

## 红外图像显著目标检测算法

孙照蕾<sup>1,2,3,4</sup>, 惠斌<sup>1,3,4</sup>, 秦莫凡<sup>5</sup>, 常铮<sup>1,3,4</sup>, 罗海波<sup>1,3,4</sup>, 夏仁波<sup>1,3,4</sup>

- (1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;  
3. 中国科学院光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016;  
4. 辽宁省图像理解与视觉计算重点实验室, 沈阳 110016; 5. 四川大学锦城学院, 四川 成都 611731)

**摘要:** 提出一种简单快速的红外图像显著目标检测算法, 算法可以分为三步: 首先, 对原始红外图像进行预处理以增强目标与背景的对比度; 然后, 在 log 频谱中提取预处理后图像的频谱残差, 通过相应的反变换及简单的阈值分割, 可以得到显著目标的大致区域; 最后, 采用一个滑动窗口在目标候选区域内进行搜索确定显著目标的准确位置, 这个过程采用由目标及其周围区域在原始图像中的灰度分布得到的半局部特征对比度的概率表达得到每个像素点的显著性值, 进行阈值分割得到显著目标, 改变滑动窗口的大小可以检测出不同尺度的目标。采用大量的红外图像对算法进行测试, 实验结果表明该算法具有高效性和鲁棒性。

**关键词:** 目标检测; 显著性检测; 目标候选区域; 半局部特征对比度

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)09-2633-05

## Object detection method based on saliency measure for infrared radiation image

Sun Zhaolei<sup>1,2,3,4</sup>, Hui Bin<sup>1,3,4</sup>, Qin Mofan<sup>5</sup>, Chang Zheng<sup>1,3,4</sup>, Luo Haibo<sup>1,3,4</sup>, Xia Renbo<sup>1,3,4</sup>

- (1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. Key Laboratory of Opto-Electronic Information Processing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;  
4. The Key Lab of Image Understanding and Computer Vision, Liaoning Province, Shenyang 110016, China;  
5. Jincheng College of Sichuan University, Chengdu 611731, China)

**Abstract:** A simple and computationally efficient method was presented for detecting visually salient objects in infrared radiation images. The proposed method can be divided into three steps. Firstly, the infrared image was pre-processed to increase the contrast between objects and background. Secondly, the spectral residual of the pre-processed image was extracted in the log spectrum, then via corresponding inverse transform and threshold segmentation we could get the rough regions of the salient objects. Finally, a sliding window was applied to acquire the explicit position of the salient objects using the probabilistic interpretation of the semi-local feature contrast which was estimated by comparing the gray

收稿日期: 2015-01-12; 修订日期: 2015-02-21

基金项目: 中国科学院国防科技长信重点基金(CXJJ-14-Z65)

作者简介: 孙照蕾(1990-), 女, 硕士生, 主要从事目标检测及跟踪方面的研究。Email: xinlei0616@163.com

导师简介: 惠斌(1973-), 男, 研究员, 硕士生导师, 硕士, 主要从事实时图像处理、ATR、ATA 方面的研究。Email: huibin@sia.cn

level distribution of the object and the surrounding area in the original image. And changing the size of the sliding window, different size of objects could be found out. The method was tested on abundant amount of infrared radiation images, and the results show that the saliency detection based object detection method is effective and robust.

**Key words:** object detection; saliency detection; candidate object region; semi-local feature contrast

## 0 引言

红外成像技术持续发展,在精确制导、红外预警、红外搜索系统以及其他军用、民用领域中得到广泛应用,作为红外搜索与跟踪、红外预警、精确制导等应用的关键技术,红外目标检测已成为红外图像处理领域的研究热点<sup>[1]</sup>。在已知目标先验信息的情况下,主要有两类目标检测方法:一类方法是利用先验信息训练一个由多个弱分类器级联的集合分类器,然后利用这些弱分类器进行投票检测目标,如 boosting、AdaBoost、随机森林等算法都是基于这种思想;另一类方法是利用先验信息找到目标与非目标之间的最佳分类线检测目标,如:SVM 算法。另一方面,在目标先验信息未知的情况下,可以利用目标在场景中的某类特性进行目标检测:一种是检测场景中的运动目标,这种情况又可以分为静态背景运动目标检测<sup>[2]</sup>和动态背景运动目标检测<sup>[3]</sup>;另一种是检测场景中的显著目标<sup>[4]</sup>,这种方法由人眼视觉系统具有无需任何训练而能快速的集中到显著目标上的能力启发得到,适用于目标和成像条件均未知的情况,这也是文中的研究重点。

显著性检测主要利用了人眼视觉系统的注意机制,通过图像的显著性映射与分割,获得场景中的显著目标,最后根据几何信息选择兴趣目标<sup>[5]</sup>。视觉显著性检测算法有很多,其中具有代表性的算法主要有:Hou<sup>[6]</sup>等提出的基于频谱残差的显著性检测算法引起广泛关注,Achanta<sup>[7]</sup>等提出基于频率调谐的检测方法,Cheng<sup>[8]</sup>提出的基于图像全局对比度的视觉显著性检测算法等。文中采用的是 Rahtu<sup>[9]</sup>提出的基于半局部区域特征对比度概率表达的显著性检测算法,并在该算法的基础上进行改进,首先确定目标候选区,缩小显著性检测区域来降低算法复杂度,提高执行效率。

## 1 红外图像显著目标检测

### 1.1 显著性检测

Rahtu<sup>[9]</sup>提出的显著性检测算法基于半局部特征对比度,采用滑动窗口策略计算图像中每个像素的显著性值。利用图像灰度直方图比较窗口内部及其周围区域的灰度分布情况,得到每个像素的条件概率,作为该像素点的显著性值的估计。该算法的理论依据是目标与其周围区域具有不同的特征分布,通过灰度直方图可以反映出两者之间的差异,灰度直方图差异越大,表明目标与周围区域差异越大,从而目标越显著。

算法的具体实现过程为:设一个窗口  $W$  被分成内核  $K$  和边界  $B$ ,如图 1(a)所示。定义两个假设: $H_0$ : 像素点  $x$  不显著, $H_1$ : 像素点  $x$  显著,相应的概率为  $P(H_0)$  和  $P(H_1)$ ,其中  $x$  为窗口  $W$  内的一个像素点。作出初始假设: $H_1$  对  $K$  内部的点成立, $H_0$  对  $B$  内的点成立,即假设内核区域内部为显著目标,其灰度分布与边界区域的灰度分布存在差异。基于这个假设条件特征分布  $p(F(x)|H_1)$  和  $p(F(x)|H_0)$  可以由  $K$  和  $B$  内的特征值估计得到,其中  $F(x)$  代表像素点  $x$  的特征值,文中采用的特征值为红外图像中像素点的灰度值。

根据贝叶斯理论有:

$$P(H_1|F(x)) = \frac{p(F(x)|H_1)P(H_1)}{p(F(x)|H_0)P(H_0) + p(F(x)|H_1)P(H_1)} \quad (1)$$

$K$  内任意一点  $x$  的显著性度量定义为估计得到的概率,这个度量反应了  $K$  和  $B$  内特征值的对比度, $K$  和  $B$  内的特征分布相差越大,则  $K$  内像素点越显著:

$$S(x) = P(H_1|F(x)) \quad (2)$$

先验概率  $P(H_1)$  和  $P(H_0) = 1 - P(H_1)$  预先设定为常数,根据实验  $P(H_1)$  较小时可以获得较好的检测效果,实验中均设为 0.25。为了计算显著性度量值  $S(x)$ ,

利用内核  $K$  和边界  $B$  内的归一化灰度直方图来估计条件概率密度  $p(F(x)|H_1)$  和  $p(F(x)|H_0)$ , 为提高鲁棒性, 对  $K$  和  $B$  内直方图用高斯核函数进一步进行平滑。

$$\hat{p}(F(x)|H_0) = N(g(F) * h_B(F)) \quad (3)$$

$$\hat{p}(F(x)|H_1) = N(g(F) * h_K(F)) \quad (4)$$

式中:  $N$  代表归一化操作;  $h_B(F)$  和  $h_K(F)$  分别代表内核  $K$  和边界  $B$  内的灰度直方图;  $g(F)$  是高斯平滑函数。如图 1(b) 所示, 可以得到单个窗口内每个像素的显著性值。最后, 可以用阈值分割显著性映射图得到显著目标, 再利用形态学闭操作对得到的分割图像进行后处理。

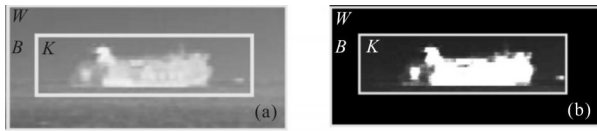


图 1 单个窗口显著性映射图  
Fig.1 Saliency map of a single window

Hou<sup>[6]</sup>等提出利用频谱残差进行显著性检测, 为适应目标尺度变化, Hou 的算法中将图像宽度或高度缩小到 64 个像素, 然后计算图像的 log 频谱残差, 得到显著性映射图, 进行阈值分割得到显著目标区域。图 2 为 Rathu 的算法与 Hou 的算法显著性检测结果的比较, 图 2(a) 为原始图像, 图 2(b)、(c) 为 Rathu 算法的检测结果, 图 2(d) 为进行尺度缩放后的图像, 图 2(e)、(f) 为 Hou 算法的检测结果, 通过比较可以看出, Rathu 算法检测结果更准确。

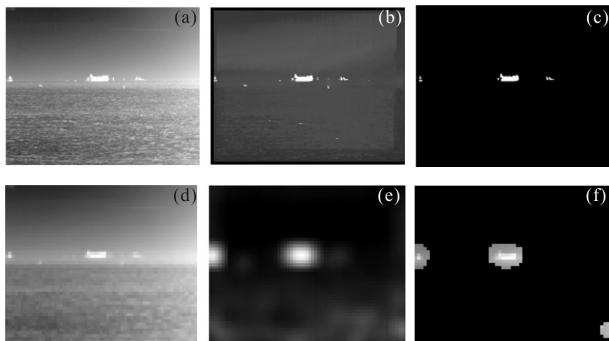


图 2 Rathu 算法与 Hou 算法显著性检测结果比较  
Fig.2 Comparison of saliency detection results of Rathu's and Hou's

然而, Rathu 算法中用不同尺寸的窗口在整幅图像中滑动搜索显著目标的过程计算量非常大, 特别

是显著目标的尺度较小时, 会造成资源的极大浪费。因此, 缩小搜索区域, 在目标候选区内搜索目标对提高算法的效率具有重要作用。

为得到目标候选区, 文中采用的方法是首先对原始红外图像进行预处理, 增加目标和背景的对比特度, 然后计算预处理后图像的频谱残差, 对残差映射图像进行阈值分割可以得到显著目标的大致区域, 从而确定目标候选区。最后在每个目标候选区域内采用基于半局部特征对比度概率分布的方法确定显著性目标。

### 1.2 图像预处理

由于大部分情况下目标和背景的灰度分布具有一定差异, 为提高目标和背景的对比特度、滤除高频噪声, 对图像进行预处理操作如下: 计算高斯平滑图像与图像灰度均值之差的平方, 即:

$$I'(x) = (I_\mu - I_\sigma(x))^2 \quad (5)$$

式中:  $I_\mu$  为图像的算术平均值;  $I_\sigma(x)$  为采用较小的高斯滤波核 (5×5) 得到的高斯平滑图像, 得到  $I'(x)$  后, 将其归一化为 0~1。

图 3(a) 为原始图像, 图 3(b) 为预处理后得到的图像, 图 3(c)、(d) 分别为两幅图像的三维视图, 从图中可以看出, 预处理得到的图像中目标和背景的对比特度得到明显的增强。

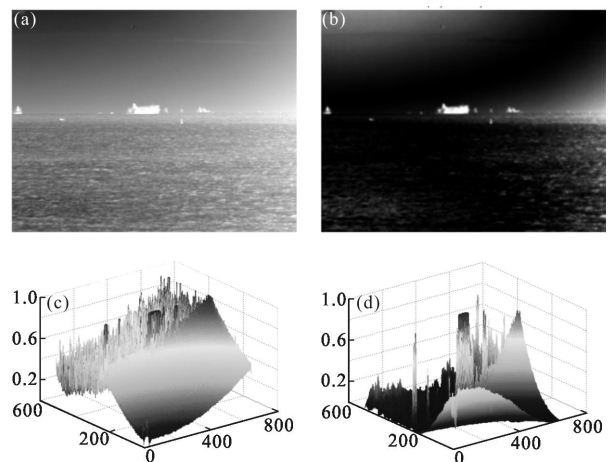


图 3 图像预处理结果  
Fig.3 Results of image pre-processing

### 1.3 目标候选区域确定

图像中灰度值出现突然变化的区域通常会引人眼视觉系统注意, 也更有可能出现显著目标, 因此, 在预处理后得到的对比特度增强的图像中检测出

灰度变化区域可以确定出目标候选区。参考文献[6]提出频谱残差  $R(f)$  代表统计奇异性,即图像中的特殊性,计算为:

$$R(f)=L(f)-A(f) \quad (6)$$

式中: $f$ 为预处理图像  $I'(x)$  的傅里叶变换; $L(f)$ 为  $I'(x)$  的 log 频谱; $A(f)$ 代表平均幅度谱,可以由  $L(f)$  与一个  $n \times n$  的均值滤波器卷积得到。利用傅里叶逆变换,可以得到包含图像变化信息的图像  $H(x)$ :

$$H(x)=g(x)*F^{-1}[\exp(R(f)+i*P(f))]^2 \quad (7)$$

式中: $g(x)(\sigma=9)$ 为高斯滤波器; $F^{-1}$ 为傅里叶逆变换; $P(f)$ 为图像的相位频谱。

用简单的阈值分割可以得到目标的大致区域和一些噪声点。

$$O(x)=\begin{cases} 1, & H(x) > \text{threshold} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

根据实验,参数 threshold 设为  $E(H(x))*3$ ,其中  $E(H(x))$  是图像  $H(x)$  的均值。对  $O(x)$  进行形态学操作滤除面积较小(面积小于 30 个像素)的噪声区域,根据每个连通域的位置和尺度确定一个矩形区域作为目标候选区域。为解决一个目标可能被分为不同的连通域,对重叠率较大的区域进行合并。

图 4(a)为预处理后图像的残差图,图 4(b)为阈值分割结果,其中白色区域代表目标的大致区域,图 4(c)中矩形框表示目标候选区,即准确检测目标的搜索区域。



图 4 图像谱残差及目标候选区域

Fig.4 Spectral residual and object candidate region

在确定的目标候选区域内搜索目标,检测结果如图 5 所示。由于搜索范围缩小,算法的效率得到很



图 5 目标检测结果

Fig.5 Object detection results

大提升。此外,由于目标候选区域是根据可能的显著目标确定的,能够为确定滑动窗口尺寸提供依据,从而进一步提高了算法的准确率。

## 2 实验结果

图 6 为文中算法与 Rahtu 及 Hou 的算法进行比较的结果,图 6 中第一列为原始红外图像,第二列是 Hou 算法得到的检测结果,第三列为 Rahtu 算法的结果,第四列为文中算法得到的目标检测结果。为综合考虑算法的准确率和召回率,采用 F 测量值 (F-Measure) 度量算法性能, F-Measure 定义为:

$$F_{\beta} = \frac{(1+\beta^2)\text{Precision}*\text{Recall}}{\beta^2\text{Precision}+\text{Recall}} \quad (9)$$

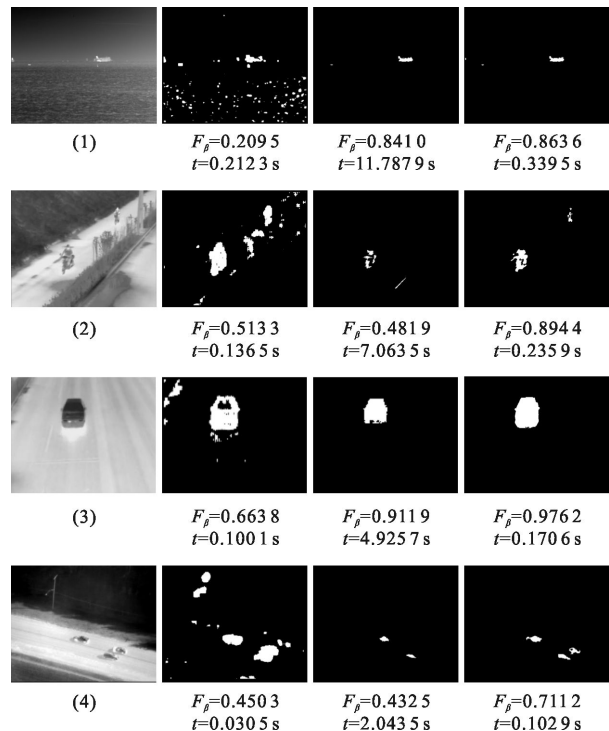


图 6 目标检测结果比较

Fig.6 Comparison of object detection results

与参考文献[10]中相同,取  $\beta^2=0.3$ ,使准确率权重高于召回率; $t$ 为算法在 MATLAB 中的运行时间。实验结果表明,Hou 算法的运行时间最短。但是算法性能较差,Rathu 算法检测效果较 Hou 算法有明显优势,但是算法运算复杂度过大;文中算法在检测效果及运行时间上均优于两种算法,可以得到较好的显著目标检测结果。

图 7 为用不同红外图像对文中算法进行测试的

几组实验,图7(1)、(2)两行表明文中算法对目标尺度具有很好的鲁棒性,(3)、(4)两行表明算法对目标与背景的对比度具有一定的适应能力。

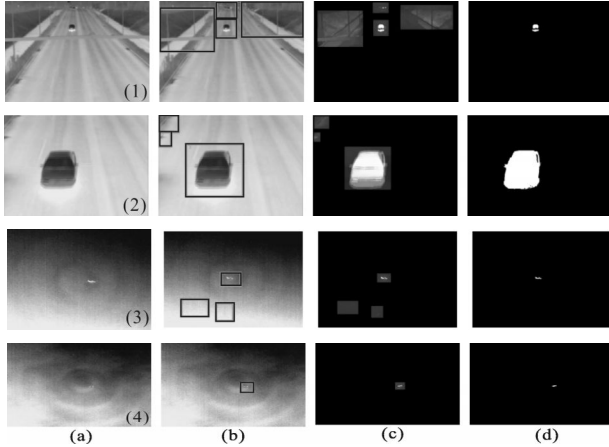


图7 不同图像实验结果

Fig.7 Experiment results of different images

### 3 结论

文中提出一种新的红外图像显著目标检测算法,算法首先确定目标候选区域,然后在目标候选区域内利用半局部特征对比度的概率表达检测显著性目标。算法实现简单、快速且无需训练,通过缩小搜索范围减小计算量,提高算法执行效率。与其他算法的比较结果表明文中算法在检测效果及实现效率方面均具有很大优势,适合用于红外图像的显著目标检测。

由于文中算法基于目标与背景灰度分布不同的假设,因此不适用于低对比度红外图像的显著性检测,且算法的执行效率有待进一步提高。

#### 参考文献:

[1] Liu Yunlong, Xue Yuli, Yuan Suzhen, et al. Infrared small targets detection using local mean [J]. *Infrared and Laser*

*Engineering*, 2013, 42(3): 814–822. (in Chinese)

刘运龙, 薛雨丽, 袁素真, 等. 基于局部均值的红外小目标检测算法[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(3): 814–822.

[2] Zhao Ji, Feng Chuang, Shao Fuqun, et al. Moving object detection and segmentation based on adaptive frame difference and level set [J]. *Information and Control*, 2012 (2): 153–158. (in Chinese)

赵骥, 冯闯, 邵富群, 等. 基于自适应帧差和水平集的运动目标检测和分割[J]. *信息与控制*, 2012(2): 153–158.

[3] Chen Haixin, Gu Guohua, Qian Weixian, et al. MOF algorithm for moving target detection on mobile platform [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(2): 620–624. (in Chinese)

陈海欣, 顾国华, 钱惟贤, 等. 移动平台下运动目标检测的MOF算法[J]. *红外与激光工程*, 2014, 43(2): 620–624.

[4] Rahtu E, Kannala J, Salo M, et al. Segmenting salient objects from images and videos [C]//Computer Vision–ECCV 2010, 2010: 366–379.

[5] Ma Long, Li Jicheng, Lu Xinping, et al. Region-of-interest-based target segmentation method in IR images [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(S): 271–274. (in Chinese)

马龙, 李吉成, 鲁新平, 等. 一种基于区域显著性的红外图像目标分割方法[J]. *红外与激光工程*, 2007, 36(S): 271–274.

[6] Hou Xiaodi, Zhang Liqing. Saliency detection: A spectral residual approach [C]//Computer Vision and Pattern Recognition, 2007: 1–8.

[7] Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Frequency-tuned salient region detection [C]//Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE, 2009: 1597–1604.

[8] Cheng Mingming, Mitra N J, Huang Xiaolei, et al. Salient object detection and segmentation[J]. *Image*, 2011, 2(3): 9.

[9] Rahtu E, Heikkila J. A simple and efficient saliency detector for background subtraction [C]//Computer Vision Workshops (ICCV Workshops), 2009, 2009: 1137–1144.

[10] Borji A, Sihite D N, Itti L. Salient object detection: A benchmark [C]//Computer Vision–ECCV 2012, 2012: 414–429.