

# 舰载红外警戒系统目标图像的离群点挖掘算法

周润芝, 马良荔, 王江安, 王乐东  
(海军工程大学电子工程学院, 湖北 武汉 430033)

**摘要:**针对舰载红外警戒系统目标图像中弱小目标的检测问题,提出了一种基于离群点挖掘的目标检测算法(OBTD)。依据目标与背景在灰度分布上的不同特性,算法将弱小目标视为离群点。分割图像为一系列的子图像,计算子图像中各像素值的局部可达密度,设定阈值挖掘出离群点,得到可能的目标点。算法时间复杂度低,实时性好。试验表明,该算法能有效地检测出图像中的弱小目标,便于进一步的目标识别和跟踪。

**关键词:**弱小目标检测;离群点;OBTD

**中图分类号:**TP391      **文献标识码:**A

## Outlier mining algorithm of shipborne infrared search and track system target image

ZHOU Run-zhi, MA Liang-li, WANG Jiang-an, WANG Le-dong  
(Academy of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** To resolve the problem of the dim targets detection for shipboard infrared search and track system target image, an algorithm called outlier-based targets detection (OBTD) is presented. According to the different characteristic between targets and background, dim target can be considered as outlier. Divide the origin image into small images; Calculate the local-reachable-density for every pixel; after that, the outlier can be found by setting threshold and the possible targets are obtained. The algorithm merit lie in a good real-time because of a low time complexity. The experiment shows that the algorithm can detect the dim target effectively, and it can offers convenience to further target recognition and track.

**Key words:** dim target detection; outlier; outlier-based targets detection

### 1 引言

舰载红外警戒系统得到的远距离图像通常为弱小目标图像。为能在远距离及时发现、跟踪有威胁的目标,从而为指挥系统决策和武器系统赢得宝贵的反应时间,为此需要从这类图像中实时、准确地检测出弱小目标信息。

当前弱小目标检测的方法很多,包括小波变换法<sup>[1]</sup>、匹配滤波器法<sup>[2]</sup>、数学形态学法<sup>[3]</sup>等。然而由于弱小目标无形状、尺寸、纹理等特征信息,实时有效的弱小目标自动检测技术尚未完全突破。舰载红外警戒系统对于实时性要求很高,传统方法很难达到要求。分析图像中弱小目标在数据上的特点,

运用数据挖掘技术找出目标,将大大提高算法的实时性。Mark J. Carlotto 提出了一种基于聚类的目标检测算法<sup>[4]</sup>,认为图像可以划分成一个一个的聚类,假设各个聚类上的灰度分布近似符合高斯分布,则那些不符合高斯分布的像素点便是可能的目标点。此算法的优点在于摆脱了目标大小和形状信息的限制,但是对于弱小目标的检测而言,算法缺乏

基金项目:“十一五”预研项目资助。

作者简介:周润芝(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为目标检测与轨迹跟踪,图像处理及数据挖掘。E-mail: zrzybyb@sina.com

收稿日期:2009-08-14;修订日期:2009-10-22

针对性,检测效率和检测效果不够理想。本文提出了一种基于离群点挖掘的弱小目标检测算法。

分析图像数据,以两像素的灰度值差异定义两像素间的“距离”,则弱小目标所在像素的灰度值通常处于“低密度”区域。算法用像素的局部可达密度来度量该像素的离群点得分,从而找出目标。算法时间复杂度低,不受目标形状信息的限制,结果保留了图像的灰度信息,便于进一步的目标识别和跟踪。通过相应的实验验证了算法的有效性。

## 2 算法模型

利用红外传感器等获取的目标图像,由于目标红外辐射强度与周围邻域自然背景的辐射强度不相关,且一般都高于其邻域背景的辐射强度,故当距离很远目标成像很小时,可将其看成具有恒定灰度值的孤立亮斑;而背景在空间上往往呈大面积的连续分布状态,在红外辐射的强度上也呈现过渡状态,所以它们在图像中的灰度空间分布上具有较大的相关性<sup>[5]</sup>。因此,我们认为与背景相比,目标像素的灰度值在数据上可以认为是一些孤立的点(离群点),可以通过离群点挖掘的方法检测目标。据此,提出了一种基于密度的离群点挖掘算法检测目标。

基于密度的离群点挖掘技术是一种基于局部分布的离群点挖掘方法<sup>[6]</sup>。其思想为:在定义了对象的离群程度后,从数据集中挖掘出离群程度高的对象,挖掘出的这些对象即为离群点。本文利用局部可达密度的倒数来度量像素的离群程度。

下面给出图像中像素的局部可达密度的相关定义:

定义1:假设 $x, y$ 为一幅图像中的两个像素点,则将 $x, y$ 两像素间的距离 $d(x, y)$ 定义为:

$$d(x, y) = |g_x - g_y| \quad (1)$$

其中, $g_x$ 和 $g_y$ 分别表示像素点 $x$ 和像素点 $y$ 对应的灰度值。

在此基础上,可以给出图像像素的 $k$ 距离, $k$ 距离邻域,可达距离的定义<sup>[6]</sup>。

定义2:像素 $p$ 的 $k$ 距离( $k$ -distance)定义为 $p$ 到它的 $k$ 最近邻的最大距离。这个距离记作 $k$ -distance( $p$ )。可定义为 $p$ 与像素 $o \in D$ (在这里 $D$ 为图像像素点集合)之间的距离 $d(p, o)$ ,满足:

(1)对于至少 $k$ 个像素 $o' \in D$ ,有 $d('p, o) \leq d(p, o)$ 。也就是说, $D$ 中至少存在 $k$ 个像素到 $p$ 的距离小于或等于 $p$ 到 $o$ 的距离。

(2)最多有 $k-1$ 个像素 $o'' \in D$ ,使得 $d(p, o'') <$

$d(p, o)$ 成立。也就是说,最多有 $k-1$ 个像素到 $p$ 的距离比 $p$ 到 $o$ 的距离小。

定义3:像素 $p$ 的 $k$ 距离邻域( $k$ -distance neighborhood)定义为 $p$ 的 $k$ 最近邻的像素点集合,记作 $N_{k\text{-distance}}(p)$ ,简记为 $N_k(p)$ 。即包含所有距离不大于 $p$ 的 $k$ 距离的对象。通过把 $k$ 设置为 $\text{Minpts}$ ,得到 $N_{\text{Minpts}}(p)$ 。包括 $p$ 的 $\text{Minpts}$ 最近邻。在这里, $\text{Minpts}$ 表示用于识别基于密度的簇的最少的点数。

定义4:对象 $p$ 关于对象 $o$ (其中 $o$ 在 $p$ 的 $\text{Minpts}$ 最近邻中)的可达距离定义为 $\text{reach\_dist}_{\text{Minpts}}(p, o) = \max\{\text{Minpts-distance}(o), d(p, o)\}$ 。

在此基础上,可以给出 $p$ 的局部可达密度的定义。

定义5:假设 $p$ 为图像中的某一像素,定义 $p$ 的局部可达密度为到 $p$ 的 $\text{Minpts}$ 最近邻点的平均可达距离的倒数:

$$\text{Ird}_{\text{Minpts}}(P) = \frac{|N_{\text{Minpts}}(p)|}{\sum_{o \in N_{\text{Minpts}}(p)} \text{reach\_dist}_{\text{Minpts}}(p, o)} \quad (2)$$

## 3 基于离群点挖掘的目标检测算法 (Outlier-Based Targets Detection)

### 3.1 OBTD 算法描述

算法首先计算出图像中各像素值的局部可达密度,然后设定阈值找出局部可达密度低于阈值的点,这些点即为离群点(目标点)。算法流程图如图1所示。

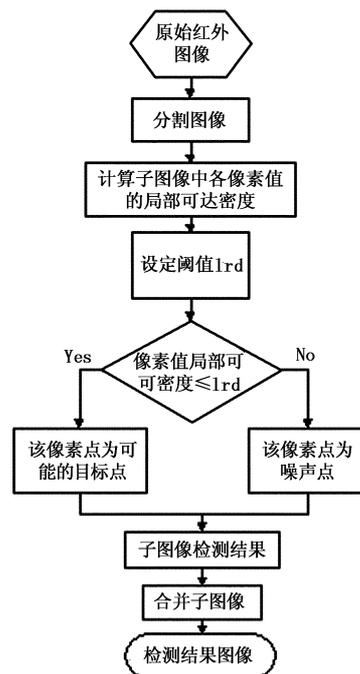


图1 算法流程图

### 3.2 关键步骤分析和讨论

(1) 分割图像的必要性。基于局部可达密度的检测方法依据的是目标与其周围背景存在的较大差异性,若不对图像进行分割,一幅完整的红外图像中往往存在一些灰度值与目标很接近或相同的点,这会对目标像素的局部可达密度的计算产生很大的干扰,使得目标很难检测出,即使能成功检测也将带来大量的噪声点。因此,在计算像素的局部可达密度之前,需要将目标分割为较小的子图像。

(2) 计算像素的局部可达密度时参数值  $k$  的选取。这里的参数  $k$  指的是定义 2 中的“ $k$  距离邻域”中的  $k$  值。虽然在计算局部可达密度的公式(2)中没有出现参数  $k$ ,但在计算过程中需要用到  $k$ 。理论上, $k$  可以设置为目标最多可能占有的像素个数,然而事实上由于有背景和噪声的干扰, $k$  值的选取应考虑上述原因,取的更大一些。

(3) 阈值  $lrd$  的选取。算法在计算出各子图像中像素值的局部可达密度之后,利用设定的阈值  $lrd$  来判定像素是否为目标点。这个阈值  $lrd$  的选取是很关键的,若选得太小,容易造成目标的漏检,若选得太大则可能导致虚假目标过多。我们认为可以从以下两个方面来考虑:

a) 图像复杂性。可根据图像的复杂性来考虑  $lrd$  的选取,图像比较复杂时,为减少漏检的概率应将  $lrd$  取的略大。

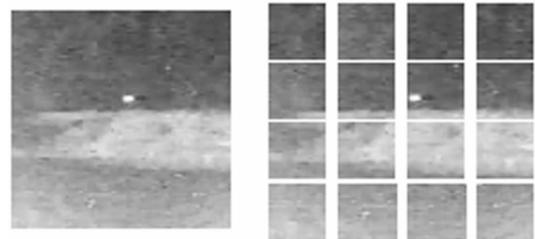
b) 考虑在恒虚警情况下设定  $lrd$  的值,即根据计算出的  $lrd$  的值,保留一定数量的可能目标点。

### 3.3 OBTD 算法时间复杂度分析

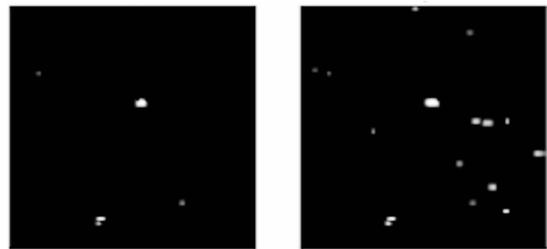
基于邻近度的技术一般具有  $O(m^2)$  的时间复杂度(这里,  $m$  是子图像中像素点个数),因为所需的信息只有通过计算邻近度矩阵得到<sup>[7]</sup>。本文采用的基于密度的离群点检测技术是在基于邻近度技术的基础上进行的,同样需要计算距离矩阵,然而,与一般的矩阵数据相比,舰载红外图像只有 256 个灰度级别,即图像矩阵的元素只可能取  $0 \sim 255$  中的数值。据此,本文算法在计算图像像素点的局部可达密度时进行了改进:并不计算每个像素点的局部可达密度而是计算  $0 \sim 255$  这 256 个像素值对应的局部可达密度,从而将计算一幅子图像的算法时间复杂度优化为  $O(m) + O(n^2)$ ,其中  $m$  为子图像像素的个数, $n$  为常数 256。分析可知, $m$  的值一般远大于 256,此时 OBTD 算法的时间复杂度将得到明显的降低。

## 4 实例验证

本文运用实拍的舰载红外警戒系统目标图像来验证算法,选用了常见的云天背景图像。图像的大小为  $120 \times 120$ ,算法中将图像划分为  $30 \times 30$  大小的子图像。由于到红外图像中弱小目标大小一般在  $1 \times 1 \sim 5 \times 5$  大小范围内,考虑到背景和噪声的干扰,选取  $k = 30$ 。检测结果如图 2 所示。

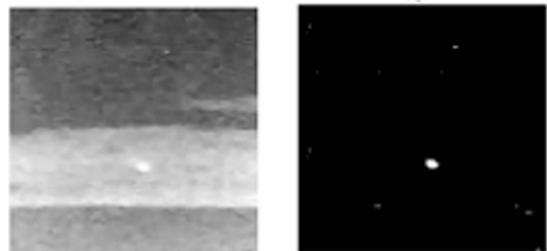


(a) 目标位于云层上方原始图像 (b) 图(a)分割后图像



(c) = 0.03 时检测结果

(d) = 0.05 时检测结果



(e) 目标飞入云层中原始图像 (f) 图(e)在  $lrd = 0.05$  时的检测结果

图 2 算法检测结果

从图 2(c)和图 2(d)中可以看出,当  $lrd$  取 0.03 和 0.05 时算法能有效的检测出目标,且  $lrd$  取 0.03 时,虚警更少。事实上, $lrd$  取值越小,最终检测出的结果中包含的像素个数也越少,虚警数也会有所降低,但  $lrd$  取值过小时,可能导致目标漏检。在图 2(e)中目标飞入了云层中,此时目标与周围像素的灰度较为接近,图 2(f)表明在这种情况下,算法仍能有效的检测出结果。

为检验阈值  $lrd$  取值大小对检测的影响,我们选取了 100 幅云天背景图像,分别采用不同的  $lrd$  值对图像中的弱小目标进行检测,检测结果如表 1 所示。从表中可以看出,对于这种典型的舰载警戒系统目标图像,当  $lrd$  取值达到或大于 0.05 时,检测概率能达到 95% 以上,效果较好。

表1 OBTD 检测概率

lrd 取值	0.03	0.05	0.07	0.09
检测概率	0.91	0.95	0.97	0.97

通过分析算法和实验结果,可以知道算法具有如下几个特点:

(1)算法时间复杂度低,实时性好。本文根据弱小目标在图像矩阵中的特点,运用了离群点挖掘技术,并在此基础上分析了图像矩阵的特点,优化了算法,大大降低了时间复杂度。

(2)能检测任意形状的目标并能检测出多目标,算法的检测不依赖于图像中弱小目标的数目及形状,故能检测出多目标和任意形状的目标。

(3)检测出的结果图像仍然为灰度图像,便于进一步处理。算法检测出的是在灰度分布上离群的点,检测结果保留有灰度信息,有利于进一步的目标识别和跟踪。例如,可利用目标的灰度信息识别目标,或设定阈值二值化图像进一步排除虚警。

## 5 结论

本文针对弱小目标的检测问题,将数据挖掘中的离群点概念引入图像处理中,提出了一种 OBTD 算法。通过对云天背景下的红外弱小目标的检测实验,对算法进行了验证,结果表明算法能有效地检测出弱小目标。算法利用图像各个像素值的局部可达密度来衡量像素点的离群程度,设定阈值挖掘出离群点,得到可能的目标点。算法的优点在于算法结构简单,时间复杂度低,实时性好;且算法检测结果包含灰度信息,有利于目标的识别或进一步排除虚警。需要指出的是,算法中的变量(特别是 lrd)的选择对算法的检测效果将产生较大的影响,文中虽对此做了讨论,说明了需要考虑的因素,但如何具体的确定这些变量,值得进一步的研究。

## 参考文献:

[1] 王艳华,刘伟宁,陈爱华. 基于小波变换的海空背景下

弱小目标检测研究[J]. 电子器件, 2007, 30(3): 992-998.

Wang Yanhua, Liu Weining, Chen Aihua. Detection of Small Target in the Sea2Sky Background Based on Wavelet Transform[J]. Chinese Journal of Electron Devices. , 2007, 30(3): 992-998.

[2] Sd Deshpande, M H Er, V Ronda. Max2mean and max2median filters fordetection of small targeta [ C ]. SPIE, 1999, 3809: 74-83.

[3] 同武勤,等. 数学形态学和小波变换的红外图像处理方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(1): 138-144.

Tong Wuqin, Ling Yongshun, Huang Chaochao, et al. Processing method of IR image based on mathematical morphology and wavelet transform[J]. Optics and Precision Engineering. , 2007, 15(1): 138-144.

[4] Carlotto Mark J. A cluster-based approach for detection man-made objects and changes in imagery [ J ]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 2005, 43(2): 374-387.

[5] 王江安, 闵祥龙, 曹立辉. 红外背景抑制与点目标分割检测算法研究 [ J ]. 激光与红外, 2008, 38(11): 1144-1148.

Wang Jiangan, Min Xianglong, Cao Lihui. Research on Algorithm of Infrared Background Suppression for Segmenting and Detecting Point Target [ J ]. Laser & Infrared, 2008, 38(11): 1144-1148.

[6] Jiawei Han, Micheline Kamber. 数据挖掘概念与技术 [ M ]. 范明, 孟小峰, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006: 295-301.

Jiawei Han, Micheline Kambe. Data Mining Concepts and Techniques [ M ]. China Machine Press, 2006: 295-301.

[7] Pan-Ning Tan, Michael Steinbach, Vipin Kumar. 数据挖掘导论 [ M ]. 范明, 范宏建, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 2006: 403-416.

Pan-Ning Tan, Michael Steinbach, Vipin Kumar. Introduction to Data Mining [ M ]. Posts& Telecom Press, 2006: 403-416.