

基于形状特征的红外目标检测方法

高 晶,孙继银,吴 昆,李琳琳
(第二炮兵工程大学,陕西 西安 710025)

摘 要:针对红外地面固定目标无直接可用基准图,目标边缘模糊,不利于目标识别检测等问题,提出一种新的基于形状特征的红外目标检测方法。首先在依据红外图像形状特征的基础上,引入图像的灰度形态学梯度,扩展对比度、增长图像边缘特征;其次进行多子区划分,并设计像素相似性计算,有效地结合了像素点的灰度信息以及空间位置;最后在考虑实时图中非真实边缘影响时,加入了 Canny 算子检测边缘,分离目标与背景,在红外实时图中检测出所需的目標。实验结果表明,本文所提算法检测率能达到 80% 以上,与直方图检测方法、Hausdorff 算法、Nprod 算法相比,分别平均提高了近 10% ,11% ,20% ,算法花费时间缩短 2/3。对于红外固定目标,该方法具有检测率高、速度快、精度高等优点。

关键词:形状特征;多子区;像素相似性;空间位置;目标检测

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.01.010

Infrared target detection based on shape characteristics

GAO Jing, SUN Ji-yin, WU Kun, LI Lin-lin
(Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: For the infrared image of fixed target without available base image, it is difficult to recognize the target due to the blurry target edge. A new target detection algorithm based on shape characteristics matching is proposed. Firstly, based on shape characteristics of infrared image, the mathematic morphological gradient algorithm is introduced in order to expand contrast and strengthen edge character. Secondly, multi seed-regions are designed, and similarity calculation of pixels is introduced. Pixels' gray information and spacial location are integrated efficiently. Lastly, considering the impact of unreal edge, Canny operator is added into the edge detection for separating the target and background. The requisite target is detected in the real infrared image. Experiment results show that the detection probability can reach up to 80%. Comparing to histogram detection algorithm, Hausdorff distance algorithm and Nprod algorithm, the probability increases by 10%, 11% and 12% respectively and the spent time is shortened to 2/3. This method has better performance at detection probability, computing speed and recognition precision.

Key words: shape character; multiple seed-region; similarity of pixels; spacial location; target detection

1 引 言

红外图像只相当于单目观察而无立体感的图像,其实质只是一幅单色辐射强度分布图,红外图像中目标检测的效果将直接影响制导系统的有效作用距离及设备的复杂程度。目前固定军事目标大多数无自身热源,根据材质的不同,其灰度与背景差异大小不一,很难将它们与背景区分开,不利于目标检测。

为了提高目标检测精度,文献[1]提出了基于

Hausdorff 距离的检测方法,但该方法对远离中心的噪声点和漏检点非常敏感。文献[2]给出了 Nprod 算法,但计算归一化相关系数时,计算量很大。

许多文献还将图像分为目标区域和背景区域,其中目标区域检测是关键^[3],文献[4]~[6]分别采

作者简介:高 晶(1983-),女,博士研究生,主要从事图像匹配与模式识别等方面的研究工作。E-mail:myfairycrystal@163.com
收稿日期:2012-06-08;**修订日期:**2012-06-29

用基于统计的检测方法、基于灰度直方图的检测方法(阈值法)和基于边缘的检测方法进行目标区域检测。但统计法易受背景噪声以及背景条件(如图像的对比度等)的影响;阈值法对于图像中不存在明显灰度差异或各物体灰度值范围有较大重叠时,难以得到准确结果;边缘检测方法在图像灰度层次较丰富、区域类别较多时,检测效果将受到极大影响。

图像特征作为图像的表征之一被广泛应用于图像处理领域。因此,针对以上问题,为精确检测地面固定目标,本文提出了一种新的基于形状特征的红外目标检测方法,即首先依据图像的灰度形态学信息,扩展图像对比度、增长图像边缘特征;其次在图像局部灰度级发生变化的基础上进行多子区分割;最后在多子区中,从形状特征入手,利用像素点的灰度信息以及空间位置,分离目标与背景,在红外实时图中检测目标位置。实验证明,该方法有效解决了目标边缘模糊的红外图像目标检测难的问题,提高了目标检测的概率,对于地面目标红外图像的检测具有一定的应用价值。

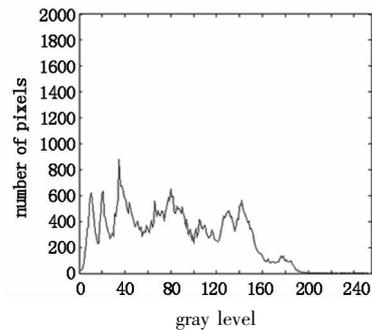
2 图像对比度扩展

由于红外实时图中目标边缘与背景对比度较小,边缘模糊,很难分离。如果将边缘与背景的对比度增大扩展,可以更有利地进行形状特征的提取。数学形态学方法^[7]是一种非线性滤波方法,它最先被用来处理二值图像,后来被引用到灰度图像处理。基本思想是:用一定的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,去除不相干的结构,以达到图像分析和识别的目的^[8]。

一幅图像通常有多个物体和背景组成,这时其灰度直方图有可能呈现多个明显峰值,如图1所示。因此,本文利用灰度图像形态学梯度的方法^[9]对图像的对比度进行扩展,以便于红外图像中目标提取。形态学梯度为膨胀和腐蚀的组合使用,从膨胀图像中减去腐蚀过的图像,产生一个“形态学梯度”,它是检测图像中局部灰度级变化的一种度量,具有增长图像边缘特征的特点。



(a) 红外实时图



(b) 直方图

图1 红外实时图及直方图

假设结构元素 w_s 对灰度图像 $g(x, y)$ 膨胀记为 $g_d(x, y)$, 腐蚀记为 $g_c(x, y)$, 计算公式为:

$$g_d(x, y) = \max \{ g(x - x', y - y') \mid (x', y') \in w_s \} \quad (1)$$

$$g_c(x, y) = \min \{ g(x + x', y + y') \mid (x', y') \in w_s \} \quad (2)$$

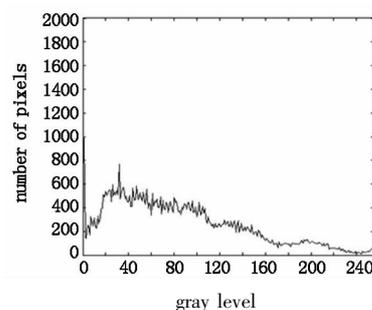
定义 $g_{\text{grad}}(x, y)$ 为经过形态学梯度计算后的灰度图像, 则形态学梯度的计算公式为:

$$g_{\text{grad}}(x, y) = \begin{cases} g_c(x, y), & \text{if } |g_d(x, y) - g(x, y)| \geq |g_c(x, y) - g(x, y)| \\ g_d(x, y), & \text{if } |g_d(x, y) - g(x, y)| < |g_c(x, y) - g(x, y)| \end{cases} \quad (3)$$

经试验验证, 当结构元素 w_s 的大小为 9×9 时效果最好, 如图2所示。



(a) 红外图



(b) 直方图

图2 调整后的红外图及其直方图

从图2可以看出,与图1相比,形态学梯度度量法明显增长边缘特征,增强图像对比度。

3 多子区分割

在红外图像中与所需匹配区域相似的很多,容易产生虚警,而漏检真实目标。多子区分割的目的是提取出图像目标至关重要的区域,这些子区并不完全等同于目标所在区域。一般来说,高速采集系统采集图像的数据量比较庞大,要求多子区检测的运算比较简单,同时应该尽可能保持目标不丢失。

实时图的直方图 $h(l)$ 由扫描整幅图像得出,直观反映出一幅图像的灰度范围、灰度级频数以及灰度分布,直方图阈值法其阈值主要通过分析图像的灰度直方图来进行确定^[10]。

一幅图像只有物体和背景两部分组成,其灰度级直方图呈现明显的双峰值,但明显具有双峰特性的图像可说是一种比较理想的情况,实际上很难找到这样的图像。本文利用红外实时图的直方图特征以及目标特点选取多子区的分割阈值,然后根据分割阈值从背景中划分区域,选定红外图像多子区域,如图3所示。

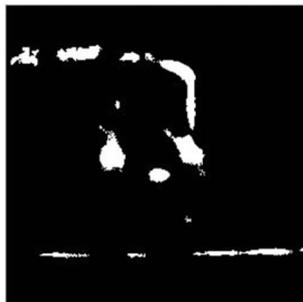


图3 多子区分割

由于形态学梯度算法扩展了图像对比度,增强边缘特征,因此首先利用扩展后的图像灰度直方图信息从全局进行分析,假定实时图大小为 $X \times Y$,目标形状大小为 $M \times N$, T 为全局阈值,定义如公式(4)所示:

$$T = \arg \max_{l=0}^L h(l) \leq (X \times Y - M \times N) \quad (4)$$

其中, L 为图像灰度级; $h(l)$ 为直方图。

4 像素相似性度量

在检测出的图像多子区中,仍会存在一些模棱两可的边缘,因而,图像有不确定性,加上目标分离依据的各种特征,最基本的特征就是形状特征,形状边缘表示了信号的突变,包含了图像中大量的信息。因此,本文从形状特征的灰度信息以及空间信息入手,研究形状特征像素点之间的邻接相似性,把目标从复杂背景中分离出来。

像素相似性^[11]代表一个像素值与分割的多子区区域内的平均像素值之间的相似关系。假设 (x, y) 和 (x_s, y_s) 是参考点和图像子区内的对应像素点, p 和 p_s 分别对应其像素灰度值,那么点的像素相似性可以用像素点灰度的归一化值来衡量。定义为:

$$Q[(x, y), (x_s, y_s)] = 1 - |p - \bar{p}_s|/c \quad (5)$$

其中, $0 \leq Q[(x, y), (x_s, y_s)] \leq 1$, $\bar{p}_s = E\{p_s\}$ 为图像感兴趣区域的平均灰度; c 为常量,表示灰度的动态量程,定义为: $c = \bar{p}_s - p_{\min}$, 其中 p_{\min} 为灰度图像中的最小像素值。

如果像素相似性的取值越大,则说明该像素在多子区内且属于目标范围的可能性越大。但是,红外图像中的目标自身就包括很多像素值,有可能不是十分相似,因此仅以像素的相似性度量来进行目标的检测,会产生错误的检测结果。

为克服这一点不足,有效解决相似性的局限性,本文将在度量每一个像素相似性的同时,也考虑像素点的空间信息,即考虑参考点 x_i 与子区域 R 内中心像素点 y' 的空间距离,定义空间距离为两点的欧式距离^[12], 函数为:

$$D[(x, y), (x_s, y_s)] = \|(x, y), (x'_s, y'_s)\| + d \quad (6)$$

其中, d 为常量; $x'_s = \frac{1}{N} \sum_{(x'_s, y'_s) \in R} x_s$, $y'_s = \frac{1}{N} \sum_{(x'_s, y'_s) \in R} y_s$; N 为子区域 R 内的像素点数。

因此,对像素点间的邻接距离进行归一化处理,将数值变成对应在 $[0, 1]$ 范围内,更有利于后续的处理,定义为:

$$A[(x, y), (x_s, y_s)] = 1/(1 + D[(x, y), (x_s, y_s)]) \quad 0 \leq A(x_i, y_i) \leq 1 \quad (7)$$

本文将利用权值结合像素点的相似性度量和空间距离,综合利用这二者的信息,以排除一些模棱两可的边缘或边界,定义邻接相似性度量函数为:

$$S[(x, y), (x_s, y_s)] = a \times Q[(x, y), (x_s, y_s)] + (1 - a) \times A[(x, y), (x_s, y_s)] \quad (8)$$

其中, $S[(x, y), (x_s, y_s)]$ 的取值范围为 $[0, 1]$, a 为权值,由实验所得。

$S[(x, y), (x_s, y_s)]$ 可用下列准则来判定,进一步将目标与背景分离,定义 $G(x, y)$ 为:

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } S[(x, y), (x_s, y_s)] \geq \omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

其中, ω 为权值,由于 $0 \leq S[(x, y), (x_s, y_s)] \leq 1$, 实验结果如图4所示。从实验效果可判断出本文取 $\omega = 0.5$ 为判别权值。

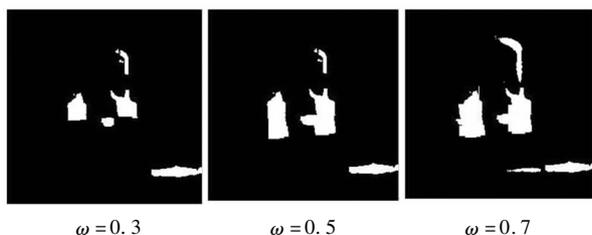


图 4 分离结果

在实际的高速图像采集过程中,采集目标较背景的亮度信息在很多情况下是未知的。因此本文为提取图像特征保留更多的信息,在图 4 分离结果的基础上再次利用数学形态学^[4]中的膨胀、腐蚀运算,去除不相干的结构,以达到对图像分析和目标检测有利的目的。并且在图像的边缘检测中方法很多,Canny 算子具有较好的边缘检测性能和抗噪声性能,能在一定程度上较好地保持图像的细节特征、协调边缘检测精度与抗噪声性能的矛盾,它能够得到单像素宽的边缘,且得到的图像边缘较完整,与其他方法相比有其独特的优势。

对于用 Canny 算子检测形状边缘得到的图像,以及用形状特征像素点之间的邻接相似性,把目标从复杂背景中分离出来的检测图像,都不能完整的体现形状特征。因此,在本文中,将二者结合起来,由于数学形态学中的闭运算可以在找到结构元素的任何部分中所能达到的最低点,所以再次用数学形态学去除比结构元素更小的暗色细节。如图 5 所示。



图 5 形状提取

对于图 5 检测到的候选目标的形状,利用 Nprod 算法^[13]进行目标检测,定义如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Z_{ij} Y}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Z_{ij}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Z^2}} \quad (10)$$

式中, Z 表示大小为 $X \times Y$ 的实时图; Y 表示大小为 $M \times N$ 目标大小,其中 $X > M, Y > N$; Z_{ij} 为实时子图,即在实时图 (i, j) 位置截取与目标大小相等的子图,如图 6 所示。



图 6 目标检测

由以上实验结果可以看出,本文所提取的目标轮廓与真实轮廓接近,包含了完整的目标结构,有效地抑制背景杂波干扰,对于光照变化鲁棒性较强。

5 实验及分析

为了验证本文所提算法的有效性,在 CPU3.0 G,内存 1 G 的计算机上用 Matlab 环境进行仿真实验。以目标无直接可用基准图且边缘模糊的地面目标为试验对象,用本文提出的基于形状特征的方法在红外实时图中检测目标区域,最终检测的目标位置将在实时图中框出。

分别采用本文算法、直方图检测方法、基于形状边缘的 Hausdorff 距离算法^[14]以及基于灰度 Nprod 算法进行实验分析。如果框选目标的面积占实际目标面积的 80%,则认为检测目标正确,否则错误。

另外,定义检测概率:

$$G = \frac{\text{Num}_{\text{correct}}}{\text{Num}_{\text{correct}} + \text{Num}_{\text{wrong}}} \quad (11)$$

并分别针对火电厂、水塔、油库、建筑物四类复杂的红外实时图(各 50 幅大小为 256×256 的红外序列图)进行目标检测试验,跟踪计算检测概率。三种方法的检测实验结果如表 1 所示。

表 1 算法检测率比较

目标 算法	火电厂	建筑物	油库	水塔	平均 时间/s
本文算法/%	82.5	87.1	88.4	90.2	0.82
直方图法/%	70.3	72.3	75.8	80.2	1.69
Hausdorff/%	71.6	73.5	76.6	78.2	1.45
Nprod/%	60.6	65.3	57.6	64.1	1.15

由表 1 可看出,在所应用的四种场景下,本文所提算法相对于基于灰度直方图算法、基于形状边缘的 Hausdorff 距离法和基于灰度特征的 Nprod 算法得到了极大提高,与直方图检测方法相比,平均提高了近 10%;与 Hausdorff 算法相比,平均提高了近 11%;与 Nprod 算法相比,平均提高了近 20%。为体现本文算法在检测速度上的优势,定义图像检测

时间(以实时图的图像处理为始,在实时图中找到最相似位置为止)。四种方法对四类场景进行检测实验的平均匹配时间如表1所示,本文所提算法时间较短,因为其他算法需要遍历整幅图像,而本文算法在目标检测后缩小了下一步检测的搜索范围,从而提高了检测精度,平均检测概率都能达到80%以上。

6 实验结论

对于红外图像中,目标无直接可用基准图且边缘模糊不利于目标检测的问题,本文依据图像形状特征,首先引入图像的灰度形态学梯度,扩展对比度、增长图像边缘特征、其次进行多子区域的划分,并设计像素相似性计算,有效地结合了像素点的灰度信息以及空间位置,考虑实时图中非真实边缘的影响,加入了Canny算子检测边缘,分离目标与背景,在红外实时图中检测出所需的目標。为检验本文算法的有效性,针对四组不同的红外图像进行目标检测试验、分析。结果表明,相对于直方图检测方法、基于形状边缘的Hausdorff距离算法以及基于灰度Nprod算法,本文提出的算法具有检测率高、识别时间短、抗噪声能力也有较大改善等优点,因此该算法对于地面红外图像目标的检测具有一定应用价值。

参考文献:

- [1] Huttenlocher Daniel P, Klanderma n Gregory A, Ruck lidge William J. Comparing images using the hausdorff distance [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850 - 863.
- [2] Ling H. Techniques in image retrieval: deformation insensitivity and automatic thumbnail cropping [D]. United States Maryland: University of Maryland, College Park, 2006.
- [3] Zhang S C, Lu T Y. Research on IR targets extraction and tracking under low altitude background [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(5): 546 - 548. (in Chinese)
张晟翀, 刘彤宇. 低空背景下红外目标提取跟踪算法研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40(5): 546 - 548.
- [4] Sirmacek B, Unsalan C. Urban-area and building detection using SIFT keypoints and graph theory [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(4): 1156 - 1167.
- [5] Laptev I. Improving object detection with boosted histograms [J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(5): 535 - 544.
- [6] Ananthakrishnan K, Kodikara N D. Road sign detection and recognition using scale invariant feature transform [J]. PSLIIT, 2008, 2.
- [7] Gonzalez. Digital image processing [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 445 - 453. (in Chinese)
冈萨雷斯. 数字图像处理 [M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2003: 445 - 453.
- [8] Sun X D, Bo S K, Li L L. Study of infrared image clutter suppression based on background estimation [J]. Laser & Infrared, 2011, 41(5): 586 - 590. (in Chinese)
孙新德, 薄树奎, 李玲玲. 基于背景估计的红外图像杂波抑制方法研究 [J]. 激光与红外, 2011, 41(5): 586 - 590.
- [9] Wei B Z, Zhao Z M, Hua J. Sub-pixel edge detection based on improved morphological gradient and Zernike moment [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(4): 838 - 844. (in Chinese)
魏本征, 赵志敏, 华晋. 基于改进形态学梯度和 Zernike 矩的亚像素边缘检测方法 [J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(4): 838 - 844.
- [10] Xu T Y, Peng D M, Wang W X. Improved histogram equalization algorithm [J]. Ordnance Industry Automation, 2006, 25(7): 58 - 59. (in Chinese)
徐同莹, 彭定明, 王卫星. 改进的直方图均衡化算法 [J]. 兵工自动化, 2006, 25(7): 58 - 59.
- [11] Yang X G, Miao D, Cao F. Study on the matching similarity measurement method for image target recognition [C]. The 2nd International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Berlin: Springer, 2005: 289 - 292.
- [12] Zhang Jianwei, Zhang Qiheng. Extended object tracking method based on straight-line edge feature matching [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(10): 2826 - 2831. (in Chinese)
张建伟, 张启衡. 基于直线边缘特征匹配的扩展目标跟踪方法 [J]. 光学学报, 2009, 29(10): 2826 - 2831.
- [13] Zhu Yongsong, Guo Chengming. Research of correlation matching algorithm based on correlation coefficient [J]. Signal Process, 2003, 19(6): 531 - 534. (in Chinese)
朱永松, 国澄明. 基于相关系数的相关匹配算法的研究 [J]. 信号处理, 2003, 19(6): 531 - 534.
- [14] Huttenlocher Daniel P, Klanderma n Gregory A, Rucklidge William J. Comparing images using the hausdorff distance [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850 - 863.