

一种抗干扰的弱小目标检测方法*

袁慧晶 王涌天

(北京理工大学光电工程系,北京 100081)

摘要 针对低信噪比灰度图像中弱小目标的检测问题,提出了 SUSAN 特征检测原则与数学形态学方法结合的小目标检测方法. 该方法首先采用 SUSAN 原则利用图像灰度级直接提取特征,利用形态学算子去除噪声、分离目标. 给出了应用实例,实验结果表明,这种方法抗干扰能力强,能够快速、可靠地检测出小目标.

关键词 SUSAN; 数学形态学; 小目标检测

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

0 引言

低信噪比条件下,小目标边缘模糊,与背景的对比如度差,颗粒噪声等局部干扰严重,因此小目标检测算法的关键是具有较强的局部抗干扰能力. 实际应用中,弱小目标的检测往往是跟踪系统的一部分,检测算法直接影响着后续的跟踪处理乃至整个系统的跟踪性能,所以要求检测算法稳定可靠,计算量小,便于实时实现.

为此,提出了一种 SUSAN 原则与数学形态学方法结合的抗干扰的小目标检测方法. 该方法首先采用最小吸收同值核区 (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus, 简称 SUSAN) 原则^[1]提取目标的特征(角点、边缘). SUSAN 原则是一种基于灰度的特征获取方法,具有特征定位准确,对局部噪声不敏感,且计算速度比常规的特征提取方法快,适用于实时图像处理的特点. 角点是图像的一种重要局部特征,在计算机视觉中,定义图像中出现局部曲率极大值的轮廓点以及两个以上边界的交点为角点. 本文就采用角点检测的方法检测弱小目标,然后利用图像数学形态学算子进一步剔除噪声干扰,识别和分离出真实目标.

1 算法原理

1.1 SUSAN 检测原则

SUSAN 检测是基于图像的几何观测,将像素分类:边缘,角点和扁平区,直接利用图像的灰度特征进行检测^[2]. 如图 1 所示,图像的每个像素代表一个圆形模板的核,模板分成独立的两个区域,与模板中心核有相似的灰度值的像素构成的吸收核同值区

(USAN)和它的补. USAN 区域含有图像在某个局部区域的结构信息,同值核的大小反映了图像局部特征的强度. 当圆形模板完全处在背景或目标中时,USAN 区域面积最大,而模板移向目标边缘时,USAN 区面积逐渐变小,当模板中心处于角点时,USAN 区域面积达到局部最小. 位于图像上局部最小的 USAN 区的核像素就是图像的角点. 因此 SUSAN 原则的基础就是判断核子邻域中相似灰度像素的比率.

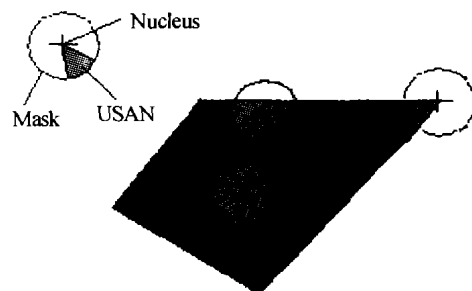


图 1 SUSAN 原则

Fig. 1 The principle of SUSAN

图像中某像素的 USAN 区域大小可由下式表示

$$n(r_0) = \sum_r C(r_0, r) \quad (1)$$

式中 $C(r_0)$ 是以 r_0 为圆心的模板; $C(r_0, r)$ 是模板内属于 USAN 区域的像素的判别函数,定义为

$$C(r_0, r) = \begin{cases} 1, & |I(r) - I(r_0)| \leq t \\ 0, & |I(r) - I(r_0)| > t \end{cases} \quad (2)$$

式中 t 是亮度差门限. 实验中发现, t 表示所检测的特征的最小对比度,也是能忽略的噪声的最大容限,并决定了提取特征量的多少, t 小则特征多, t 大则特征少. 可见光图像中,目标与背景主要靠其边缘区分, t 取值要小,一般在 6~16 间选择,而红外图像的 t 可取大些^[3,4]. 用模板扫描整个图像得到每个像素的 USAN 区域后,再由下式产生 USAN 特征图像

$$R(r_0) = \begin{cases} g - n(r_0), & n(r_0) \leq g \\ 0, & n(r_0) > g \end{cases} \quad (3)$$

式中 g 为几何门限,一般取 $n_{\max}/2$, n_{\max} 是 $n(r)$ 所能

*国家自然科学基金项目(90208008,60025513)
Tel:010-68912565 Email:icesnow@bit.edu.cn
收稿日期:2003-06-12

达到的最大值. g 的大小不仅决定了所得角点的尖锐程度, 也决定了它能从 USAN 区响应矩阵中提取特征的多寡, g 越小, 所得的特征点越尖. 提取边缘时, g 值要大些, 一般最大取 $3n_{max}/4$.

SUSAN 算法可一次性快速检测出角点、交点、边缘点, 而且无方向性, 并在 USAN 特征图像中保留着目标及背景的完整特征. 由于 USAN 区域的计算是对核子邻域中相似灰度像素的累加, 这实际上是一个积分的过程, 对于高斯噪声有很好的抑制作用, 而且 SUSAN 检测避免了梯度计算, 实现简单, 计算量小. 因此, 其突出的优点就是抗局部噪声能力强, 运算速度快^[3]. 对于小目标图像, 所有目标点都可以看作特征点. 在低对比度图像中目标边缘模糊, 基于 SUSAN 原则中对比度越低门限 t 应越小的准则, 应适当降低 t 的取值.

1.2 形态学处理

数学形态学是一门新兴的图像分析学. 形态学对图像处理以在图像中移动一个结构元素并进行类似于卷积操作的方式进行, 不同的结构元素完成不同的图像分析并得到不同的结果^[5,6]. 腐蚀和膨胀是形态学运算的基本算子. 腐蚀具有收缩图像目标的作用, 使得目标分离, 便于轮廓提取; 膨胀是图像腐蚀的对偶运算, 具有扩大图像目标的作用; 反复的形态学腐蚀和膨胀实际上是图像的形态学开闭运

算, 便于将图像目标分离, 同时去除噪声, 平滑目标体内的灰度, 改善图像的灰度效果. 设在二维离散空间上的灰度图像 f 和结构元素 g , f 关于 g 的腐蚀和膨胀分别定义为

$$(f \ominus g)(x) = \max \{y: g_x + y \ll f\} \tag{4}$$

$$(f \oplus g)(x) = \min \{y: (g^*)_x + y \gg f\} \tag{5}$$

f 关于 g 的形态开和形态闭分别定义为

$$(f \circ g)(x) = [(f \ominus g) \oplus g](x) \tag{6}$$

$$(f \cdot g)(x) = [(f \oplus g) \ominus g](x) \tag{7}$$

图像形态学最显著的特点是直接利用图像的几何结构及相互关系进行处理, 具有快速、健壮和精确的特性. 根据处理图像的实际细节情况, 合理地选取运算结构元素, 能有效地实现图像分割、边缘检测、细化、形状分析及图像编码等图像分析.

用数学形态学对图像处理一般都要结合传统的图像分析方法. 本文对低信噪比小目标检测过程中, 对可能包含真实目标和背景中其它杂散特征点形成的噪声点的 USAN 检测的特征图像, 采用形态学算子去除噪声点的干扰, 改善图像效果.

2 应用实例

本文的方法已成功应用于基于机器视觉的果蝇行为跟踪实验系统. 实验结果见图 2.

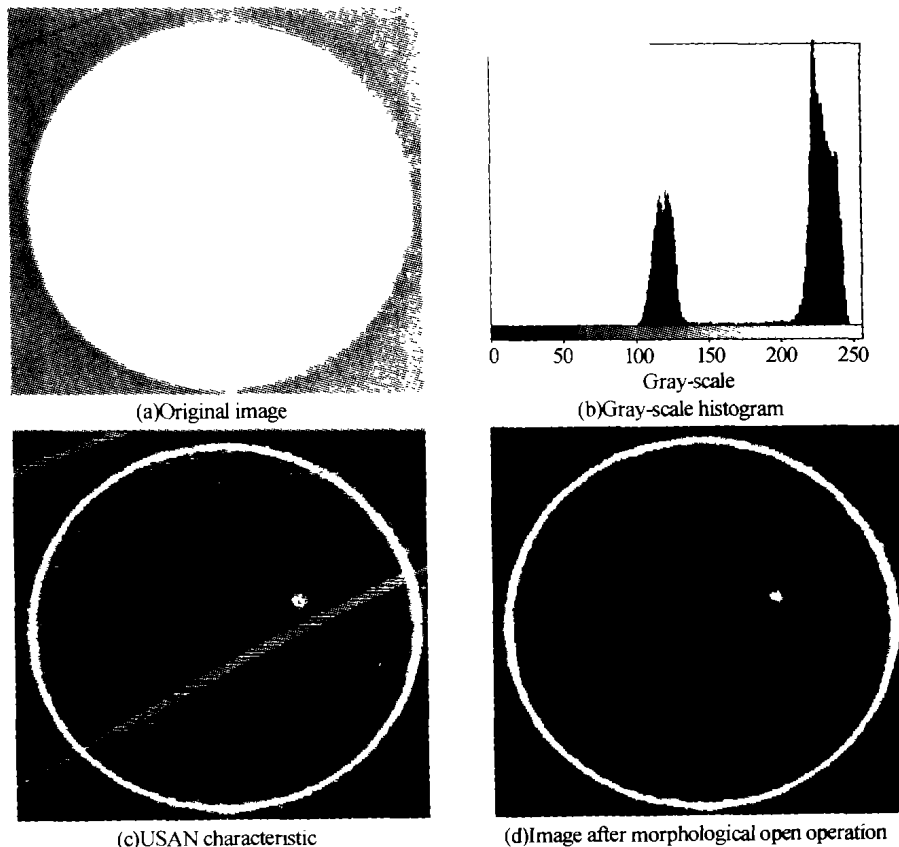


图 2 应用实例
Fig. 2 An applied case

原始图像(图 2(a))中存在三类比较明显的噪声:1)由于图像采集系统的缺陷,形成明显的细线条毛刺状系统噪声带;2)图像采集系统的固有散点噪声;3)由于照明不均匀形成的局部噪声.而图像处理的要求是检测弱小目标并对小目标相对活动区域的位置进行定位,即实现边缘和角点的检测.弱小目标的灰度级分布在图像灰度直方图的双峰之间(图 2(b)),与噪声混杂,信噪比低.

实验中采用 5×5 的矩形模板来近似 USAN 原则定义的圆形模板,由于图像对比度低,亮度差门限 t 取较小值 6. 可以看到,USAN 算子具有较强的局部抗干扰能力,USAN 特征图像中(图 2(c))保留了原始图像中完整的目标信息,在可忽略噪声最大容限 t 内的大部分噪声点(主要是上述第三类噪声)被剔除,只有处于容限 t 外的噪声点和干扰目标(主要包括上述第一类和第二类噪声)被检测出来.为了消除剩余噪声,有效地分离小目标和活动边界,对 USAN 特征图像进行形态开运算(图 2(d)).通过对图像的腐蚀和膨胀,很好地抑制了孤立噪声点、抹平了噪声毛刺,并且填补了目标物体中的空洞、平滑了边界,使图像效果得到改善.

对小目标与活动边界的定位,采用了区域生长的方法标记连通域,然后利用连通域的尺寸特征进行识别和测量.在目标检测的基础上,跟踪处理算法利用目标运动的连续性和轨迹的一致性实现了可靠的目标跟踪.

以上实例在 PⅢ550 上运行,从 OK-C20 图像采集卡获取分辨率为 312×312 的原始图像,通过多次实验测试,目标检测平均耗时 220 ms,其中 85% 用于 SUSAN 检测,15% 用于形态学运算.目标跟踪是在目标检测的基础上对局部图像处理,本实验系统对图像跟踪频率的要求是大于每秒 5 帧,因此跟踪算法(包括目标预测和局部检测)运算时间必须小于 200 ms.运算时间主要取决于局部窗口的大小,实验证明小于 100×100 的窗口肯定满足要求,而实际操作中跟踪处理的局部图像最大为 50×50 ,因此本方法保证了跟踪的实时性.

3 结论

低信噪比图像中目标检测,尤其是弱小目标的检测问题在军事、科研中具有重要的意义,其算法研

究的关键在于算法的抗干扰能力、稳定性和运算量.实验中可以看到,本文提出的 SUSAN 特征检测原则与数学形态学方法结合的小目标检测方法具有较强的抗干扰能力,能够快速、可靠地检测出低信噪比的目标.实验结果也表明,该方法能很好地同时检测边缘和角点.因此,考虑处理图像的特性,改进 SUSAN 算法,合理地选取数学形态学运算结构元素,进一步研究 SUSAN 特征检测原则与数学形态学方法的结合形式,该方法一定能取得更多的实用的实现方法和应用.

参考文献

- Smith S M, Brady J M. SUSAN- a new approach to low level image processing. *International Journal of Computer Vision*, 1997, **23**(1): 45 ~ 78
- Robert Laganière, Étienne Vincent. Wedge-based corner model for widely separated views matching. 16th International Conference on Pattern Recognition, Quebec City, Canada, 2002
- 张坤华,王敬儒,张启衡.多特征复合的角点提取方法.中国图象图形学报,2002, **7**(4): 319 ~ 324
Zhang K H, Wang J R, Zhang Q H. *Journal of Image and Graphics*, 2002, **7**(4): 319 ~ 324
- 郑敏,张启衡.弱小目标检测与跟踪算法.光电工程,2002, **29**(4): 10 ~ 12
Zheng M, Zhang Q H. *Optical Engineering*, 2002, **29**(4): 10 ~ 12
- 张翔,刘媚洁,陈立伟.基于数学形态学的边缘提取方法.电子科技大学学报,2002, **31**(5): 490 ~ 493
Zhang X, Liu M J, Chen L W. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2002, **31**(5): 490 ~ 493
- 崔屹.图像处理与分析.数学形态学方法与应用.北京:北京科学出版社,2000
Cui Y. *Image Processing and Analyzing: Mathematical Morphological Methods and Applications*. Beijing: Beijing Science Publication House, 2000
- 李熙莹,倪国强.一种自动提取目标的主动轮廓法.光子学报,2002, **31**(5): 606 ~ 610
Li X Y, Ni G Q. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(5): 606 ~ 610
- 徐军,向健华,梁昌洪.最大化背景模型用于检测红外图像中的弱小目标.光子学报,2002, **31**(12): 1483 ~ 1486
Xu J, Xiang J H, Liang C H. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(12): 1483 ~ 1486

A New Denoising Method for Small Target Detection

Yuan Huijing, Wang Yongtian

Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081

Received date: 2003-06-12

Abstract A new method integrating the SUSAN principle and mathematical morphology approach is presented for the detection of small targets in a gray level image with a low signal to noise ratio (SNR). First, the SUSAN principle is applied to extract features directly at the gray-scale level. Then a morphological operator is used to separate targets from noise disturbance. An application example is given. Experimental results show that the method can effectively and reliably detect a small target from pictures of low SNR.

Keywords SUSAN; Mathematical morphology; Small target detection



Yuan Huijing was born in 1978. She received her B. S. degree in optical engineering from Beijing Institute of Technology in 2000, and is currently conducting research for her Ph. D. degree there. Her major research interests include virtual reality, image processing and pattern recognition.