

doi: 10.7690/bgzdh.2013.10.017

## 基于偏斜度的图像局部熵算法

蔡君, 张尚悦, 李伟

(海军大连舰艇学院航海系, 辽宁 大连 116018)

**摘要:** 针对红外弱小目标难以检测的问题, 提出一种基于偏斜度的局部熵算法的新方法。通过对原始图像进行分块处理, 利用局部熵值判断图像块找出感兴趣区域, 再利用偏斜度进行判断, 通过自适应阈值分割方法对弱小目标进行检测。经过实验证明: 该方法能够有效地检测出弱小目标, 具有算法简单, 运算量小, 便于硬件实现等特点。

**关键词:** 局部熵; 偏斜度; 阈值分割; 目标检测

**中图分类号:** TJ02 **文献标志码:** A

## Image Local Entropy Algorithm Based on Skewness

Cai Jun, Zhang Shangyue, Li Wei

(Department of Navigation, Dalian Warship Academy of PLA Navy, Dalian 116018, China)

**Abstract:** Because it is hard to detect infrared weak small targets, put forward a new method of the local entropy algorithm based on skewness. Chunked processing based on the original image, by using local entropy value judgment image block to find interested area, reuse skewness to judgment, through the adaptive threshold segmentation method for small target detection. After the experiment proved that this method can effectively detect the weak target, it has a simple algorithm, the computational complexity is small, convenient for hardware implementation, etc.

**Key words:** local entropy; skewness; threshold segmentation; target detection

## 0 引言

红外探测技术以其被动式探测、全天候工作、隐蔽性好等优势, 在军事武器系统中发挥着越来越重要的作用。但由于要对目标进行早期探测和精确打击, 往往目标距离较远, 使得目标在场景中一般尺寸较小、噪声较大、背景复杂, 给检测带来很大困难<sup>[1-2]</sup>。近二十年来, 我国各大院校相继对基于红外图像的运动弱小目标的检测算法进行了大量研究, 已取得了长足的进展, 提出了三维匹配滤波器法、动态规划法、神经网络法、遗传算法等弱小目标的检测方法。然而, 现有算法和优化算法非常复杂, 运算量也非常惊人, 难以在硬件上实现; 因此, 迫切需要找到一种简单有效的红外弱小目标快速检测算法<sup>[3-4]</sup>。笔者在研究红外弱小目标图像特性的基础上, 提出使用局部熵和偏斜度 2 个指标对红外图像进行二次判断, 以确定目标区域的方法。

## 1 二次判断检测目标

熵是图像灰度空域分布状态的不确定性的量度<sup>[5]</sup>, 偏斜度可以测量随机过程高斯分布的程度<sup>[6]</sup>, 经过 2 种指标的判断后再进行阈值分割, 即可找出弱小目标。具体检测流程如图 1。

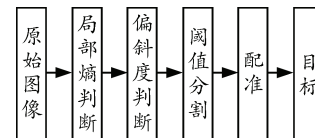


图 1 检测流程

## 1.1 基于局部熵的判断

信息论之父 Shannon 在其经典著论《通信中德数学原理》中提出, 熵是对于系统不确定性的度量, 也是平均信息量的特征。熵在信息论中的定义如下:

如果一个试验  $S$  有  $n$  个结果  $X = X_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 每个事件的概率分布  $P_i$ , 则每个结果本身的信息为

$$H_1 = -\log_2 p_i \quad (1)$$

其中, 对数以 2 为底, 单位是比特。

整个试验的平均信息量为

$$H_s = \sum_{i=1}^n p_i H_c = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

这个平均信息量就是信息熵, 简称为熵<sup>[7]</sup>。对于图像的熵, 则被认为是图像灰度空域分布状态不确定性的量度, 其定义<sup>[8]</sup>如下: 对于一幅  $M \times N$  大小的图像  $f$ , 设  $f(i, j)$  为图像中点  $(i, j)$  处的灰度值, 显然  $f(i, j) \geq 0$ , 定义图像的熵为:

收稿日期: 2013-04-10; 修回日期: 2013-05-20

基金项目: 海军大连舰艇学院科研发展基金资助项目 (20122412)

作者简介: 蔡君 (1988—), 男, 江苏人, 工学硕士, 从事图像处理及目标检测识别研究。

$$H_f = -\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(i, j) \log_2 P(i, j) / \log_2(MN) \quad (3)$$

其中

$$P(i, j) = \frac{f(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)} \quad (4)$$

式(3)定义的熵由于涉及到对数运算, 计算量较大, 不利于实时计算。由定义知  $P(i, j) \ll 1$ , 因此可以采用泰勒级数将对数函数进行展开, 并舍去高阶项, 最终得到式(3)的近似计算公式:

$$H_f \approx -\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(i, j)(P(i, j)-1) = 1 - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N P(i, j)^2 \quad (5)$$

如果  $M \times N$  代表图像的局部窗口,  $H_f$  就称为图像的局部熵。将图像中像素点的灰度值用其所在分块的局部熵值来表示, 得到图像的局部熵描述。如图2所示, 横坐标为图像分块的顺序, 纵坐标表示的是该分块的熵值。

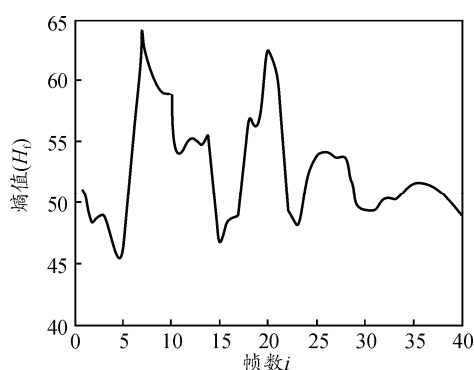


图2 分块图像的局部熵值

图像局部熵的主要性质<sup>[4]</sup>: 1) 由定义可知, 图像局部熵是局部窗口内所有像素点共同贡献的结果, 具有抗噪声干扰的能力; 2) 局部熵是一个旋转不变量, 具有抗几何失真的能力, 也就是说当目标局部发生几何形变时, 像素的统计特性没变, 其熵值也不变。并且计算局部熵的窗口选择越大, 抗几何失真的能力就越强, 但是计算量也会增大; 图像局部熵反映了窗口内灰度值的差异, 局部熵越大, 说明窗口内像素灰度值差异越大; 反之, 说明窗口内像素灰度值差异越小。通常情况下窗内像素灰度值差异最大的位置是目标和背景的边缘, 因此使用局部熵值进行阈值选取能提取弱小目标所在区域。

在红外弱小目标图像中, 目标尺寸很小, 目标对于整幅图像的熵值贡献较小, 如果直接对图像进行熵值计算, 则目标很容易被噪声淹没。而在一个

局部的小窗口内, 目标引起的灰度变化很容易引起局部熵值发生较大的变化, 易于发现目标位置。同时, 小目标所处的背景纹理具有平稳特性, 由局部熵的定义可知, 其局部熵较为均匀, 且具有较大熵值; 相反, 对于小目标区域, 灰度起伏较大, 其熵值较小。

由于图像中目标区域的局部熵值最小, 其他区域也可能出现较小熵值的情况, 所以通过局部熵值的判断只能粗略找到目标区域, 排除大量的其他非目标区域。笔者在排除其他非目标区域的操作过程中采用阈值排除法, 计算每块图像的局部熵, 并在所有局部熵值中搜索最大值  $H_{\max}$  和最小值  $H_{\min}$ , 然后使用  $H_{\min}$  和  $H_{\max}$  设置阈值  $Th$ 。接着对所有的局部熵值进行阈值分割, 当某一局部熵值小于该阈值时, 则认为其所对应的局部区域是可能的包含目标的感兴趣区域。其中, 阈值  $Th$  设定为

$$Th = \frac{H_{\min} + kH_{\max}}{k+1} \quad (k > 1 \text{ 为常数}) \quad (6)$$

## 1.2 基于偏斜度的二次判断

在红外图像中, 弱小目标通常被看作是瞬态的非高斯信号, 它所出现的局部区域较其他区域而言更加偏离正态分布<sup>[9]</sup>; 所以, 选择一个合适的高斯检验准则可以将噪声和小目标区分开来。近年来, 高阶统计量理论发展迅速, 已被广泛应用于信号处理领域。其中, 对于非高斯信号的处理, 高阶累积量是主要的分析工具<sup>[10]</sup>。由三阶累积量计算得到的偏斜度  $S$ , 又称为三阶特征量, 常被用来测量一个随机过程  $\{x(n)\}$  偏离正态或高斯分布的程度: 其值为零意味着信号服从高斯分布, 其值不为零则意味着信号服从非高斯分布。也就是说包含目标感兴趣区域的偏斜度的绝对值相对较大; 因此, 笔者提出利用偏斜度来检测红外弱小目标。

随机信号  $X$  的偏斜度  $S$  的定义为

$$S = \frac{\langle [X - \eta]^3 \rangle}{\sigma^3} \quad (7)$$

其中:  $\eta$  是随机信号  $X$  的均值;  $\sigma$  是随机信号  $X$  的标准差;  $\langle \cdot \rangle$  为求数学期望值。可见,  $S$  是一个无量纲的量。

设随机信号  $X$  有  $N$  个分量组成, 即  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , 在计算偏斜度时,  $X$  的偏斜度通常用式(8)估计:

$$\hat{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{x_i - \eta}{\sigma} \right]^3 \quad (8)$$

其中， $\hat{S}_i$ 表示  $S$  的估计值。

### 2 阈值分割和配准

阈值分割的目的是将灰度图像转换成二值图像，分割出可疑目标点。由于之前对图像进行了检测区域的缩减，因此待检测区域较小，使用自适应阈值分割的方法即可将目标检测出来。定义基于均值和标准差分割方法的阈值：

$$T = \bar{m} + a\sigma(a \in [0, 255]) \tag{9}$$

其中图像的总平均灰度记为  $\bar{m}$ ，图像灰度标准差记为  $\sigma$ ， $a > 0$  为常数。求出阈值之后再对预处理图像进行分割，通过大量实验分析  $a$  值取为 180 最合适，数值  $a$  越小则残留的噪声越多，数值  $a$  太大则会将真目标也分割掉。

### 3 仿真实验及分析

基于偏斜度的局部熵算法的详细过程如下：

- 1) 将原始图像分为  $M \times N$  块，记为  $\{S_1, S_2, \dots, S_{M \times N}\}$ ，并记录每块图像的位置信息；
- 2) 对  $\{S_1, S_2, \dots, S_{M \times N}\}$  进行局部熵值的计算，记为  $\{R_1, R_2, \dots, R_{M \times N}\}$ ，找出最大的局部熵值  $R_{\max}$  和最小的局部熵值  $R_{\min}$  利用公式计算局部熵阈值，得到感兴趣的图像块  $\{D_1, D_2, \dots, D_i\}$ ， $i < M \times N$ ；
- 3) 利用公式 (8) 计算  $\{D_1, D_2, \dots, D_i\}$  的偏斜度，找出最大偏斜度的图像分块，即可得到最感兴趣的区域；
- 4) 对最感兴趣的区域进行自适应阈值分割，得到目标位置，将含有目标的图像分块的位置信息配准到原图，并进行标记，即可完成弱小目标的检测。

笔者采用图 3 所示的红外原始图像进行实验，将原始图像分成  $5 \times 8$  的图像块，这样分块的目的就是为了缩减感兴趣区域。虽然一幅图像中的目标可能存在于分块的边界，但在序列图像的处理过程中，这样分块不会影响最终的目标检测。图 2 显示的是每个小图像块的局部熵值，在 49 熵值左右有一条虚线，显示局部熵阈值，选取小于阈值的图像组成如图 4 所示的图像块组  $\{D_1, D_2, \dots, D_{12}\}$ 。

图 5 显示的是第一次判断后的分块图像组  $\{D_1, D_2, \dots, D_{12}\}$  经过计算得到的偏斜度，笔者用火柴头形式标记出偏斜度的大小，针对单个目标的处理方法，选取偏斜度最大的图像分块，可以认为该图像分块中存在目标。

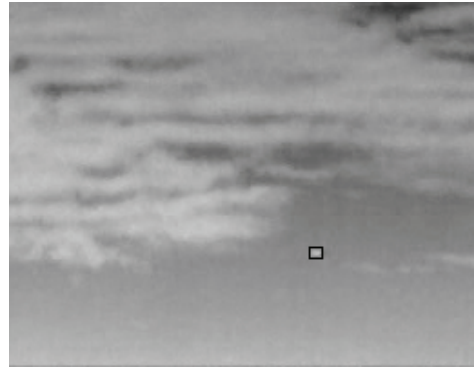


图 3 原图

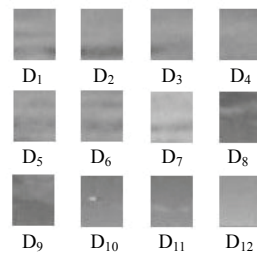


图 4 局部熵值判决后留下的分块图像

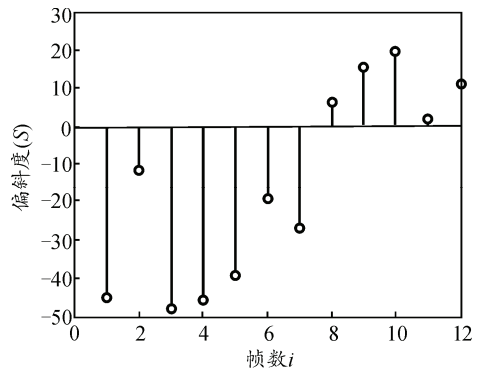


图 5 一次判断后的分块图像的偏斜度

最后经过自适应阈值分割即可找出可疑目标，如图 6 所示，将图像块的位置信息重新配准到原始图像中并且实时显示目标的位置。本算例所需时间为 0.26 s，符合实时性的要求。

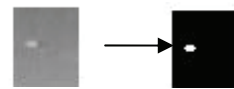


图 6 自适应阈值分割

实验结果证明：首先采用局部熵对目标进行区域定位估计，可以减少二次判决时的计算量，并且能够消除大量的噪声干扰，起到降低虚警率的作用。而采用偏斜度判断对图像中的高斯分布进行判断，便于迅速的从第一次判断中定位出感兴趣区域，能够大幅度减少运算量，硬件实现方便。

### 4 结束语

笔者通过对红外图像进行局部熵判断，减少了

后续的计算量、大量的噪声干扰，降低了虚警率，提出了基于偏斜度的高斯判断准则进行高斯性检验的方法，通过舍弃具有高斯特性的图像块达到抑制噪声和复杂背景的目的，最终检测出弱小目标。仿真实验结果表明：该方法能够有效地进行红外弱小目标的检测，同时具有算法简单，运算量小，便于硬件实现等优点。下一步，笔者将围绕提高计算速度和多目标检测方向进行研究。

**参考文献：**

[1] 彭超, 毛征, 郑利苹, 等. 基于图像行相关空中目标实时检测算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(2): 40-43.  
 [2] 曹素平, 李俊山, 夏军. 红外运动小目标检测算法研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 747-749.  
 [3] 陈玉丹. 红外系列图像运动小目标检测[J]. 兵工自动

\*\*\*\*\*

(上接第 36 页)

表 3 物资 1 和物资 2 运输中的各项参数值

物资	运输方案	运输路径	运输距离/km	运输费用/库	风险系数	容量上限/t	非支配序	小生境密度
物资 1	最优路径	2→10→12→15	661	5 984	0.040	90	1	0.80
	备用路径	3→6→11→15	752	6 212	0.033	90	2	0.80
		3→5→11→15	866	6 585	0.034	80	3	0.80
物资 2	最优路径	3→6→11→15	752	4 013	0.040	90	1	0.80
	备用路径	1→6→11→15	817	6 480	0.099	80	2	0.80
		3→5→6→11→15	1 127	6 493	0.051	80	2	0.83

**4 结束语**

仿真结果表明：将改进的 NSGA-II 算法用于求解多目标路径优化问题，决策者能够获得最优的运输方案以及最优的备用运输路径，根据仿真结果中的各项参数值自行择优选择运输方案。文中的工作还仅是一个开端，今后应充分考虑带有时间窗的装备保障应急运输问题。例如带有时间窗的运输网络应该如何构建，建模之后又应该如何进行求解等。

**参考文献：**

[1] CaunhYe M A, Nie X F, Pokharel S. Optimization Models in Emergency Logistics: A literature Review[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2012, 46(1): 4-13.

\*\*\*\*\*

(上接第 45 页)

**7 结束语**

通过压制武器大口径炮弹分步压装 RL-F 高能炸药工艺技术研究，解决了基于第二代含能材料 RL-F 高能炸药应用的关键技术问题<sup>[4]</sup>，并有一定的推广性，将极大提高压制武器弹药的毁伤威力，推动实现常规弹药毁伤技术的跨越式发展，增强我军地面压制武器在未来战场上的作战能力。

化, 2006, 25(12): 65-66.  
 [4] 刘洋, 焦淑红, 刘云鹤. 红外运动小目标快速检测算法的实现研究[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(3): 227-232.  
 [5] 肖超云, 朱伟兴. 基于 Otsu 准则及图像熵的阈值分割算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(14): 188-189.  
 [6] 蒋瑜, 陈循, 陶俊勇, 等. 指定功率谱密度、偏斜度和峭度值下的非高斯随机过程数字模拟[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(5): 1127-1130.  
 [7] 张永亮, 卢焕章. 基于图像局部熵的红外图像分割方法[J]. 红外技术, 2006, 28(11): 656-660.  
 [8] Pal N R, Pal S K. Entropic thresholding[J]. Sigmf Processing, 1989, 16(2): 97-108.  
 [9] 王鑫, 唐振民. 一种新的复杂背景下红外弱小目标检测方法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(20): 6568-6572.  
 [10] Principato F, Femante G. Skewness and kurtosis of 1/f noise in semiconductor devices[J]. Microelectronics Reliability, 2000, 40(11): 1969-1973.

\*\*\*\*\*

[2] 宋业新, 陈云绵, 等. 具有模糊信息的多目标运输问题求解[J]. 模糊系统与数学, 2001, 15(3): 86-89.  
 [3] Sandeep K, Diwakar P. Fuzzy Programming Approach to Solve Multi-objective Transportation Problem[J]. Advances in intelligent and Soft Computer, 2012, 130: 525-533.  
 [4] 张亮, 王端民, 韩景侗. 战时装备保障的多目标运输问题其求解[J]. 物流科技, 2005, 28(118): 14-17.  
 [5] 安振涛, 李飞, 武洪文, 等. 弹药公路运输安全文化建设[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(9): 48.  
 [6] 姜广顺, 冯云, 崔国峰. 基于数字制图信息的电子战装备阵地选择算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 38-41.  
 [7] Zitzler E, Thiele L. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength pareto approach[J]. IEEE Trans. On Evolutionary Computer, 1999, 3(4): 257-271.

**参考文献：**

[1] 徐更光. 弹药高效毁伤关键技术集成与应用[J]. 含能材料, 2007 年, 26(增刊): 119-121.  
 [2] 马云富. 加强工艺与装备创新推进弹药技术的发展[J]. 兵工自动化, 2012, 31(12): 18-20.  
 [3] 芮筱亭, 王燕, 王国平. 弹药发射安全性试验方法进展[J]. 兵工自动化, 2012, 31(12): 81-84.  
 [4] 张建忠, 侯聪花, 胡双启. 含能材料装药安全性在力学性能及数值模拟方面的研究进展[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(5): 11.