

文章编号:1001-9014(2006)06-0434-05

基于核密度估计的红外目标提取方法

凌建国^{1,2}, 刘尔琦², 梁海燕², 杨杰¹

(1. 上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200240;

2. 中国航天科工集团公司二院, 北京 100854)

摘要:提出了有效集成灰度、空间关系和局部标准差信息的新的核密度估计方案,据此设计了一种基于核密度估计的红外目标提取方法,即首先将图像分块,根据块的统计特征获得包含整个目标的约束区域;然后对目标约束区域和相应的背景采样区域进行核密度估计,这里背景采样区域指的是围绕着目标但又不包含目标的图像区域,由目标约束区域向外扩展而形成;最终通过对两种核密度估计对比的阈值判断即能获得所提取的目标.实验验证了所提出的算法简单有效.

关键词:目标提取;统计特征;核密度估计;局部标准差

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

INFRARED TARGET EXTRACTION METHOD BASED ON KERNEL DENSITY ESTIMATION

LING Jian-Guo^{1,2}, LIU Er-Qi², LIANG Hai-Yan², YANG Jie¹

(1. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Institute of the Second Academy, China Aerospace Science and Industry Corporation, Beijing 100854, China)

Abstract: A new kernel density estimation scheme which incorporates gray values, spatial relation and local standard deviations information effectively was proposed. With this scheme, an infrared target extraction method based on kernel density estimation was designed. Firstly, the entire image was divided into blocks and the confined region that contained the entire target was obtained based on the statistical feature of each blocks. Secondly, the kernel density estimations of the confined region and the corresponding background sample region were estimated. Here, the background sample region is a surrounding image region of the target, but it doesn't contain the target. It is enlarged from the confined target region. Finally, the target was extracted with the contrast of two kernel density estimations under a given threshold. The experimental results show that the proposed method is simple and efficient.

Key words: target extraction; statistical feature; kernel density estimation; local standard deviation

引言

目标提取是进行后续目标识别和跟踪的关键环节,准确有效的目标提取保证了正确的识别和跟踪模型的建立.红外成像系统特有的成像特点决定了红外图像具有不同于一般视觉图像的特点,目标缺乏纹理特征且信噪比低,尤其是在有海面背景等的场景中,由于波光粼粼的海面反射致使背景区域呈现许多不均匀的高亮度区域,这些区域的存在往往使得目标提取变得更加困难.此外,由于红外目标与周围背景存在热交换以及大

气对热辐射的散射和吸收作用,使得红外图像中目标与背景的边缘比较模糊^[1],所以传统的区域增长等普通的提取方法在这样的成像环境下是很难达到预想效果的.

本文提出了一种基于核密度估计的红外目标提取方法,即首先利用红外目标的统计特性,粗定位一个完全包含目标但又包含部分背景的目标约束区域;其次,对粗定位后的目标约束区域和相关的背景采样区域进行核密度估计;最后,对目标约束区域和背景采样区域的核密度进行对比和阈值判断,并得到最终的红外目标提取图像.

收稿日期:2005-11-08,修回日期:2006-05-15

Received date: 2005-11-08, revised date: 2006-05-15

基金项目:国防973项目基金(51323020203-2)和航空科学基金(04F57004)资助项目

作者简介:凌建国(1976-),男,浙江兰溪人,博士研究生,主要研究方向为红外图像处理、目标跟踪和识别等.

1 目标约束区域的粗确定

假定我们要提取的红外目标温度比背景温度要高,即目标的平均灰度要比背景的平均灰度要高.这一假定在大部分情况下是成立的,因为所需要提取的目标通常是人、飞机、坦克、导弹等能散发较高热量的目标.因而,我们可以根据这一特性找到目标在红外图像中的大致位置,并得到目标约束区域^[2]. 这里的目标约束区域指的是完全包含目标的,但又包含部分背景的小块图像区域.

对于一帧 $N \times M$ 大小的红外图像,以非重叠方式按顺序划分若干个 $n \times m$ 大小的图像块(通常取 $n = m = 8$),这些图像块大致可以分为以下 3 种情况:整个块是最终目标区域的一部分;图像块的部分区域成为最终目标的一部分;以上两种情况都不是.划分好图像块之后,接着计算每个块的均值和方差,根据最大可能包含目标区域的图像块的均值较大,方差较小的准则我们可以很快粗定位出目标区域的位置,并可以根据目标大小的先验知识得到目标约束区域,具体可见参考文献[2].在确定好目标约束区域后,正如引言部分所说,背景高灰度区域的存在等原因,我们就不再使用参考文献[2]中的区域增长方法来提取目标,而是提出一种新颖的基于核密度估计的目标提取方法.

2 基于核密度估计的红外目标提取方法

2.1 区域核密度估计

给定 n 个 d 维空间 R^d 中的点集合 $\{x_i\}, i = 1 \dots n$, 利用核函数 $K(x)$ 、核函数窗宽 h , 估算在 x 点处的概率密度为

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right), \quad (1)$$

较常用的核函数有 Epanechnikov 核、高斯核等,核函数 $K(\bullet)$ 的外形函数为 $k(\bullet): [0, \infty) \rightarrow R$, 且 $K(x) = k(\|x\|^2)$. 统计意义上的核密度估计可以扩展到图像中区域的基于量化特征的密度估计,设区域图像像素点 $\{x_i\}, i = 1 \dots n$, 每个点的灰度经 m 级量化,并且区域的中心点是 c . 则灰度量化特征 $u = 1 \dots m$ 的核密度估计分量可以表示为^[3]

$$q_u = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{x_i - c}{h}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u], \quad (2)$$

其中, $\delta(\bullet)$ 是 Kronecker 函数, C 是归一化的常数, $b(x_i)$ 是像素点 x_i 处的灰度特征量化值.

2.2 目标约束区域核密度估计

2.2.1 集成灰度和空间关系的核密度估计

式(2)反映的是灰度量化特征值统计意义上的信息,反映不出在图像区域某一空间位置上的灰度信息,所以定义以下级联核来体现这一灰度信息^[4]:

$$K_{h_s, h_r}(x) = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} k_s\left(\left\|\frac{x^s}{h_s}\right\|^2\right) k_r\left(\left\|\frac{x^r}{h_r}\right\|^2\right), \quad (3)$$

其中, $k_s(x)$, $k_r(x)$ 分别是空间位置关系核外形和灰度特征关系核外形, x^s 和 x^r 表示了相应特征的内部关系, h_s 与 h_r 则是核带宽, p 为图像空间的维数(对于灰度图像 $p = 1$). 因而定义式(4)的核密度估计既可以反映出灰度量化特征在统计意义上的信息,也可以反映出在某一空间位置上的灰度信息,即是集成了灰度和空间关系的核密度估计

$$q_u = \frac{C}{h_s^2 h_r^p} \sum_{i=1}^n k_s\left(\left\|\frac{x_i^s - c}{h_s}\right\|^2\right) k_r\left(\left\|\frac{x_i^r - v}{h_r}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u], \quad (4)$$

这里 c 和 v 为相应的核外形中心.

2.2.2 基于图像局部标准差信息的核中心和核窗宽的确定

除了灰度信息之外,目标区域的局部标准差信息也是一项重要的信息,它可以定义为^[5]

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{|M| - 1} \sum_{X \in M} (I(x_i) - I(X))^2}, \quad (5)$$

其中 $|M|$ 代表模板 M 中的像素数目, $I(x_i)$ 代表 x_i 点处像素的灰度值, $I(X)$ 代表模板 M 中的某一像素的灰度值. 图 1 是采用 5×5 模板处理的原图像和局部标准差图像.

从处理结果看来,局部标准差图像几乎成了二值图像,像素的局部标准差其实就是以待处理像素为中心的一个邻域的像素灰度值与该像素的灰度值的一个比较,局部标准差大的像素,说明该点与周围像素灰度的差值越大,就是灰度发生突变之处. 用像素的局部标准差来描述图像可以把目标的轮廓凸现出来.

核外形中心 c 和 v , 核带宽 h_s 和 h_r 是核密度估计的重要参数之一,这几个参数的正确设计对有效的核密度估计起着至关重要的作用. 下面我们给出基于局部标准差信息的核中心和核窗宽的确定方法. 对于一离散的 2D 局部标准差图像,如果目标约束区域的大小是 $rows \times cols$, 则该区域零阶矩为

$$M_{00} = \sum_{i=1}^{rows} \sum_{j=1}^{cols} S(i, j), \quad (6)$$

其中 $S(i, j)$ 是 (i, j) 点处的局部标准差值. 目标约束区域的一阶矩可以表示为

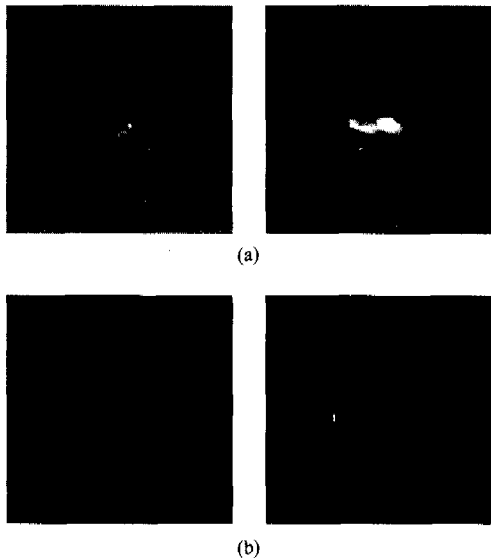


图 1 原图与局部标准差图像 (a)原图(b)局部标准差图像
Fig. 1 Original images and the corresponding local standard deviation images (a) original images (b) the corresponding local standard deviation images

$$M_{10} = \sum_{i=1}^{rows} \sum_{j=1}^{cols} iS(i, j) \quad , \quad (7)$$

$$M_{01} = \sum_{i=1}^{rows} \sum_{j=1}^{cols} jS(i, j) \quad ,$$

所以

$$c_x = \frac{M_{10}}{M_{00}} \quad , \quad (8)$$

$$c_y = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad ,$$

其中, c_x, c_y 是核外形 $k_s(\bullet)$ 的中心 c 在 x, y 方向上的矢量分量. 核外形 $k_s(x)$ 的中心 v 则是灰度量化特征的均值. 在文献[6]中, 零阶矩信息用来设置人脸跟踪搜索窗口的大小, 同理, 我们这里采用局部标准差图像的零阶矩信息来设置核密度估计的核窗宽大小. 假定目标约束区域的最大的局部标准差的值是 δ_{max} , 则核带宽 $h_s = h_r = (h_x, h_y)$ 可以设置为

$$h_x = \min\left(\alpha \sqrt{\frac{M_{00}}{\delta_{max}}}, rows\right) / 2 \quad , \quad (9)$$

$$h_y = \min\left(\alpha \sqrt{\frac{M_{00}}{\delta_{max}}}, cols\right) / 2 \quad ,$$

其中, α 是一个加权因子, 它取决于我们对目标的先验知识.

2.3 背景采样区域核密度估计

背景采样区域指的是围绕着目标但又不包含目标的图像区域, 通常是由目标约束区域向外扩展形成背景采样区域. 其核密度估计的基本原理同目标

约束区域的核密度估计方法相同. 假设给定 n' 个背景采样区域的点集合 $\{x_i\}, i = 1 \cdots n'$, 且 $\{o_u\}_{u=1 \cdots m}$ 是背景核密度估计离散值, 则核密度在量化特征 u 处的分量为

$$o_u = \frac{C}{h_x^2 h_y^2} \sum_{i=1}^{n'} k_s\left(\left\|\frac{x_i^s - c}{h_s}\right\|^2\right) k_r\left(\left\|\frac{x_i^r - v}{h_r}\right\|^2\right) \delta[b(x_i) - u] \quad . \quad (10)$$

这里的核窗宽和中心的取值不是用背景采样区域的局部标准差信息去估计, 而是取为目标约束区域的核密度估计的核窗宽和核中心, 这样取的目的是以实际目标为中心形成一个对称的分布.

2.4 基于核密度估计的目标提取方法

根据前面的目标约束区域和背景采样区域的核密度估计方法, 我们设计了一种新的基于核密度估计的红外目标提取方法. 如果 q_u 和 o_u 分别是目标约束区域和背景采样区域的特征 u 处的核密度估计分量, 则可以得到目标提取后的图像为

$$\hat{f}(i, j) = \begin{cases} 255 & q_u > o_u e^\tau \\ 0 & q_u \leq o_u e^\tau \end{cases} \quad u = 1 \cdots m \quad . \quad (11)$$

其中, $\hat{f}(i, j)$ 表示在图像位置 (i, j) 处的灰度值, 最终图像的白色区域即是我们提取的红外目标, τ 是所选取的阈值, 可以按照最小错误分类概率选取 (通常取 0).

采用核密度估计的方法对红外目标进行提取, 是出于以下几个原因, 首先, 目标和背景之间是可以分离的, 即目标和背景大部分像素的灰度值所处的区间是不同, 因而在目标中出现次数较多的大部分灰度值, 在背景中出现次数必定较少, 反之亦然; 其次, 通过合理设计的核密度能对所估计的区域进行有效的描述, 能准确体现灰度值的出现次数和分布; 最后, 核密度的估计的区别性最终体现在了各个分量的不同上, 依据不同的分量的值和各个像素所在的核密度分量的就可以实现目标的有效提取. 此外, 这种方法比较简单, 耗时不多.

3 实验结果及分析

第一个实验是黑夜背景下坦克目标提取的实验. 第二个实验是几种典型红外图像的目标提取实验. 2 个实验都是在 Pentium IV 2.66GHz 的 PC 机上采用 MATLAB 7.0 软件平台实现的. 原始图像中的分别添加上去两个矩形框, 其中小矩形框是粗定位的目标约束区域, 大矩形框由目标约束区域沿四周各膨胀 10 个像素形成背景采样区域 (指的是 2 个矩形框之间的部分). 目标约束区域核密度估计采用高斯核, 背景采样区域核密度估计采用逆高斯核.

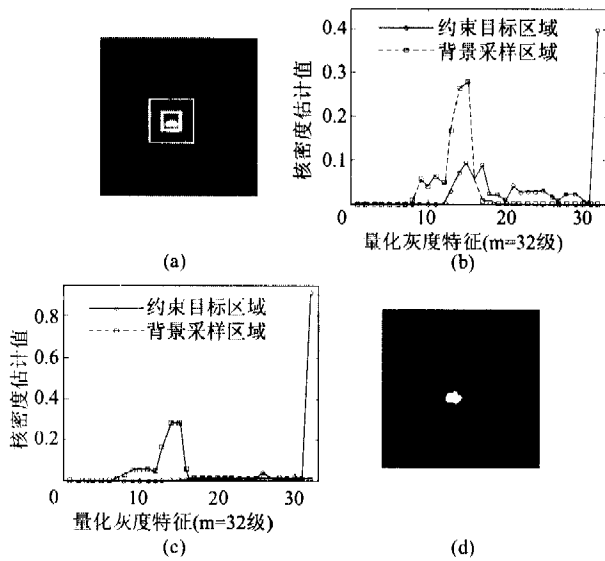


图2 不同核密度估计值随各分量的变化和基于新的核密度估计方案的红外目标提取结果(a)原始图像,粗定的目标约束区域以及背景采样区域(b)只是集成灰度信息的核密度估计(c)集成灰度、空间关系和局部标准差信息的核密度估计(d)目标提取结果

Fig. 2 Values of different kernel density estimations against its bins and target extraction result with the new kernel density estimation method (a) original image, the target confined region and background sample region (b) kernel density estimations with only gray values information incorporation (c) kernel density estimations with gray values, spatial relation and local standard deviations information incorporation (d) result of target extraction

图2给出了不同核密度随各分量变化的曲线和基于新的核密度估计方案的红外目标提取结果,图2(a)是需要作目标提取的图像,图2(b)是只是集成灰度信息的两种核密度变化曲线,其结果同直方图统计结果是一致的,即目标约束区域和背景采样区域通常存在多个波峰并有可能发生波峰的重叠,这时背景和目标是难以分离的.图2(c)集成灰度、空间关系和局部标准差信息来估计目标约束区域和背景采样区域的核密度,能够把目标约束区域和背景采样区域的核密度波峰分别凸现出来,可以实现不同区域的有效分离,并最终体现在图2(d)中的红外目标提取结果上,就是目标区域的以白色区域表示.从最终的目标提取结果看来,我们的目标提取方案是有效的.

图3是基于灰度、空间关系和局部标准差信息的核密度估计运用到一些典型红外图像目标提取的实验结果以及与两种经典的目标提取方法的比较(基于Otsu准则和区域增长的目标提取方法),实验场景有简单的(图3(a)和图3(b)),也有复杂的(图3(c)~图3(e)).为了更加客观地比较,图3给出的

基于Otsu准则和区域增长的目标提取方法都是在包含约束区域的大矩形框中进行的,即把大矩形框之外的图像区域都设置为背景,算法只是针对大矩形框内的图像进行处理.从实验结果看,Otsu方法对于场景比较简单的图像(图3(a)和图3(b)),是能取得满意的结果的,但是对于复杂一点的场景就会把过多的背景划分为目标(图3(c)~图3(e));基于区域增长的目标提取方法,虽然对目标区域比较均匀的情况提取效果较好(图3(c)和图3(e)),但对于目标区域不是很均匀,尤其当目标包含不连通的区域时,效果就比较差(图3(a)、图3(b)和图3(d)),而且区域增长算法耗时相对多,增长的阈值设置不同对分割结果影响较大.但本文的算法,即基于新的核密度估计方案的方法能更好地实现目标的有效提取,特别是图3(d)和图3(e)背景中有诸多的高灰度的图像像素存在,但我们的算法仍能有效地提取出目标.而且即使所要提取的目标并不是位于目标约束区域的中心(图3(c)),目标提取方法仍然是有效的.

4 结语

提出了一种基于核密度估计的红外目标提取新方案,并以典型的红外图像实验验证了算法的有效性.目标约束区域和背景采样区域的核密度估计有效集成了灰度、空间关系以及局部标准差信息,两种核密度估计有很好的分离性.以目标约束区域和背景采样区域的核密度估计对比的阈值判断可以实现红外目标的有效提取.需要补充说明的是在有多目标的情况下,可以将先提取的一个目标区域的像素值置为零,再用本算法搜索第二个目标约束区域,并再次采用核密度估计的方法,这样可以依次得到各个目标.

REFERENCES

- [1] TAO Wen-Bing, JIN Hai, TIAN Jin-Wen, et al. Real-time segmentation technology of man-made infrared object based normalized cuts [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (陶文兵, 金海, 田金文, 等. 一种基于图划分的人造红外目标实时分割算法. *红外与毫米波学报*), 2005, 24(2): 114—118.
- [2] LIU Zhi, YANG Jie. Infrared object extraction based on statistical feature of image blocks [J]. *Infrared & Laser Engineering* (刘志, 杨杰. 基于分块图像统计特征的红外目标提取. *红外与激光工程*), 2003, 32(5): 489—491.
- [3] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2003, 25(5): 564—577.
- [4] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2002, 24(5): 603—619.

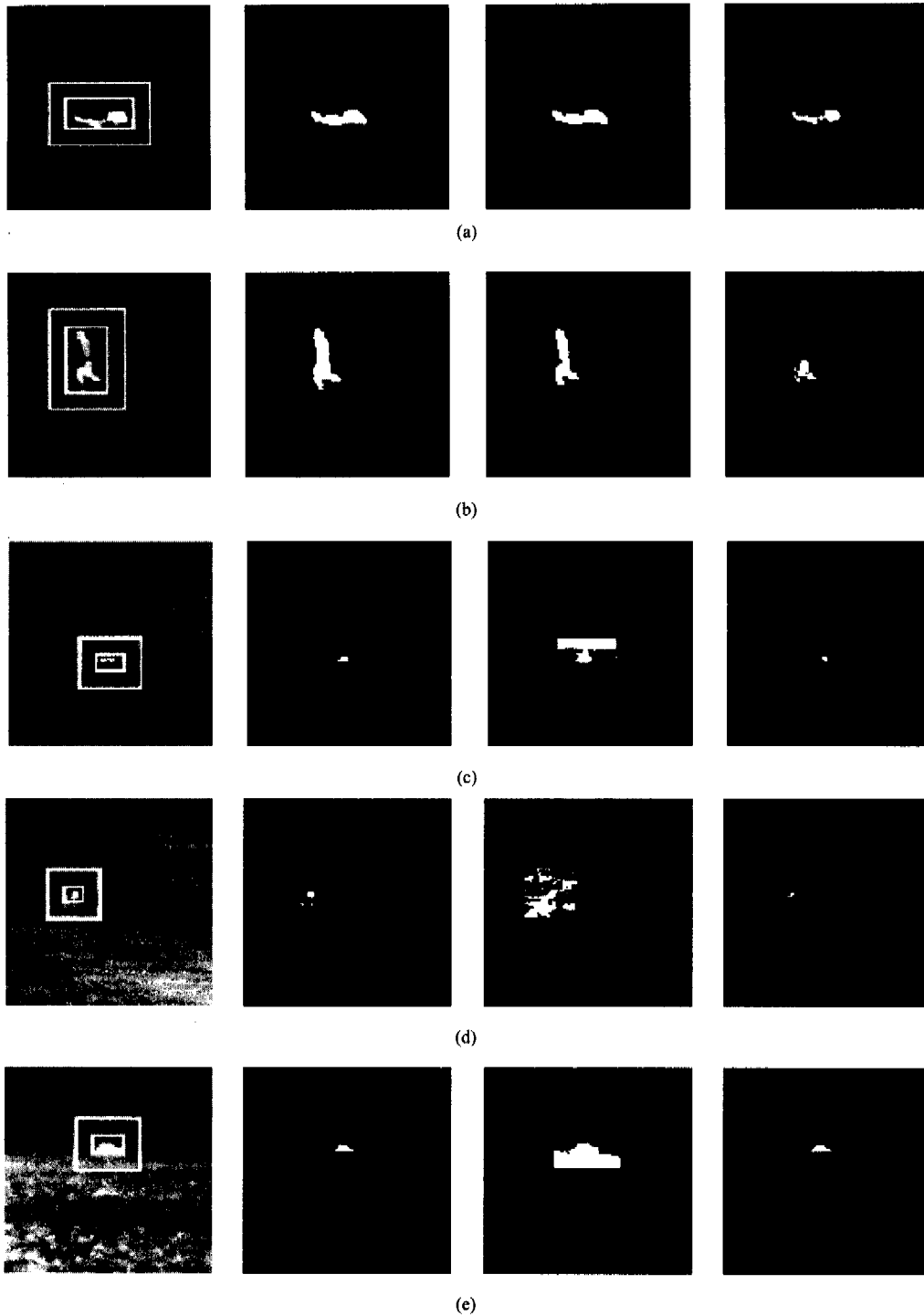


图3 实验结果(从左至右依次为原始红外图像、本文算法的目标提取结果、基于Otsu准则的目标提取结果和区域增长方法目标提取结果)(a)黑夜背景下的坦克目标(b)森林背景下的人目标(c)海天背景下的船目标(d)白天背景下的车辆目标(e)海天背景下的船目标

Fig. 3 Experimental results (the results from left to right are original infrared images, target extraction with the proposed algorithm, target extraction with Otsu method and target extraction with region growing method) (a) tank in the dark (b) people in the forest (c) ship in the sea-sky background (d) vehicle in the daytime (e) ship in the sea-sky background

[5] Yilma A, Shafique K, Shah M. Target tracking in airborne forward looking infrared imagery [J]. *Image Vis. Comput.*, 2003, 21(7): 623—635.

[6] Bradski G R, Santa C. Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface [J]. *Intel technology journal*, 1998, 2(2): 12—21.