

## 二维信息熵的红外图像分割算法

王莹莹<sup>1</sup>, 何苹<sup>2</sup>, 魏彤<sup>1</sup>, 李珊珊<sup>2</sup>

(1.空军工程大学防空反导学院,陕西西安,710051;

2.空军工程大学装备管理与安全工程学院,陕西西安,710051)

**摘要** 为了准确实现目标分割,提出将信息熵应用于红外图像的分割算法。对一般二维直方图最大熵进行推广,给出了外接4邻域直方图最大熵、灰度级-邻域灰度级绝对差直方图最大熵,以上3种二维信息熵算法均能有效地实现红外图像分割。引入属性直方图的概念,构造合适的属性集,先缩小目标的搜索范围,在此基础上运用信息熵进行目标分割,与单纯信息熵分割算法相比,得到的分割结果图中,目标的形状比较完整且引入的干扰较少。仿真结果表明该算法是有效的。

**关键词** 目标分割;直方图;最大熵算法;背景抑制

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.01.017

**中图分类号** TN391 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)01-0077-04

### A Research of An Infrared Image Segmentation Algorithm Based on the Two-dimensional Entropy

WANG Ying-ying<sup>1</sup>, HE Ping<sup>2</sup>, WEI Tong<sup>1</sup>, LI Shan-shan<sup>2</sup>

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

2. Equipment Management and Safety Engineering College,  
Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** In order to realize segmentation of the IR (infrared) small target image accurately, this paper proposes a segmented algorithm by applying the information entropy method to the infrared image. This paper not only takes the aspect of distribution of gray information into account in the two-dimensional entropy method, but also utilizes fully the spatial neighbor information of the pixel to obtain an ideal effectiveness of segmentation. After the introduction of the maximum entropy method based on the traditional two-dimensional histogram, other two methods based on External 4-connected G-A (Gray level-Average gray level) histogram and the G-G (Gray level-Gray absolute difference) histogram are given and the above methods all work well in the IR small target segmentation. Besides, the bound set of the IR image and the corresponding bound histogram are constructed to narrow the target search scope, and based on its bound histogram the IR image is segmented, by using the above the integer target is obtained with less noise compared with the pure entropy methods. The experiment results show that the algorithm is effective.

**收稿日期:** 2013-07-10

**基金项目:** 中国博士后基金资助项目(2014T71008)

**作者简介:** 王莹莹(1988-),女,安徽涡阳人,讲师,主要从事红外探测与跟踪技术研究. E-mail: wangyingying0558@126.com

**引用格式:** 王莹莹,何苹,魏彤,等. 二维信息熵的红外图像分割算法研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(1):77-80. WANG Yingying, HE Ping, WEI Tong, et al. A Research of An Infrared Image Segmentation Algorithm Based on the Two-Dimensional Entropy[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(1): 77-80.

**Key words:** target segmentation; histogram; maximum entropy algorithm; background suppression

红外目标检测是从红外图像中检测到并提取出目标的过程。天空背景的红外图像中,目标和背景温度差异明显,在图像中占据不同的灰度级<sup>[1]</sup>,阈值分割方法是一种广泛应用的红外目标分割方法<sup>[2]</sup>。比较常用的阈值分割方法有局部阈值法、最大距离法、类间方差法、信息熵法、矩不变法等等。其中,信息熵的方法,反映了图像的总体特征,分割效果较好。把信息熵用于图像处理的方法有很多种,如一维最大熵、二维最大熵、局部熵、指数信息熵、乘积型熵、模糊熵和交叉熵等<sup>[3]</sup>。

本文主要运用二维最大熵求解红外图像中目标与背景的分割阈值,探索基于几种不同直方图的二维最大熵分割算法,在实拍的红外小目标图像上进行目标分割。同时,把属性直方图的思想应用到信息熵算法中,提出了基于属性直方图的信息熵分割算法,在图像分割之前先剔除图像中不符合目标特性的点,缩小目标的搜索范围,得到的目标分割效果更精确。

## 1 二维最大熵分割原理

基于传统直方图的二维最大熵(以下简称二维最大熵)是在灰度级-邻域平均灰度级(Gray level-Average gray level, G-A)直方图的基础上得到的,其原理<sup>[4]</sup>是:

设红外图像  $f$  大小为  $m \times n$ ,灰度级为  $L$ ,二维直方图为  $\{h(s, t), s, t = 0, 1, \dots, L-1\}$ ,  $h(s, t)$  为点的灰度值是  $s$ 、其  $3 \times 3$  邻域灰度均值是  $t$  的点的个数。

由二维灰度直方图定义知,点  $(i, j)$  的概率为:

$$P_{ij} = h(i, j) / mn \quad (1)$$

式中:  $\sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{L-1} P_{ij} = 1$ 。

阈值  $(s, t)$  把图像分为 4 个部分,见图 1,图中  $A$  和  $B$  是背景和 目标部分,  $C$  和  $D$  是噪声和边缘附近点的分布。区域  $A$  和  $B$  的概率分别为:

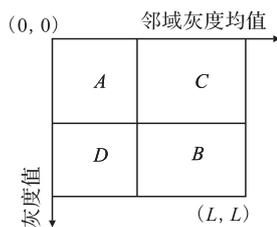


图 1 二维直方图

Fig.1 Two-dimensional histogram

$$P_A = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t P_{ij} \quad (2)$$

$$P_B = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} P_{ij} \quad (3)$$

区域  $A$  和  $B$  的熵分别为:

$$H_A = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t P_{ij} / P_A \ln(P_{ij} / P_A) \quad (4)$$

$$H_B = - \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} P_{ij} / P_B \ln(P_{ij} / P_B) \quad (5)$$

图像的熵函数定义为:

$$\varphi(s, t) = H_A + H_B \quad (6)$$

经推导,可得:

$$\varphi(s, t) = \ln[P_A(1 - P_A)] + \frac{H_A}{P_A} + \frac{H - H_A}{1 - P_A} \quad (7)$$

式中:  $H = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P_{ij} \ln(P_{ij})$ 。

使  $\varphi(s, t)$  取最大值的  $(s, t)$  即最佳分割阈值。

## 2 几种有效的二维直方图

### 2.1 外接 4 邻域直方图

由于红外成像系统中同一行相邻像素间的相关性很大,而像素点与其对角线方向上的像素点差别相对较大<sup>[5]</sup>,利用这一性质构造外接 4 邻域(External 4-connected G-A)直方图。

红外图像  $f$  的外接 4 邻域直方图定义为  $\{h'(s, t), s, t = 0, 1, \dots, L-1\}$ ,  $h'(s, t)$  为某像素点的灰度值  $f(i, j)$ , 并且  $g(i, j)$  为  $t$  的点的个数,  $g(i, j)$  为  $3 \times 3$  邻域内对角线上 4 个像素的灰度均值,其表达式为:

$$g(i, j) = [f(i-1, j-1) + f(i-1, j+1) + f(i+1, j-1) + f(i+1, j+1)] / 4 \quad (8)$$

外接 4 邻域直方图见图 2(a)。外接 4 邻域直方图被阈值分为 4 个区域,  $A$  和  $B$  分别为背景和 目标,  $C$  和  $D$  分别为噪声和边缘附近点的分布。根据式(8)定义的外接 4 邻域直方图既可以避免二维熵关心的对象位置过于“密切”,又可以提高邻域中心像素的灰度值与所参考的灰度值的差异。

把传统二维最大熵中计算式(7)中的  $h(s, t)$  换成外接 4 邻域直方图定义的  $h'(s, t)$ , 即可推导出基于外接 4 邻域直方图的二维最大熵。

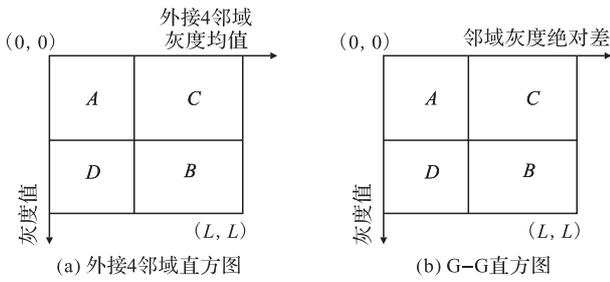


图 2 红外目标图像的 2 种不同直方图

Fig.2 Two types of histogram of IR image

### 2.2 灰度级-邻域灰度级绝对差直方图

灰度级-邻域灰度级绝对差 (Gray level-Gray absolute difference, G-G) 直方图定义为  $\{h''(s, t), s, t=0, 1, \dots, L-1\}$ ,  $h''(s, t)$  为某像素点的灰度值  $f(i, j)$  为  $s$  且  $g(i, j)$  为  $t$  的点的个数, 其中  $g(i, j)$  为中心像素点的灰度值与其 8 邻域像素点灰度均值之差的绝对值, 其表达式为:

$$g(i, j) = |f(i, j) - [\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(i+m, j+n) - f(i, j)] / 8| \quad (9)$$

把二维最大熵计算式(7)中的  $h(s, t)$  换成 G-G 直方图定义的  $h''(s, t)$ , 即可推导出基于 G-G 直方图的二维最大熵。

G-G 直方图区域划分见图 2(b)。图 2(b)中, 区域 A 的像素点灰度值、邻域灰度绝对差都较小, 表示背景; 区域 B 的像素点灰度值较大、邻域灰度绝对差较小, 表示目标; 区域 C 和 D 中像素点邻域灰度绝对差较大, 表示目标和背景的边缘和噪声。这种构造方法使区域 A 和 B 尽可能包含目标和背景, 避免传统二维直方图的 A 和 B 区域可能存在较多边缘点和噪声点, 导致分割结果不准确的问题。

### 2.3 属性直方图

无论是一般的二维直方图、外接 4 邻域直方图, 还是 G-G 直方图, 要构造这 3 种直方图, 需要使用图像中的所有点。但天空背景的红外小目标图像整体灰度值较小, 背景比较均匀, 小目标一般亮度比背景高, 在图像中所占比例较小。因此, 图像中的很多像素点不需要考虑, 比如灰度值较低的像素点可以首先剔除。基于此, 构造图像的属性直方图<sup>[6]</sup>。

设图像  $f$  灰度级为  $L$ , 大小为  $m \times n$ ,  $Q$  是  $f$  上某种属性集,  $(i, j) \in Q$  表示像素点  $(i, j)$  具有某种属性。对于图像  $f$ , 定义属性集  $Q$  上的二维属性直方图为  $h_Q$ , 则属性集上某点所占概率表达式<sup>[4]</sup>为:

$$P_Q(i, j) = h_Q(i, j) / N_Q \quad (10)$$

式中:  $h_Q(i, j)$  为图像  $f$  中具有属性  $Q$  且某点的灰度值为  $i$ , 其邻域平均灰度值为  $j$  的像素总数;  $N_Q$  为图像  $f$  中具有属性  $Q$  的像素总数。  $P_Q(i, j)$  满足:

$$\sum_{i=L_1}^{L_2} \sum_{j=L_3}^{L_4} P_Q(i, j) = 1 \quad (11)$$

式中:  $L_1, L_2$  分别为属性集  $Q$  中像素点灰度的最小值和最大值;  $L_3, L_4$  分别为属性集  $Q$  中该像素点的邻域平均灰度的最小值和最大值。

属性直方图仅考虑图像中具有某种属性的像素, 它屏蔽了具体问题不关心的成分, 把重点集中在感兴趣的属性上。对于同一幅图像, 属性集  $Q$  不同, 得到的二维属性直方图也不同。如果  $Q = \Omega$ ,  $\Omega$  为区域  $f$  上的全集, 那么二维属性直方图变为一般意义上的二维直方图。利用属性直方图解决问题的关键是如何构造属性集  $Q$ 。  $Q$  的表达式为:

$$Q = \{(i, j) | \Phi(i, j)\} \quad (12)$$

式中:  $\Phi(i, j)$  为像素  $(i, j)$  的某种先验知识。

利用属性直方图进行二维最大熵算法分割, 只需把式(7)中的概率分布  $P_{ij}$  换成属性集  $Q$  下的概率分布  $P_Q$  即可。本文构造的属性集为:

$$Q = \{(i, j) | f_{M \times N}(i, j) > \bar{f}_\Omega, 0 \leq i \leq m-1, 0 \leq j \leq n-1\} \quad (13)$$

式中:  $M \times N$  为小目标所占区域窗口的大小,  $f_{M \times N}(i, j)$  为中心像素点在  $(i, j)$  的  $M \times N$  窗口内图像的灰度均值;  $\bar{f}_\Omega$  为中心像素点在  $(i, j)$  的  $\Omega$  区域内的灰度均值, 区域  $\Omega$  的范围大于  $M \times N$ , 其大小可根据实际情况设定。

式(13)表明, 属性集  $Q$  由灰度值高于周围区域灰度均值的那些点组成。这样构造的原因是: 小目标一般亮度比背景高, 小目标的灰度均值也比小目标周围的背景均值要大。

## 3 仿真分析

首先, 对红外小目标图像进行了背景抑制。原因是, 红外小目标图像的信噪比和对比较低, 目标较小, 其几何形状和纹理结构不清晰。如果直接对原始图像进行分割, 效果不好。本文考虑到天空背景的红外小目标图像背景呈现出缓慢变化的特征, 采用数学形态学 Top-Hat 方法进行背景抑制, 背景抑制结果见图 3。从图 3 中可以看出, 背景抑制后的图像中目标非常突出, 有利于后续的分割。

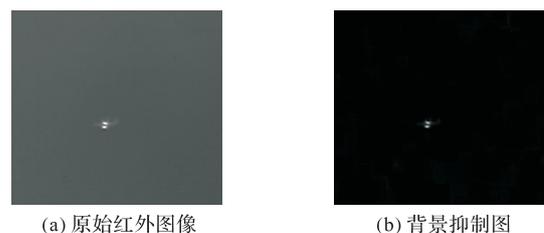


图 3 原始红外图像和背景抑制图

Fig.3 Original IR image and its background suppression result

然后,进行图像分割,分割结果见图 4,分割阈值见表 1。图 4(a)~(b)是一维最大熵和二维局部熵算法的分割结果,图 4(c)~(e)是二维最大熵、基于外接 4 邻域直方图的最大熵和基于 G-G 直方图的最大熵的分割结果,图 4(f)是利用二维属性直方图缩小了目标的范围之后,再采用 G-G 直方图的最大熵算法的分割结果。

表 1 信息熵算法的分割阈值

Tab.1 Segmentation thresholds using the entropy methods

图像	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
阈值	20	2	(15,15)	(15,12)	(15,10)	(15,10)

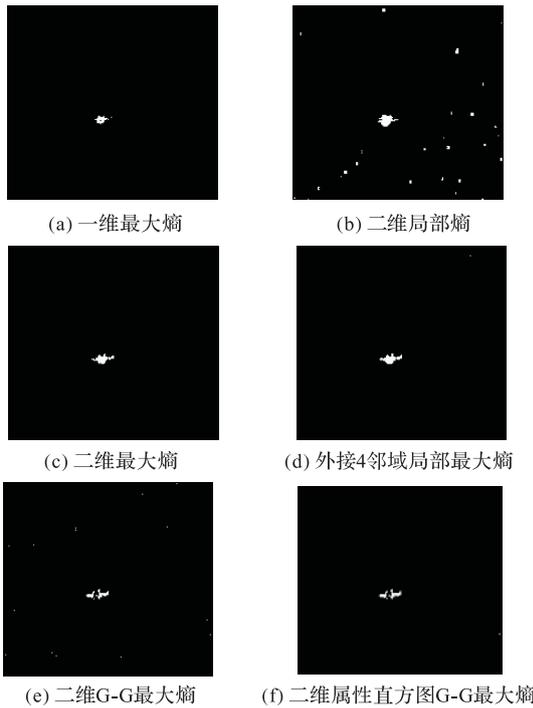


图 4 红外图像的分割结果

Fig.4 Segmentation results of IR image

对图 4 和表 1 进行分析,可得到以下结论:

1) 基于信息熵的各种方法都能分割出目标。其中一维最大熵分割得到的飞机形状不完整,只检测出亮度值较高的发动机部位,因为他们仅使用图像的一维灰度信息确定阈值,得不到完整的目标信息。

2) 二维算法比一维算法的检测结果好,原因是二维算法充分利用点灰度特征和区域灰度特征,较为全面地表征了图像灰度信息,比一维算法具有更高的精度和鲁棒性。局部熵算法检测到的目标完整度不够,有一定的失真,且引入一定的干扰。

3) 基于二维直方图、外接 4 邻域直方图和 G-G 直方图的最大熵检测的结果较好。其中二维最大熵算法得到目标比较完整,同时没有引入多余的背景和噪声干扰;基于外接 4 邻域直方图的最大熵的检测结果比二维最大熵的检测结果更完整;基于 G-G 直方图的最大熵得到的目标形状完整,但内部连通

性不好而且引入少量的干扰。对比图 4(e)和图 4(f)可见,二维属性直方图首先剔除图像中部分不符合目标特性的点,这样,目标可能的搜索范围限制在图像灰度值较高的一小部,得到了更好的分割结果。

### 4 结语

信息熵阈值分割方法是红外小目标分割中常用的方法。文中对比了几种直方图下的二维最大熵算法,它们均有效地实现了红外小目标图像的分割,较好地保留了目标的形状。针对基于 G-G 直方图的最大熵得到的目标内部连通性不好的问题,下一步探索的方法之一是对分割后的目标进行区域生长,以得到完整的目标图像。

### 参考文献(References):

[1] 帅高山.一种新的舰船红外图像分割算法[J].水雷战与舰船防护,2013,21(1):11-16.  
SHUAI Gaoshan. A New Segmentation Algorithm of Ship's IR Image[J]. Mine Warfare & Ship Self-Defense, 2013, 21(1): 11-16. (in Chinese)

[2] 邹小林,冯国灿.融合视觉模型和最大熵的阈值分割算法[J].科学技术与工程,2013,13(6):108-112.  
ZOU Xiaolin, FENG Guocan. Image Thresholding Segmentation Based on Human Vision Model and Maximum Entropy[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(6): 108-112. (in Chinese)

[3] 孙即祥.图像处理[M].北京:科学出版社,2004.  
SUN Jixiang. Image Processing[M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)

[4] 杜峰,施文康.一种快速红外图像分割方法[J].红外与毫米波学报,2005,24(3):370-372.  
DU Feng, SHI Wenkang. Fast Infrared Image Segmentation Method[J]. Journal Infrared Millim Waves, 2005, 24(3): 370-372. (in Chinese)

[5] 徐建军,高山,毕笃彦.一种新的图像分割算法[J].西安电子科技大学学报,2011,38(1):8-15.  
XU Jianjun, GAO Shan, BI Duyan. Novel Image Segmentation Algorithm[J]. Journal of Xidian University, 2011, 38(1): 8-15. (in Chinese)

[6] 郭海涛.利用二维属性直方图的 Otsu 自动阈值分割方法[J].光电子激光,2005,16(6):739-742.  
GUO Haitao. Automatic Thresholding Using the Otsu Algorithm Based on the Two Dimensional Bound Histogram[J]. Journal of Opt Electronics & Laser, 2005, 16(6): 739-742. (in Chinese)

(编辑:田新华)