

## 基于局部灰度特性分析的红外目标检测方法\*

郑成勇, 李 红

(华中科技大学 数学系, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**通过分析由于红外目标的出现引起的红外图像局部区域在灰度均值、方差、三维图形上的变化,分别提出了三种不同的红外目标增强方法。在此基础上,通过搜索局部能量极大值点,确定目标的最大可能位置作为种子点,利用种子区域生长算法,实现目标和背景的分离,最终将目标从背景中提取出来。对大量海空背景下的点、斑点目标图像进行了实验,取得了较好的效果。

**关键词:**红外目标检测; 局部均值; 局部均值对比度; 局部方差; 局部区域形态

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)04-0362-04

## Method of infrared target detection based on the characteristic analysis of the local grey level\*

ZHENG Cheng-yong, LI Hong

(Department of Mathematics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Three methods are proposed to enhance the targets in infrared images based on the analysis of the changes of the grey degree's local mean contrast, local variance and local three dimensional shape. Then the seed point is determined at the most possible location of the target by searching the point with the local maximum energy in the enhanced image. The seeded-region-grow algorithm is utilized to realize the separation of the target and the background and to extract the target from the background finally. Experimental results on a lot of real IR images with ocean and sky scenes show its effectiveness in detecting dot and spot targets in a single frame.

**Key words:** Infrared target detection; Local mean; Degree of local mean contrast; Local variance; Local region morphology

### 0 引 言

红外图像中的小目标、点目标检测是红外成像制导技术中的关键技术之一,目前的方法大多是基于多帧的检测方法。通常采用的方法是把小目标看作图像的高频成分,先对单帧图像进行高通滤波,得到一

定数目的候选目标集,然后利用序列图像中目标运动的连续性和轨迹的一致性,最后筛选出真正的目标<sup>[1,2]</sup>。另外,基于差分技术的检测方法用得较多<sup>[3,4]</sup>,但这类方法预先都需要对图像进行配准,然后通过差分运算检测目标。故这些方法只有在帧间位移较小、背景起伏不大的时候才有效。当帧间位移较大且出现抖动噪声时,容易产生虚警目标;而且,因

收稿日期:2003-10-16; 修订日期:2003-11-20

\* 基金项目:国防科技预研基金资助项目(5140102021JW0506)

作者简介:郑成勇(1978-),男,湖南宜章县人,硕士生,研究方向为小波分析及其在图像处理中的应用。

为是多帧检测,需要存储的数据量较大,不利于实时处理。在单帧检测和多帧检测中用得较多的方法是基于阈值分割的目标检测方法<sup>[5~7]</sup>。多数情况是先对图像进行预处理,然后对预处理后的图像进行阈值分割,实现目标的提取。就一般的小目标图像而言,由于目标较小,且基本淹没于背景杂波中,其灰度图像直方图很难表现出双峰,直接将目标从背景中分离出阈值不太可能,即使对图像进行了预处理,阈值的选取也很难,这对于希望实现单帧检测是难以逾越的障碍。

对于空对空、地对空、空对舰红外成像制导系统,成像背景皆为天空、大海或海空复合背景,所针对的图像为远距离下的天空和大海背景图像。对大量海空背景下的点、斑点目标图像进行了实验,取得了较好的效果。

### 1 红外图像的局部灰度特性分析

用  $f(x, y)$  表示红外图像在点  $(x, y)$  的像素灰度值,  $\Omega, \Omega_1, \Omega_2$  为  $(x, y)$  的三个邻域,分别定义  $\Omega$  的局部均值  $m_\Omega(x, y)$ 、 $\Omega_1, \Omega_2$  局部均值对比度  $Cm_{\Omega_1, \Omega_2}(x, y)$ 、局部方差  $\sigma_\Omega(x, y)$  为:

$$m_\Omega(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{(x, y) \in \Omega} f(x, y) \quad (1)$$

$$Cm_{\Omega_1, \Omega_2}(x, y) = \frac{|m_{\Omega_1}(x, y) - m_{\Omega_2}(x, y)|}{m_{\Omega_1}(x, y)} \quad (2)$$

$$\sigma_\Omega(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{(x, y) \in \Omega} |f(x, y) - m_\Omega(x, y)|^2 \quad (3)$$

式中  $N$  为  $\Omega$  包含的像素总数。实际应用时,公式(2)要求  $\Omega_1 \subset \Omega_2$ ,一般取  $\Omega_1$  为  $(x, y)$  的  $3 \times 3$  邻域,  $\Omega_2$  的尺寸视目标大小而定,一般取目标最大可能尺寸的两倍。公式(3)中的  $\Omega$  与公式(2)中的  $\Omega_2$  一致。

当点  $(x, y)$  在一定邻域内的灰度起伏不大时,  $Cm_{\Omega_1, \Omega_2}(x, y)$ 、 $\sigma_\Omega(x, y)$  接近于零;当  $(x, y)$  表现出瞬态变化时,  $Cm_{\Omega_1, \Omega_2}(x, y)$ 、 $\sigma_\Omega(x, y)$  相对较大。

就远距离下的海空背景图像而言,其背景通常表现出大面积的连续分布状态,就较小局部区域而言,图像背景灰度起伏相对较小,局部区域灰度曲面往往呈水平波动状,各背景点处的  $m_{\Omega_1}(x, y)$  与  $m_{\Omega_2}(x, y)$  比较接近,其局部均值对比度、局部方差较小。相对于背景而言,目标可视为一种暂态信号,目标的出现破坏了背景区域的连续一致性,因而目标点的局部均值对比度、局部方差都明显大于一般的背景点,其局

部灰度曲面图呈现峰状(对应亮目标)或谷状(对应暗目标)。

图 1(a)、(b)分别为天空背景图像和大海背景图像目标质心所在列像素的局部均值对比度曲线。从图中可以看出,背景的局部区域均值对比度明显小于目标点的局部区域均值对比度。

对大量海空背景下的红外目标图像的分析表明,若区域  $\Omega$  包含目标点,则原图像  $f(x, y)$  (视作  $(x, y)$  的函数)在  $\Omega$  的限制  $f(x, y)|_\Omega$  下的三维曲面图(亮目标情况,暗目标可以通过图像反色转变为亮目标)可以用下式逼近:

$$N(x, y) = f(x_0, y_0) \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(x - \mu_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(y - \mu_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\} \quad (4)$$

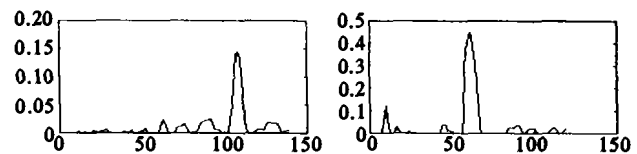
式中  $(x_0, y_0)$  为区域  $\Omega$  的局部灰度极大值点。考虑噪声情况,实际处理时  $(x_0, y_0)$  满足:

$$\max_{(x, y) \in \Omega_i, j=-1}^1 f(x+i, y+j)$$

公式(4)的目标模型与参考文献[8]提出的一种目标模型类似,其具体形式为:

$$t(x, y) = E_n \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left[ -\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2} \right] \quad (5)$$

式中  $E_n$  是第  $n$  个目标的能量;  $\sigma$  是目标尺寸、 $F/\#$ 、 $\lambda$  及检测像素大小的函数。参考文献[8]取  $\sigma^2 = 0.5$ , 并指出  $2\sigma$  意味着每一个目标覆盖约  $3 \times 3 = 9$  个像素,但该模型并未给出  $\sigma$  的估计方法。



(a) 天空背景局部灰度均值对比度 (b) 大海背景局部灰度均值对比度  
(a) Contrast of local grey degree means on the heaven background (b) Contrast of local grey degree means on the sea background

图 1 海空背景红外图像局部灰度均值对比度图

Fig. 1 Contrast degree graphics of local grey mean on sea and heaven background infrared images

### 2 红外图像局部灰度特性分析目标增强法

通过对红外图像背景、目标的局部区域灰度特性的分析,设计了三种不同的方案,用于红外目标图像的增强。

## 2.1 局部灰度均值分析法

在假定目标辐射高于背景辐射的前提下(该假定显然是合理的),可认为目标灰度值大于背景灰度值,因而实际处理时,并不需要计算图像各点的局部区域灰度均值对比度(或局部方差),而直接令灰度值不大于图像灰度均值的点的局部区域灰度均值对比度(或局部方差)为零,利用公式(2),取 $\Omega_1$ 为 $(x,y)$ 的 $3 \times 3$ 邻域, $\Omega_2$ 的尺寸视目标大小而定,一般取目标最大可能尺寸的两倍。设待处理图像为 $f(x,y)$ ,相应的局部区域灰度均值对比度图用 $g(x,y)$ 表示,增强算法具体步骤如下:

- (1) 计算原始图像 $f$ 的均值 $m_0 = \text{mean2}(f)$ ;
- (2) 对每一点 $(x,y)$ ,若 $f(x,y) \leq m_0$ ,则 $g(x,y) = 0$ ,否则执行步骤(3);
- (3) 计算 $m_{\Omega_1}(x,y)$ ,若 $m_{\Omega_1}(x,y) \leq m_0$ ,则 $g(x,y) = 0$ ,回到步骤(2),否则执行步骤(4);
- (4) 计算 $m_{\Omega_2}(x,y)$ ,利用公式(2)计算得 $g(x,y) = C m_{\Omega_1, \Omega_2}(x,y)$ ;
- (5) 若还有未计算的点 $(x,y)$ ,则回到步骤(2),否则退出。

## 2.2 局部区域灰度方差分析法

其基本思想与局部区域灰度均值分析法类同,具体步骤如下:

- (1) 计算原始图像 $f$ 的均值 $m_0 = \text{mean2}(f)$ ;
- (2) 对每一点 $(x,y)$ ,若 $f(x,y) \leq m_0$ ,则 $g(x,y) = 0$ ,否则执行步骤(3);
- (3) 利用公式(3)计算 $\sigma(x,y)$ , $g(x,y) = \sigma(x,y)$ 。若还有未计算的点 $(x,y)$ ,则回到步骤(2),否则退出。

## 2.3 局部区域灰度形态分析法

由于包含目标的局部灰度曲面图明显有别于未包含目标的局部灰度曲面图,通过分析这种“不同”实现目标的检测。假定 $\rho=0, \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ 的情况下,通过 $f(x,y)|_{\Omega}$ 估计 $\sigma$ ,使得 $f(x,y)|_{\Omega}$ 与 $N(x,y)$ 尽可能逼近。用 $\text{Corr}(\Omega, N)$ 表示 $f(x,y)|_{\Omega}$ 与 $N(x,y)|_{\Omega}$ 的相关系数,显然,当 $(x_0, y_0)$ 为目标质心时, $\text{Corr}2(\Omega, N)$ 最大。通过搜索最大相关点,可实现目标的检测。相应的增强算法如下:

- (1) 计算原始图像 $f$ 的均值 $m_0 = \text{mean2}(f)$ ;
- (2) 对每一点 $(x,y)$ ,若 $f(x,y) \leq m_0$ ,则 $g(x,y) = 0$ ,否则执行步骤(3);

(3) 令 $A = f(\Omega), mA = \text{mean2}(A)$ ,若 $f(x,y) \leq mA$ ,则 $g(x,y) = 0$ ,否则执行步骤(4);

(4) 通过 $f(x,y)|_{\Omega}$ 估计 $\sigma$ ,计算 $g(x,y) = \text{Corr}2(\Omega, N)$ 。若还有未计算的点 $(x,y)$ ,则回到步骤(2),否则退出。

## 3 目标提取

设待处理图像为 $f(x,y)$ ,相应的增强图像用 $g(x,y)$ 表示,分割结果为 $sgf(x,y)$ 。对增强图像采用种子区域生长算法进行二值分割,将目标从背景中分离出来,采用局部能量极大搜索法获得种子点,具体算法如下:

(1) 对 $g(x,y) \neq 0$ 的点 $(x,y)$ 搜索 $g(x,y)$ 的局部能量极大点 $(x_0, y_0)$ ,使得 $\max_{i,j} \sum_{i,j=-l}^l g(x_0+i, y_0+j)$  ( $l$ 一般取1)。

(2) 以 $(x_0, y_0)$ 为种子点,在 $L \times L$ 邻域内(取 $L \times L$ 约为目标最大可能尺寸的两倍),利用种子区域生长算法,对该区域进行二值分割,使得目标点为1,背景点为0,区域外的点均为0,得到图像的二值分割结果,从而实现目标的精确提取。

## 4 实验结果

对两个红外图像序列中的三类目标进行了实验。其中“f14”为大海背景序列图像,“p19”为天空背景序列图像,“f14”包含斑点目标情况(如图2(a)所示)和弱点目标情况(如图2(b)所示),图2(c)给出了“p19”序列中的一帧。

图3~图5分别为采用局部均值、局部方差、局部灰度形态分析法对图2(a)、(b)、(c)进行目标增强及检测的结果,图3~图5中的(a)、(b)、(c)均为图2(a)、(b)、(c)的目标增强结果,(d)、(e)、(f)均为对应的目标检测结果。

试验结果表明,当背景起伏较大,目标背景对比很弱时,方差分析法表现出一定的局限性,在图像起伏边缘的局部均方差也较大,从而给后续的目标提取带来了困难,容易引起误检和漏检。

本文提出的目标检测方法效果是理想的。

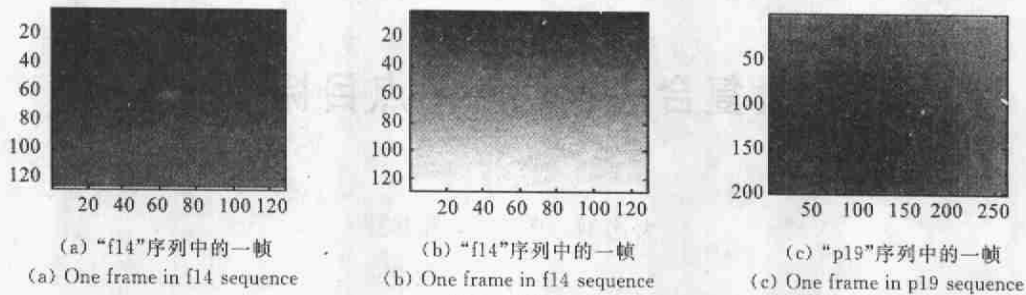


图2 原图像  
Fig. 2 Original image

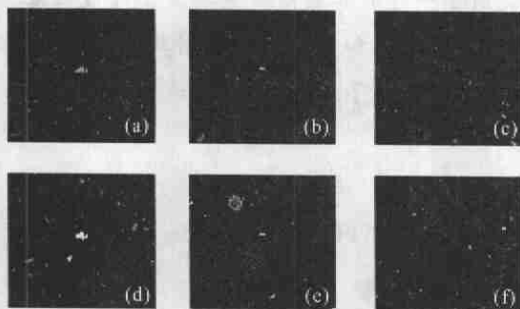


图3 局部均值法目标增强及检测结果  
Fig. 3 The results of target enhancement and detection by means of local grey mean

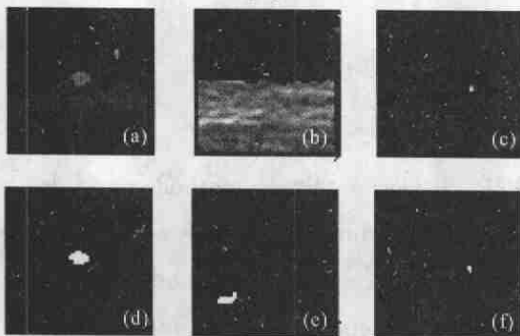


图4 局部方差法目标增强及检测结果  
Fig. 4 The results of target enhancement and detection by means of local grey variance

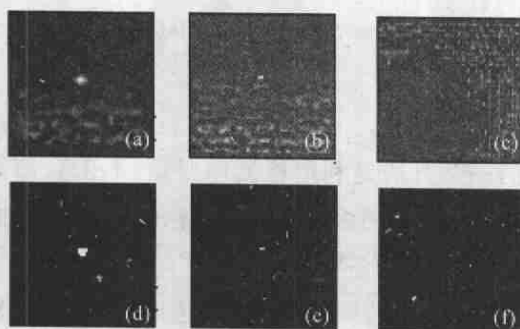


图5 局部灰度形态分析法目标增强及检测结果  
Fig. 5 The results of target enhancement and detection by means of local grey morphology analysis

目标增强方法:通过局部能量极大值搜索,确定目标的大致位置,在该位置的局部区域(区域大小约为目标最大可能尺寸的两倍)利用种子区域生长算法,最终将目标从背景中精确提取出来。对三类不同的目标进行的检测结果表明了算法的有效性。其中,局部区域均值对比度分析法的算法相对简单,运算量小,实时性强,对局部窗大小的选取不敏感,为三种方法中效果最好的一种。方差分析法对目标背景对比度很小的弱小目标的检测有一定的局限性,有待改进。形态分析法中目标模型的有效估计方法仍有待研究,若能找到有效的估计方法,并结合有效的背景模型估计,则有望取得更好的目标提取结果。

参考文献:

- [1] 叶斌,彭嘉雄,卢汉清. 顺序形态滤波在小目标和点目标检测中的应用研究[J]. 自动化学报, 2002, 28(6): 990-994.
- [2] 孙翠娟,杨卫平,沈振康,等. 基于空间匹配滤波的红外背景抑制技术[J]. 红外技术, 2003, 25(1): 36-39.
- [3] Strehl A, Aggarwal J K. Detecting moving objects in airborne forward looking infra-red sequences[A]. In IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications, (CVBVS '99) Proceedings[C]. 1999. 3-12.
- [4] Michael P Jordan, Su May Hsu, Opar T P. Detection and tracking of targets against a cloudscene background using space-based sensors [J]. IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2000, 1(3): 365-371.
- [5] 张弘,赵保军,史彩成. 一种快速实时的低信噪比红外点、斑点目标检测方法[J]. 北京理工大学学报, 2001, 21(3): 379-381.
- [6] Zhang Xiao-ping, Mita D Desai. Segmentation of bright targets using wavelets and adaptive thresholding[J]. IEEE Trans Image Processing, 2001, 10(7): 1020-1030.
- [7] 熊辉,沈振康. 低信噪比抖动红外点目标的检测[J]. 国防科技大学学报, 1998, 20(2): 54-59.
- [8] Adams R, Bischof L. Seeded region growing[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(6): 641-649.

5 结论

依据红外图像目标背景的局部区域灰度特性在均值、方差和形态上的差异,分别提出了三种不同的