

文章编号: 1001-0920(2005)06-0674-05

基于遗传算法的彩色图像二维熵多阈值自适应分割

常发亮, 刘 静, 乔谊正

(山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘 要: 提出一种基于遗传算法的二维熵多阈值自适应图像分割方法。在分析研究二维熵阈值分割原理的基础上, 将可变码长的遗传算法应用于多阈值分割处理过程, 采用基于多阈值的整数编码方式, 将图像分割的类别数即染色体的码长融合到适应度函数中, 从而实现了在对阈值寻优的同时得以优化分割类别数, 最终实现图像的多阈值自适应分割处理。实验分析结果表明, 该方法具有实现阈值寻优速度快, 最优解对应图像分割效果好的特点。

关键词: 遗传算法; 二维熵; 多阈值; 图像分割

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Self-adaptive threshold segmentation for color image using two-dimensional entropy method based on genetic algorithm

CHANG Fa-liang, LIU Jing, QIAO Yi-zheng

(Control Science and Engineering Department, Shandong University, Jinan 250061, China Correspondent: CHANG Fa-liang, E-mail: flchang@sdu.edu.cn)

Abstract: A method of color image multi-threshold segmentation using two-dimensional entropy method based on genetic algorithm (GA) is presented. Through analyzing the theory of entropy threshold segmentation, a GA of changeable code-length is applied. Every threshold is coded as integer data, and the fitness function includes classes of segmentation, which is the length of one chromosome. Then it realizes optimizing classes of segmentation as soon as optimizing every threshold. The experiments show that the applied segmentation method shows highly effective and speediness.

Key words: genetic algorithm; two-dimensional entropy; multi-threshold; image segmentation

1 引 言

图像分割^[1,2]是指应用一种或多种运算将图像分成一些具有类似特性(如颜色、纹理、密度等)的区域,主要方法有区域方法和阈值方法两类。前者利用局部空间信息进行分割,将具有相似特性的像素集合起来构成区域,主要有分区域生长法和分裂合并法;后者利用灰度频率对分布信息进行分类,一般分为直方图法、最大类间方差法、模糊聚类法和神经网络方法等。阈值方法因其简单、性能稳定而成为图像分割中的基本技术。但在许多情况下,一幅图像中的物体可能由于表面灰度和颜色的不同,在灰度级上有不同的反映,简单的二值分割已不能反映图像的

特点,有必要进行多阈值分割,从而为后续处理提供更多的信息。1985年Kapur等提出了一维最大熵阈值法,1989年Abutaleb^[1]将一维推广到二维熵阈值法,这种方法不需要先验知识,而且对于非理想双峰或多峰直方图的图像也可以进行较好的分割。但该方法在实现多阈值分割时,传统的算法是采用穷尽的搜索方法寻求最优解,需要大量的计算时间,从而限制了它的使用。

具有鲁棒性、自适应性的遗传算法^[3](GA)是一种较好的优化搜索算法,它采用全局并行搜索技术寻找优化群体中的最优个体。因此在多阈值分割处理中,可以引入遗传算法来缩短计算时间。此外,在

收稿日期: 2004-07-08; 修回日期: 2004-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(60104009); 山东省自然科学基金项目(Y2001G06)。

作者简介: 常发亮(1965—),男,山东寿光人,教授,从事模式识别、机器视觉与智能控制的理论及应用研究; 乔谊正(1945—),上海人,教授,博士生导师,从事模式识别等研究。

遗传算法中,为了解决复杂图像的分割类别数难以确定的问题,本文将图像分割的类别数即染色体的码长融合到适应度函数中,从而实现了在对阈值寻优的同时得以优化分割类别数。本文将可变码长的 GA 用于二维熵多阈值分割处理,实现了图像的自适应分割处理,缩短了寻找多阈值的时间,使分割结果更有利于计算机视觉的后续处理。

2 二维熵阈值选择法

2.1 单阈值分割

熵是平均信息量的表征^[4],根据信息论,熵可定义为

$$H = - \int p(x) \log p(x) dx, \quad (1)$$

其中 $p(x)$ 为随机变量 x 的概率密度函数。对于数字图像, x 可以是灰度、区域灰度和梯度等特征。根据最大熵原理,用灰度的一维熵求取阈值就是选择一个阈值。图像用该阈值分割出的两部分的一阶灰度统计的信息量最大,即此时一维熵最大。一维最大熵阈值法^[5,6]是基于图像的原始直方图,仅利用了点灰度信息,而未充分利用图像的空间信息,信噪比降低时,分割效果并不理想。A butaleb 提出的二维最大熵阈值法,利用图像中各像素的点灰度及其区域灰度均值生成二维直方图,并以此为依据选取最佳阈值,其基本原理^[2,7]如下:

若原始灰度图像的灰度级为 L ,则原始图像中的每一个像素都对应于一个点灰度-区域灰度均值对,设 f_{ij} 为图像中点灰度为 i 以及区域灰度均值为 j 的像素点数, p_{ij} 为点灰度-区域灰度均值对 (i, j) 发生的概率,即 $p_{ij} = f_{ij} / (M \times N)$,其中 $M \times N$ 为图像大小,则 $\{p_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, L\}$ 代表了该图像关于点灰度-区域灰度均值的二维直方图。图 1 为二维直方图的 XOY 平面图,其中沿对角线分布的 A 区和 D 区分别代表目标和背景,远离对角线的 B 区和 C 区代表边界和噪声。由于图像的所有像素中,目标点和背景点所占比例最大,且目标与背景区域内部的像素灰度级比较均匀,点灰度及其区域灰度均值相差不大,所以各像素点大都集中在对角线附近的 A 和 D 区域;而边界点和噪声点则与此相反,集中在偏离对角线的 B 和 C 区域。显然, A 区与 D 区上二维参数对的分布概率在对应的区域应有最大值,且对应最大熵,则由此确定的最佳阈值使分割后的图像代表目标和背景的信息量最大,效果最好。此外,由于忽略了噪声点的影响,该方法具有比较好的抗噪性。

这种单阈值分割法的具体实现如下:

设 A 区和 D 区各自具有不同的概率分布,如果

阈值

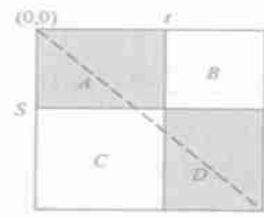


图 1 XOY 平面图 — 半阈值

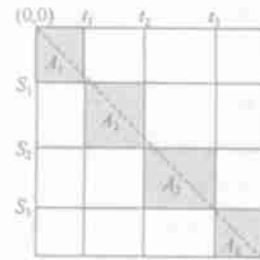


图 2 XOY 平面图 — 多阈值

设在 (s, t) , 则

$$P_A = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t p_{ij}, \quad (2)$$

$$P_D = \sum_{i=s+1}^L \sum_{j=t+1}^L p_{ij}, \quad (3)$$

定义离散二维熵为

$$H = - \sum_{i,j} p_{ij} \log p_{ij}, \quad (4)$$

则 A 区和 D 区的二维熵分别为

$$H(A) = - \sum_{i,j} (p_{ij}/P_A) \log (p_{ij}/P_A) = \log P_A + H_A/P_A, \quad (5)$$

$$H(D) = - \sum_{i,j} (p_{ij}/P_D) \log (p_{ij}/P_D) = \log P_D + H_D/P_D. \quad (6)$$

其中

$$H_A = - \sum_{i,j} p_{ij} \log p_{ij}, \quad (7)$$

$$H_D = - \sum_{i,j} p_{ij} \log p_{ij}, \quad (8)$$

由于 B 区和 C 区所包含的是关于噪声和边缘的信息,可将其忽略不计,即假设这两区域的 $p_{ij} = 0$ 。其中: B 区对应 $i = s+1, \dots, L, j = 1, \dots, t$; C 区对应 $i = 1, \dots, s, j = t+1, \dots, L$ 。由此可得

$$P_D = 1 - P_A, H_D = H_L - H_A.$$

其中

$$H_L = - \sum_{i,j} p_{ij} \log p_{ij},$$

$$i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, L. \quad (9)$$

则

$$H(D) = - \sum_{i,j} (p_{ij}/P_D) \log(p_{ij}/P_D) = \log(1 - P_A) + (H_L - H_A)/(1 - P_A), \quad (10)$$

于是,熵的判别函数定义为

$$W(s, t) = H(A) + H(D) = \log P_A(1 - P_A) + H_A/P_A + (H_L - H_A)(1 - P_A). \quad (11)$$

选取的最佳阈值向量 (s^*, t^*) 满足

$$W(s^*, t^*) = \text{Max}\{W(s, t)\}. \quad (12)$$

2.2 多阈值分割

对复杂图像或含有多个物体的图像进行分割处理,需要用到多阈值分割.可在前述单阈值分割的基础上进行推广,将二维熵法应用于多阈值分割.采用同样的方法绘制多阈值分割的点灰度-区域灰度均值的二维直方图,其 XOY 平面如图2所示.前面已分析得出,目标点和背景点大多集中到 XOY 平面的对角线区域,噪声点和边缘分布在偏离对角线的两个对角上.因此,在多阈值分割处理中,为减少计算量,应将噪声和边缘所包含的信息忽略不计,而对角线区域各参数对的分布概率确定一个最佳阈值,使得代表目标和背景的信息量最大,分割效果最好.

将图像用 $N - 1$ 个阈值分割成 N 个不同的区域,实现方法如下:

设 A_1, A_2, \dots, A_N 区各自具有不同的概率分布,如果阈值分别设在 $(s_1, t_1), (s_2, t_2), \dots, (s_{N-1}, t_{N-1})$, $s_1 > s_2 > \dots > s_{N-1}, t_1 > t_2 > \dots > t_{N-1}$,则其熵的判别函数定义为

$$W(s_1, s_2, \dots, s_{N-1}, t_1, t_2, \dots, t_{N-1}) = H(A_1) + H(A_2) + \dots + H(A_N) = \log P_{A_1} P_{A_2} \dots P_{A_N} + H_{A_1}/P_{A_1} + H_{A_2}/P_{A_2} + \dots + H_{A_N}/P_{A_N}. \quad (13)$$

选取的最佳阈值满足

$$W(s_1^*, \dots, s_{N-1}^*, t_1^*, \dots, t_{N-1}^*) = \text{Max}\{W(s_1, s_2, \dots, s_{N-1}, t_1, t_2, \dots, t_{N-1})\}.$$

3 基于GA的多阈值自适应图像分割

3.1 遗传算法(GA)的工作流程

GA^[3]是由美国科学家Holland提出的,其主要优点是简单、鲁棒性强,需要解决的问题越复杂,目标越不明确,优越性越大.遗传操作主要包括选择、交叉、变异3种基本操作,其基本工作流程如下:

- 1) 随机生成初始种群,个体数目一定;
- 2) 计算群体中每个个体的适应度,并判断是否符合预设的优化准则,若符合,输出最佳个体及其所

代表的最优解,结束计算,否则继续进行;

3) 依据适应度选择再生个体,适应度高的个体被选中的概率高,适应度低的个体被选中的概率低;

4) 按照一定的交叉概率和交叉方法,生成新的个体;

5) 按照一定的变异概率和变异方法,生成新的个体;

6) 由交叉和变异产生的新个体组成新一代的种群,返回到2),继续进行计算.

GA的优化准则,一般依据问题的不同有不同的确定方式.通常采用的准则有:种群中个体的最大适应度超过预先的设定值;种群中个体的平均适应度超过预先设定值;进化代数超过预先设定值.

3.2 熵阈值分割在GA中的构造问题

将遗传算法用于前面所讨论的图像二维熵阈值选择^[8],应首先解决以下两个问题:

1) 如何将问题的解编码成染色体,即如何将多个阈值表示成染色体;

2) 如何构造一个适应度函数来评价每个染色体的适应度,即如何评价每组阈值的分割效果.

因为采用灰度-区域灰度均值二维直方图进行分析,且分析对象是真彩色图像,即每个像素点都具有属于 $[0, 255]$ 的RGB共3个颜色分量,因此得到的阈值组是由多个6维向量 $(s_{Ri}, s_{Gi}, s_{Bi}, t_{Ri}, t_{Gi}, t_{Bi})$ 组成的,其中 $i = 1, 2, \dots, N - 1, N$ 为分割类别数.为避免过长的染色体带来计算上的复杂性,文中算法采用实数编码方式.这样,每条染色体的长度为 $6 \times (N - 1)$ 个整数码串.

熵判别函数被用来作为遗传算法的适应度函数,即 $F(s, t) = W(s, t)$. $F(s, t)$ 越大,说明分割效果越好,该染色体的适应度越高.

解决了上述2个问题后,只需按照遗传算法的流程执行即可.经过一定的迭代次数后,得到一个最佳的染色体.对该染色体解码,便可得到所需要的多个分割阈值.

3.3 固定码长GA的多阈值分割

如果通过先验知识可以得知图像分割的类别数 N (即需 $N - 1$ 个阈值进行分割),则可采用固定码长GA分割法,即用 $N - 1$ 个基因代表 $N - 1$ 个不同的分割阈值,编码成一个染色体.编码与适应度函数已在前面指出,这里只对选择、交叉和变异操作进行说明.

1) 基于排名的选择操作:根据个体的适应度在群体中的排名来分配选择概率,基于此概率采用转盘选择法;

2) 线性交叉:交叉概率 P_c 取为 $0.3 \sim 0.4$;

3) 均匀变异: 变异概率 P_m 取为 $0.1 \sim 0.2$

3.4 可变码长 GA 的自适应多阈值分割

如果在图像分割前不知道需要分割的类数或其很难确定, 则要求分割方法能自动确定最佳分类数, 本文采用的可变码长遗传算法便可以实现这一点。把图像分割的类别数即染色体的码长融合到适应度函数中, 从而实现在对阈值寻优的同时得以优化分割类别数, 最终实现图像的多阈值自适应分割处理。与固定码长的 GA 相比, 主要在以下几个方面加以改进:

1) 编码: 仍基于 RGB 分割阈值, 但另需给出一个最大码长 $Max N$, 即最大分割类数, 则每个个体码长 N_i 的变化范围为 $1 \sim Max N$ 。

2) 适应度函数的改进: 如直接将式(11)的熵判别函数作为适应度函数, 则不能同时对所分类数 N 进行优化。在此引入函数估计和学习系统理论中的模型复杂度概念^[9], 在原来熵函数的基础上乘一惩罚因子, 提出如下启发式准则函数作为适应度函数:

$$F_D = \sqrt{N W (s_1^*, s_2^*, \dots, s_{N-1}^*, t_1^*, t_2^*, \dots, t_{N-1}^*)}$$

(14)

并由此进行基于排序的转盘选择。其中: N 为分类数, $W(\cdot)$ 为熵函数。

3) 交叉操作的改进: 对进行交叉操作的染色体对, 的共同部分(即较短染色体长度范围内), 进行一般的线性交叉; 对共同部分以外的, 即较长染色体长出的一部分, 等概率地进行以下3种操作: 丢弃, 拼接在另一条染色体上, 长度变短为某个随机值。后半部分操作包含了染色体长度的变化, 从而使图像的分割类数自适应变化。

4) 变异操作的改进: 变异操作是在原均匀交叉方法的基础上加进了关于码长变异的操作, 即等概率地使染色体长度变长或变短。其中, 变长就是在其后拼接上一随机长度的向量, 变短则可以简单地将染色体截断一段随机长度。当然变化后的染色体长度应在 $1 \sim Max N$ 范围内。

4 实验结果与分析

本文采用 110×70 的24位真彩色图像作为实验分析对象, 用 VC++ 编写算法程序, 实现分割处理, 并由先验知识预设分割阈值的个数为3(针对二维熵阈值法和固定码长GA法)。图3为原图像, 图4为二维熵阈值分割结果, 图5为基于固定码长GA的多阈值分割结果, 图6为基于可变码长GA的多阈值分割结果。表1为以上各种处理方法的性能对照表(在 PIV 800计算机上进行计算的结果)。显然, 图像重复处理分割的结果基本一致。

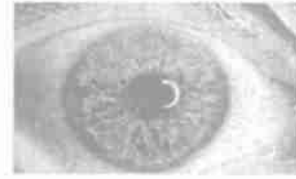


图3 原图



图4 二维熵阈值法

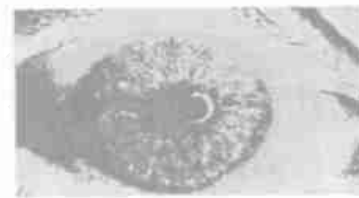


图5 固定码长GA法

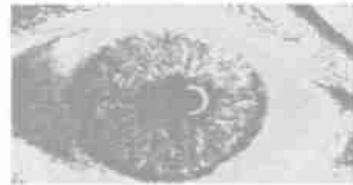


图6 可变码长GA法

表1 性能对照表

	二维熵阈值法	固定码长GA法	可变码长GA法
阈值个数	3	3	4
时间/s	1 653	29	37

由实验结果分析可以看出:

1) 在预设阈值个数相同的前提下, 固定码长GA法与传统的二维熵阈值法相比, 分割效果略好, 但前者寻优的快速性明显优于后者;

2) 可变码长GA法与固定码长GA法相比, 处理时间略长, 但前者的分割效果比后者好。

5 结论

本文给出了一种基于遗传算法的二维熵多阈值图像分割方法。该方法采用可变码长的遗传算法, 实现了图像分割类别数与最佳多阈值的自动确定, 进而完成了彩色图像的自适应多阈值分割。本文方法比采用穷尽搜索方式的传统二维熵阈值法实现阈值寻优速度快得多, 最优解对应图像的分割效果更好。

参考文献(References)

- [1] Abutaleb A S Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy [J]. *Computer, Vision Graphic Image Process*, 1989, 47(1): 22-32
- [2] 郭国栋, 马颂德. 彩色图像分割[J]. *中国图像图形学报*, 1998, 3(11): 918-921.
(Guo G D, Ma S D. Color image segmentation [J]. *J of Image and Graphics*, 1998, 3(11): 918-921.)
- [3] 王小平, 曹立明. 遗传算法-理论、应用与软件实现 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002: 5-10
- [4] Shanbhag A G Utilization of information measure as a means of image thresholding [J]. *Computer Vision, Graphics, Image Processing-Graphical Model and Image Processing*, 1994, 56(5): 414-419
- [5] Juliana F, Camapum W, Mark H F. Spatial-feature parametric clustering applied to motion-based segmentation in camouflage [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2002, 85(2): 144-157
- [6] Constantine K, Ioannis P. Segmentation of ultrasonic images using support vector machines [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, (24): 715-727.
- [7] 张毅军, 吴雪菁, 夏良正. 二维熵阈值图像阈值分割的快速递推算法[J]. *模式识别与人工智能*, 1997, 10(3): 261-265.
(Zhang Y J, Wu X J, Xia L Z. A fast recurring algorithm for two-dimensional entropic thresholding for image segmentation [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1997, 10(3): 261-265.)
- [8] Bhanu B, Lee S, Ming J. Self-optimizing image segmentation system using a generic algorithm [A]. *Proc of the 4th Int Conf on Generic Algorithms* [C]. San Diego: Morgan Kaufmann Publishers, 1991: 362-369.
- [9] Wiro J Niessen, Koen L Vincken. Nonlinear multiscale representations for Image Segmentation [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 1997, 66(2): 233-245.
- (上接第 655 页)
- [8] Daaforz J, Bernussou J. Robust dynamic output feedback control for switched systems [A]. *Proc of the 41st IEEE Conf on Decision and Control* [C]. Las Vegas, 2002: 4389-4394
- [9] Cuzzola F A, Morar M. An LM I approach for H analysis and control of discrete-time piecewise affine systems [J]. *Int J Control*, 2002, 75(16/17): 1293-1301.
- (上接第 668 页)
- [2] Potts C N, Kovalyov M Y. Scheduling with batching: A review [J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, (120): 228-249.
- [3] 李大卫, 王莉, 王梦光. 基于遗传算法的钢管生产批量计划[J]. *系统工程理论方法应用*, 1998, 7(3): 22-27.
(Li D W, Wang L, Wang M G. Production lot planning of steel pipe based on genetic algorithm [J]. *Systems Engineering-Theory Methodology Applications*, 1998, 7(3): 22-27.)
- [4] 路飞, 田国会. 用自适应遗传算法求解轧制顺序调度问题[J]. *山东大学学报*, 2003, 33(3): 311-313.
(Lu F, Tian G H. Solving scheduling problems of rolling sequence with an adaptive genetic algorithm [J]. *J of Shandong University*, 2003, 33(3): 311-313.)
- [5] Fukaya N, Katagiri T. Expert system for manufacturing sequence determination in hot rolling process of seamless steel pipe [J]. *Kawasaki Steel Gihō*, 1991, 23(3): 191-196
- [6] Siddique M. A knowledge-based system for process planning in a seamless steel tube plant [D]. Birmingham: Aston University, 1990
- [7] 马建辉, 牛海军. 提前/拖期惩罚的单机批调度优化问题研究[J]. *制造业自动化*, 2002, 24(7): 65-67.
(Ma J H, Niu H J. Research on single machine batch scheduling with earliness/tardiness penalties [J]. *Manufacturing Industry Automation*, 2002, 24(7): 65-67.)
- [8] Baker K, Scudder G. Sequencing with earliness and tardiness penalties: A review [J]. *Operations Research*, 1990, (38): 22-36
- [9] 于海斌, 薛劲松, 王浩波, 等. 基于遗传算法的单机提前/拖期调度方法研究[J]. *控制理论与应用*, 2000, 17(2): 209-214.
(Yu H B, Xue J S, Wang H B, et al. GA-based approach to single machine scheduling with general early-tardy penalty weights [J]. *Control Theory and Applications*, 2000, 17(2): 209-214.)
- [10] 王凌. 智能优化算法及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.