

基于最大相关准则的阈值处理算法¹

周德龙 朱立明* 潘泉 张洪才 戴冠中

(西北工业大学自动控制系统 西安 710072)

*(西安软件园发展中心 西安 710072)

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。本文提出了一种基于最大相关准则的自动选择阈值方法。该方法通过使图像中目标和背景分布的相关量最大来选择阈值。仿真分析显示该算法计算量与熵方法比较大大减少,分割效果则比 Yen 等人提出的算法更佳。

关键词 阈值,熵,相关,图像分割

中图分类号 TN911.73

1 引言

图像处理中最常用的一种方法就是阈值化技术,多年来对图像的阈值化技术已经提出了各种各样的阈值选择方法^[1,2]。在图像分割中,T.Pun^[3,4]在灰度级阈值化过程中第一次引进了熵的概念。从那时起,Johannsen和Bille^[5],Kapur,Sahoo和Wong^[6],Abutaleb^[7],以及Nikhil和Sankar^[8]都在这方面进行了相应的工作。由于熵准则函数是二维的,因而需要更多的计算时间。但在另一方面则提高了选择阈值的准确度。Brink^[9]则在Abutaleb算法的基础上通过使用最大最小技术提出了一个改进的算法,但其计算量更加巨大,因为它在一个四维的空间搜索灰度阈值。Nikhil和Sankar的方法从二维熵中计算阈值且速度比Abutaleb方法更快。显然,基于二维熵的方法比一维熵的方法分割效果更佳,但另一方面,得到更精确分割的代价是大大增加了计算量。

由于最大熵方法中涉及许多对数运算,为了减少计算的复杂性,Yen等人^[10]提出了最大相关准则,其基本原理是使图像中目标和背景的相关总量最大来选择阈值。然而,Yen等人提出的算法分割效果并不好,其分割结果中丢失了许多信息,这不利于图像分割后的识别、特征提取、分析等进一步的处理。

在本文中,我们提出一种图像相关法来自动选择阈值的方法,计算量跟熵的方法比较大大减少,分割效果则比Yen等人提出的算法更佳,因而,更具有实用价值。

2 最大相关准则

Yen等人方法的基本思想是根据图像直方图中对应于目标和背景部分的分布重新进行归一化处理,并使图像中分别相对于目标和背景分布的总的相关量为最大来选择阈值。

考虑一幅具有 L 个灰度级大小为 $M \times N$ 的图像 $f(x,y)$,设 $G_L = \{0,1,2,\dots,L-1\}$ 表示灰度级的集合, $f_i, i \in G_L$ 为图像 $f(x,y)$ 中灰度级为 i 的像素出现的次数,则图像 $f(x,y)$ 中灰度级 i 的概率为

$$p_i = \frac{f_i}{M \times N}, \quad i \in G_L \quad (1)$$

由此可以得到一个概率分布 $\{p_i | i \in G_L\}$ 。对于一个任意给定的灰度级 s ,如果 $\sum_{i=0}^{s-1} p_i$ 大于0而小于1,则可以由前面的分布中通过归一化变换得到如下两个概率分布:

¹ 1999-05-21收到,1999-11-25定稿

$$A \equiv \left\{ \frac{p_0}{P(s)}, \frac{p_1}{P(s)}, \dots, \frac{p_{s-1}}{P(s)} \right\}$$

$$B \equiv \left\{ \frac{p_s}{1-P(s)}, \frac{p_{s+1}}{1-P(s)}, \dots, \frac{p_{L-1}}{1-P(s)} \right\}$$

其中 $P(s) = \sum_{i=0}^{s-1} p_i$ 表示灰度级从 0 到 $s-1$ 的总概率。对相关定义如下

$$C_X = -\ln \sum_{i \geq 0} p_i^2 \quad (2)$$

其中 X 是一个样本空间为有限或可数无限的集合 $R = \{x_0, x_1, x_2, \dots\}$ 的离散随机变量, p_i 表示概率 $P\{X = x_i\}$ 。基于这种定义方法, A 和 B 两个概率分布的相关量分别为

$$C_A(s) = -\ln \sum_{i=0}^{s-1} \left(\frac{p_i}{P(s)} \right)^2 = -\ln \sum_{i=0}^{s-1} p_i^2 + 2 \ln P(s) \quad (3)$$

$$C_B(s) = -\ln \sum_{i=s}^{L-1} \left(\frac{p_i}{1-P(s)} \right)^2 = -\ln \sum_{i=s}^{L-1} p_i^2 + 2 \ln(1-P(s)) \quad (4)$$

3 阈值选择方法

3.1 取总的相关量为最大 Yen 等人的方法是取总的相关量为最大, 总的相关量为

$$\begin{aligned} TC(s) &= C_A(s) + C_B(s) \\ &= -\ln \sum_{i=0}^{s-1} \left(\frac{p_i}{P(s)} \right)^2 - \ln \sum_{i=s}^{L-1} \left(\frac{p_i}{1-P(s)} \right)^2 \\ &= -\ln \{ [G(s) \times G'(s)] / [P^2(s) \times (1-P(s))^2] \} \\ &= -\ln [G(s) \times G'(s)] + 2 \ln [P(s) \times (1-P(s))] \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $G(s) = \sum_{i=0}^{s-1} p_i^2$, $G'(s) = \sum_{i=s}^{L-1} p_i^2$ 。使 $TC(s)$ 最大即可得到最佳阈值 s^* , 即

$$s^* = \text{Arg max}_{s \in G_L} TC(s) \quad (6)$$

3.2 取各个分布的相关量为最大 本文提出的方法试图利用一个阈值 s^* 分别使目标和背景区域的分布的相关量 $C_A(s)$ 和 $C_B(s)$ 均达到最大。很显然, 除非它们的最大值恰巧同时发生, 否则, 阈值的选取过程是对两者的一种折衷处理。以这种方式处理两个函数, 我们可以采用最优化理论中的最大最小方法, 即

$$s^* = \text{Arg max}_{s \in G_L} (\min_{s \in G_L} (C_A(s), C_B(s))) \quad (7)$$

4 仿真结果及分析

根据本文提出的方法, 我们进行了仿真试验, 采用的灰度图像是 House 和 Lena, 其大小为 256×256 , 均有 256 个灰度级, 其中 House 为红外图像。仿真结果见图 1-图 6, 图中 t 表示所选的最佳阈值。

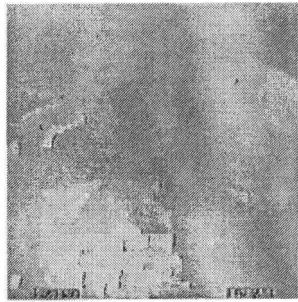


图 1 House 原图

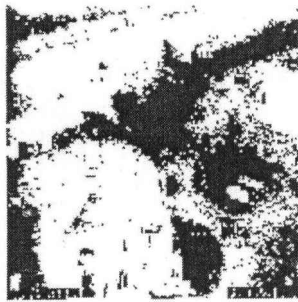
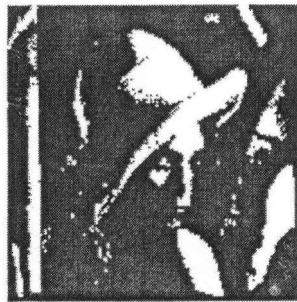
图 2 本文方法 ($t=104$)图 3 Pun 的方法 ($t=97$)

图 4 Lena 原图

图 5 本文方法 ($t=102$)图 6 Yen 等人的方法 ($t=141$)

从仿真结果可见,本文提出的算法其二值化的图像比 Yen 等人提出的方法效果更好。另外,通过分析 (3) 和 (4) 式和 Kapur 等人^[6]的方法可知,对于一幅具有 L 个灰度级的图像来说,采用本文提出的算法共需进行 $2L$ 次对数运算,而采用典型的熵方法 (Kapur 方法) 时,其对数运算次数为 L^2 次,因此执行本文算法对数运算量将大大减少,其计算速度比一般熵的方法更快。

阈值分割、选取技术不仅是图像增强、边缘检测中的一个常用方法,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。本文提出的算法由于分割效果较好而且运算量很小,因而具有很大的实用价值。

参 考 文 献

- [1] P. K. Sahoo, S. Soltanti, A. K. C. Wong, Y. C. Chen, A survey of the thresholding techniques, *Computer Vision Graphics Image Process*, 1988, 41(2), 233-260.
- [2] R. P. Nikhil, K. P. Sankar, A review of image segmentation techniques, *Pattern Recognition*, 1993, 26(9), 1277-1294.
- [3] A. T. Pun, A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram, *Signal Processing*, 1980, 2, 223-237.
- [4] T. Pun, Entropic thresholding, A new approach, *Computer Graphics and Image Proc.*, 1981, 16(3), 210-239.
- [5] G. Johansen, J. A. Bille, A threshold selection method using information measures, In: *Proc 6ICPR*, 1982, 140-143.
- [6] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, A. K. C. Wong, A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram, *Computer Graphics, Vision and Image Proc.*, 1985, 29(3), 273-285.
- [7] A. S. Abutaleb, Automatic thresholding of grey-level pictures using two-dimensional entropies, *Pattern Recognition*, 1989, 47, 22-32.
- [8] R. P. Nikhil, K. P. Sankar, Entropic thresholding, *Signal Processing*, 1989, 16(1), 97-108.
- [9] A. D. Brink, Thresholding of digital images using two-dimensional entropies, *Pattern Recognition*, 1992, 25(8), 803-808.
- [10] J. C. Yen, F. J. Chang, S. Chang, A new criterion for automatic multilevel thresholding, *IEEE Trans. on Image Processing*, 1995, 4(3), 370-378.

THRESHOLDING OF DIGITAL IMAGES BASED ON THE MAXIMUM CORRELATION CRITERION

Zhou Delong Zhu Liming* Pan Quan Zhang Hongcai Dai Guanzhong

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

**(Center of Xi'an Software Park, Xi'an 710072)*

Abstract Thresholding is an important form of image segmentation and is used in the image processing for many applications. In this paper, an automatic technique for thresholding of digital images based on the maximum correlation criterion is presented. This method maximizes the correlations associated with the distributions of the background and object classes to obtain the optimal threshold. It is found that the proposed approach is more effective than that proposed by Yen, and its computational complexity is much lower compared with the methods of entropy.

Key words Threshold, Entropy, Correlation, Image segmentation

周德龙: 男, 1966年生, 博士生, 研究方向为图像处理、模式识别。

朱立明: 男, 1963年生, 主要研究方向为图像处理等。

潘泉: 男, 1961年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向有智能信息处理、目标跟踪和数据融合、模式识别等。

张洪才: 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向有非线性估计与控制、系统辨识、故障诊断与容错控制、目标跟踪等。

戴冠中: 男, 1937年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向有智能控制、大系统估计与控制理论、控制理论中的并行处理理论、算法和并行仿真计算等。