

红外图像序列小目标的特性分析与检测^{*}

吴 巍,彭嘉雄,王海晖

(华中科技大学图像识别与人工智能研究所

图像信息处理与智能控制教育部重点实验室,湖北 武汉 430074)

摘要:在红外图像中微弱小目标的检测一直是研究的重点和难点。文中介绍一种利用形态学的 Top-hat 算子检测方法,主要步骤是先对图像进行滤波,然后依据目标运动的连续性进行目标检测,并对检测所得的目标特性进行分析。实验表明,该检测方法十分有效,并且还发现图像序列中小目标的灰度和质心位置变化是有规律的,它可提高检测的准确性。

关键词: 红外小目标; 目标检测; 能量累积; Top-hat 算子

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2002)02-0146-04

Characteristics analysis and detection of small target in infrared image sequences^{*}

WU Wei, PENGJia-xiong, WANG Hai-hui

(State Education Commission Key Laboratory of Image Processing & Intelligent Control, Institute of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Detection of dim target in infrared image is the emphasis and difficulty of target detection. A method of detection using the Top-hat operator of morphology is proposed. Its main procedures are filtering the infrared image sequences, and then detecting the targets depending on the continuity of the movement of the targets. Some features of detected target are analyzed. The effect of the detection method is verified by the results of experiments. The characteristics of the gray and centroid of small target in infrared image sequences are also found, which is significant to improve the precision of detection.

Key words: Infrared small target; Target detection; Energy accumulation; Top-hat operator

收稿日期:2001-07-12; 修订日期:2001-09-02

基金项目:国防科技大学 ATR 重点实验室基金资助课题(00JS93.2.1.JW0515)

作者简介:吴巍(1971-),男,湖北黄石市人,博士研究生,主要从事图像处理、目标检测与识别等工作,发表论文 2 篇。

1 引言

红外图像是利用红外探测器扫描景物空间而获得热辐射图像的。一般说来,目标的检测分为目标分割与目标识别两个阶段。它们相互联系但又有区别,目标识别是在目标分割的基础上进行的。在目标分割过程中存在两种错误:

- (1) 目标存在,但是没有分割出来;
- (2) 目标不存在,但分割出了伪目标。

而目标的识别过程则存在三种错误:

- (1) 目标存在,却没有分割出来,识别结果认为目标不存在;
- (2) 目标不存在,却有伪目标存在,识别结果将其伪目标作为真实的目标;
- (3) 目标存在并且也分割出来了,但是判断为噪声块,造成目标丢失。

为了最大程度地消除这些错误,提高目标检测的准确性,应从研究目标的特性出发。

2 红外小目标的检测

由于红外图像的信噪比低,微弱目标的像素又较少,缺乏结构信息,所以对其的检测一直是研究的难点。国内外学者对此进行了大量的研究,提出了许多方案。这里提出了一种形态学的检测方法,工作流程如图1所示。

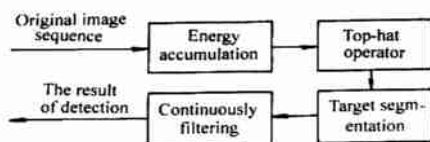


图1 小目标检测流程

Fig. 1 Diagram of small target detection

(1) 能量累积

对相邻三帧的原始图像序列进行能量累积,并采用滑动窗口,即第一、二、三帧相加,然后是第二、三、四帧,……,依此类推,就得到了一组新的图像序列。

(2) Top-hat 滤波

Top-hat 算子定义为:

$$\text{Hat}(f) = f - (f \ominus g)$$

式中 g ——结构元素;

$f \ominus g$ ——对图像 f 进行开运算,即对图像 f 用结构元素 g 先腐蚀后膨胀。

考虑到目标较小,选取的结构元素为 5×5 。

(3) 目标分割

经过 Top-hat 处理后的图像,大部分像素都集中在低灰度区,只有目标和小部分噪声分布在高亮度区。对它可以进行二值化处理,这里,按下面的公式选取每帧图像门限为:

$$T = m + kv$$

式中 m ——图像的均值;

v ——图像的标准差;

k ——常数,通过实验确定,一般取 $3 \sim 10$ 。

(4) 连续滤波

二值化后的图像序列可能还存在一些噪声块,为了检测出真正的目标,根据目标运动的连续性,用流水线结构进行判别。参考文献[1]提出了一种方案,其主要依据就是根据目标运动的连续性:如果在第 i 帧中像素 (x, y) 处有目标,则该目标在第 $i+1$ 帧中必然会出现在该像素的一个小邻域内。而噪声由于分布的随机性,在连续多帧的图像中,噪声块的位置没有这种特性。

3 红外图像序列的空间特性

其实在目标的检测过程中,人们都或多或少地利用了目标的一些特性:在目标增强和背景抑制过程中,由于目标在频域里分布在高频,而背景在频域里大多分布在低频,故人们采用了高通滤波器,大量的实验证明这是十分有效的;同时,人们又利用了目标运动的连续性这一特点,对序列图像进行连续滤波。总之,通过对目标的特性进行分析,能够更好地了解其特有性质,发现更好的算法,从而提高检测的精度。

对于包含运动小目标的红外图像,可以用下

面的模型来描述:

$$f(x, y) = s(x, y) + b(x, y) + n(x, y)$$

式中 $f(x, y)$ ——获取的场景图像;

$s(x, y)$ ——目标的图像;

$b(x, y)$ ——背景的图像;

$n(x, y)$ ——噪声的图像。

利用红外传感器等获取的运动目标图像,由于目标红外辐射强度与其周围自然背景的辐射强度不相关,并且一般都高于背景的辐射强度,因此目标可看作是图像中的孤立亮斑。当目标距离较远时,所成的像很小,可将其看成具有恒定灰度值的点源。

背景由于在形成时受到物理规律的制约,它们在空间上往往呈大面积的连续分布状态,因此在红外辐射的强度上也呈渐变过渡状态,从而使得它们的红外图像在图像灰度空间分布上具有较大的相关性,所以它主要是缓慢变化的低频部分。

红外图像平面上的噪声主要包括白噪声和行列扫描方向上的非平稳 $1/f$ 噪声。它与背景像素不相关,空间分布是随机的,帧间没有相关性。对红外系统来说,若带宽选择合适,均可将噪声当作白噪声。

基于上述模型,虽然目标基本上无形状信息,但与背景、噪声相比它还是有其分布规律的。由于灰度图像信息的直接表现,可提出以下的特征量:

- 1) 目标灰度均值:目标各点灰度的平均值;
- 2) 目标灰度标准方差:目标各点灰度的标准方差。

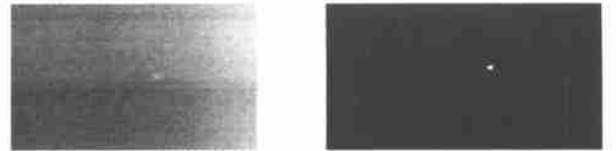
此外,还选取了目标的质心位置,对它的变化进行研究。

4 实验结果

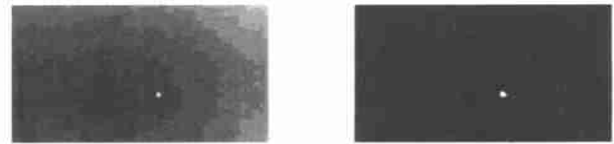
选取了两组包含有运动小目标的红外图像序列进行实验,P18 序列选取了连续的 400 帧,P19 序列取连续的 40 帧。

按照上述算法,分别对这两组序列进行实

验,检测结果如图 2 所示(原图均经过对比度增强)。



(a) P18 图像序列的一帧 (b) 对图(a)检测的结果
(a) One frame of P18 image sequence (b) Result of detection on fig. (a)



(c) P19 图像序列的一帧 (d) 对(c)图检测的结果
(c) One frame of P19 image sequence (d) Result of detection on fig. (c)

图 2 小目标检测算法得到的结果

Fig. 2 Results obtained with the algorithm of small target detection

两组图像序列总体检测性能见表 1(误检包括目标丢失或出现伪目标)。表 1 说明,该算法能够较好地实现红外小目标的检测。

表 1 小目标检测算法的实验结果

Tab. 1 Experimental results obtained with the algorithm of small target detection

Sequence name	Sequence length	Numbers of wrong detection frames	Ratio of wrong detection
P18	400	10	2.5 %
P19	40	2	5 %

对检测的结果再进行人工校正,从而保证找到正确的目标,并对每帧图像计算前面提到的特征量,用图 3、图 4 表示(横坐标为图像的帧数,为显示方便,质心分别用其横轴、纵轴的坐标表示)。

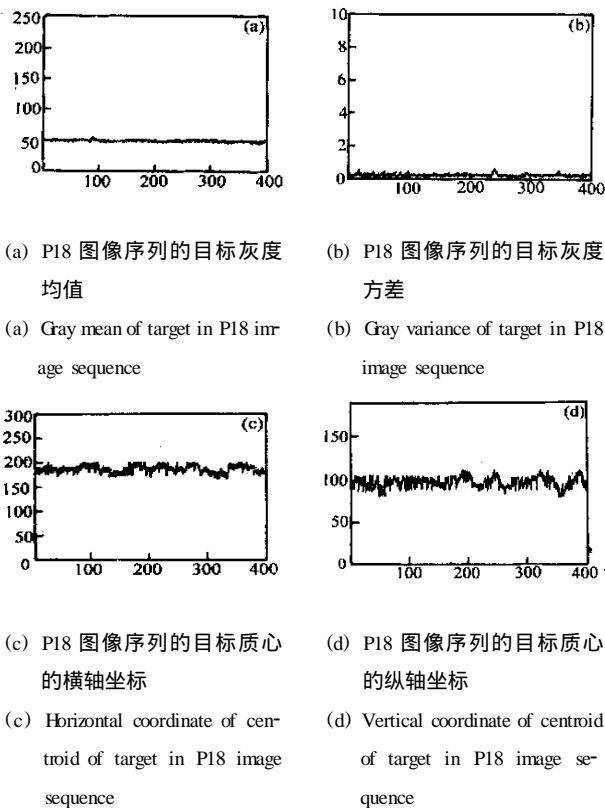


图 3 P18 图像序列的目标特性

Fig. 3 Target characteristics of P18 image sequence

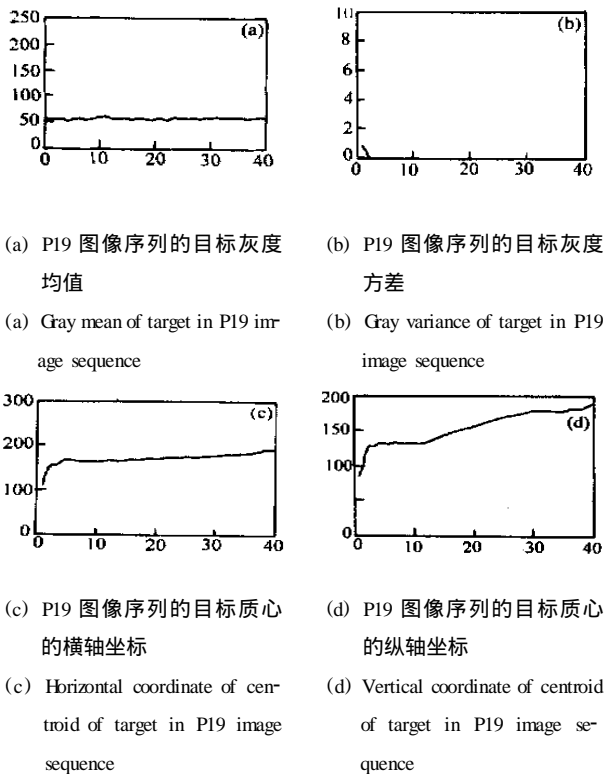


图 4 P19 图像序列的目标特性

Fig. 4 Target characteristics of P19 image sequence

通过对图 3、图 4 的观察,发现以下规律:

(1) 在连续的多帧图像中,目标的灰度波动较小,而且在相邻的几帧图像里,其灰度变化就更小了,所以如果检测的目标在灰度上与其前面相邻的几帧图像有突然的或大的跳跃,几乎就可断定它是伪目标。

(2) 目标灰度的方差集中在零附近,这与假设目标是恒定灰度值的点相符,利用这个性质,也可以对目标的真伪性进行判断。

(3) 由于目标的运动在帧间存在着连续性,其质心的变化在帧间也有连续性,从图中可以看出,目标质心的坐标在相邻的几帧图像里,其横坐标和纵坐标的变化较小,是一个缓变的过程且与前面的几帧图像有着一定的因果联系,不可能出现很大的变化。这与实际是相吻合的。

有了这些结论,在目标识别的过程中就可以过滤一些噪声(伪目标)。对目标分割过程中丢失目标的图像可根据其相邻的几帧图像,预测出目标的位置和灰度,从而相应地调整目标分割算法的阈值,更好地实现目标的检测。

4 结束语

提出了一种红外小目标的检测算法,并对目标进行了灰度和位置上的分析,从而为最大程度地减少检测的误差提供了理论指导。检测中可以利用这些性质来调整分割的阈值和做出正确的目标识别,也可以验证检测后的结果。当然,目标的特性还远不止这些,还有其他如速度、频域等特性有待进一步分析。

参考文献:

[1] 彭嘉雄,周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测[J]. 电子学报,1999,27(12):47-51.

[2] 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000.

[3] 杨卫平,沈振康. 红外图像序列小目标检测预处理技术[J]. 红外与激光工程,1998,27(1):23-28.