

文章编号: 1001- 2486(2010) 03- 0011- 05

基于形状熵差的相似多目标检测方法^X

王鲲鹏, 张小虎, 朱肇昆, 于起峰

(国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要:为实现靶场多目标图像的目标自动检测, 利用多目标形状的相似性, 提出一种基于形状熵差的目标检测新方法。提出了形状熵差的概念, 将目标形状模型引入局部熵计算中, 由局部内熵与局部外熵之差的极值点确定目标位置。基于此设计并实现了一种新的目标自动检测方法。通过实验证明了算法的有效性和鲁棒性。相比较于常见的一些目标检测算法, 该方法具有更好的抗干扰能力和环境光照变化适应能力, 可以应用于靶场多目标图像的目标检测, 也可应用于其他类似的目标检测问题。

关键词:靶场图像; 光学测量; 目标检测; 多目标; 熵

中图分类号: TP39461 **文献标识码:** A

A New Method for Similar Multitarget Detection Based on Shape Entropy Difference

WANG Kunpeng, ZHANG Xiaohu, ZHU Zhaokun, YU Qifeng

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defence Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In order to realize auto target detection of multitarget image of shooting ranges, the similarity of targets shape was utilized, and a new method for auto similar target detection based on shape entropy difference was proposed. First, the concept of shape entropy difference was presented, which merged shape information into the calculation of entropy, and the target was detected by searching for the extreme point of entropy difference. Then, an auto target detection method based on shape entropy difference was realized. Finally, the validity and robustness of the algorithm was approved by experiment. Compared with the common algorithms of target detection, the method proposed here has better tolerance capability against noise and illumination variety. The method can be used for target detection of image of shooting ranges and other similar applications.

Key words: image of shooting ranges; optical measurement; target detection; multitarget; entropy

在靶场的常规武器试验和非常规武器发射试验测试中, 利用高速摄像(影)机、经纬仪等光学设备进行飞行目标的测量是一种常用的测量手段^[1], 为武器的性能测试和评价定型提供了有力保证。高可靠性的目标自动检测技术尤其是多目标自动检测技术作为靶场光学测量的关键技术之一正日益引起人们的关注^[2]。

目前, 常用的目标检测方法主要包括: 差分图像法、基于统计模型的方法、基于小波的方法、基于形态学的方法等^[3-5]。当图像质量较好时, 这些方法都能在其适用范围内取得较好效果, 但实际靶场图像受天气、成像传感器类型、目标自身形态变化等因素影响, 成像效果往往不尽如人意。图像中常包含较多干扰物体, 如经纬仪拍摄的图像常包含有十字丝、跟踪波门等干扰线; 胶片图像的成像质量还与洗片过程密切相关, 包含更多的杂质干扰物体, 成像效果往往更差^[6]。常规的运动目标检测算法受噪声和这些干扰物体影响较大, 常会出现误检和漏检现象。此时, 目标检测只能由判读员人工点取完成, 效率较低且精度难以保证。

利用小目标的存在将引起图像熵值产生较大变化这一特性, 局部熵常被用于小目标检测^[7-8], 该类算法能够较好地反映局部区域信息量的丰富程度, 适于检测团状小目标, 但普遍存在方向性检测性较

X 收稿日期: 2009- 12- 11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(171085)

作者简介: 王鲲鹏(1981), 男, 博士生。

差、目标范围扩散、背景边缘纹理干扰严重等问题。

本文根据靶场图像中多目标运动速度方向和形状较为一致的特点,提出了一种新的相似目标检测算子-形状熵差(Shape Entropy Difference, SED),并设计了基于该算子的目标检测方案。首先由单幅目标图像提取目标形状模型参数及形状熵差结构算子,然后计算待检测图像区域的结构熵差值,并由此确定目标位置。实验证明该方法具有较好的抗噪能力和定位性能,对图像中其他干扰物体不敏感,能够用于其它类似情况的目标检测问题。

1 形状熵差的定义

根据香农信息论,一幅大小为 $M \times N$ 的图像的熵值定义为:

$$H = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} \log_a p_{ij} \quad p_{ij} = \frac{f(i,j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i,j)} \quad (1)$$

式中: $f(i, j)$ 为图像中点 (i, j) 处灰度, H 为该图像的熵, p 为点 (i, j) 处灰度分布概率。若将 $M \times N$ 视为图像中以 (i, j) 为中心的一个局部邻域,则 H 称为图像的局部熵。 a 决定熵的单位,下文中,如无特别声明,均取 $a=2$,简记 $\log_a x = \log x$ 。

局部熵反映了图像灰度分布的离散程度,在局部熵值大的地方,图像灰度分布相对较均匀;局部熵小的地方,图像灰度分布离散性较大,所以可以根据图像的局部熵检测目标。当图像背景纹理较为平稳时,背景区域局部熵分布较均匀且熵值较大,对于目标区域,灰度起伏大,熵值较小,最小熵位置即为目标所在位置。但对实际靶场图像而言,如图 1(a)所示,成像噪声较大,同时包含较多干扰因素,图中圆圈内的两个目标为真实目标,而其余方框内的物体为干扰物,仅采用局部熵的检测方法易受这些干扰物体。图 1(b)为检测图像区域局部熵响应值三维分布,从图中可以看出,除弹体目标所在位置出现局部极值外,飞机和十字丝等多处位置也存在较大的局部极值,其值甚至大于目标位置处的响应值,仅利用该响应值进行目标检测很容易出现误检现象。

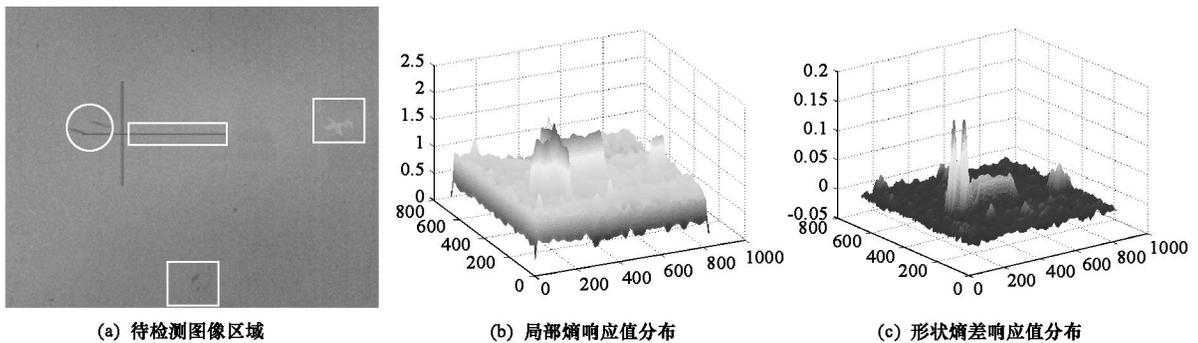


图 1 响应值分布对比

Fig. 1 Comparison of response value of entropy and SED

目标距离拍摄站点较远,图像上目标灰度与背景灰度均较为一致,但两者灰度值存在一定差距,基于此提出形状熵差的概念,将目标形状模型融入局部熵的检测方法中,提高目标检测能力,其定义如(2)式:

$$D = \text{abs}(H_{in} - H_{out}), \quad H_{in} = \sum_{(i,j) \in T_{in}} p_{ij} \log p_{ij}, \quad H_{out} = \sum_{(i,j) \in T_{out}} p_{ij} \log p_{ij} \quad (2)$$

其中 H_{in} , H_{out} 定义为形状内熵与形状外熵,分别表示目标内部区域的局部熵值与目标所在区域的局部熵值, T_{in} 为描述目标形状的结构元素, T_{out} 为描述目标所在区域的结构元素,同时包含了目标区域和部分背景区域,结构元素值均由目标的具体形状参数确定。下文中针对典型的弹体目标进行论述,其它形状的目标处理方法与此类似。由于弹体目标的形状比较简单,其形状模型可由弹体的长度 L 、宽度 W 和弹体面内倾角 H 进行描述,目标结构元素的计算公式为:

$$T_{in} = \begin{cases} 1 & \|(i,j) - \text{line}(H)\| \leq \frac{WP}{2} \\ 0 & \|(i,j) - \text{line}(H)\| > \frac{WP}{2} \end{cases} \quad T_{out} = \begin{cases} 1 & \|(i,j) - \text{line}(H)\| \leq \frac{W}{2} \\ 0 & \|(i,j) - \text{line}(H)\| > \frac{W}{2} \end{cases} \quad i \in [L, j] \in [L; i, j] \in N \quad (3)$$

T_{in} 表示在弹体长度 L 确定的区域内,以弹体面内倾角确定的直线 $line$ 为中轴线,距中轴线距离小于 $1/2$ 弹体宽度 W 的结构元素赋值 1,其余为 0。 T_{out} 与 T_{in} 类似,仅是判断距离阈值为弹体宽度 W 。 T_{in} 描述了弹体区域的形状, T_{out} 同时包含弹体与背景的区域,且弹体区域与背景区域面积相同。图 2 表示了一些典型的弹体目标形状结构元素。目标长度 L 均为 40 像素,宽度 W 均为 5 像素,图中白色区域表示该位置的结构元素值为 1,黑色区域处的结构元素值为 0,结构元素的尺寸与弹体倾角有关,为统一显示效果,将图 2 中所有结构元素图像缩放至同一尺寸。其他类型目标的结构元素 T_{in} 与 T_{out} 可仿此方法进行设计。

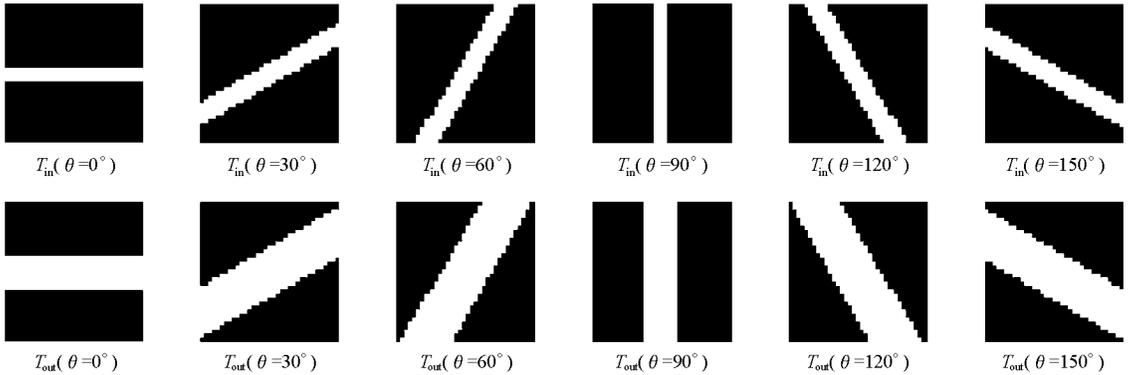


图 2 典型弹体目标结构元素图
Fig. 2 Structure elements of shot

在目标中心位置,由于目标内部灰度分布较均匀,利用结构元素 T_{in} 计算目标内部像素的局部熵 H_{in} 具有局部极大值,而结构元素 T_{out} 同时包含背景与目标,且两部分面积相同,则可以证明局部熵 H_{out} 应具有局部最小值,因此形状熵差 D 具有局部极大值。对于背景区域而言,其 H_{in} 与 H_{out} 值相差不大,形状熵差值接近 0。图像中其他干扰物体由于其形状与目标区别较大, H_{in} 与 H_{out} 值相差不明显,形状熵差值也较小。此外从熵的定义可知,在目标边缘附近也存在形状熵差的局部极值,但该区域的极值分布情况与目标内部极值分布一致,通过较大尺度的数据滤波可以将这些响应值进一步突出,目标的中心点将出现明显极值点。

从(2)式可知形状熵差值仅利用目标的形状信息而与目标和背景的灰度值无关,因此较之于直接利用目标灰度进行互相关^[4]检测等方法,采用形状熵差的算法具备更强的抗环境光照变化能力。图 1(c)为图 1(a)的形状熵差响应值分布,从图中可以看出,两个真实目标处存在明显极值点,十字丝和飞机等目标的影响被明显削弱,可以很容易地从该响应值分布中准确检测出目标。

2 算法描述

基于形状熵差的目标检测算法流程可由图 3 表示,算法主要包括目标形状模型参数提取及利用形状熵差响应值检测目标两部分,具体细节将在下文中予以介绍。

2.1 提取目标形状模型参数

对于靶场多目标图像而言,图像中目标在形状上具有相似性,如多管炮、子母弹等试验中,弹体的几何形状及运动方向基本一致,使得我们可以仅通过少量目标样本的特征学习,就能得到目标的形状模型参数。实际判读时,可预先读入一幅目标图像直接提取目标形状模型参数,提取过程可以采用两种方式:¹ 手工标记方式,当

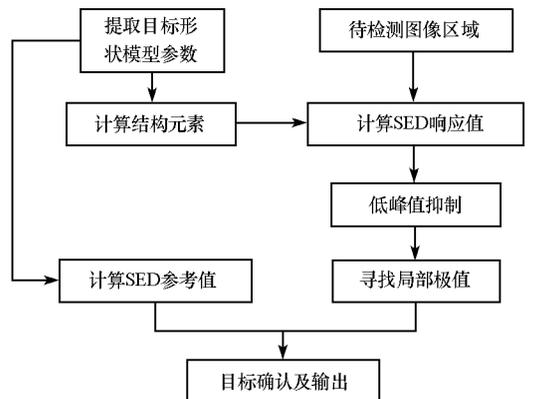


图 3 算法流程图
Fig. 3 Flowchart of algorithm

目标区域图像质量较差时直接由判读员在图像中选取目标轮廓,并由此确定目标长度、宽度和面内倾角等形状模型参数。 $^{\circ}$ 自动提取方式,直接采用常见的二值化算法与形态学滤波算法确定目标区域,并通过区域标记自动提取计算目标形状参数。图4为上述两种情况的目标形状参数提取结果,图4(b)为采用手工标记方法确定图4(a)中目标形状的结果,红色矩形区域的长、宽、倾角等参数对应了目标的形状模型参数;图4(d)为采用自动提取方式确定图4(c)中目标形状的结果,红色方框描述了目标的外接矩形,并可由此进一步确定目标形状模型参数。

利用(3)式,可由目标形状模型参数确定形状熵差的结构元素 T_{in} 与 T_{out} ,同时为实现后续检测过程中的目标确认步骤,需要计算目标位置处的形状熵差参考响应值 D_{ref} 。

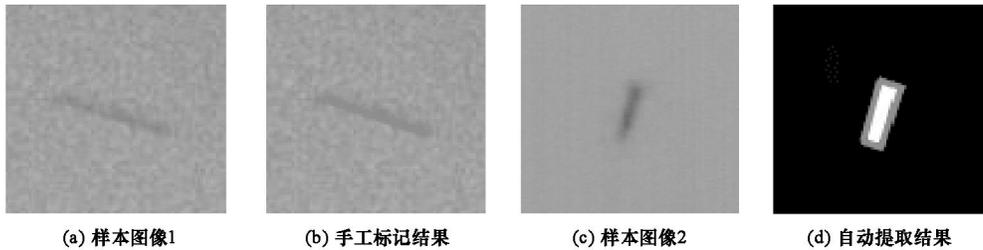


图4 目标形状参数学习结果
Fig. 4 Results of learning for targets shape

2.1.2 利用形状熵差响应值检测目标

利用第1节中形状熵差的概念,计算待检测图像区域的形状熵差响应值分布,目标中心点将位于形状熵差局部极大值处,为减少其他较小局部极值点的干扰,同时提高计算效率,可对待检测图像区域的形状熵差值进行低峰值抑制处理,剔除响应值较小的像素位置,因真实目标处的结构熵差响应值较大,低峰值抑制处理将不影响目标点的检测结果,抑制算法可简单表示为:

$$I_c(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & I(x, y) \geq Th \\ 0 & I(x, y) < Th \end{cases} \quad (4)$$

其中阈值 Th 可由经典的 $QSTU^{[9]}$ 方法确定,图5为低峰值抑制处理前后的结构熵差响应值图像对比,图中像素点灰度值越大表示该位置的形状熵差响应值越大,图5(b)表明,经抑制处理后,响应值图像中目标所在位置与其它位置响应值的对比度加大,目标更加突出,更有利于目标的检测。

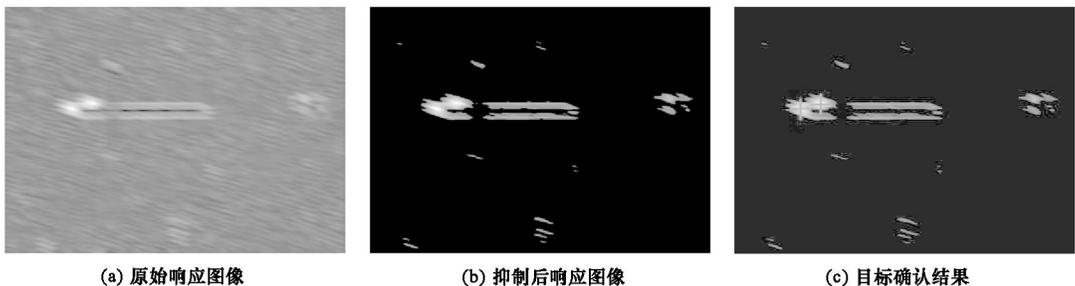


图5 形状熵差检测结果
Fig. 5 Results of detection with SED

在此基础上利用局部极值算法^[10]寻找响应值分布局部极值点,为排除其他局部极值点的干扰,可采用如下方法进行目标确认,如(5)式所示,即目标点处的响应值与全图响应极大值 $\max(D(x, y))$ 接近,且与参考响应值 D_{ref} 的差值较小,式中的 0185 与 0115 为经验值,具体应用时可作相应调整。由此确定最终目标检测结果,如图5(c)中十字丝所表示。

$$\left\{ (x, y) \mid I_{Target} \left[D(x, y) > 0185 @ \max(D(x, y)) \ \& \ \|D(x, y) - D_{ref}\| < 0115 @ D_{ref} \right] \right\} \quad (5)$$

3 实验结果

针对本文算法设计如下实验,分别采用仿真图像与实际图像进行目标检测实验,并在实际图像上将本文算法检测结果与其它常用目标检测算法结果进行比较。

3.1.1 仿真图检测精度实验

为验证算法的目标检测精度,制作仿真序列图像,目标中心均位于(100, 100)像素处,目标宽度为10像素,长度为30像素,面内倾角以15°为间隔从0°递增至90°,对各幅图像添加方差为5%的椒盐噪声。用仿真条件生成相应的结构元素进行目标检测,检测结果如表1所示,坐标单位均为像素,均方差计算结果为: $\bar{D}_x = 0.124$ 像素, $\bar{D}_y = 0.119$ 像素,满足亚像素定位精度要求。

3.1.2 实际图像检测结果比对

分别采用形状熵差、局部熵、差图像及形态学Tophat等目标算法对同一幅图进行目标检测,检测结果如图6所示,白色小圆圈标示了目标所在位置。从图中可以看出,针对该类干扰较多的图像,本文算法检测结果明显优于其他三种检测方法。

表1 仿真图检测结果

H(b)	x	y	\bar{D}_x	\bar{D}_y
0	991.57	991.52	0.143	0.148
15	991.69	991.61	0.131	0.139
30	991.85	991.40	0.115	0.160
45	991.76	991.89	0.124	0.111
60	991.23	991.47	0.177	0.153
75	1001.18	991.81	0.118	0.119
90	991.98	991.82	0.102	0.118

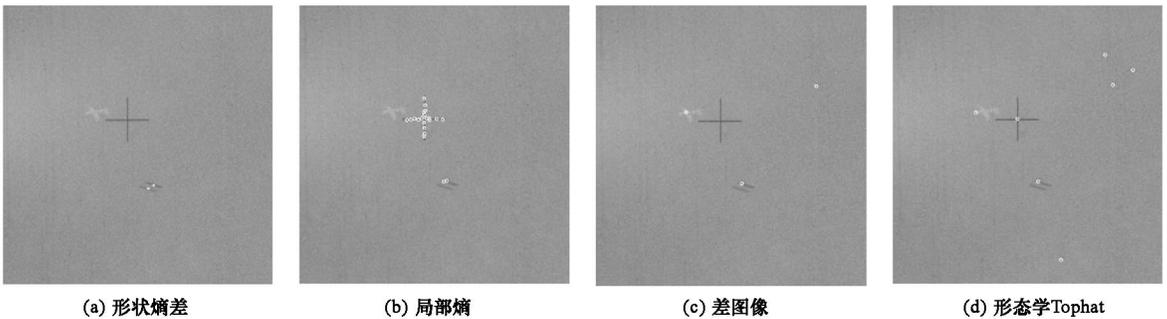


图6 检测结果比较
Fig. 6 Comparison of detection results

4 结论

本文提出了一种基于形状熵差的相似多目标检测算法,相比于传统的一些目标检测算法,形状熵差算子充分利用了目标内外部灰度分布特点和目标的形状特征,对环境光照变化不敏感,具有较强的鲁棒性,适合于靶场多目标图像目标自动检测及其他类似应用领域的目标自动检测问题。目前,算法计算所需的结构元素与目标形状的方向有关,为适应目标形状方向发生变化的情况,下一步可考虑选用一组多方向的结构元素同时进行检测,或利用目标区域主方向旋转达到旋转不变的效果。此外可选用其他描述区域纹理复杂性的算子(如方差)替换局部熵算子,进一步提高检测效率与适应能力。

参考文献:

- [1] 何照才,胡保安. 光学测量系统[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 张小虎. 靶场图像运动目标检测与跟踪定位技术研究[D]. 国防科技大学,2006.
- [3] Yaser Sheikh. Bayesian Modeling of Dynamic Scenes for Object Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(11): 1778- 1792.
- [4] 于起峰,尚洋. 摄像测量学原理与应用研究[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] 林洪文,姚作操,涂丹,等. 基于减背景技术的运动目标检测方法研究[J]. 国防科技大学学报,2003,25(3):66- 69.
- [6] 王颖,张小虎. 视频图像记录判读系统[J]. 光学技术,2003,29(2):232- 234.
- [7] 张永亮,汪洋,卢焕章. 基于图像灰度熵的团块目标检测方法[J]. 系统工程与电子技术,2008,30(2):201- 204.
- [8] 王广君,田金文,柳健. 基于局部熵的红外图像小目标检测[J]. 红外与激光工程,2000,29(4):26- 29.
- [9] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [10] 赵清杰,钱芳,蔡利栋译. 计算机视觉[M]. 北京:机械工业出版社,2005.