

文章编号: 0253-2239(2006)04-0506-4

# 利用二维属性直方图的最大熵的图像分割方法\*

郭海涛<sup>1,2</sup> 田 坦<sup>3</sup> 王连玉<sup>2</sup> 张春田<sup>1</sup>

1 天津大学电子信息工程学院, 天津 300072  
2 国家海洋技术中心, 天津 300111  
3 哈尔滨工程大学水声工程学院, 哈尔滨 150001

**摘要:** 提出二维属性直方图的概念。它是一种由先验知识约束的二维直方图, 可以使一些图像处理方法得到简化和变得可行。在此基础上提出一种基于二维属性直方图的图像分割方法。该方法步骤是构造图像的属性集, 确定相应的二维属性直方图, 然后利用二维属性直方图的最大熵法确定灰度阈值。为了说明该方法的性能, 将其用于一种海底小目标图像分割。同时, 也使用一维属性直方图的最大熵分割法。结果表明该方法比一维属性直方图的最大熵法抗干扰性更强, 分割效果更好。二维属性直方图的概念具有理论意义与应用价值。该方法适用于图像有某种先验知识的场合。

**关键词:** 图像处理; 图像分割; 属性直方图; 熵; 阈值

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A

## Image Segmentation Using the Maximum Entropy of the Two-Dimensional Bound Histogram

Guo Haitao<sup>1,2</sup> Tian Tan<sup>3</sup> Wang Lianyu<sup>2</sup> Zhang Chuntian<sup>1</sup>

1 School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072  
2 National Ocean Technology Center, Tianjin 300111  
3 College of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001

**Abstract:** The concept of the two-dimensional bound histogram (TDBH) is proposed. It is the two-dimensional histogram bound by some prior knowledge, and it can make some image processing methods simple and feasible. Furthermore, an image segmentation method based on the TDBH is presented. In the method, the bound set of an image and its corresponding TDBH are constructed, and the gray-level threshold for segmentation is determined according to the maximum entropy of the TDBH. To show the validity of the method, it is used in segmenting of the image of a small underwater target. The image segmentation method based on the maximum entropy of the one-dimensional bound histogram (ODBH) is also used. The results show that the former, the proposed method, has better antinoise performances and segmental effects than the latter. The concept of the TDBH is significant in theory and engineering. The proposed method is applicable to the image where there is some prior knowledge.

**Key words:** image processing; image segmentation; bound histogram; entropy; threshold

## 1 引 言

图像分割是图像处理中的主要问题, 也是机器视觉领域低层视觉中的主要问题, 同时它又是一个经典难题。熵是平均信息量的表征, 20 世纪 80 年代初人们开始用信息论中熵的概念选取分割阈值。1980 年 Pun<sup>[1]</sup> 提出最大后验熵上限法; Johannsen 和 Bile<sup>[2]</sup> 1982 年提出的最小信息互相关法也采用

了图像灰度级的熵; 1985 年 Kapur 等<sup>[3]</sup> 提出了最大熵阈值选取法; 1989 年 Abutaleb<sup>[4]</sup> 将 Kapur 等提出的一维最大熵法推广至二维情形, 即利用像素的灰度值及其邻域平均灰度值构成的二维直方图确定熵; 1989 年 Pal 等<sup>[5]</sup> 引入图像的  $q$  阶局部熵与条件熵的概念, 提出了最大二阶局部熵与最大条件熵阈值选取方法; 1989 年 Wong 等<sup>[6]</sup> 介绍了一种考虑均

\* 中国博士后科学基金(2005037531)资助课题。

作者简介: 郭海涛(1965~), 男, 黑龙江安达市人, 博士, 现为天津大学博士后, 主要从事图像处理与模式识别、智能信息处理、实时信号处理等方面的研究。E-mail: ghtao2005@sina.com

收稿日期: 2005-03-29; 收到修改稿日期: 2005-07-18

匀性与形状的最大熵阈值选取方法。这些熵方法中, Kapur 提出的一维最大熵法和被 Abutaleb 推广的二维最大熵法最为简单有效, 应用最广。二维最大熵法应用二维直方图, 它同时考虑了像素灰度分布信息和其邻域空间相关信息, 因此与一维最大熵法相比二维最大熵法有较强的抗干扰能力。但如果图像的二维直方图不是理想的双峰形状, 则传统的二维最大熵法分割效果不理想。

直方图是图像处理中最重要的基本概念之一。属性直方图是一种受约束的直方图, 它是直方图概念的推广, 具有简化问题的功能和使用灵活的特点。本文将文献[7,8]中一维属性直方图概念推广到二维情形, 提出了一种利用二维属性直方图的最大熵自动阈值分割方法。阐述了该分割方法的原理, 通过实验说明了该方法的实现过程, 并给出了实验结果。

## 2 二维属性直方图

将灰度级为  $L$ 、大小为  $M \times N$  的图像的所有像素视为论域  $U = \{(x, y) | 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1\}$ ,  $(x, y)$  表示像素。设  $Q$  为论域  $U$  上的某种属性集,  $(x, y) \in Q$  表示像素  $(x, y)$  具有某种属性。对于图像  $U$ ,  $Q$  上的二维属性直方图定义为由  $p_Q(i, j) - i, j$  [或  $n_Q(i, j) - i, j$ ] 形成的离散图线,  $p_Q(i, j)$  表示为

$$p_Q(i, j) = n_Q(i, j) / N_Q, \quad (1)$$

其中  $n_Q(i, j)$  表示图像  $U$  中具有属性  $Q$  且灰度值和邻域平均灰度值分别为  $i$  和  $j$  的像素数目,  $N_Q$  表示图像  $U$  中具有属性  $Q$  的像素总数, 一般  $N_Q \leq M \times N$ 。由(1)式有

$$\sum_{L_1 \leq i \leq L_2} \sum_{L_3 \leq j \leq L_4} p_Q(i, j) = 1, \quad (2)$$

式中  $L_1, L_2$  分别为属性集  $Q$  中像素的最小灰度值和最大灰度值,  $L_3, L_4$  分别为属性集  $Q$  所限定范围内邻域平均灰度值的最小值和最大值。通常,  $0 \leq L_1, L_2, L_3, L_4 \leq L-1$ 。

二维属性直方图仅仅考虑了图像中具有某种属性的像素, 从某种意义上说它是一种残缺的直方图; 但正是因为这种残缺性, 使二维属性直方图能够舍弃通常意义的二维直方图中一些具有一定先验知识

的干扰成分或具体问题不关心的成分, 而简化二维直方图, 从而使基于二维直方图的图像处理方法得到简化和变得可行。对于同一幅图像,  $Q$  不同, 相应的二维属性直方图也不同, 因此同一幅图像可以对应多个二维属性直方图, 这一点与通常意义的二维直方图不同; 但正是由于这种不同, 使用时可以通过改变  $Q$  而得到同一幅图像的不同  $Q$  的二维属性直方图, 使其使用较通常意义的二维直方图更为灵活; 如果  $Q = \Omega$  ( $\Omega$  为论域  $U$  上的全集), 二维属性直方图变为通常意义的二维直方图, 可见通常意义的二维直方图仅仅是二维属性直方图的一种特例。利用二维属性直方图解决问题的关键是如何确定二维属性直方图, 其关键是根据具体问题和先验知识构造属性集  $Q$ 。  $Q$  的一般构造式为

$$Q = \{(x, y) | \Phi[(x, y)]\}, \quad (3)$$

这里  $\Phi[(x, y)]$  表示像素  $(x, y)$  具有某种先验知识  $\Phi$ , 也可以说具有某种约束  $\Phi$ 。

属性直方图不同于图像分块分割 (Chow 和 Kaneko 提出的) 等方法中使用的子区域直方图, 因为子区域直方图考虑的是子区域所有的像素。构造属性集的思想和方法也不同于图像滤波, 图像滤波要对图像本身施加某种运算, 改变了图像, 它或多或少要改变甚至破坏目标的边缘; 而构造属性集并未对图像本身施加任何运算, 没改变图像, 当然也就没有改变目标边缘。属性集不对应于任何图像上运算, 构造属性集的目的是为了建立简化的直方图——二维属性直方图。

## 3 二维属性直方图的最大熵阈值化方法

二维属性直方图的最大熵阈值化方法与通常意义的二维最大熵阈值化方法<sup>[4]</sup>原理相同, 简述如下。

假设在二维属性直方图上以  $(s, t)$  为阈值将图像分割为目标  $A$  与背景  $B$  (假设目标处的灰度值较低), 那么两类出现的概率分别为

$$\omega_A(s, t) = \sum_{L_1 \leq i \leq s} \sum_{L_3 \leq j \leq t} p_Q(i, j), \quad (4)$$

$$\omega_B(s, t) = \sum_{s \leq i \leq L_2} \sum_{t \leq j \leq L_4} p_Q(i, j), \quad (5)$$

两类的熵分别为

$$H(A) = - \sum_{L_1 \leq i \leq s} \sum_{L_3 \leq j \leq t} \frac{p_Q(i, j)}{\omega_A(s, t)} \lg \left[ \frac{p_Q(i, j)}{\omega_A(s, t)} \right] = \lg \omega_A(s, t) + \frac{H_A}{\omega_A(s, t)}, \quad (6)$$

$$H(B) = - \sum_{s \leq i \leq L_2} \sum_{t \leq j \leq L_4} \frac{p_Q(i, j)}{\omega_B(s, t)} \lg \left[ \frac{p_Q(i, j)}{\omega_B(s, t)} \right] = \lg \omega_B(s, t) + \frac{H_B}{\omega_B(s, t)}, \quad (7)$$

式中

$$H_A = - \sum_{L_1 \leq i \leq L_2} \sum_{L_3 \leq j \leq L_4} p_Q(i, j) \lg p_Q(i, j),$$

$$H_B = - \sum_{s \leq i \leq L_2} \sum_{t \leq j \leq L_4} p_Q(i, j) \lg p_Q(i, j).$$

两类的总熵为

$$\Delta(s, t) = H(A) + H(B), \quad (8)$$

$\Delta(s, t)$  的最大值对应的  $(s, t)$  值即为最佳二值化阈值, 记作  $(S, T)$ 。

## 4 实验结果

### 4.1 海底小目标声呐图像简介

声呐系统以一定的俯仰角和扇面向海底探测区域发射超声波, 接收采集回波。先采集的数据对应于离接收基阵较近的海底区域, 后采集的数据对应于较远的海底区域。每次采集同一距离某一扇面的若干个波束的数据作为一行的数据, 不同的列对应不同的方位。图 1 是一幅方位-距离二维图像。图 1 中较大的亮区对应于回波较强的区域, 是小目标或海底石头的回波形成的, 称为回波亮区; 回波亮区后面与之相邻的暗区是小目标或海底石头的声学阴影形成的, 称为阴影暗区。这是声呐员真正感兴趣的(目标)部分, 因为它的形状在一定程度上反映了目标的形状。图 1 其余大部分由更小的亮区和暗区混杂一起组成, 平均灰度介于回波亮区与阴影暗区之间, 是海底混响形成的, 称为海底混响区。阴影暗区的清晰度与混响噪声比(RNR)有关, 图 1 所示图像的混响噪声比为 6 dB。声呐图像衬比度差, 分辨力低, 干扰强, 阴影暗区像素少, 边缘恶化。

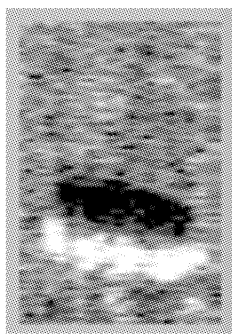


图 1 原始图像

Fig. 1 Original image

### 4.2 实验过程与结果分析

图像分割的实现步骤与结果如下。

1) 对图 1 所示图像, 利用保边性能较好的中值滤波(选  $3 \times 3$  矩形窗口)去除尖脉冲噪声, 中值滤波后的图像及其二维直方图分别如图 2 和图 3 所示。

图 3 中  $i, j$  分别表示灰度值和邻域平均灰度值,  $n_Q(i, j)$  意义同前。由图 3 知, 要准确地选择二值化阈值  $(S, T)$  是困难的, 作者由图 3 利用单阈值的二维最大熵方法求二值化阈值, 与实际情况不符合; 其原因是声呐图像中干扰过多致使二维直方图中存在过多的干扰成分, 不是理想的双峰形状。

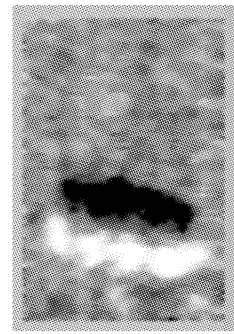


图 2 中值滤波后的图像

Fig. 2 Image after median filtering

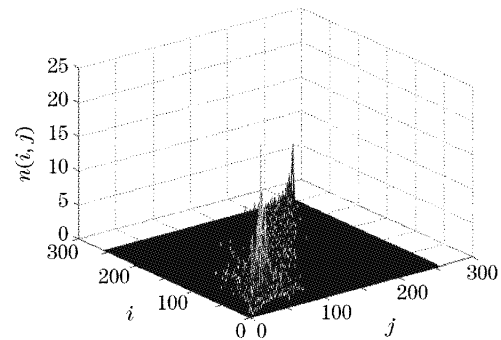


图 3 二维直方图

Fig. 3 Two-dimensional histogram

2) 声呐图像分割就是要把阴影暗区分离出来。对于大小为  $M \times N$  的声呐图像  $U$ , 考虑其灰度方面的特点和分割的目的, 构造属性集  $Q$

$$Q = \{(x, y) \mid : g(x, t) \leq \bar{g} \text{ 且 } \overline{g(x, y)} \leq \bar{g}, \\ 0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1\}, \quad (9)$$

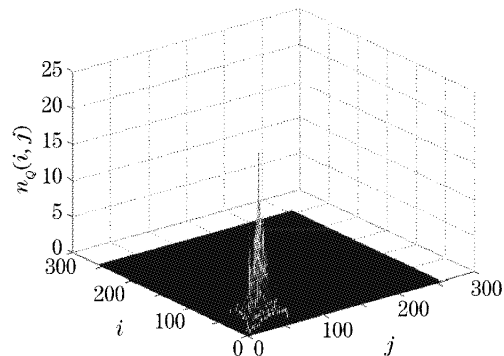


图 4 二维属性直方图

Fig. 4 Two-dimensional bound histogram

式中  $g(x, y)$  表示像素  $(x, y)$  的灰度值,  $\bar{g}$  表示声呐图像  $U$  的像素灰度均值,  $\overline{g(x, y)}$  表示像素  $(x, y)$  的邻域灰度平均值。可以认为按 (9) 式构造的  $Q$  是由阴影暗区和部分或全部海底混响区 (也有可能包括小部分目标亮区) 构成的集合。确定  $Q$  上的二维属性直方图, 如图 4 所示。比较图 3、图 4, 可见图 4 中的干扰较少。

3) 由图 4 可求得  $p_Q(i, j)$ , 利用 (8) 式可求得各  $\Delta(s, t)$  值,  $\Delta(s, t)$  的最大值对应的  $(s, t) = (41, 45)$ ,

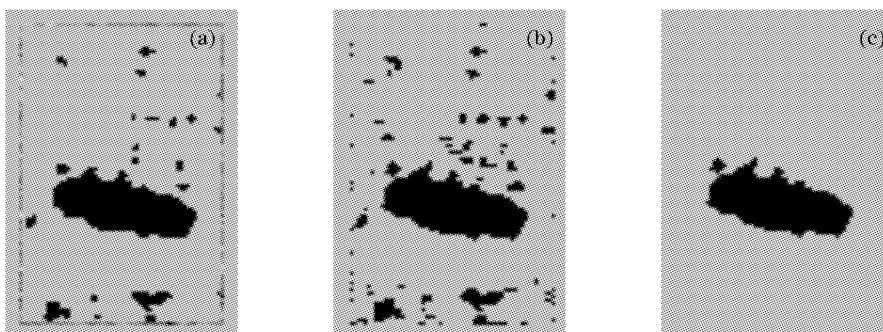


图 5 图像分割结果。(a) 使用二维属性直方图, (b) 使用一维属性直方图, (c) 去除孤立区

Fig. 5 Results of image segmentation. (a) Using the two-dimensional bound histogram, (b) using the one-dimensional bound histogram, (c) deleting the isolating regions

## 5 结 论

提出了二维属性直方图的概念, 它是对一维属性直方图概念的推广, 具有理论意义与应用价值。二维属性直方图具有简化问题的功能和使用灵活的特点, 它适用于具有某种先验知识的场合; 当无任何先验知识时, 二维属性直方图则退变为通常意义的二维直方图。

将二维属性直方图用于图像分割, 以声呐图像分割为例说明了分割过程, 并给出了分割结果。由于二维属性直方图较通常意义的二维直方图的干扰成分少, 复杂程度低, 使分割问题变得易于解决。本文方法不但避免了传统的单阈值二维最大熵方法图像分割时的错误, 而且速度较其更快。由于二维属性直方图既利用了像素的灰度信息又利用了像素的邻域空间信息, 利用它进行图像分割的效果比一维属性直方图的最大熵方法更好, 抗干扰性更强。

本文方法在图像有某种先验知识的场合具有通用性。对于不同问题, 只需根据具体问题的先验知识和不同的分割目的确定约束  $\Phi[(x, y)]$  的具体形式。

## 参 考 文 献

1 T. Pun. A new method for grey-level picture thresholding using

即分割阈值  $(S, T) = (41, 45)$ , 利用此阈值二值化图像, 见图 5(a)。作为比较同时给出利用一维属性直方图的最大熵方法二值化的结果, 见图 5(b)。可以看出图 5(a) 中的孤立区较图 5(b) 中的少, 即本文方法有更强的抗干扰性。

4) 图 5(a) 所示图像中含有一些孤立区, 由于每个孤立区面积较阴影暗区面积小得多, 用区域标记法除去, 得图像如图 5(c) 所示。

the entropy of the histogram[J]. *Signal Processing*, 1980, 2(3): 223~237

2 G. Johannsen, J. Bille. A threshold selection method using information measures[C]. *Proceedings of the 6th International Conference on Pattern Recognition*, Munich, Germany, 1982, 1: 140~142

3 J. N. Kapur, P. K. Sahoo, A. K. C. Wong. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1985, 29(3): 273~285

4 A. S. Abutaleb. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy[J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1989, 47(1): 22~32

5 N. R. Pal, S. K. Pal. Entropic thresholding [J]. *Signal Processing*, 1989, 16(2): 97~108

6 A. K. C. Wong, P. K. Sahoo. A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1989, 19(4): 866~871

7 Guo Haitao, Sun Dajun, Tian Tan. Bound histogram and its application in the sonar image enhancement with fuzzy sets[J]. *J. Electronics and Information Technology*, 2002, 24(9): 1287~1290 (in Chinese)

郭海涛, 孙大军, 田 坦. 属性直方图及其在声呐图像模糊增强中的应用[J]. *电子与信息学报*, 2002, 24(9): 1287~1290

8 Lu Fengchun, Zhang Dianlun, Guo Haitao. Image segmentation method based on the bound histogram and its application to sonar image segmentation [J]. *J. Harbin Engineering University*, 2002, 23(3): 1~3 (in Chinese)

卢逢春, 张殿伦, 郭海涛. 基于属性直方图的图像分割方法及其在声呐图像分割中的应用[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2002, 23(3): 1~3