显著性检测可以总结如下：

输入具有一定属性的图像

步骤 1：将图像分割成超级像素图像，构造结构图 $G = (V, E)$ ，计算对角矩阵 D 和权值矩阵 W ；

步骤 2：计算矩阵 $(D - \alpha W)^{-1}$ 并将对角元素设置为 0；

步骤 3：构建指示矩阵 y ，标记索引点。分别以图像的四个边界数据作为背景索引计算每个超像素的等级分类值和联合值 S_{ba} ；

步骤 4：计算得到目标显著性映射值，设置分割阈值为所有像素等级分类值的均值，获得目标显著性图像。

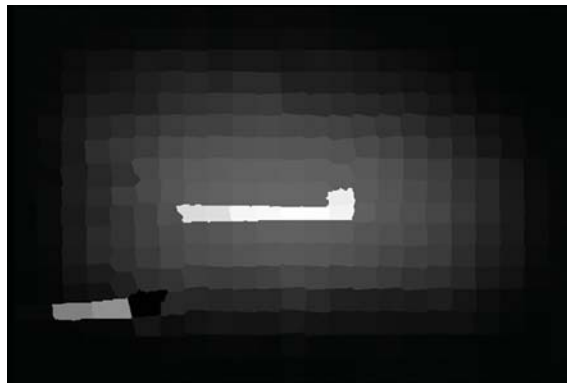
输出目标显著性图像。

2 实验与分析

对于单个大目标图像，算法获得的显著性效果如图 2 所示。对多舰船编队监视的图像，获得的目标显著性检测结果得到了大大改善。



(a)



(b)

图 2 单舰船与舰船编队的显著性检测

在实验过程中，如果联通区域过小，则对联通区域进行扩展，再进行显著性检测，从而避免弱小目标的漏检。另一方面，基于图像多样性等级的显著性检测对某些噪声造成的联通区域具有很强的抗性，也就是说如果将碰到的噪声区域错误标记为联通区域，这个区域内的显著性检测会很弱，加阈值后则可以消除，从而降低虚警率。多舰船目标的目标显著性检测效果如图 3 所示。



(a)



(b)

图 3 编队舰船显著性检测

3 小结

将图像多样性等级分类方法及超像素理论应用于红外情况下海面多舰船目标的区域提取与显著性检测。利用局部图像等级多样性抑制了海天背景的影响, 成功解决了在复杂海天背景和岛屿干扰情况下图像全局等级多样性检测无法较好实现多舰船目标检测的问题, 同时降低了目标检测的虚警率, 获得的效果优于传统方法对目标区域的提取效果, 本文方法具有较高的检测率。

参考文献

- [1] Chang K Y, Liu T L, Chen H T, et al. Fusing Generic Objectness and Visual Saliency for Salient Object Detection[C].*Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on IEEE*, 2011:914–921.
- [2] Feng J, Wei Y, Tao L, et al. Salient Object Detection by Composition [C].*Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision, IEEE International Conference on Computer Vision*, 2011:1028–1035.
- [3] Gopalakrishnan V, Hu Y, Rajan D. Random Walks on Graphs for Salient Object Detection in Images.[J].*IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society*, 2010,**19**(12):3232–3242.
- [4] Liu T, Yuan Z, Sun J, et al. Learning to Detect a Salient Object[J].*Pattern Analysis and Machine Intelligence IEEE Transactions on*, 2007,**33**(2):353–367.
- [5] Lu Y, Zhang W, Lu H, et al. Salient Object Detection Using Concavity Context [C].*Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision, IEEE International Conference on Computer Vision*, 2011:233–240.
- [6] Wang L, Xue J, Zheng N, et al. Automatic Salient Object Extraction with Contextual Cue.[J].*Proceedings*, 2011,**23**(5):105–112.
- [7] Goferman S, Zelnik-Manor L, Tal A. Context-aware Saliency Detection[C].*2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition IEEE*, 2010:2376–2383.
- [8] Klein D, Frintrop S. Center-surround Divergence of Feature Statistics for Salient Object Detection[C].*Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision, IEEE International Conference on Computer Vision*, 2011:2214–2219.
- [9] Xie Y, Lu H, Yang M H. Bayesian Saliency via Low and Mid Level Cues.[J].*IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society*, 2013,**22**(5):1689–1698.
- [10] Sun J, Lu H, Li S. Saliency Detection Based on Integration of Boundary and Soft-segmentation[C].*Image Processing (ICIP), 2012 19th IEEE International Conference on IEEE*, 2012:1085–1088.
- [11] Perazzi F, Krhenb ü hl P, Pritch Y, et al. Saliency Filters: Contrast Based Filtering for Salient Region Detection[C]. In *CVPR*, 2012:733–740.
- [12] Chen T, Cheng M M, Tan P, et al. Sketch2Photo: Internet Image Montage[J].*Acm Transactions on Graphics*, 2009,**28**(5):89–97.
- [13] Yang C, Zhang L, Lu H, et al. Saliency Detection via Graph-Based Manifold Ranking[J].*IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2013,**9**(4):3166–3173.
- [14] Achanta R, Shaji A, Smith K, et al. SLIC Superpixels Compared to State-of-the-Art Superpixel Methods[J].*IEEE Transactions on Software Engineering*, 2012, **34**(11):2274–2282.
- [15] 王慧锋, 战桂礼, 罗晓明. 基于数学形态学的边缘检测算法研究及应用 [J].*计算机工程与应用*, 2009,**45**(9):223–226.
- [16] Zhou D, Weston J, Gretton A, et al. Ranking on Data Manifolds[C].*Advance in Neural Information Processing Systems*, 2003:169–176.
- [17] Du C J, Marcello M, Spiller D G, et al. Interactive Segmentation of Clustered Cells via Geodesic Commute Distance and Constrained Density Weighted Nystrom Method[J]. *Cytometry Part A*, 2010 (12):1137–1147.
- [18] 刘亚洁. 基于数学形态学膨胀和腐蚀的医学磁共振图像的边缘检测 [J].*生物医学工程与临床*, 2012,**16**(1):11–13.
- [19] 陆琳, 孙福军, 周小平, 等. 基于小波变换和拉普拉斯算子的细胞图像边缘检测方法 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2007, **24**(4):288–289.