

最大熵阈值处理算法^{*}

周德龙, 潘泉, 张洪才, 戴冠中

(西北工业大学 自动控制系, 陕西 西安 710072)

E-mail: dlzhou@263.net

http://www.nwpu.edu.cn

摘要: 阈值法是图像分割的一种重要方法, 在图像处理与识别中广为应用. 提出了一种基于灰度-梯度共生矩阵模型和最大熵原理的自动阈值化方法. 该方法不仅利用了图像的灰度信息, 而且也利用了梯度信息, 通过计算基于灰度-梯度共生矩阵的二维熵, 并使边缘区域的熵最大来选择阈值向量. 仿真结果显示, 该算法比其他二维熵方法效果更佳.

关键词: 阈值; 熵; 灰度-梯度共生矩阵; 图像分割

中图法分类号: TP391 **文献标识码:** A

图像的阈值化是一个基本的像素分割问题. 其目的是把一幅给定的图像分割成两类: 属于目标的像素和属于背景的像素. 阈值化是图像分割中一个最常用的工具. 多年来, 已有各种各样的阈值选择方法提出来^[1,2]. T. Pun^[3,4]在分割过程中第一次引进了熵的概念. 从那时起, 许多研究人员就在这方面进行了相应的工作, 并提出了多种基于熵的方法^[5~7].

在本文中, 我们提出了一种基于灰度-梯度共生矩阵模型和最大熵原理的自动阈值选择方法. 该方法同时利用了图像的灰度和梯度信息, 因而分割效果良好.

1 本文算法描述

1.1 灰度、梯度归一化

本文中灰度中各像点的梯度值计算采用拉普拉斯算子:

$$g(m, n) = 4f(m, n) - f(m+1, n) - f(m-1, n) - f(m, n+1) - f(m, n-1). \quad (1)$$

对梯度进行归一化处理:

$$G(m, n) = INT(g(m, n) \times L' / g_{\max}) + 1. \quad (2)$$

其中 INT 表示取整运算, g_{\max} 为最大梯度值, L' 是归一的最大梯度值. 本文取 $L' = 64$.

由于灰度图像的灰度值均为 $0 \sim 255$ 之间的整数, 因此不必再进行归一化处理.

1.2 计算灰度-梯度共生矩阵

根据文献[8], 灰度-梯度共生矩阵的元素 c_{ij} 定义为在归一的灰度 $F(m, n)$ 和归一后的梯度 $G(m, n)$ 中, 统计同时使 $F(m, n) = i$ 和 $G(m, n) = j$ 的像点对数.

* 收稿日期: 2000-06-26; 修改日期: 2001-04-18

基金项目: 教育部“跨世纪优秀人才培养计划项目”资助项目; 陕西省自然科学基金资助项目([2000]1)

作者简介: 周德龙(1963-), 男, 浙江义乌人, 博士, 主要研究领域为图像处理, 模式识别; 潘泉(1961-), 男, 重庆人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为动态系统建模, 估计与控制, 信息融合, C³I 技术、智能技术, 小波及信号处理; 张洪才(1938-), 男, 江苏江阴人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为非线性控制, 估计理论, 目标跟踪, 信息融合; 戴冠中(1937-), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为现代控制理论, 计算机控制技术, 非线性控制, 估计理论.

该模型集中反映了图像中两种最基本的要素,即像点灰度和梯度(或边缘)的相互关系.灰度-梯度空间很清楚地描绘了图像内各像点灰度与梯度的分布规律,同时也给出了各像点与其邻域像点之间的空间关系.

在灰度值为 i , 梯度值为 j 处的共生矩阵的概率为

$$p_{ij} = c_{ij} / \left(\sum_i \sum_j c_{ij} \right). \quad (3)$$

1.3 图像的条件熵

一幅图像的共生矩阵是一个 $L \times L'$ 维的矩阵 $C = [c_{ij}]_{L \times L'}$. 如图 1 所示为共生矩阵的 4 个象限.

假设阈值在 (s, t) 处, 且物体的灰度值较低而背景的灰度值较高, 则共生矩阵被分为 4 个象限, 即 A, B, C, D . 显然, 由于物体和背景内部的灰度级比较均匀, 其梯度值是零或较低, 而梯度值越大则越有可能是边缘. 因此, 象限 A 表示物体, 象限 D 表示背景. 设 c_{ij} 为象限 B 中的一个元素, 那么 c_{ij} 表示 i 属于物体和 j 属于边缘的转移数目. 象限 C 中的 c_{ij} 表示 i 属于背景和 j 属于边缘的转移数目.

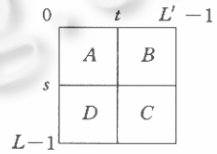


Fig. 1 Quadrants of co-occurrence matrix

图1 共生矩阵的象限

计算 B 和 C 象限中的总概率:

$$P_B = \sum_{i=0}^s \sum_{j=t+1}^{L'-1} p_{ij}, \quad P_C = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L'-1} p_{ij}. \quad (4)$$

再在 B 和 C 象限中对概率进行归一化处理:

$$\hat{p}_{ij}^B = \frac{p_{ij}}{P_B} = c_{ij} / \sum_{i=0}^s \sum_{j=t+1}^{L'-1} c_{ij}, \quad \hat{p}_{ij}^C = \frac{p_{ij}}{P_C} = c_{ij} / \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L'-1} c_{ij}. \quad (5)$$

定义图像的条件熵为

$$H_{(c)}^T(s, t) = (H(E/O) + H(E/B)) / 2 = -\frac{1}{2} \left(\sum_{i=0}^s \sum_{j=t+1}^{L'-1} \hat{p}_{ij}^B \log_2 \hat{p}_{ij}^B + \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L'-1} \hat{p}_{ij}^C \log_2 \hat{p}_{ij}^C \right). \quad (6)$$

最佳阈值向量 (s^*, t^*) 可由下式得到:

$$(s^*, t^*) = \text{Arg} \left\{ \max_{0 \leq s \leq L-1, 0 \leq t \leq L'-1} H_{(c)}^T(s, t) \right\}. \quad (7)$$

2 仿真结果及分析

试验用的是 Lena 图, 其大小为 256×256 , 有 256 个灰度级. 我们分别用本文提出的方法、一维熵的 Kapur 方法和二维熵的 Abutaleb 方法进行了仿真实验, 以作比较. 仿真结果如图 2 所示, 图中 t 表示阈值.

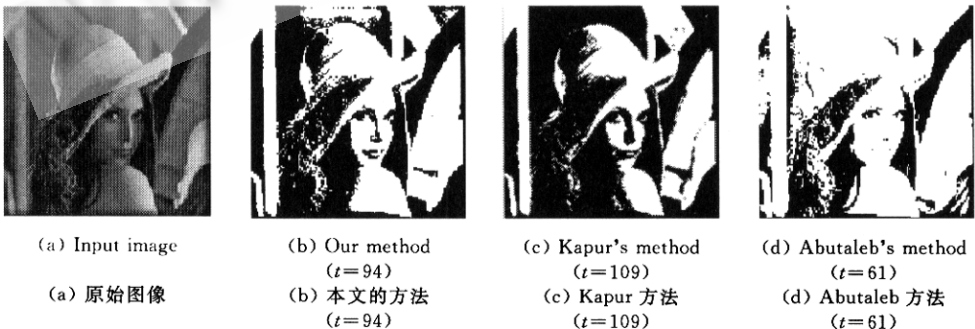


Fig. 2 Experimental results

图 2 实验结果

从仿真结果可见,由于本文提出的算法既利用了图像的灰度信息,又利用了图像的梯度信息,因此,分割效果优于 Kapur 方法等一维熵方法.另外,其二值化的图像也比 Abutaleb 方法等二维熵方法的效果要好,所分割的图像能保留更多的边缘信息.

阈值分割、选取技术不仅是解决图像增强、边缘检测问题的一个常用方法,而且在模式识别与景物分析中也有重要的使用价值,是大多数图像分析及视觉系统的重要组成部分.然而,尽管已经有很多各种各样的阈值选择方法提出来了,但没有一种算法对各种图像都能取得令人满意的分割效果.本文提出的算法是对现有算法的一种重要补充.

References:

- [1] Sahoo, P. K., Soltanti, S., Wong, A. K. C., et al. A survey of the thresholding techniques. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1988,41(2):233~260.
- [2] Pal, N. R., Pal, S. K. A review of image segmentation techniques. *Pattern Recognition*, 1993,26(9):1277~1294.
- [3] Pun, T. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Signal Processing*, 1980,2(2):223~237.
- [4] Pun, T. Entropic thresholding: a new approach. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1981,16(2):210~239.
- [5] Kapur, J. N., Sahoo, P. K., Wong, A. K. C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1985,29(3):273~285.
- [6] Abutaleb, A. S. Automatic thresholding of gray level pictures using two-dimensional entropies. *Pattern Recognition*, 1989,47(1):22~32.
- [7] Pal, N. R., Pal, S. K. Entropic thresholding. *Signal Processing*, 1989,16(2):97~108.
- [8] Hong, Ji-guang. Gray level-gradient co-occurrence matrix texture analysis method. *Acta Automatica Sinica*, 1984,10(1):22~25 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [8] 洪继光. 灰度-梯度共生矩阵纹理分析方法. *自动化学报*, 1984,10(1):22~25.

Maximum Entropy Thresholding Algorithm*

ZHOU De-long, PAN Quan, ZHANG Hong-cai, DAI Guan-zhong

(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

E-mail: dlzhou@263.net

http://www.nwpu.edu.cn

Abstract: Thresholding is an important form of image segmentation and is used in image processing and recognition for many applications. In this paper, an automatic approach for thresholding based on gray-level gradient co-occurrence matrix model and the maximum entropy principles is proposed. This method utilizes the information of both gray level and gradient in an image. In this approach, the threshold vector is selected through evaluating two-dimensional entropies based on the gray-level gradient co-occurrence matrix and maximizing the edge region entropies. It is found that the proposed approach performs better than other 2D entropy methods.

Key words: threshold; entropy; gray level-gradient co-occurrence matrix; image segmentation

* Received June 26, 2000; accepted April 18, 2001

Supported by the Foundation of Spanning Century Excellent Professional Person Training Plan; the Science Foundation of Shanxi Province of China under Grant No. [2000]1