

## 二维斜分指数交叉熵的印章图像阈值分割<sup>\*</sup>

万水龙<sup>1,2</sup>, 刘进<sup>1</sup>, 余彪<sup>3</sup>

(1. 中国人民解放军 91960 部队, 广东 汕头 515074;

2. 南京航空航天大学, 江苏 南京 210016;

3. 中国人民解放军 92493 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

**摘要:** 提出了一种二维斜分指数交叉熵的印章图像阈值分割方法, 借鉴二维直方图的斜分思想对二维指数交叉熵直方图进行斜分。实验结果表明, 相对于最大熵法和指数熵法, 提出的二维斜分指数交叉熵的印章图像阈值分割方法分割效果更佳。

**关键词:** 印章图像; 阈值分割; 指数交叉熵; 斜分

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)24-0046-03

### Exponential cross entropy thresholding for seal image based on 2-dimensional oblique segmentation

Wan Shuilong<sup>1,2</sup>, Liu Jin<sup>1</sup>, Yu Biao<sup>3</sup>

(1. No. 91960 Force of PLA, Shantou 515074, China;

2. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

3. No. 92493 Force of PLA, Huludao 125000, China)

**Abstract:** The exponential cross entropy thresholding method based on 2-dimensional histogram oblique segmentation is proposed by using 2-dimensional histogram vertical idea. A large number of experimental results show that in contrast with the maximum entropy method and the exponential entropy method, the exponential cross entropy thresholding for seal image based on 2-dimensional histogram oblique segmentation can achieve superior segmented results and greatly reduce the running time.

**Key words:** seal image; image segmentation; exponential cross entropy; oblique segmentation

图像分割是图像预处理的过程, 阈值法<sup>[1]</sup>是图像分割中的经典算法。KAPUR J N 等<sup>[2]</sup>首先提出了 Shannon 熵阈值分割法, 随后被推广到二维, 增强了其抗噪性。LEE C K 等<sup>[3]</sup>根据两个概率分布的差异性程度, 提出了最小交叉熵阈值算法, Fan Jiulun<sup>[4]</sup>用泊松分布进行了解释, 进一步奠定了其理论基础。为了对含噪图像也取得良好的分割效果, 参考文献[5]提出了二维直分交叉熵阈值分割法。尽管用对数定义的 Shannon 熵法对图像进行阈值分割非常有效, 但是存在定义无效和零值的问题。为此, PAL S K<sup>[6]</sup>定义了指数熵, 并提出最大指数熵阈值分割方法, 有效克服了对数信息熵存在的不足。但是上述的阈值选取均只考虑了二维直方图中沿对角线的两个区域, 由此得到的分割结果不够精确。

基于此, 本文借鉴二维直方图的斜分思想对二维指

数交叉熵直方图进行斜分, 提出了一种二维斜分指数交叉熵的印章图像阈值分割方法。针对大量印章图像进行了实验, 给出了图像分割结果和运行时间, 并与最大熵法和指数熵法进行了比较。结果表明, 本文方法不仅分割结果精确, 且运行时间也相应缩短。

#### 1 二维直分的指数交叉熵阈值选取

对含噪图像用一维阈值分割方法的分割效果普遍较差, 因此人们提出在二维灰度直方图的基础上进行阈值选取。一幅大小为  $M \times N$  的图像, 横坐标是坐标为  $(x, y)$  的像素点的灰度值  $f(x, y)$ , 纵坐标是坐标为  $(x, y)$  的像素点  $K \times K$  邻域的平均灰度值  $g(x, y)$ 。  $f(x, y)$  和  $g(x, y)$  组成二元组  $(i, j)$ , 二维直方图定义在  $(L-1) \times (L-1)$  大小的正方形区域, 其中任意一点的值定义为  $p(i, j)$ , 表示二元组  $(i, j)$  出现的频率, 即  $p(i, j) = \frac{h(i, j)}{M \times N}$ 。其中,  $h(i, j)$  是  $(i, j)$  发生的

\* 基金项目: 文件检验鉴定公安部重点实验室开放课题(10KFKT005)

图形、图像与多媒体

频数,  $0 \leq i, j \leq L-1$ , 且  $\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j) = 1$ 。

二维直方图区域直分如图 1 所示。利用任意阈值向量  $(s,t)$  对图像的二维直方图进行分割, 可将图像分成目标和背景两类区域, 分别记为  $C_o$  和  $C_b$ , 对应图中的区域 1 和区域 2, 而区域 3 和区域 4 表示噪声点和边界点。一般认为在区域 3 和区域 4 上所有  $p(i,j) \approx 0$ 。

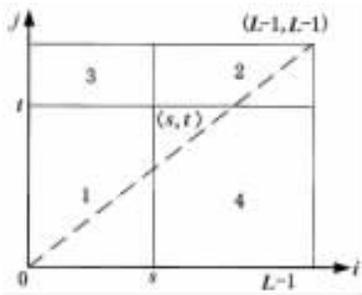


图 1 二维直方图区域直分

图 1 中  $C_o$  和  $C_b$  的先验概率分别为  $w_o(s,t) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p(i,j)$

$p(i,j), w_b(s,t) = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} p(i,j)$ 。对应的灰度均值为:

$$u_{oi}(s,t) = \frac{\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t ip(i,j)}{w_o(s,t)} \quad (1)$$

$$u_{oj}(s,t) = \frac{\sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t jp(i,j)}{w_o(s,t)}$$

$$u_{bi}(s,t) = \frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} ip(i,j)}{w_b(s,t)} \quad (2)$$

$$u_{bj}(s,t) = \frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} jp(i,j)}{w_b(s,t)}$$

可得二维指数交叉熵的公式为:

$$D_2(K:P) = 1 - \sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=1}^{L-1} k_{ij} e^{\frac{1-k_{ij}}{p_i}}$$

$$= 1 - \frac{1}{F} \left\{ \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t h(i,j) \left[ ie^{-\frac{i}{u_{oi}(s,t)}} + je^{-\frac{j}{u_{oj}(s,t)}} \right] + \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} h(i,j) \left[ ie^{-\frac{i}{u_{bi}(s,t)}} + je^{-\frac{j}{u_{bj}(s,t)}} \right] \right\} \quad (3)$$

并令:

$$\partial(s,t) = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t h(i,j) \left[ ie^{-\frac{i}{u_{oi}(s,t)}} + je^{-\frac{j}{u_{oj}(s,t)}} \right] + \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} h(i,j) \left[ ie^{-\frac{i}{u_{bi}(s,t)}} + je^{-\frac{j}{u_{bj}(s,t)}} \right] \quad (4)$$

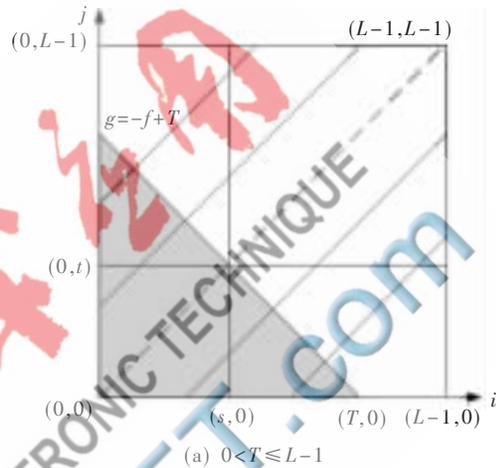
$\partial(s,t)$  取最大, 也就是  $D_2(K:P)$  取得最小值, 即图像分割效果最好。因此, 通过式(5)可求得二维指数交叉熵阈值法的最佳阈值向量  $(s^*, t^*)$ 。

$$(s^*, t^*) = \text{Arg max}_{0 \leq s, t < L-1} \{ \partial(s,t) \} \quad (5)$$

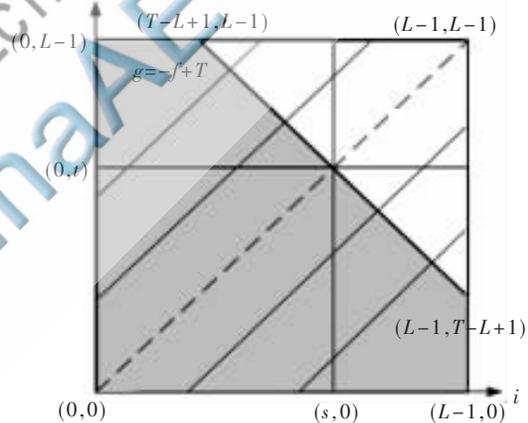
尽管二维直分指数交叉熵法对图像的分割效果不错, 但是由于其忽略了边界区和噪声区中部分靠近阈值向量的区域, 因此还存在一定的误差。为了对图像进行更加精确的分割, 下面讨论二维斜分指数交叉熵的阈值选取方法。

2 二维斜分的指数交叉熵阈值选取

二维直方图区域斜分如图 2 所示。用斜线  $g = -f + T$  (为阈值) 将二维直方图划分为目标区域  $C_o$  和背景区域  $C_b$ 。



(a)  $0 < T \leq L-1$



(b)  $L-1 < T \leq 2L-2$

图 2 二维直方图区域斜分

(1) 当  $0 < T \leq L-1$  时, 斜线  $g = -f + T$  左下三角对应目标, 分别计算目标的  $w_o(T)$ 、 $u_{oi}(T)$  和  $u_{oj}(T)$  为:

$$w_o(T) = \sum_{i=0}^T \sum_{j=0}^{T-i} p(i,j) \quad (6)$$

$$u_{oi}(T) = \frac{\sum_{i=0}^T \sum_{j=0}^{T-i} ip(i,j)}{w_o(T)} \quad (7)$$

$$u_{oj}(T) = \frac{\sum_{i=0}^T \sum_{j=0}^{T-i} jp(i,j)}{w_o(T)}$$

(2) 当  $L-1 < T \leq 2L-2$  时, 斜线  $g = -f + T$  右上三角对应背景, 先求出背景的  $w_b(T)$ 、 $u_{bi}(T)$  和  $u_{bj}(T)$ , 然后可相应地

求出目标的  $w_o(T)$ 、 $u_{ix}(T)$  和  $u_{ij}(T)$ 。即：

$$w_b(T) = \sum_{i=T-L+1}^{L-1} \sum_{j=T-i}^{L-1} p(i,j) \quad (8)$$

$$w_o(T) = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j) - w_b(T) = 1 - w_b(T)$$

$$u_{ix}(T) = \frac{\sum_{i=T-L+1}^{L-1} \sum_{j=T-L+1}^{L-1} ip(i,j)}{w_b(T)} \quad (9)$$

$$u_{ix}(T) = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ip(i,j)}{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j) - u_{ix}(T)} = u_{ix}(T) - u_{ix}(T)$$

$$u_{ij}(T) = \frac{\sum_{i=T-L+1}^{L-1} \sum_{j=T-L+1}^{L-1} jp(i,j)}{w_b(T)} \quad (10)$$

$$u_{ij}(T) = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} jp(i,j)}{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j) - u_{ij}(T)} = u_{ij}(T) - u_{ij}(T)$$

其中,  $u_{ix}(T) = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} ip(i,j)}{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j)}$ ,  $u_{ij}(T) = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} jp(i,j)}{\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j)}$ 。

则二维指数交叉熵阈值选取准则函数为：

$$\partial(T) = \sum_{i=0}^T \sum_{j=0}^{T-i} h(i,j) \left[ ie^{1-\frac{i}{u_{ix}(T)}} + je^{1-\frac{j}{u_{ij}(T)}} \right] +$$

$$\sum_{i=T-L+1}^{L-1} \sum_{j=T-i}^{L-1} h(i,j) \left[ ie^{1-\frac{i}{u_{ix}(T)}} + je^{1-\frac{j}{u_{ij}(T)}} \right] \quad (11)$$

当  $\partial(T)$  取得最大值时便获得最佳阈值, 即:

$$T^* = \text{Arg max}_{0 \leq T < 2L-2} \{\partial(T)\} \quad (12)$$

### 3 实验结果及分析

为了验证本文方法在分割效果上的优越性, 针对大量不同类型的印章图像做了阈值分割的实验, 并与直分法、最大熵斜分法和指数熵斜分法进行了比较, 发现本文方法优势较明显。现以其中的 4 幅印章图像为例加以说明, 如图 3 所示, 对应选取的最佳阈值及运行时间如表 1 所示。实验是在 Intel(R)Core(TM) i3 2.4 GHz CPU、1.92 GB 内存的计算上和 MATLAB 2009a 环境中运行的。

由图 3 可以看出, 本文方法的分割图像要明显优于直分法的分割图像、最大熵斜分法的分割图像和指数熵斜分法的分割图像, 能更好地反映图像的细节及边缘信息。这是因为指数交叉熵相对于指数熵来说, 对每个概率分布所包含的信息作了进一步的对比, 能更好地区分目标和背景。而最大 Shannon 熵法的阈值选取仅依靠图像直方图的概率信息, 未涉及类内灰度级的均匀性, 因此会遗漏部分有用信息, 导致分割效果不佳。

从表 1 可以看出, 由于本文直分法采用了混沌自适应粒子群算法优化, 因此其运行时间明显小于二维直分指数熵法。而指数交叉熵是在指数熵的意义下对每个概率分布所包含的信息作了进一步对比, 因此其斜分的运行速度相对较慢, 但本文斜分的分割图像效果具有明显的优势。



(a) 原始图像 (b) 直分法 (c) 最大熵斜分法 (d) 指数熵斜分法 (e) 本文斜分法

图 3 4 种方法的分割效果(从上到下分别为印章图像 1、印章图像 2、印章图像 3、印章图像 4)

表 1 4 种分割算法比较

图像及 分割结果	指数熵斜分		最大熵斜分		指数交叉熵			
	阈值	时间/s	阈值	时间/s	直分		斜分	
					阈值	时间/s	阈值	时间/s
印章图像 1	373	0.24	364	0.21	(143,180)	0.03	389	0.45
印章图像 2	428	0.22	444	0.18	(193,199)	0.07	475	0.52
印章图像 3	324	1.17	314	1.03	(136,142)	1.16	415	1.37
印章图像 4	408	0.37	446	0.23	(167,187)	0.09	458	0.76

本文借鉴二维直方图的斜分思想对二维指数交叉熵直方图进行斜分。针对实际印章图像进行的实验结果表明,与直分法、最大熵斜分法和指数熵斜分法相比,本文提出的二维斜分指数交叉熵的印章图像阈值分割算法的分割效果更佳。

#### 参考文献

- [1] BARDERA A, BOADA I, FEIXAS M, et al. Image segmentation using excess entropy[J]. Journal of Signal Processing Systems, 2009,54(3):273-285.
- [2] KAPUR J N, SAHOO P K, WONG A K C. A new method for grey-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1985,29(3):273-285.

[3] LI C H, LEE C K. Minimum cross entropy thresholding[J]. Pattern Recognition, 1993,26(4):617-625.

[4] Fan Jiulun. Notes on poisson distribution-based minimum error thresholding[J]. Pattern Recognition Letters, 1998,19:425-431.

[5] 雷博, 范九伦. 灰度图像的维交叉熵阈值分割法[J]. 光子学报, 2009,38(6):1572-1576.

[6] PAL S K, PAL N R. Entropic thresholding[J]. Signal Processing, 1989,16(2):97-108.

(收稿日期:2013-10-18)

#### 作者简介:

万水龙,男,1986年生,硕士,主要研究方向:图像处理与模式识别。

刘进,男,1986年生,本科,主要研究方向:图像处理与通信。

余彪,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:网络信息安全。