

文章编号 1004-924X(2008)02-0333-05

# 改进的遗传算法在实时图像分割中的应用

张怀柱<sup>1,2,3</sup>, 向长波<sup>1,2</sup>, 宋建中<sup>1</sup>, 乔 双<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;  
3. 吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130061; 4. 东北师范大学 物理学院, 吉林 长春 130024)

**摘要:** 为了自动确定图像分割的最佳阈值, 提出了一种改进的自适应遗传算法, 并利用该算法对二维 Fisher 准则图像分割评价函数进行了全局优化, 提高了分割阈值的求解速度。该算法能够根据个体适应度大小和群体的分散程度自动调整遗传控制参数, 从而能够在保持群体多样性的同时加快收敛速度, 克服基本遗传算法的收敛性差、易早熟问题。实验结果表明, 该算法具有良好的收敛速度和稳定性, 阈值范围稳定在 3 个像素以内, 阈值计算时间比二维 Fisher 准则法缩短了 18 ms(约 63%左右), 比基本遗传算法缩短了大约 30%左右, 能够满足实时性要求, 可以应用于各种图像的实时处理与分析中, 具有较高的实用性。

**关键词:** 自适应遗传算法; 图像分割; Fisher 准则; 二维直方图

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A

## Application of improved adaptive genetic algorithm to image segmentation in real-time

Zhang Huai-zhu<sup>1,2,3</sup>, Xiang Chang-bo<sup>1,2</sup>, Song Jian-zhong<sup>1</sup> Qiao Shuang<sup>4</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*;  
3. *College of Instrumentation & Electrical Engineering, Jilin University, Changchun 130061, China*;  
4. *Physics Department, Northeast Normal University, Changchun 130024, China*)

**Abstract:** To determine the optimal threshold in image automatic segmentation, a new thresholding method is proposed. In the method, the genetic algorithm carries on the global optimization to get the threshold rapidly, and the computational method for crossover probability and mutation probability of the Adaptive Genetic Algorithm (AGA) is improved. The improved AGA can preserve the multifamily of population and the astringency of the algorithm, and can overcome the problems of poor astringency and premature occurrence in Simple Genetic Algorithm (SGA). The experimental results indicate that the AGA has good convergence and stability, also can not only ensure the accuracy of the image segmentation, but also can shorten the time of image segmentation. This algorithm can be used in kinds of image real-time processing and analyzing, and has higher practicability.

**Key words:** Adaptive Genetic Algorithm(AGA); image segmentation; Fisher criterion; 2-D histogram

收稿日期: 2007-07-13; 修订日期: 2007-09-05.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 60372062)

## 1 引言

图像分割是图像处理领域极为重要的研究内容。通常情况下,由于受光照条件、大气传输等环境的影响以及图像在光学成像和数字化过程中引入的畸变和噪声,采集的图像往往质量较差,或亮度不均匀,或信噪比很低,或对比度很差。因此,要实现对目标图像的宽度、高度、面积等几何特征的测量计算,首要的问题是如何将目标从背景中分离出来<sup>[1-3]</sup>。图像的阈值取得越准确,目标和背景的分隔程度越好,分割效果越好,Fisher 准则函数<sup>[4]</sup>是在模式识别理论中用来对两个类别间的分离程度进行定量描述的评价函数,因此往往将 Fisher 准则函数应用于图像阈值的求解<sup>[5-6]</sup>。

从本质上讲,图像分割是一个在复杂的参量空间中寻找最优分割参量的问题。遗传算法<sup>[7-8]</sup>是一种并行的、自适应的、具有强大搜索能力的优化工具,将遗传算法应用于图像分割的最佳阈值求取过程,可以大大提高传统阈值方法的分割效率<sup>[9]</sup>。但是,基本遗传算法的收敛性差,容易早熟。因此,本文对自适应遗传算法的交叉概率和变异概率的计算方法进行了改进,使之能够随适应度值自动调整,从而保证了算法的收敛性<sup>[8,10]</sup>,并避免了早熟。

## 2 改进的遗传分割算法

### 2.1 改进的遗传算法

遗传算法中,交叉概率和变异概率的选取是影响算法行为和性能的关键所在,直接影响算法的收敛性。Srinivas 等提出的自适应遗传算法<sup>[8]</sup>中,交叉概率和变异概率能够随适应度自动调整,在保持群体多样性的同时保证了遗传算法的收敛性。在自适应遗传算法中, $p_c$  和  $p_m$  按如下公式进行自动调整:

$$p_c = \begin{cases} k_1 \frac{(f_{\max} - f')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} & f' \geq f_{\text{avg}} \\ k_2 & f' < f_{\text{avg}} \end{cases}, \quad (1)$$

$$p_m = \begin{cases} k_3 \frac{(f_{\max} - f)}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} & f \geq f_{\text{avg}} \\ k_4 & f < f_{\text{avg}} \end{cases}. \quad (2)$$

式中, $f_{\max}$  为群体中最大的适应度值, $f_{\text{avg}}$  为每代

群体的平均适应度值, $f'$  为待交叉的两个个体中较大的适应度值, $f$  为待变异个体的适应度值, $k_1, k_2, k_3, k_4$  为(0,1)之间的调整系数。

从公式(1)、(2)可以看出,当个体适应度值越接近最大适应度值时,交叉概率和变异概率就越小;当等于最大适应度值时,交叉概率和变异概率为零。这种调整方法对于群体处于进化的后期比较合适,但是对于进化的初期却不利。因为在进化初期,群体中较优的个体几乎是处于一种不发生变化的状态,而此时的优良个体却不一定是全局最优的,这很容易导致进化趋向局部最优解。

因此,可以对自适应遗传算法做进一步的改进,使群体中具有最大适应度值的个体的交叉概率和变异概率不为零,改进后的交叉概率和变异概率的计算公式如公式(3)、(4)所示。这样,经过改进后就相应地提高了群体中性能优良的个体的交叉概率和变异概率,使它们不会处于一种停滞不前的状态,从而使得算法能够从局部最优解中跳出来获得全局最优解。

$$p_c = \begin{cases} p_{c_1} \cdot e^{-\frac{f' - f_{\text{avg}}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}} & f' \geq f_{\text{avg}} \\ p_{c_1} & f' < f_{\text{avg}} \end{cases}, \quad (3)$$

$$p_m = \begin{cases} p_{m_1} \cdot e^{-\frac{f - f_{\text{avg}}}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}} & f \geq f_{\text{avg}} \\ p_{m_1} & f < f_{\text{avg}} \end{cases}. \quad (4)$$

其中, $f_{\max}$  为群体中最大的适应度值, $f_{\text{avg}}$  为每代群体的平均适应度值, $f'$  为待交叉的两个个体中较大的适应度值, $f$  为待变异个体的适应度值, $p_{c_1}$  为最大交叉概率, $p_{m_1}$  为最大变异概率。

### 2.2 Fisher 准则函数分割算法

设有  $N$  个  $D$  维特征向量  $\mathbf{X} = \{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_N\}$ , ( $\mathbf{X}_i = \{x_1, x_2, \dots, x_D\}$ ), 其中有  $N_1$  个特征向量属于  $\omega_1$  类, $N - N_1$  个属于  $\omega_2$  类。将其投影到某一条直线  $Y$  上,特征空间从  $D$  维减少到 1 维,形成 1 维空间。为了能够把两类  $\omega_1$  和  $\omega_2$  尽可能地分开,希望投影后两类之间的离散度越大越好,同时希望类内的样本尽量密集,即希望类内离散度越小越好。在模式识别理论中,Fisher 准则函数就是用来对两个类别间的分离程度进行定量描述的评价函数,其定义为

$$J_F(Y) = \frac{(\mu_1 - \mu_2)^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (5)$$

其中, $\mu_i = \frac{1}{N_i} \sum_{y \in \omega_i} y$  ( $i = 1, 2$ ) 表示  $\omega_i$  ( $i = 1, 2$ ) 的

均值,  $\sigma_i^2 = \sum_{y \in \omega_i} (y - \mu_i)^2 (i = 1, 2)$  表示  $\omega_i (i = 1, 2)$  的方差。

当  $J_F(Y)$  取最大值时, 所对应的  $Y$  为最佳投影方向, 此时投影后的  $\omega_1$  和  $\omega_2$  分离程度最好。

设  $h(i) (i = 0, 1, \dots, L-1)$  为图像的归一化直方图, 阈值  $t$  将图像分为目标和背景两类。目标和背景的先验概率分别为  $\theta(t)$  和  $1-\theta(t)$ , 其灰度均值分别为  $\mu_1(t)$  和  $\mu_2(t)$ , 方差分别为  $\sigma_1(t)$  和  $\sigma_2(t)$ , 则有

$$\theta(t) = \sum_{i=0}^t h(i), \quad (6)$$

$$\begin{cases} \mu_1(t) = \frac{\sum_{i=0}^t ih(i)}{\theta(t)} \\ \mu_2(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^{L-1} ih(i)}{1-\theta(t)} \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} \sigma_1^2(t) = \sum_{i=0}^t (i - \mu_1(t))^2 h(i) \\ \sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - \mu_2(t))^2 h(i) \end{cases}. \quad (8)$$

由公式(5)可推导出图像分割的 Fisher 准则函数为

$$J(t) = \frac{(\mu_1(t) - \mu_2(t))^2}{\theta(t)\sigma_1^2(t) + [1-\theta(t)]\sigma_2^2(t)}. \quad (9)$$

当函数  $J(t)$  取最大值时, 此时目标的背景达到最佳的分离程度, 对应的灰度值即为最佳阈值  $t^*$ , 即

$$t^* = \text{Arg max}_{0 \leq t < L} [J(t)]. \quad (10)$$

图像的二维直方图不仅反映了图像的像素灰度分布信息, 还反映了像素的邻域空间信息, 因此在进行图像分割的阈值求取时, 利用图像的二维直方图会优于图像的一维直方图。设图像的大小为  $M \times N$ , 灰度级为  $L$ ,  $N_{i,j}$  为图像中灰度为  $i$  且其邻域灰度均值为  $j$  的像素的个数,  $p_{i,j}$  为灰度为  $i$  且其邻域灰度均值为  $j$  的像素的发生概率,

$$p_{i,j} = \frac{N_{i,j}}{M \times N} \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, L-1. \quad (11)$$

$p_{i,j}$  就是该图像关于像素灰度-邻域灰度均值的二维直方图。

将二维直方图  $p_{i,j}$  分别向  $i, j$  两个坐标轴投影, 分别用  $h(i)$  和  $w(j)$  表示, 则

$$h(i) = \sum_{j=0}^{L-1} p_{i,j} \quad i = 0, 1, \dots, L-1,$$

$$w(j) = \sum_{i=0}^{L-1} p_{i,j} \quad j = 0, 1, \dots, L-1. \quad (12)$$

设  $\mu_0^i, \mu_0^j$  和  $\mu_1^i, \mu_1^j$  分别表示目标和背景在  $i, j$  坐标轴上投影的均值,  $\sigma_0^i, \sigma_0^j$  和  $\sigma_1^i, \sigma_1^j$  分别表示目标和背景在  $i, j$  坐标轴上投影的方差, 则

$$\begin{aligned} \mu_0^i &= \frac{\sum_{i=0}^s ih(i)}{\sum_{i=0}^s h(i)}, \mu_0^j = \frac{\sum_{j=0}^t jw(j)}{\sum_{j=0}^t w(j)}, \\ \mu_1^i &= \frac{\sum_{i=s+1}^{L-1} ih(i)}{\sum_{i=s+1}^{L-1} h(i)}, \mu_1^j = \frac{\sum_{j=t+1}^{L-1} jw(j)}{\sum_{j=t+1}^{L-1} w(j)}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0i}^2 &= \sum_{i=0}^s (i - \mu_0^i)^2 h(i), \\ \sigma_{0j}^2 &= \sum_{j=0}^t (j - \mu_0^j)^2 w(j), \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{1i}^2 &= \sum_{i=s+1}^{L-1} (i - \mu_1^i)^2 h(i), \\ \sigma_{1j}^2 &= \sum_{j=t+1}^{L-1} (j - \mu_1^j)^2 w(j). \end{aligned} \quad (15)$$

根据 Fisher 准则函数的定义, 可以推导出图像分割的二维 Fisher 准则函数为

$$J_F(s, t) = \frac{([\mu_0^i, \mu_0^j] - [\mu_1^i, \mu_1^j]) \times ([\mu_0^i, \mu_0^j] - [\mu_1^i, \mu_1^j])^T}{\sigma_{0i}^2 + \sigma_{0j}^2 + \sigma_{1i}^2 + \sigma_{1j}^2}. \quad (16)$$

当  $J_F(s, t)$  取最大值时所对应的  $(s, t)^*$  为最佳分割阈值, 即

$$(s, t)^* = \text{Arg max}_{0 \leq s, t < L} (J_F(s, t)), \quad (17)$$

### 2.3 遗传分割算法实现

将遗传算法应用于图像分割的阈值选取, 算法的具体设计要点如下:

(1) 编码与解码: 采用二进制编码方式, 由于图像的灰度值为  $0 \sim 255$ , 因此将阈值  $(s, t)$  编码为 16 位二进制串, 前 8 位表示阈值  $s$ , 后 8 位表示阈值  $t$ ; 解码时则是将 16 位二进制串分别解码为两个  $0 \sim 255$  之间的数, 以求其适应度值。

(2) 种群规模: 种群规模的设置应该合理。若种群规模过大, 则适应度评估次数增加, 计算量增加, 种群规模过小, 则有可能引起早熟现象。在这里, 种群规模取为 20, 最大繁殖代数 50。

(3) 适应度函数: 采用式(16)作为适应度函数。

(4)选择:在此选择转轮法作为选择方法。它是一种正比选择策略,能够根据与适应度值成正比的概率选出新的种群。

(5)交叉:采用双点交叉,两个交叉点分别位于 16 位二进制串的前 8 位和后 8 位,交叉概率则根据式(3)进行自适应调整,初始化  $p_{c_1} = 0.9$ 。

(6)变异:采用基本变异算子,变异概率根据式(4)计算,初始化  $p_{m_1} = 0.1$ 。

(7)终止条件:当算法执行到最大代数或者经过 30 代进化后,群体中的最高适应度值仍未发生变化时,算法停止运行,此时具有最高适应度值的个体即为最佳阈值。

### 3 实验结果

#### 3.1 算法验证

为验证算法的有效性,本文在 P4-3.0G、512M 内存的计算机上利用 VC++6.0 编程,分别采用二维 Fisher 准则函数法、基本遗传算法和本文的自适应遗传算法对大小为 512 pixel × 512 pixel 的图像进行了 5 次分割实验,实验数据如表 1 所示。

表 1 图像阈值及运行时间

Tab. 1 Thresholds and running time

实验次数	二维 Fisher 准则法		基本遗传算法		本文的遗传算法	
	图像阈值	时间 (ms)	图像阈值	时间 (ms)	图像阈值	时间 (ms)
1	118	28.369	136	14.569	136	10.135
2	118	28.593	133	14.593	135	10.079
3	118	28.031	128	14.627	136	10.214
4	118	28.319	130	14.613	136	10.180
5	118	28.290	126	14.651	134	10.194

从表 1 可以看出,利用基本遗传算法进行图像分割可有效减少阈值计算的时间,运算时间约为二维 Fisher 准则法的 50% 左右,但其阈值最大为 136,最小为 126,阈值范围在 10 个像素之间。本文提出的自适应遗传算法在阈值计算时间上比基本遗传算法缩短了大约 30% 左右,比二维 Fisher 准则法缩短了 18 ms (大约 63% 左右),而且阈值范围稳定在 3 个像素以内。与基本遗传算法相比,在进化相同代数条件下,自适应遗传算法

能够在保持群体多样性的同时,加快收敛速度,其稳定性也明显优于基本遗传算法。

#### 3.2 实时性实验

为了验证改进的遗传算法对图像阈值快速求解的实时性,采用 TMS320VC5416,结合 FPGA,搭建了多目标图像实时处理平台,对现场采集的图像进行了实时阈值分割实验,图像大小为 512 pixel × 256 pixel。实验结果如图 1 所示,图 1(a)是现场采集的原图像,图 1(b)是基于改进遗传算法的分割结果。实验中,利用 DSP/BIOS 的 STS 模块统计算法运行所用的时间。在 DSP 芯片 TMS320VC5416 工作在最大工作频率 160 MHz 时,从统计窗得到算法运行时间为 374 568 个指令周期,约为 2.34 ms,由于视频采集为 PAL 制,一场图像时间为 20 ms,因此完全满足实时性要求。



(a)原图像

(a)Original image



(b)改进的分割图像

(b)Segmented image by improved algorithm

图 1 原图像及其分割结果

Fig. 1 Original image and segmented result

### 4 结论

本文利用 Fisher 准则作为阈值分割的评价函数,采用遗传算法进行全局优化搜索,并对交叉

概率和变异概率的计算公式进行了改进。根据个体适应度大小和群体的分散程度自动调整遗传控制参数,使算法在保持群体多样性的同时加快收敛速度,提高算法全局收敛的稳定性,实现了图像的自动最佳分割。

仿真试验和脱机的实时图像处理实验结果表明,该算法能够在保持群体多样性的同时加快收

敛速度,阈值计算时间比二维 Fisher 准则法缩短了 18 ms(约 63%左右),比基本遗传算法缩短了大约 30%左右;提高了算法全局收敛的稳定性,阈值范围稳定在 3 个像素以内。本文算法能够快速准确地分割图像,可以应用于各种图像的实时处理与分析,具有较高的实用性。

## 参考文献:

- [1] 阮秋琦,阮宇铮. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2003.  
RUAN Q Q,RUAN Y ZH. *Digital Image Processing*[M]. Beijing:Electronis Industy Press,2003. (in Chinese)
- [2] SAHOO P, SOLTANI S, WONG A. A survey of threshold techniques[J]. *Compute Vision, Graphics and Image Processing*,1988,41(3):233-260.
- [3] 张少军,苟中魁,李庆利,等. 利用数字图像处理技术测量直齿圆柱齿轮几何尺寸[J]. 光学精密工程,2004,12(6):619-625.  
ZHANG SH J,GOU ZH K,LI Q L,*et al.*. Digital image processing technology for spur gear measurement[J]. *Opt. Precision Eng.*,2004,12(6):619-625. (in Chinese)
- [4] 孙即祥. 现代模式识别[M]. 长沙:国防科技大学出版社.  
SUN J X. *Modern Pattern Recognition*[M]. Changsha: National University of Defense Technology Press. (in Chinese)
- [5] 陈果. 图像阈值分割的 Fisher 准则函数法[J]. 仪器仪表学报,2003,24(6):564-567.  
CHEN G. The Fisher criterion function method of image thresholding[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2003,24(6):564-567. (in Chinese)
- [6] HERVÉ G, SABRINA T, PASCALE G. Shape reasoning on mis-segmented and mis-labeled objects using approximated Fisher criterion[J]. *Computers & Graphics*,2006,30(2):177-184.
- [7] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京:科学出版社,2000.  
XUAN G N,CHENG R W. *Genetic Algorithm and Engineering Design*[M]. Beijing: Science Press,2000. (in Chinese)
- [8] 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.  
WANG X P,CAO L M. *Genetic Algorithm—Theory, Application and Software Implementation*[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press,2002. (in Chinese)
- [9] 王朝晖,李莉,李引生,等. 基于遗传算法的生物组织图像最佳挖取点寻优[J]. 光学精密工程,2005,13(2):231-236.  
WANG CH H,LI L,LI Y SH,*et al.*. Seeking of tissue image digging point method based on genetic-arithmetic[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005,13(2):231-236. (in Chinese)
- [10] GIULIANO A, MICHELE C. Microarray image gridding with stochastic search based approaches[J]. *Image and Vision Computing*,2007,25(2):155-163.

**作者简介:**张怀柱(1975—),男,吉林桦甸人,博士研究生,主要研究方向为模式识别与视频图像处理技术等。E-mail: Zhanghz75@163.com

**导师简介:**宋建中(1942—),男,辽宁新民人,研究员,博士生导师,主要研究方向为模式识别与视频图像处理技术等。E-mail:songjz@ciomp.ac.cn