

文章编号:1001-9014(2005)05-0397-04

## 基于二维最大相关准则的图像阈值分割

陈修桥, 胡以华, 黄友锐  
(电子工程学院, 安徽 合肥 230037)

**摘要:**提出了基于二维最大相关准则的自动阈值图像分割算法. 该方法根据图像的二维直方图中目标和背景分布的相关量最大来选择阈值, 能够实现比传统最大相关准则更强的抗噪声能力. 同时将遗传算法用于对二维最大相关准则阈值分割的优化, 试验结果表明该算法可以实现快速、准确图像分割.

**关键词:**图像处理; 阈值分割; 最大相关准则; 遗传算法

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A

## IMAGE THRESHOLDING SEGMENTATION BASED ON TWO-DIMENSIONAL MCC

CHEN Xiu-Qiao, HU Yi-Hua, HUANG You-Rui  
(Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

**Abstract:** Automatic image thresholding segmentation based on two-dimensional Maximum Correlation Criterion (MCC) was proposed. On the base of two-dimensional histogram, this method maximizes the correlations associated with the distributions of the background and object classes to obtain the optimal threshold, and it has greater resistance capability to noise than one-dimensional MCC. At the same time, Genetic Algorithms (GA) was used in the establishment of the optimal threshold based on the two-dimensional MCC. The experimental results show that the proposed algorithm achieves a good segmentation quality and shorten the computational time.

**Key words:** image processing; thresholding segmentation; maximum correlation criterion (MCC); genetic algorithms (GA)

### 引言

图像阈值分割法是利用像素的灰度值, 通过提取阈值进行图像分割. 常用的阈值分割方法有直方图阈值分割法、类间方差阈值分割法、二维最大熵值分割法、模糊阈值分割法、共生矩阵阈值分割法等.

现有的各种阈值法虽然是从不同的准则出发选取最佳阈值, 但大多需要在全灰度范围内进行搜索, 存在着搜索空间大, 耗时多的缺陷. 寻找计算简单、自适应能力强的图像阈值自动选取方法也是阈值法研究的一个重要内容.

遗传算法是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法, 具有收敛速度快的优点. 将阈值法结合遗传算法进行图像分割, 在一定程度上克服了阈值法计算量大的缺陷, 缩短了图像分割的时间. 将阈值法结合遗传算法进行图像分割的文献很多, 如结合

二维最大熵的遗传算法图像分割<sup>[1-3]</sup>、基于最大类间方差遗传算法的图像分割<sup>[4]</sup>等. 本文提出基于二维直方图的最大相关准则, 并结合遗传算法实现图像阈值分割的快速计算.

### 1 基于二维最大相关准则的阈值选取

#### 1.1 二维直方图

基于一维直方图的图像阈值分割仅利用了点灰度信息, 当图像的信噪比降低时, 其分割效果并不理想. 而二维直方图不仅反映了点灰度信息, 还反映了邻域空间相关信息. 因此在图像信噪比较小时, 利用基于二维直方图的最大相关准则进行图像阈值分割会优于一维最大相关准则的图像分割.

若图像有  $L$  级灰度值, 设  $n_{i,j}$  为图像中点灰度为  $i$  及其相邻区域灰度均值为  $j$  的像素点数,  $p_{i,j}$  为点灰度 - 区域灰度均值对  $(i, j)$  发生的概率

收稿日期: 2004-10-30, 修回日期: 2005-06-31

基金项目: 国防预研项目 (41101010506)

作者简介: 陈修桥 (1976-), 男, 江苏新沂人, 博士研究生. 主要从事图像处理、模式识别等研究工作.

Received date: 2004-10-30, revised date: 2005-06-31

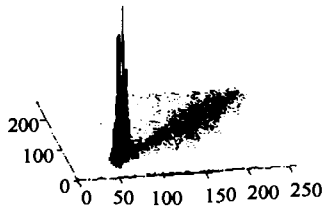


图1 图像的二维直方图

Fig 1 2-D histogram of image

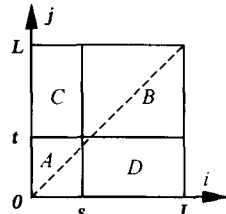


图2 二维直方图的 XOY 平面

Fig 2 XOY plane of 2-D histogram

$$p_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{M \times N}, \quad i, j = 0, 1, \dots, L-1, \quad (1)$$

其中  $M \times N$  为图像的大小, 则  $\{p_{i,j}, i, j = 0, 1, \dots, L-1\}$  就是该图像关于点灰度 - 区域灰度均值的二维直方图<sup>[1]</sup>, 如图 1 所示.

图 2 为二维直方图的 XOY 灰度级坐标平面图, 沿对角线分布的 A 区和 B 区分别代表目标和背景, 远离对角线的 C 区和 D 区代表边界和噪声, 所以应该在 A 区和 B 区中, 通过二维最大相关准则确定最佳阈值, 使真正代表目标和背景的相关数最大.

### 1.2 二维直方图最大相关准则与阈值选取

1989 年 Abutaleb<sup>[5]</sup> 将 Kapur 等提出的一维最大熵法推广至二维, 在图像分割中, 取得了较佳的分割效果, 因此得到广泛应用<sup>[6]</sup>. 由于最大熵方法中涉及许多对数运算, 为减少计算复杂性, Yen<sup>[7]</sup> 等人提出最大相关准则 (MCC), 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<sup>[8]</sup>. 本文将一维最大相关准则图像阈值分割推广到二维.

对于灰度范围  $\{0, 1, \dots, L-1\}$  的二维图像直方图, 定义离散二维相关数  $C_x$  为

$$C_x = -\ln \sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} p_{i,j}^2. \quad (2)$$

由图 1 和图 2 知, 二维直方图中的 A 区和 B 区具有不同的概率  $p_{i,j}$ . 如利用二维直方图中任意门限向量  $(s, t)$  对图像进行分割 (其中  $0 \leq s, t < L$ ), 那么这两类区域发生的总概率分别为

$$P_A = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{i,j}, \quad P_B = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{i,j}. \quad (3)$$

将 A、B 两类中各灰度级概率分布正规化处理

$$A: \frac{p_{i,j}}{P_A} \quad i=0, 1, 2, \dots, s-1; \\ j=0, 1, 2, \dots, t-1$$

$$B: \frac{p_{i,j}}{P_B} \quad i=s, s+1, \dots, L-1; \\ j=t, t+1, \dots, L-1$$

A 区和 B 区的二维相关数分别为

$$C_A(s, t) = -\ln \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} \left( \frac{p_{i,j}}{P_A} \right)^2 \\ = -\ln \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{i,j}^2 + 2\ln P_A$$

$$= -\ln G_A + 2\ln P_A, \quad (4)$$

式中,  $G_A = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} p_{i,j}^2$

$$C_B(s, t) = -\ln \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} \left( \frac{p_{i,j}}{P_B} \right)^2 \\ = -\ln \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{i,j}^2 + 2\ln P_B \\ = -\ln G_B + 2\ln P_B, \quad (5)$$

式中,  $G_B = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} p_{i,j}^2$

由于 C 区和 D 区包含关于噪声和边缘的信息, 概率较小, 所以将其忽略不计, 即假设 C 区和 D 区的  $p_{i,j} \approx 0$ . 可以得到

$$P_B = 1 - P_A, \quad G_B = G_L - G_A$$

其中  $G_L = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p_{i,j}^2$

则  $C_B(s, t) = -\ln(G_L - G_A) + 2\ln(1 - P_A)$

准则函数  $TC(s, t)$  取为  $C_A(s, t), C_B(s, t)$  之和

$$TC(s, t) = C_A(s, t) + C_B(s, t) \\ = -\ln[G_A \times G_B] + 2\ln[P_A \times P_B] \\ = -\ln[G_A \times (G_L - G_A)] \\ + 2\ln[P_A \times (1 - P_A)], \quad (6)$$

选取的最佳阈值向量  $(s^*, t^*)$  满足

$$(s^*, t^*) = \text{Arg Max}_{0 \leq s, t < L} TC(s, t). \quad (7)$$

## 2 结合遗传算法的图像阈值分割

遗传算法 (Genetic Algorithms) 是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的随机优化算法. 遗传算法作为一种求解问题的高效并行搜索方法, 其主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换, 它能在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识, 自适应地控制搜索过程以求得最优解或近似最优解<sup>[3]</sup>. 遗传算法利用简单的编码技术和繁殖机制 (选择、交叉和变异) 来表现难以用传统搜索方法解决的复杂和非线性的问题.

将遗传算法应用于图像分割时, 设计要点如下:

编码: 由于图像灰度值在 0 ~ 255 之间, 故将灰度分割阈值  $(s, t)$  编码为 16 位二进制码.

种群: 初始代种群的值在 (0 ~ 255) 之间随机产生, 种群中各个个体对应的适应度值各有不同. 种群数设置应该合理, 在此, 设置种群数为 40, 最大繁殖代数数为 50.

解码: 对 16 位二进制染色体数组分前 8 位和后 8 位分别解码为 0 ~ 255 之间的值, 以求其适应度值.

适应度函数: 采用式 (6) 为适应度函数.

选择:遗传算法根据适应度函数选择复制的父体,使其优良特性得以遗传和保留.文中采用赌轮法(Monte Carlo 方法)进行选择复制父体.

交叉:交叉重组是结合来自父代交配种群中的信息产生新的个体.在此采用两点交叉,交叉概率设置为 0.9.

变异:交叉之后子代经历的变异,实际上是子代基因按小概率扰动产生的变化.本文中变异概率为 0.1.

终止准则:规定当算法执行到最大繁殖代数(终止条件),或经过 15 代进化,群体中的最高适应度值仍未发生变化(稳定条件)时,算法停止运行,具有最高适应度值的个体即为分割阈值.

以上各参数均根据多次实验结果总结设计的.

### 3 仿真试验结果与分析

应用本文所给的算法,我们对某一区域的遥感红外图像进行了阈值分割,并与一维最大相关阈值分割法(MCC)<sup>[8]</sup>和二维最大相关阈值分割的结果进行了比较,如图 3 所示.它们的分割阈值和计算时间列在表 1 中.

要从复杂的背景中分辨出目标并将其形状完整提取出来,阈值的选取是阈值分割技术的关键.如果阈值选取过高,则过多的目标点被误归为背景;阈值选得过低,则会出现相反的情况.

从图 3 中可以看出,对于复杂的红外遥感目标图像,基于一维最大相关准则的图像分割噪声颗粒粗、面积大,海中的舰船目标并不能清晰检测,效果明显不如后两种算法.这是因为一维最大相关准则算法不能完整地反映图像的局部空间信息,当图像的信噪比减小时,因阈值门限对噪声很敏感,造成图像分割的可靠性下降.基于二维最大相关准则的图像分割因考虑了图像的邻域空间信息,可以排除一些噪声的干扰,分割的稳定性要好一些,且能够清晰凸现目标.

从计算速度上看,由于一维 MCC 算法的搜索空间相对较小,阈值分割所需时间很少.从分割效果来看,二维 MCC 算法明显优于一维 MCC 算法,但是,

表 1 图像分割的阈值及计算时间(256 灰度级)

Table 1 The threshold of image segmentation and computational time (256 gray-scale)

分割算法	阈值	计算时间(s)
一维 MCC	85	0.0930
二维 MCC	86	53.8750
二维 MCC 结合 GA	87	1.5780

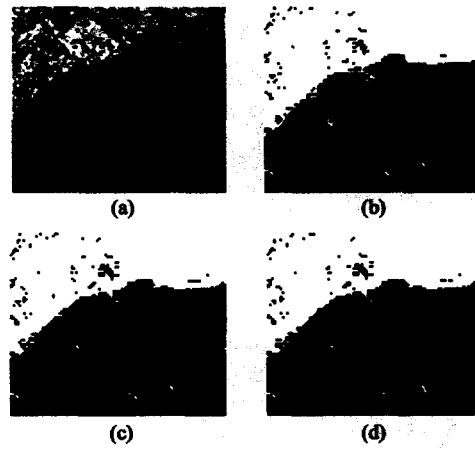


图 3 图像分割结果 (a) 原图 (b) 一维 MCC 算法分割 (c) 二维 MCC 算法分割 (d) 二维 MCC 结合遗传算法分割

Fig. 3 The results of image segmentation (a) original image (b) image segmentation based on 1-D MCC (c) image segmentation based on 2-D MCC (d) image segmentation based on 2-D MCC and GA

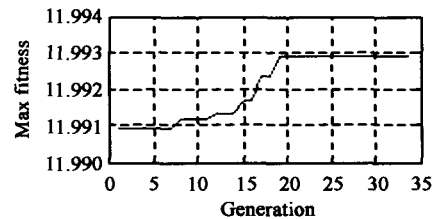


图 4 阈值分割过程中适应度收敛图

Fig. 4 Fitness convergence in image segmentation

二维 MCC 算法是二维寻优,要在  $L^2$  ( $L$  是灰度级) 范围内搜索阈值,因此导致运算量按指数增长,耗时太长,难以实用.

用遗传算法实现 MCC 法图像分割,在种群数为 40 时,大量的实验表明,平均繁殖不到第 20 代已得出最佳门限(如图 5 所示),按照算法的终止准则,到第 20 + 15 代时算法停止,则实际计算时间(参考表 1)比二维 MCC 算法小三十多倍.

所以,基于二维最大相关准则的遗传算法图像分割效果优于传统的最大相关准则图像分割,并能够节省计算时间.

### 4 结论

图像的二维直方图不仅反映了图像的点灰度分布信息,还反映了邻域空间相关信息,其对噪声的敏感程度要低于只反映点灰度分布信息的一维直方图.所以基于二维直方图的阈值分割要比基于一维直方图的分割效果好.基于二维直方图的最大相关

准则法通过计算被分割目标和背景区域相关量最大,可实现图像的准确分割。

针对二维最大相关准则图像分割存在着搜索空间大,耗时多的缺陷;用遗传算法可实现高效并行、随机、自适应群体搜索,找出图像的最佳阈值,实现图像的实时高效阈值分割。

## REFERENCES

- [1] CHEN Guo, ZUO Hong-Fu. 2-D maximum entropy method of image segmentation based on genetic algorithm[J]. *Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics* (陈果, 左洪福. 图像分割的二维最大熵遗传算法. *计算机辅助设计与图形学学报*), 2002, 14(6): 530—534.
- [2] YUAN Zhan-Ting, HONG Yi, WANG Qing. Genetic algorithms of threshold segment in 2D entropy image[J]. *Journal of Gansu University of Technology* (袁占亭, 洪毅, 王青. 二维熵图像阈值分割的遗传算法. *甘肃工业大学学报*), 1999, 25(1): 68—72.
- [3] CHANG Qing, WANG Li, XING Chao. The selection of image threshold on the basis of genetic algorithms [J]. *Computer Engineering and Application* (常青, 王立, 邢超.

基于遗传算法的图像阈值选取. *计算机工程与应用*), 2002, 22: 35—37.

- [4] YANG Bo. Image segmentation of the genetic algorithms on the base of Otsu [J]. *Journal of Hunan Norm University* (阳波. 基于最大类间方差遗传算法的图像分割方法. *湖南师范大学自然科学学报*), 2003, 26(1): 32—37.
- [5] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimension entropy [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1989, (47): 22—32.
- [6] TAO Wen-Bing, TIAN Jin-Wen, LIU Jian. Segmentation of FLIR images by genetic algorithm and fuzzy entropy [J]. *J. Infrared Millim. waves* (陶文兵, 田金文, 柳健. 基于遗传算法和模糊熵的前视红外图像分割. *红外与毫米波学报*), 2003, 22(6): 465—468.
- [7] Yen J C, Chang F J, Chang S. A new criterion for automatic multilevel thresholding [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1995, 4(3), 370—378.
- [8] Zhou De-long, Zhu li-ming, Pan Quan. Thresholding of digital images based on the maximum correlation criterion [J]. *Journal of Electronics and Information Technology* (周德龙, 朱立明, 潘泉等. 基于最大相关准则的阈值处理算法. *电子与信息学报*), 2002, 24(1): 136—139.

(上接第 396 页)

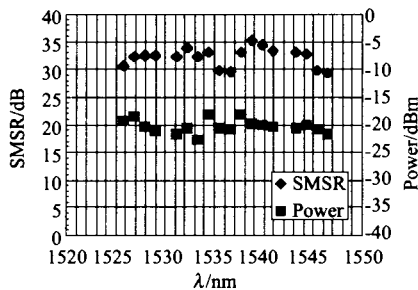


图5 在双波长运行时,于不同波长处所获得的边模抑制比和平均输出功率

Fig. 5 Measured values of SMSR and average output power obtained at different wavelengths in the dual-wavelength operation

一个 20:80 的光耦合器和一个可调谐光延迟线. 在 20.7 nm 的波长调谐范围内,系统输出的双波长光脉冲的 SMSR 接近于或高于 30dB 的. 实验系统的关键是利用两个光环行器,并使每个光脉冲一次通过耦合器,形成了使反馈光强损耗较小的光路,同时,利用光延迟线很好地保证了两个波长的光在时间上的一致性,从而,不仅使 F-P 半导体激光器的处于中间部分的各纵模在双模运转时获得高的边模抑制,也极大地增强了处于激光器边缘部分的各纵模的双模运转能力. 系统简单、可靠,双波长调谐方便。

## REFERENCES

- [1] Wang C L, Pan C L. Dual-wavelength actively mode-locked

laser-diode array with an external grating-loaded cavity[J]. *Opt. Lett.*, 1994, 19(18):1456—1458.

- [2] Morioka T, Uchiyama K, Kawanishi S, et al. Multiwavelength picosecond pulse source with low jitter and high optical frequency stability based on 200nm supercontinuum filtering[J]. *Electron. Lett.* 1995, 31(13):1064—1066.
- [3] Zhu B, White H. Variable delay dual wavelength picosecond optical pulse generation using an actively mode-locked multichannel grating cavity lase [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, 65(23):2928—2930.
- [4] Wang D N, Shu C. Tunable dual-wavelength picosecond pulse generation using multiple-optical-path self-seeding approach[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, 9(9): 1211—1213.
- [5] Li S P, Chan K T, Liu Y, et al. Multiwavelength picosecond pulses generated from a self-seeded Fabry-Pérot laser diode with a fiber external cavity using fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, 10(12): 1712—1714.
- [6] Zhang M, Wang D N, Li H, et al. Tunable dual-wavelength picosecond pulse generation by the use of two Fabry-Pérot laser diodes in an external injection seeding scheme [J], *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, 14(1):92—94.
- [7] CHEN Da-Yu, ZHANG Rong-Jun, ZHU Wei-Dan, et al. Study of 100GHz narrow bandpass dwdm filters in the fiber optical communication[J]. *J. Infrared Millim. Waves.* (谌达宇, 张荣君, 朱伟丹, 等. 光通信 DWDM 系统的 100GHz 窄带滤波片设计和研制. *红外与毫米波学报*) 2003, 15(1):75—76.
- [8] Barry L P, Anandarajah P. Effect of side-mode suppression ratio on the performance of self-seeded gain-switched optical pulses in lightwave communications systems [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, 11(11):1360—1362.