

文章编号 1004-924X(2010)03-0723-09

应用 Rényi 熵的显著图生成与目标探测

许元男, 赵 远, 刘丽萍, 孙秀冬

(哈尔滨工业大学 物理系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 为了在复杂的地面场景中实现准确的自动目标检测, 分析了地面场景图像经二维加窗的伪 Wigner-Ville 分布 (PWVD) 后, 归一化的 Rényi 熵与其出现概率间存在的基于 e 指数的统计特性, 以及人造目标的出现引起的地面场景中 Rényi 熵的统计特性变化, 提出了一种新的基于 Rényi 熵的显著图生成和目标探测方法。对 Rényi 熵图像进行了均值滤波, 然后滤波前后的图像相减得到熵残余图像, 并经过高斯滤波获得显著图, 最终通过简便的阈值分割, 完成目标探测。实验结果表明, 该方法对 8 幅不同场景图像中共计 14 个目标的探测概率为 100%, 虚警概率不大于 7.1%。与传统方法相比, 本文提出的方法能够更为有效地检测复杂地面背景中的军事目标。

关键词: 伪 Wigner-Ville 分布; Rényi 熵; 显著图; 目标探测

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Rényi entropy-based saliency map generation and target detection

XU Yuan-nan, ZHAO Yuan, LIU Li-ping, SUN Xiu-dong

(Department of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: For improving the accuracy of automatic target detection in complex ground scenes, the statistical property between the Rényi entropy and its occurrence probability of images calculated through the Pseudo Wigner-Ville Distribution (PWVD) with a two dimension window was analyzed based on exponential function. Then the change of the statistical property caused by the appearing of man-made targets is investigated. The methods of saliency map generation and target detection based on Rényi entropy are proposed. Firstly, the image of Rényi entropy is smoothed by the average filter. Then, the image of residual Rényi entropy is obtained by the subtraction of fore-and-aft filter images, and the saliency map is obtained by Gaussian filter. Finally, the target detection is completed by segmenting the saliency map with a simple and convenient threshold method. Experimental results demonstrate that the detection probability and false alarm probability of the method are 100% and less than 7.1% respectively for 14 targets in 8 images. In comparison with traditional methods, the proposed method can detect the military targets from complex ground scenes effectively.

Key words: pseudo Wigner-Ville distribution; Rényi entropy; saliency map; target detection

1 引言

复杂且缺少先验知识的地面场景对光学成像的自动目标探测造成了很大困难,对图像进行阈值分割、边缘提取后的结果往往很难进一步对其进行处理,不利于自动目标探测^[1-2]。人类视觉系统具有选择性注意的特性,往往能够从复杂且缺少先验知识的自然场景中较为快速并准确地注意到目标。选择性注意机制被广泛应用于机器视觉和图像分析领域。认知神经学的研究表明^[3],当人类看到一个场景,初级视觉皮层就能够形成一个显著图,在显著图上,有着更高量级值的位置能够吸引更多的注意,从而得到进一步的加工。但是到目前为止,显著图潜在的神经机制尚未明确。

基于视觉选择性注意的自动目标探测一般由两个步骤组成:首先生成显著图,之后对其进行图像分割从而完成目标探测。显著图的生成方式目前还没有统一模型,它的生成方式可以分为两大类:一类是从图像中提取某些特征,将这些分散的特征图组合成一幅显著图^[4-9],其中具有代表性的是 Itti 等人提出的根据每幅图像上颜色、强度、位置这三种特征,采用 Winner-take-all(胜者为王)的神经网络确定该幅图像的显著图(下文中简称为 Itti's 方法)^[6];另一类是通过图像中自然场景的统计信息获得显著图^[10-12],具有代表性的是侯晓迪等人提出的基于自然背景的傅里叶频谱的统计特性,将频谱的残差经傅里叶逆变换的结果作为显著图的方法(下文中简称为 Hou's 方法)^[11]。Itti's 方法和 Hou's 方法实质上分别依据空间域和频率域的信息获取显著图,但单一分析域生成的显著图对复杂自然场景的描述往往并不准确。

复杂场景的图像大多具有很强的频谱特性和方向性,而场景中区域的分割和边界检测等问题又要求特征的表达具有空间上的局部性,空间域/空间频率域的信息更适合表达复杂场景的图像分析问题。Wigner-Ville 分布则能够对图像在空间域/空间频率域联合表示。本文依据这一特性,研究了地面场景图像经采用二维加窗的伪 Wigner-Ville 分布后 Rényi 熵的统计特性,分析了人造目标的出现会引起自然地面场景中 Rényi 统计特性的变化,并提出一种新的适用于地面场景的显著

图生成和目标探测方法。

2 Wigner-Ville 分布

图像的 Wigner-Ville 分布(WVD)是一种在空间域/空间频率域(Spatial/ Spatial Frequency, S/SF)的联合表示,在两个分析域中都具有理论上最高的分辨率^[13-14],近年来在图像融合、图像质量评价领域得到应用^[15-17]。

一维信号 $z(x)$ 的 WVD 为

$$W(x, u) = \int_{-\infty}^{+\infty} z(x + \frac{\alpha}{2}) z^*(x - \frac{\alpha}{2}) \exp(-j2\pi u \alpha) d\alpha, \quad (1)$$

(1)式中 $*$ 为复共轭, u 为空间频率变量, α 为可变位移参数。从(1)式可以看出,在 WVD 中,信号 z 出现了两次,所以称其为双线性时频分布,而且 $z(x + \frac{\alpha}{2}) z^*(x - \frac{\alpha}{2})$ 实际上是以 x 为中心的位移为 α 的局部相关。因为信号相关函数的 Fourier 变换等于信号的功率谱,因此 WVD 表示信号 $z(x)$ 的局部功率谱。对于图像, WVD 应采用离散化形式,而且需要逐点地对该像素及其邻近范围内的像素进行 WVD,这样相当于在 WVD 中加入了一个窗函数,即离散的伪 Wigner-Ville 分布(PWVD),其形式为

$$W(n, m) = 2 \sum_{k=-N/2}^{N/2} z(n+k) z^*(n-k) \exp\left[-2i\left(\frac{2\pi m}{N}\right)k\right], \quad (2)$$

(2)式中 n, m 分别为空间域和空间频率域的离散变量,窗口的空间范围为 $[-N/2, N/2]$,窗口大小为 $N+1$ 像素。

本文使用二维加窗的 PWVD 对图像进行分析,以图像中像素 $n(P, Q)$ 为中心, $n(P \pm 1, Q \pm$

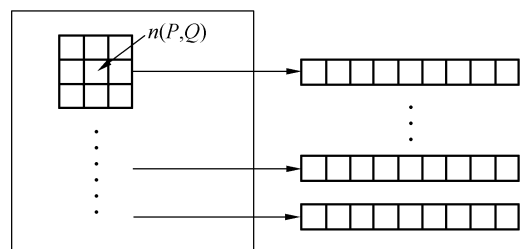


图 1 排列序列示意图

Fig. 1 Schematic diagram of array sequence

1)为邻域的共计 9 个像素排列成一个序列,如图 1 所示,之后由(2)式对该序列进行 PWVD。

64 份,统计每个区间上熵值的出现概率,如图 3 所示。

3 Rényi 熵及其统计特性

3.1 Rényi 熵

信息熵是一种信息内容度量的标准,可以有效地衡量全局或局部信息内容的丰富程度。Rényi 熵是对 Shannon 熵的扩展,文献[18]中对 Rényi 熵进行了详尽的描述。Williams 等人将 Rényi 熵引入了时频分析的信息内容的度量中^[14,19]。Rényi 熵的离散化表达式一般表示为

$$R_3 = -\frac{1}{2} \log_2 \left(\sum_n \sum_m P^3(n,m) \right), \quad (3)$$

其中 $P(n,m)$ 为归一化后的空间域/空间频率域分布,这里采用的归一化方式为:

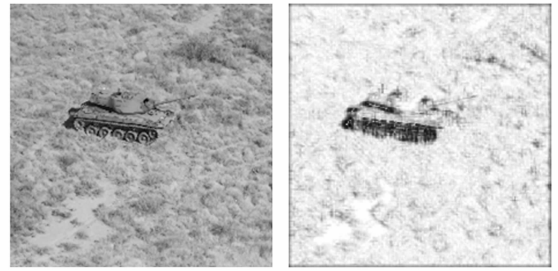
$$\begin{cases} P'(n,m) = W(n,k) \cdot W^*(n,k) \\ P(n,m) = P'(n,m) / \sum_m P'(n,m) \end{cases}, \quad (4)$$

每个像素点所对应的 Rényi 熵为

$$R_3(n) = -\frac{1}{2} \log_2 \left(\sum_m P_n^3(m) \right). \quad (5)$$

3.2 Rényi 熵的统计特性

对图像进行上述 PWVD 并计算 Rényi 熵,获得 Rényi 熵图像,如图 2 所示。对 Rényi 熵图的熵值进行归一化处理,归一化后熵值区间等分为



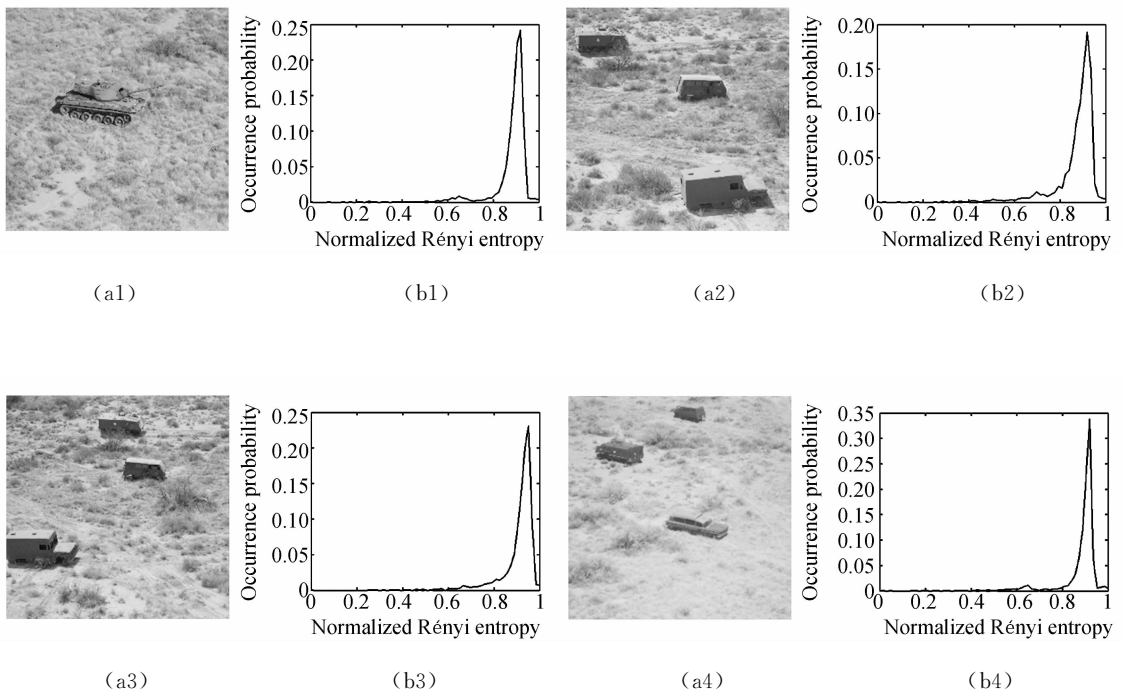
(a) 原始图像 (b) 平均后的 Rényi 熵
(a) Original image (b) Rényi entropy image

图 2 图像的 Rényi 熵图

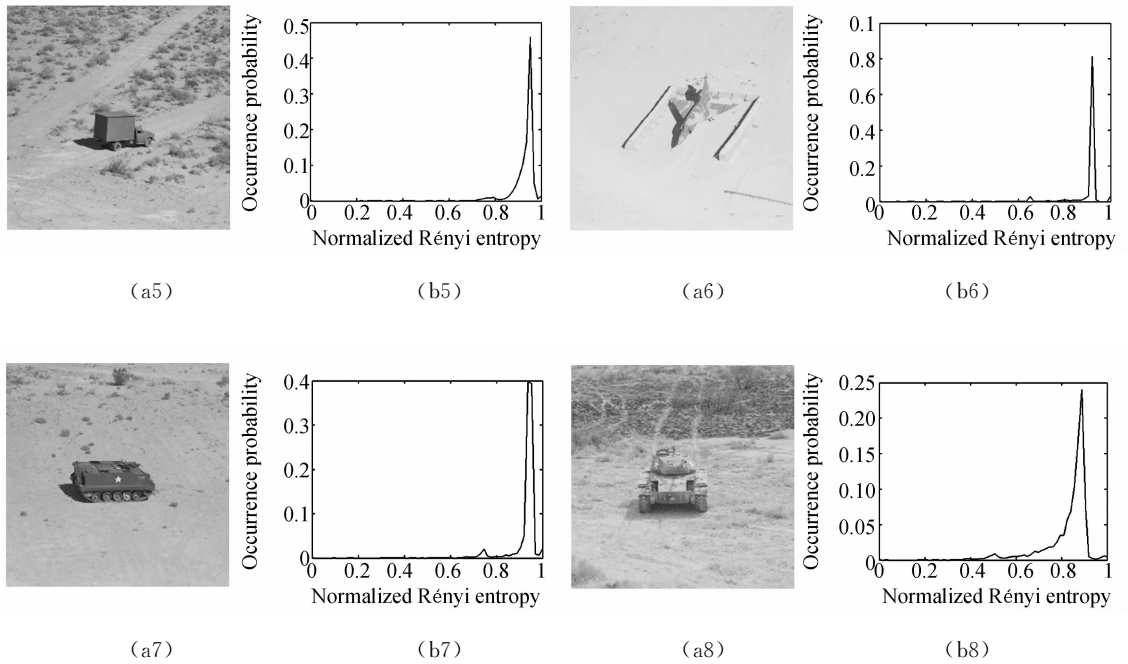
Fig. 2 Rényi entropy image corresponding to original image

我们发现,地面场景图像的归一化 Rényi 熵值与其出现概率存在着某种基于 e 指数的关系,但它们又存在各不相同的起伏;其它图像同样存在上述情况。我们分别对 10 幅、50 幅不同地面场景的图像经二维 PWVD、Rényi 熵计算,归一化 Rényi 熵值与其出现概率的对应关系求和平均后的结果如图 4 所示。

研究表明,自然图像并非简单随机的,它往往遵循着某种分布特性^[20-22]。所以我们分析,在复杂的地面场景中,归一化的 Rényi 熵值与其出现



(a1) (b1) (a2) (b2) (a3) (b3) (a4) (b4)



(a1~a8)为原始图像;(b1~b8)为(a1~a8)的对应关系
(a1-a8) Original images; (b1-b8) Corresponding relationships of (a1-a8)

图 3 归一化 Rényi 熵值与其出现概率对应关系

Fig. 3 Corresponding relationship between normalized Rényi entropy and occurrence probability

概率之间很可能存在着一种基于 e 指数的对应关系,而地面场景中人造目标的出现会造成某些归一化 Rényi 熵值出现概率的变化,导致该对应关系不再是原本应该比较光滑的曲线,而出现了一些起伏。

4 基于 Rényi 熵的显著图目标检测方法

生成显著图的目的就是尽量减少视觉信息的冗余性,只关注那些非冗余的部分。对应曲线中突出的起伏可以被认为非冗余的视觉信息。我们考虑利用人造目标引起的统计特性的变化,产生显著图并用来检测目标。

为提取人造目标的非冗余信息,首先对 Rényi 熵图进行局部均值滤波,从而在一定程度上消除了非冗余信息。将均值滤波前后的 Rényi 熵图像相减,得到 Rényi 熵的差值图像。之后为进一步减小虚假的差值信息,并具有更好的视觉效果,采用局部高斯滤波,从而得到显著图。从显著图中提取目标区域,普遍采用阈值分割的方法。最后采用简单的阈值分割,得到目标探测的二值化图像。考虑到算法的实时性,一般先将图像进行下采样,并将较小分辨率的图像作为算法的输入图像。本文中下采样率设为 4,即 256×256 的

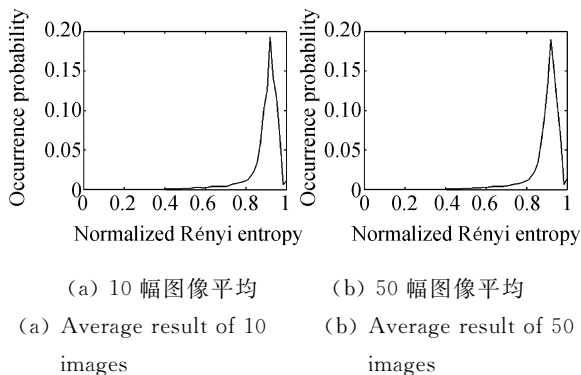


图 4 平均多幅图像的归一化 Rényi 熵值与其出现概率
Fig. 4 Average normalized Rényi entropy and occurrence probability of different images

图像经下采样后变为 64×64 的图像。下采样后得到的较小分辨率图像的归一化 Rényi 熵值与其出现概率仍符合前面所述的对应关系。基于 Rényi 熵的显著图生成和目标探测方法的具体步骤如下:

Step 1: 根据(2)式,对下采样后的图像进行二维加窗的 PWVD,本文算法中窗口大小设为 9 个像素。

Step 2: 根据(5)式,计算得到最终的 Rényi 熵图像。

Step 3: 对 Rényi 熵图像进行均值滤波

$$\mathbf{R}'(f) = \mathbf{h}_a * \mathbf{R}(f), \quad (6)$$

$$\text{其中 } \mathbf{h}_a = \frac{1}{n^2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{pmatrix}.$$

在均值滤波范围的选择上,通过实验发现, 3×3 模板抑制非冗余信息的能力相对较弱,容易在某些图像的目标检测中出现虚警,而 5×5 、 7×7 、 9×9 模板对显著图生成和目标检测的影响不大,只是检测到的目标区域有所缩小,但不影响检测所得的目标数。本文取 $=5$ 。

Step 4: 均值滤波前后的 Rényi 熵图像相减,得到 Rényi 熵的差值图像。

Step 5: 为进一步减小虚假的差值信息,并具有更好的视觉效果,对差值图像进行高斯滤波,得到最终的显著图。本文中高斯滤波算子大小为 9×9 ,方差为 8。

$$\Delta \mathbf{R}(f) = \text{abs}(\mathbf{R}(f) - \mathbf{R}'(f)), \quad (7)$$

$$\mathbf{S}(f) = \mathbf{h}_g * \Delta \mathbf{R}(f). \quad (8)$$

Step 6: 对显著图进行阈值分割,得到目标的二值化图像。

$$O(f) = \begin{cases} 1 & \mathbf{S}(f) > \text{threshold} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (9)$$

(9)式中设定经验阈值为 $\text{threshold} = E(\mathbf{S}(f)) * 2$, $E(\mathbf{S}(f))$ 为显著图的平均强度。二值图像与拍摄图像进行比对,获得目标检测结果。

5 实验结果与分析

算法测试硬件平台为 AMD 3800+、主频 2.0 GHz CPU、1 G 内存的台式机,编译环境为 Matlab R2007b。选取 8 幅不同地面场景中的军

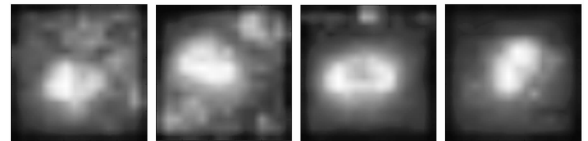
用车辆的灰度图像,这 8 幅图像中存在目标数为 14 个。图像分辨率为 256×256 ,灰度级为 256,如图 5 中(a1)~(a8)所示。图 5(b1)~(b8)、(c1)~(c8)分别为 Itti's 方法所生成的显著图及其目标探测结果,该方法是通过下载其 MATLAB 工具箱实现的,下载地址为 <http://www.saliencytoolbox.net>。图 5(d1)~(d8)、(e1)~(e8)分别为 Hou's 方法所生成的显著图及其目标探测结果。图 5(d1)~(d8)、(e1)~(e8)分别为本文提出的方法所生成的显著图及其目标探测结果。需要说明的是,图像边界区域在显著图生成的结果往往不准确,所以一般在目标检测时不考虑边界区域的检测结果。



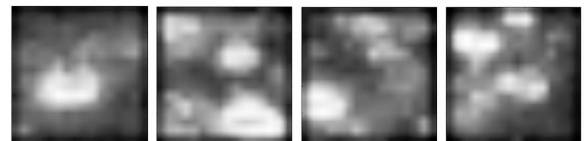
(a1) (a2) (a3) (a4)



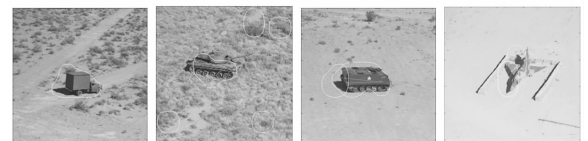
(a5) (a6) (a7) (a8)



(b1) (b2) (b3) (b4)



(b5) (b6) (b7) (b8)



(c1) (c2) (c3) (c4)

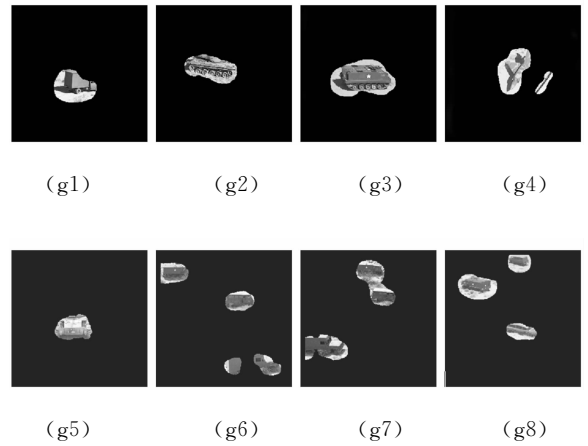
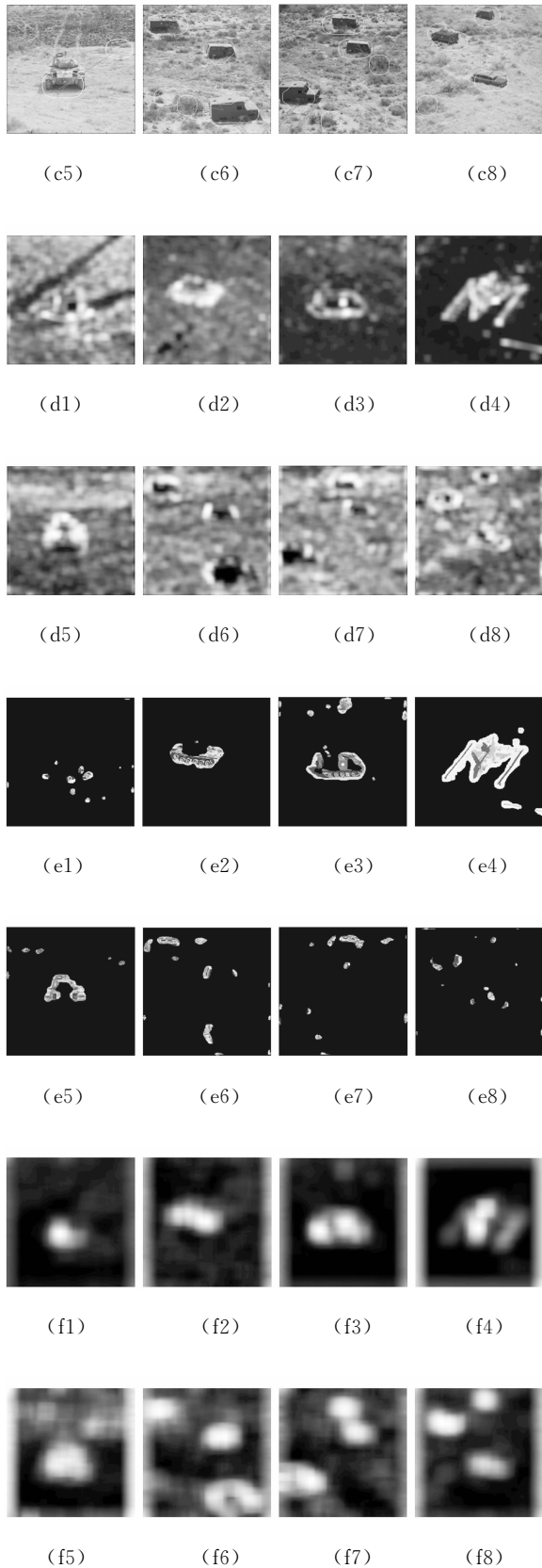


图 5 几种方法的显著图及其探测效果 (a1)~(a8) 为原始图像; (b1)~(b8) 为 Itti's 方法的显著图; (c1)~(c8) 为 Itti's 方法的目标检测; (d1)~(d8) 为 Hou's 方法的显著图; (e1)~(e8) 为 Hou's 方法的目标检测; (f1)~(f8) 为本文方法的显著图; (g1)~(g8) 为本文方法的目标检测

Fig. 5 Saliency maps and detection results of some methods

(a1)-(a8) Original image; (b1)-(b8) Saliency maps of Itti's method; (c1)-(c8) Detection results of Itti's method; (d1)-(d8) Saliency maps of Hou's method; (e1)-(e8) Detection results of Hou's method; (f1)-(f8) Saliency maps of proposed method; (g1)-(g8) Detection results of proposed method

标信息的抑制更强,更有利于突显出目标。目标探测的结果印证了这一点:Itti's 方法可以较好地检测到目标,但是也存在一定的虚警情况;Hou's 方法在个别情况下检测效果较好,但其它很多情况下很难从复杂背景中检测到目标,而且存在大量的虚警情况,导致无法对其虚警概率进行评估;本文提出的方法能够很好地检测目标,很少出现虚警,仅图 5(a4) 的探测结果存在一个虚警目标。

实际成像过程中往往存在噪声和模糊。为测试算法的抗噪能力,对这四幅图像分别添加 10 dB、5 dB、1 dB 的高斯白噪声;为测试算法的抗模糊能力,对这四幅图像进行大小分别为 3×3 、 5×5 、 7×7 ,方差为 5 的高斯模糊。上述实验的目标探测的结果见表 1,表 1 中 N/A 表示没有探测效果或者无法评估探测效果。

由图 5 可以看出,相对于 Itti's 方法和 Hou's 方法,本文提出的方法所生成的显著图对非目

表1 三种方法的检测效果

Tab.1 Detection results of three methods

图像	方法	检测目标个数	检测率	虚警目标个数	虚警率
原始图像	Itti's 方法	14	100%	11	78.6%
	Hou's 方法	4	28.6%	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	1	7.1%
10dB 图像	Itti's 方法	14	100%	12	85.7%
	Hou's 方法	4	28.6%	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	1	7.1%
5dB 图像	Itti's 方法	14	100%	12	85.7%
	Hou's 方法	4	28.6%	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	0	0%
1dB 图像	Itti's 方法	14	100%	13	92.9%
	Hou's 方法	4	28.6%	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	0	0%
3×3 高斯模糊图像	Itti's 方法	14	100%	11	78.6%
	Hou's 方法	2	14.3%	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	1	7.1%
5×5 高斯模糊图像	Itti's 方法	14	100%	10	71.4%
	Hou's 方法	N/A	N/A	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	0	0%
7×7 高斯模糊图像	Itti's 方法	14	100%	9	64.3%
	Hou's 方法	N/A	N/A	N/A	N/A
	本文方法	14	100%	0	0%

由表1可以看出,在存在较大强度噪声或模糊的情况下,Itti's方法仍旧可以较好地检测到目标,但仍会出现较多误判;Hou's方法的目标检测能力依然比较有限,而且由于模糊函数的频谱对该方法存在巨大的破坏作用,当存在较大模糊时,该方法几乎无法检测到目标;本文提出的方法能够很好地检测到目标,并且很少出现虚警,具有较好的鲁棒性。而且有趣的是,在噪声或者模糊程度较大的情况下,本文算法的虚警概率反而下降,这是因为噪声和模糊使得原有虚警目标区域上所对应滤波前后的 Rényi 熵的差值变小了。

在上述实验中,本文提出的方法的探测概率为100%,虚警概率不大于7.1%。综合检测概率和虚警概率两方面的性能,本文提出的方法优于另外两种方法。本文算法平均耗时2.0366s,具有较好的实时性。

6 结 论

本文分析了自然地面场景经二维加窗的PWVD后计算所得的 Rényi 熵存在基于 ϵ 指数的统计特性,并且进一步分析了人造目标的出现引起的自然地面场景中 Rényi 熵统计特性的变化,提出了一种新的基于 Rényi 熵统计特性的显著图生成及目标探测方法。在对8幅不同地面场景图像共计14个目标进行目标检测的实验中,本文算法的探测概率为100%,虚警概率不大于7.1%。从实验结果可以看出,本文提出的方法具有检测概率高、虚警概率低的优点,综合性能优于另两种具有代表性的显著图生成及其目标探测方法,即 Itti's方法和 Hou's方法,并且本文提出的方法具有较好的实时性,适用于地面场景中的目标探测。

参考文献:

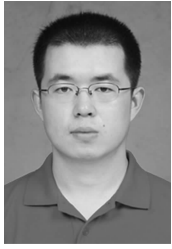
[1] 丁雪梅,王维雅,黄向东. 基于差分 and 特征不变量

的运动目标检测与跟踪[J]. 光学精密工程, 2007, 15(4):570-576.

DING X M, WANG W Y, HUANG X D. New method for detecting and tracking of moving target

- based on difference and invariant [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(4):570-576. (in Chinese)
- [2] 林玉池, 崔彦平, 黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. *光学精密工程*, 2006,14(3):509-514.
- LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):509-514. (in Chinese)
- [3] 罗跃嘉. 认知神经科学教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006:249-260.
- LUO Y J. *Cognitive Neuroscience Tutorial* [M]. Beijing: Peking University Press, 2006: 249-260. (in Chinese)
- [4] 宋燕星, 袁峰, 丁振良, 等. 使用形态 Harr 小波法检测目标感兴趣区域光学[J]. *光学精密工程*, 2009,17(7):1752-1758.
- SONG Y X, YUAN F, DING ZH L, *et al.*. Detection of region-of-interest by morphological Haar wavelet method[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(7):1752-1758. (in Chinese)
- [5] 靳薇, 张建奇, 张翔. 基于视觉注意力模型的红外目标检测[J]. *红外技术*, 2007,29(12):720-723.
- JIN W, ZHANG J Q, ZHANG X. Method for IR target detection based on visual attention model[J]. *Infrared Technology*, 2007,29(12):720-723. (in Chinese)
- [6] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998,20(11):1254-1259.
- [7] ITTI L, KOCH C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention [J]. *Vision Research*, 2000,40:1489-1506.
- [8] WALTHER D, KOCH C. Modeling attention to salient proto-object[J]. *Neural Network*, 2006,19: 1395-1407.
- [9] SIAGIAN C, ITTI L. Rapid biologically-inspired scene classification using features shared with visual attention[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2007,29(2):300-312.
- [10] ACKERMAN C, ITTI L. Robot steering with spectral image information[J]. *IEEE Trans. Robotics*, 2005,21(2):247-251.
- [11] HOU X D, ZHANG L Q. Saliency detection: a spectral residual approach[C]. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007,2007:1-8.
- [12] GUO C L, MA Q, ZHANG L M. Spatio-temporal saliency detection using phase spectrum of quaternion fourier transform[C]. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 2008,2008:1-8.
- [13] WIGNER E. On the quantum correction for thermodynamic equilibrium [J]. *Physical Review*, 1932,40:749-759.
- [14] WILLIAMS W J, BROWN M L, HERO A O. Uncertainty, information and time-frequency distributions[C]. *Proceeding of SPIE Adv. Signal Process. Algebra. Arch. Imp.*, 1991,1566:144-156.
- [15] REDONDO R, FISCHER S, SROUBEK F, *et al.*. A 2D Wigner distribution-based multisize windows technique for image fusion[J]. *J. Vis. Commun. Image R.*, 2008,19:12-19.
- [16] GABARDA S, CRISTOBAL G. Multifocus image fusion through pseudo-Wigner distribution [J]. *Optical Engineering*, 2005, 44(4): 047001-1-047001-9.
- [17] GABARDA S, CRISTOBAL G. Blind image quality assessment through anisotropy[J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2007,24(12):B42-B51.
- [18] STANKOVIC L. A measure of some time-frequency distributions concentration [J]. *Signal Processing*, 2001,81:621-631.
- [19] WILLIAMS W J. Renyi information for extracting features from TFDs[C]. *Proceeding of SPIE Adv. Signal Process. Algebra. Arch. Imp.*, 2001,4474:68-76.
- [20] VAN DER SCHAAF A, VAN HATEREN J H. Modelling the power spectra of natural images: statistics and information [J]. *Vision Research*, 1996,36(17):2759-2770.
- [21] SRIVASTAVA A, LEE A B, SIMONCELLI E P, *et al.*. On advances in statistical modeling of natural images [J]. *J. Mathematical Imaging and Vision*, 2003,18(1):17-33.
- [22] 何四华, 杨绍清, 石爱国, 等. 基于图像区域 Lyapunov 指数的海面舰船目标检测[J]. *物理学报*, 2009,58(2):794-801.
- HE S H, YANG SH Q, SHI A G, *et al.*. Detection of ship target s on the sea surface based on Lyapunov exponent s of image block [J]. *Acta Phys. Sin.*, 2009,58(2):794-801. (in Chinese)

作者简介:



许元男(1983—),男,河南孟津人,博士研究生,2005年于吉林大学获得学士学位,主要从事激光雷达及成像目标识别的研究。E-mail: xuyuanan@126.com



赵远(1963—),男,辽宁沈阳人,教授,博士生导师,1985年于清华大学获得学士学位,1992年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事激光雷达及光电探测的研究。E-mail: zhaoyuan@hit.edu.cn



刘丽萍(1963—),女,黑龙江齐齐哈尔人,副教授,硕士生导师,1984年于东北师范大学获得学士学位,2003年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事光学系统设计的研究。E-mail: hit_liuliping@yahoo.com.cn

导师简介:



孙秀冬(1963—),女,黑龙江东宁人,教授,博士生导师,1984年于北京大学获得学士学位,1995年于哈尔滨工业大学获得博士学位,主要从事非线性光学和光学信息处理等基础研究及高密度光学全息储存和激光雷达应用等研究。E-mail: xdsun@hit.edu.cn

●下期预告

点激光测头激光束方向标定

卢科青^{1,2},王 文^{1,2},陈子辰^{1,2}

- (1. 浙江大学 流体传动与控制国家重点实验室,浙江 杭州 310027;
2. 浙江大学 现代制造工程研究所,浙江 杭州 310027)

逆向工程中为了使点激光测头能在任意方向上实现测量功能,提出一种标定激光束方向的方法,设计了一种标定面方向可调的标定块配合标定。标定过程中,让激光测头在标定面上分别沿 X、Y、Z3 个轴方向做等间距运动,根据进给步长与激光束长度变化量之间的关系确定激光束的方向。以三坐标测量机为平台,给出了以任意方向安置点激光测头时,测量值从传感器坐标系到基准坐标系的转换过程,并对标定算法及整个标定过程进行了详细描述。最后,通过与接触式测量进行对比实验,验证标定后点激光测头的测量效果。实验结果表明:用该方法标定的点激光测头在 3σ 范围内沿任意方向的测量误差为 $(0.045\ 2 \pm 0.016\ 8)$ mm,满足逆向工程的测量要求,可以拓宽点激光测头在逆向测量中使用范围。