

# 遗传算法在图像处理中的应用

田莹<sup>1),2)</sup> 苑玮琦<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 沈阳 110023) <sup>2)</sup>(鞍山科技大学计算机科学与工程学院, 鞍山 114044)

**摘要** 遗传算法是一种基于生物自然选择与遗传机理的随机搜索与优化方法。近年来,由于遗传算法求解复杂优化问题的巨大潜力及其在工业工程领域的成功应用,这种算法受到了国内外学者的广泛关注。本文介绍了遗传算法的基本理论,描述了它的主要特点和基本性质;重点综述了遗传算法在数字图像处理中的主要应用,特别是在图像分割和边缘检测、图像压缩、图像恢复、图像匹配、图像增强以及图像重建等方面的作用;探讨了目前遗传算法在图像处理领域中存在的问题及其在今后的发展方向。

**关键词** 遗传算法 数字图像处理

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)03-0389-08

## Application of the Genetic Algorithm in Image Processing

TIAN Ying<sup>1),2)</sup>, YUAN Wei-qi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023)

<sup>2)</sup>(School of Computer Science & Engineering, Anshan University of Science & Technology, Anshan 114044)

**Abstract** Genetic algorithm (GA) is a random search and optimization method based on natural selection and genetic mechanism of the living beings. In recent years, GA is used successfully in solving the complex optimization and the industrial engineering problems. Therefore, the research on GA has attracted a lot of attention. This paper discusses and surveys the status and advances in GA research. The basic algorithms, theory, implementation techniques of GA are outlined first. Then many applications of GA in image processing field are reviewed, such as image segmentation and edge detection, image compression, image restoration, image matching, image enhancement, and image reconstruction. At last, several key problems in this field are discussed as well as their development in the future.

**Keywords** genetic algorithm, digital image processing

## 1 引言

遗传算法 (genetic algorithm, GA) 是一种自适应启发式群体型概率性迭代式的全局收敛搜索算法,其基本思想来源于生物进化论和群体遗传学,体现了适者生存、优胜劣汰的进化原则。使用遗传算法求解科学研究工作和工程技术中各种组合搜索和优化计算问题这一基本思想早在 20 世纪 60 年代初期就由美国 Michigan 大学的 Holland 教授提出,其数学框架也于 20 世纪 60 年代中期形成。由于 GA

的整体搜索策略和优化计算不依赖于梯度信息,所以它的应用范围非常广泛,尤其适合于处理传统方法难以解决的高度复杂的非线性问题。它在自适应控制、组合优化、模式识别、机器学习、规划策略、信息处理和人工生命等领域的应用中越来越展示出优越性。

图像处理是计算机视觉中的一个重要研究领域,在图像处理过程中,如扫描、特征提取、图像分割等不可避免地会存在一些误差,从而影响图像的效果。如何使这些误差最小是使计算机视觉达到实用化的重要要求,GA 在这些图像处理中的优化计算

收稿日期:2005-09-20;改回日期:2005-12-01

第一作者简介:田莹(1971~),女,副教授。现为沈阳工业大学电工理论新技术专业博士研究生。主要研究方向为计算机视觉、生物特征识别、图像处理与模式识别等。E-mail: astianying@126.com

方面找到了用武之地,目前已在图像分割、图像恢复、图像重建、图像检索和图像匹配等方面得到了广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。

## 2 遗传算法的原理、基本性质和改进<sup>[4]</sup>

GA 把问题的解表示成染色体(也称串),GA 的求解步骤如下:

(1) 编码 定义问题的解空间到染色体编码空间的映射,一个候选解(个体)用一串符号表示。

(2) 初始化种群 在一定的限制条件下初始化种群,该种群是解空间的一个子空间。

(3) 设计适应度函数 将种群中的每个染色体解码成适于计算机适应度函数的形式,计算其数值。

(4) 选择 根据适应度大小选择优秀个体繁殖下一代,适应度越高,则选择概率越大。

(5) 交叉 随机选择两个用于繁殖下一代的个体的相同位置,在选中的位置实行交换。

(6) 变异 对某个串中的基因按突变概率进行翻转。

(7) 从步骤 4 开始重复进行,直到满足某一性能指标或规定的遗传代数。

步骤 1、2 和 3 是实际应用中的关键,步骤 4 ~ 步骤 6 进行 3 种基本基因操作,选择实现了适者生存的原则;交叉可以组合父代中有价值的信息,产生新的后代,以实现高效搜索;变异的作用是保持群体中基因的多样性,防止求解过程过早收敛。

GA 简单,鲁棒性好,具有自组织性、自适应性、自学习性和本质并行的突出特点。和其他优化搜索算法相比,GA 具有以下独特的性质:

(1) GA 是对参数编码进行操作,而非对参数本身,减少约束条件的限制,如连续性、可导性、单峰性等。

(2) GA 是多点搜索,减少了陷于局部优解的风险。

(3) GA 仅用适应度函数来指导搜索,不需要其他推导和附加信息,对问题依赖性小。

(4) GA 的寻优规则是概率性的而非确定性的。

学者们在应用 GA 过程中也不断研究改进 GA 的性能。比如在选择策略中提出了精英选择、稳态选择和竞争选择等新的机制;在变异环节提出了两点、多点和一致变异作为传统一点变异的改进和补

充;在编码环节中应用格雷码和动态编码等克服传统二进制编码和定点十进制整数编码所就带来的问题;此外,还提出自适应技术动态改变 GA 控制参数,克服采取传统的静态控制参数策略引起的多样性和收敛性不均衡问题,以及用梯度方法、单纯型法或模拟退火方法精细调整的混合 GA,以提高算法的收敛速度;用均匀分布的初始群体代替随机产生的初始种群;研究了分布式 GA、迁徙 GA 和并行 GA 等,进一步推动了 GA 的发展。

## 3 遗传算法在图像处理中的应用

### 3.1 基于遗传算法的图像增强

图像增强就是将原来不清楚的图像变得清晰或把某些特征强调出来,以改善图像的视觉效果或便于对图像进行其他处理<sup>[1]</sup>。图像增强技术主要有频域法、空域法。频域法是把原图像进行某种变换(如傅里叶变换,小波变换),在变换域中进行处理以达到增强的目的,空域法直接对原始图像进行处理,主要包括直接灰度变换、直方图均衡、平滑滤波等。

基于 GA 的图像增强技术的实现过程实际上是一个寻找控制参数的最优或次优解的过程,因此,首先要选择一个参数模型。卢丽敏等人<sup>[5]</sup>采用如下的参数模型:设  $f(x, y)$  是图像在  $x$  行  $y$  列的像素值,  $f'(x, y)$  为增强后的图像在对应点的像素值,则有

$$f'(x, y) = g(m(x, y)) + k(f(x, y) - m(x, y))$$

其中,  $g(*)$  是一个对比扩展函数,  $m(x, y)$  为  $x$  行  $y$  列处像素点在它的某个领域内的局部均值,  $k > 0$  是一个控制参数,其大小影响到图像的处理质量,因此,图像增强过程转化为寻求最优参数  $k$  的过程。文献[6]则把问题转化为另外的模型,确定不同的参数来达到同样的目的。文献[7]对图像进行模糊增强处理,给出一种新的模型,使用 GA 对图像模糊增强的灰度阈值进行优化选择,同时改进了 GA。

文献[8]采用 GA 来确定 Beta 函数  $B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1} (1-t)^{\beta-1} dt$  中  $\alpha, \beta$  值,实现图 1 中所示的 4 类变换曲线的自动拟合。提出了自适应多位变异算子,很好地把二进制与十进制编码的优点相结合,使 GA 搜索性能更加优良,提高了种群的稳定性。实验证明该方法不仅具备较强的自适应能力,在获得最优或近似最优解时,极大节约处理时间,明显优于

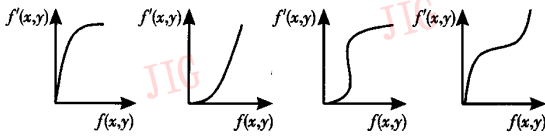


图1 变换曲线

Fig.1 Transformation curve

穷举法,适合对大图像库的自动化处理。

Munteanu 等人<sup>[9]</sup>提出了一种自动局部图像增强技术。为了减少直方图均衡方法的计算量,采用GA来搜索其改进算法的4个参数,采用客观的适应度函数来进行评价,不需要人为干预,并对GA应用了像PCA变异等改进策略,具体方法参见文献[9]。实验证明该方法具有自动性和鲁棒性,而且效果好。

GA用于图像增强能得到更好的增强效果,但从时间上考虑,对图像进行寻优速度较慢,可考虑用并行GA,是一个值得研究的课题。

### 3.2 基于遗传算法的图像恢复

图像恢复就是把一个退化(或劣化)图像尽量恢复到它的原始面目,是数字图像处理中的一个重要分支。目前已提出许多有效的图像恢复方法,如逆滤波法、维纳滤波法、奇异值分解伪逆法、最大熵恢复法等<sup>[10]</sup>。由于引起图像退化的原因未知或不能用函数表达,使得上述方法面临较多的约束问题或是计算量过大问题,由于难以确定退化函数 $h$ ,限制了其实际应用的效果。

GA用于灰度图像的恢复,一般将染色体编码成以各像素的灰度值为元素的2维矩阵,即一个染色体就代表一幅图像,每个基因对应一个像素,采用自然数编码。每个个体的适应度函数为

$$F(f_i) = \|g - h * f_i\|^2$$

其中, $f_i$ 为个体 $i$ 代表的推测恢复图像, $g$ 为观测到的退化图像, $h$ 为退化过程,函数值越大表示个体越好。在交叉操作时一般采用窗口交叉,即在父代染色体矩阵中选择相同大小的窗口,进行交换。变异操作采用临近小范围内的平均值替换需要变异的某一基因值。

文献[11]以图像中像素的灰度相对等级作为模糊特征,把图像模糊特征矩阵中的元素(隶属度),转换成遗传空间上的基因;即基因为 $P_{i,j}/X_{i,j}$ 表示图像中第 $(i,j)$ 点像素具有某种特征的程度,相应的适应度函数为

$$G(y(\tilde{f}_i)) \stackrel{\text{def}}{=} G|\tilde{g} - h * \tilde{f}_i|$$

其中, $G(*)$ 表示模糊集 $*$ 的重心; $f_i$ 是第 $i$ 个个体代表的推测图像模糊集, $g$ 是观测到的退化图像模糊集。文献[12]针对上述问题提出一种基于多种群遗传算法的图像恢复方法,低层遗传保证了搜索的充分性和收敛结果的全局最优性;高层遗传使各子群能共享低层遗传所得的优良基因模式,以防止向局部最优收敛。此外,GA也用于彩色图像的恢复<sup>[13]</sup>,取得了很好的效果。

基于GA的图像恢复方式,突破了原有的理论,而且其开放的结构易于与其他方式融合,如与模糊逻辑相结合的模糊GA等。利用GA恢复图像不仅较好的克服了噪声的影响,而且使图像更平滑,边缘没有条纹效应,视觉效果好。强大的全局搜索能力是遗传算法图像恢复方法行之有效的主要原因。

值得指出的是,用GA进行图像恢复的计算量很大,而且图像恢复属于不良设定问题,解又不是唯一的,因此应改进编码技术,解决通常GA“早熟”问题,以及使用大的群体规模,依赖于选择和交叉算子来提高图像恢复的质量。

### 3.3 遗传算法在图像重建中的应用

图像重建是由在某种观测方式下得到的携带图像信息的数据恢复出原图像的过程。获得目标投影数据的不同方法,决定了图像重建问题求解的方法学。由这种方法学所产生的重建方法主要有代数法、迭代法和傅里叶变换法等。

GA应用于图像重建主要解决从带有噪声的投影数据恢复图像。Knoll等人<sup>[14]</sup>提出一种遗传重建算法(GRA)。GRA主要用来最小化被测像素值 $Z_{ijk\theta}$ 和计算的射线总和 $S_{ijk\theta}$ 之间的差。染色体定义为体素(voxel)值,初始种群的染色体随机取 $[1, 255]$ 区间的值,适应度函数为

$$E_{\text{Ray}} = \frac{1}{n_x n_y n_z} \sum_{i,j,k=1}^{n_x, n_y, n_z} \sum_{\theta=1}^{\theta} \sqrt{(Z_{ijk\theta} - S_{ijk\theta})^2}$$

其中, $i, j, k$ 分别表示被测目标的 $x, y$ 和 $z$ 坐标,成像设备的角度位置表示为 $\theta$ ;  $n_x, n_y, n_z$ 表示被测3维目标的矩阵尺寸;射线总和 $S_{ijk\theta}$ 按下面条件计算:

$$\text{If voxel } V_{ijk} \in \text{Ray} \rightarrow S_{ijk\theta} = S_{ijk\theta} + v_{ijk\theta}^{\text{corr}} V_{ijk}, \\ \text{else } S_{ijk\theta} = S_{ijk\theta}$$

为了提高搜索速度,采用并行的遗传算法来实现,对有噪声的数据集进行实验,效果特别好。

Susumu等人<sup>[15]</sup>提出了一种遗传松弛迭代傅里叶变换算法(GRIFTA),解决图像重建时产生停滞

现象的问题,即重建图像的效果受初始集合选择的影响。染色体直接采用图像的 2 维遗传编码;适应度函数定义为  $J(f_n) = \|P_2 f_n - f_n\|$ ;选择合适的种群规模、交叉率和变异率。仿真实验结果证明,上述方法可以正确重建图像而不依赖初始集合的选择,另外该算法比常规的迭代傅里叶变换算法速度更快。Yu 等人<sup>[16]</sup>在假设组成目标的点是分散情况下,用线性模型拟合方式来重建高分辨率雷达图像。利用 GA 的全局寻优特性来最小化拟合的误差,实验结果证实能得到非常精确的结果。

将 GA 应用于图像的重建还是一个正在探索的课题,目前给出的方法都是有益的尝试,存在一些问题,比如速度一般较慢、重建出的图像边缘不清等,还需要进一步改进。

### 3.4 基于遗传算法的图像分形压缩

分形图像压缩的最基本的思想起源是:具有自相似性的几何体可以用一组简单的代数关系式表达。主要理论基础是迭代函数系统理论和拼贴定理<sup>[17,18]</sup>,要解决的问题是当把被压缩的图像作为吸引子时如何得到 IFS(迭代函数系统)的参数。

将图像互不重叠的小块称为值域块,将可以部分重叠的较大尺寸的块称为定义域块。对每个值域块进行编码时,就是寻找一个定义域块以及一个仿射变换  $w$ ,该变换把定义域块映射到值域块,并使经过映射后的定义域块与值域块的距离在某种度量值下最小,所有值域块对应的压缩映射集构成一个 PIFS(部分迭代函数系统),PIFS 的所有参数就是图像的分形码。由于图像中所有定义域块的集合太大,分形压缩搜索非常耗时,应用 GA 能有效解决分形压缩的最优匹配问题。GA 与分形图像压缩编码的结合要解决的关键问题是要构造一个适当的适应度函数。

张等人<sup>[19]</sup>用区域块左上角的坐标  $x, y$  和区域块的旋转变换  $z$ (共有 8 种旋转)进行染色体编码;陈等人<sup>[20]</sup>在搜索最优定义域块时使用的两个参数是定义域块相对于值域块位移的水平 and 垂直分量  $(x_i, y_i)$ ,用 10 位二进制串对其进行编码,每个参数用 5 位编码;吴等人<sup>[21]</sup>提出了一种带分类的编码法,这样的编码具有特征集中,搜索速度快的特点,能够改进遗传算法的速度,克服分形压缩中分类匹配算法的局部最优和随机搜索问题。

GA 应用于分形图像压缩,提高了压缩比和压缩精度,由于在高压比下信噪比有较大的改善,故

也可用于低比特率的图像压缩<sup>[22]</sup>。而且,GA 具有能并行计算的特点,可降低分形的计算时间,快速找到最优解。但是,实验中的控制参数很多,大部分是依赖经验得到,因此,如何自适应地控制这些参数,进一步提高压缩比和解码质量,还有待于研究和探讨。由于 GA 的良好特性,它与分形结合的应用前景将会是很广阔的。

### 3.5 基于遗传算法的图像分割

图像分割是图像处理中的重要问题,也是计算机视觉研究中的经典难题。图像分割是将目标和背景分离,为后继图像分类、识别等提供准备。常用的分割方法包括阈值法、边缘检测法和区域跟踪法<sup>[1]</sup>,其中阈值法是最常用的方法。目前已有众多的阈值选取方法,如最大类间方差法(Otsu)、最佳直方图熵法、最小误差阈值法和矩量保持法等。

GA 用于图像分割领域一般有两种情况:一是帮助现存的图像分割算法在参数空间内搜索参数;二是在候选的分隔空间内搜索最优的分隔方案。针对第一种情况多数学者利用 GA 的全局搜索性加速或优化现有的阈值分割算法,常用来帮助确定分割阈值。一般每个染色体用 8 位二进制串表示,代表一个阈值。由适应度值进行染色体优胜劣汰的选择,经过不断进化,得到了最佳阈值。其关键问题是适应度函数的设计。

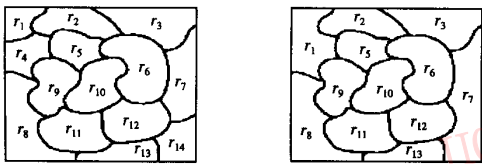
文献[23]采用 Otsu 法进行图像分割时的质量测试公式作为适应度函数;文献[24]采用图像的熵计算公式来计算适应度;文献[25]用最小误差概率作为适应度函数来搜索最优阈值,其收敛性远远高于传统的最小误差准则方法。

对于小目标图像分割,文献[26]在染色体中又加入了一个参数,即“目标在图像中所占比例的可能范围”,克服了传统 P-title 法要求已知目标所占确切比例的缺陷。文献[27]在原单阈值分割 GA 中,加入待分割目标区域的位置、长度和高度参量。在染色体中分别用 5 个 8 位代表这些参量。

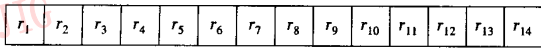
文献[28]在图像分割时的阈值计算上引入 GA,提高了效率。文献[29]给出了一个可以适应动态环境的图像分割系统,将成像条件等环境变量引入图像分割过程,采用 GA 在由分割参数组成的多维空间进行高效搜索,找到最优的分割参数集,从而赋予系统一定的自适应和学习能力。文献[30]提出了一种基于概率划分、模糊划分和熵理论的图像分割的三级阈值方法。模糊区域的宽度和属性由最

大模糊熵定义,而找到所有 6 个模糊参数的最优组合用 GA 来实现。文献[31]提出可在严重噪声情况分割细胞图像的并行 GA,用 GA 来调整细胞轮廓模型的参数以便找到最好的匹配。

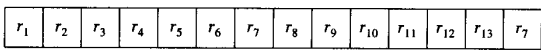
针对第 2 种情况,文献[32]呈现了一种新的基于区域的灰度图像分割方法,该方法使用基于模糊测度的遗传算法,首先提出了一个模糊有效函数,用来测量细小的分割区域之间及内部的疏密程度和沿着所有区域边界的强度;然后应用 GA 去搜索一个可用的区域分割,这个分割能够使分裂和融合过程所生成的区域的质量达到最佳。染色体的结构如图 2 所示。文献[33]把边缘检测问题转化为在所有可能的边缘空间中最小化一个目标代价函数,使用专门的算子进化染色体。文献[34]给出一种基于分布式 GA 的非监督图像分割方法(SR)。最终的分割结果来自于种群中各单元之间基于个体适应度的竞争的副产品,即整个染色体的规模作为一个分割的结果。此外,文献[35]将遗传寻优过程也用于图像的边缘检测,取得了很好的效果。



(a) 初始区域映射 (b)  $[r_1, r_4]$  和  $[r_7, r_{14}]$  合并后区域映射



(c) 上图(a)的染色体结构



(d) 上图(b)的染色体结构

图 2 一个被分割的区域染色体例子

Fig.2 An example of chromosome structure about segmented regions

基于 GA 的图像分割技术充分利用 GA 的并行处理能力和对搜索空间的凹凸性无特殊要求等特点。GA 与传统的阈值选取算法相结合可以加快分割速度,还有一些摒弃了传统方法的应用也取得了很好的分割效果。此外,还可以进一步改进遗传操作以提高 GA 的搜索性能。研究表明,相对图像的其他应用领域,GA 在图像分割领域应用最为成熟,效果显著,而且具有很大的潜力<sup>[36]</sup>。

### 3.6 基于遗传算法的图像匹配

图像匹配在近几十年来一直是人们研究的热点和难点,算法也很多,一般分为基于灰度相关、基于特征、基于模板以及基于变换域的匹配。其中模板匹配是最常见的方法。传统的相关匹配算法是将模板在图上逐像素平移并计算相关值,相关值最大处即为匹配最佳处。该方法匹配精度高,算法稳定,但计算量大,难以用于实时性要求高的场合。

图像相关匹配穷尽搜索的总计算量如下:

总计算量 = 相似性测量函数的计算量 × 搜索位置数

引入 GA 解决相关匹配的速度问题,通过减少搜索位置的数目来减少相关的总计算量。同时在匹配精度性方面也取得了较好的效果,且算法较稳定。应用 GA 进行相关匹配的染色体一般长 16bits,分别用 8bits 来表示相关匹配的位置参数  $(i, j)$ ,适应度函数可使用某种相似测度计算<sup>[37]</sup>。

文献[38]选择格雷码编码方案,同时为了提高不同类型目标匹配定位的精度和跟踪可靠性,采用多子模板匹配方法,图像以同样的方式划分,由各子模板与子图像分别进行相关匹配,仿真结果发现,速度有很大提高。文献[39]则在匹配过程中对 GA 的交叉概率和变异概率进行了改进,使之能随个体适应度变化,这样当群体收敛至局部极值附近时,增大变异概率,从而增加群体多样性,跳出局部解;而当群体在解空间分散时,则增大交叉概率,加快收敛速度,保证了向全局最优解逼近,又有了一定的收敛速度。文献[40]将 Hausdorff 距离作为物体轮廓的相似性的测度,具体计算方法参见文献[40],该方法能有效检测出具有平移、旋转和尺度变化的物体。文献[41]在编码过程中以自然数代替二进制编码,认为二进制编码有如下缺点:

(1) 不同尺寸图像,采用二进制编码的位数不可事先确定;

(2) 二进制交叉和变异后可能产生无对应可行解的个体,这些个体经解码处理后表示的解为无效解。此外自然数编码适合表示大范围的数,不需要编码和解码操作,提高运算速度。

文献[42]应用 GA 进行目标的轮廓匹配。先给出目标的边缘,然后定义染色体为 2D 星形坐标轮廓,每个轮廓  $S_i$  用长度为 8 的向量表示  $S_i = [r_{1i}, \theta_{1i}, r_{2i}, \theta_{2i}, r_{3i}, \theta_{3i}, x_i, y_i]$ ,其中 3 对  $r, \theta$  代表 2D 平面图像轮廓 3 个轴的极坐标,  $x_i, y_i$  代表中心坐标。适应度函数取 2D 轮廓线与图像边缘的距离,最小者

为最优解。文献[43]等提出了一个利用 GA 完成关系图匹配的框架。

提高匹配的精度和计算速度一直是图像匹配研究的热点。图像相关匹配技术中引入 GA 主要解决相关匹配速度问题,GA 通过减少搜索位置的数目从而减少相关的总计算量。同时在匹配精度性方面也取得了较好的效果,而且算法较稳定。

### 3.7 遗传算法在基于内容图像检索中的应用

基于内容的图像检索方法是根据图像所包含的色彩、纹理、形状以及对象的空间关系等信息,通过建立图像的特征矢量,并将其作为图像的索引来进行图像检索的技术,其检索效果与图像特征矢量编码方式以及具体的图像检索方法都有密切关系。

文献[44]提出了一种基于交互式遗传算法(IGA)的图像检索方法,IGA 通过交互过程来获取用户对染色体的评价,并使用用户评价作为适应度值进行选择操作。系统以随机方式从图像库中抽取  $S$  幅图像作为交互式 GA 的第一代样本群体,呈献给用户;用户依据每幅图像与自己的要求对象的相关性进行评价;系统根据用户的评价得到与每幅图像对应的染色体的适应度值对该染色体群体进行一系列的遗传操作。该方法具有简捷、高效的特点。

用户只对适应度评估,不参与个体的搜索过程,容易导致用户的疲劳和低速收敛。文献[45]提出了一种可视化 IGA 模型(VIGA),用户通过对整个搜索过程加一个导向信号,引导遗传过程朝用户的主观情感方向发展。实验结果证明,VIGA 较一般的 IGA 有更快的收敛速度,对减轻用户疲劳有很好的作用。

GA 在基于内容的图像检索中主要是用来提取图像的特征向量,利用 GA 的全局寻优的特性,挖掘出图像最本质的信息,最终提高了检索的精度。同时,可视化的 GA 方法添加处于高适应度区域的个体,有效地加快了遗传算法的收敛速度,在感性检索方面有很大的应用前景。

## 4 结 论

综上所述,GA 作为一种有指导性的、鲁棒的随机化技术,非常适合在图像处理这样的巨量空间内搜索最优值。另外,GA 由于其群体性操作,本质上具有很好的并行分布处理特性,尤其 GA 中各个个体的适应度计算可独立进行而彼此间无需任何通

信,所以并行效率很高。它已经在图像处理领域取得了很好的成果,也受到越来越多的重视<sup>[46]</sup>。但是也暴露出了在理论和应用技术上的许多不足和缺陷。首先,尽管 GA 比其他传统搜索方法有更强的鲁棒性,但它更擅长全局搜索而局部搜索能力却不足。研究发现,GA 可以极快的速度达到最优解的 90% 左右,要达到真正的最优解则需要花费很长的时间。因此,要兼顾收敛速度和解的品质两个指标,除了需要进一步改进基本理论和方法外,还要采用和神经网络、模拟退火、小波分析或其他方法结合的策略以提高 GA 的局部搜索能力,从而改善算法的性能。其次,在变量多、取值范围大或无给定范围时收敛速度下降,而且,GA 中多数参数的选择未有定量方法,经常依赖经验得到,适应度标定方式多种多样,没有一个简洁、通用方法,不利于对 GA 的使用,因此其数学基础显得极为薄弱,尤其是缺乏深刻且具有普遍意义的理论分析。此外,GA 的“早熟”现象即很快收敛到局部最优解而不是全局最优解问题极难处理。这些都是迄今为止 GA 最难解决的关键问题,需要亟待解决。否则,会限制 GA 的进一步应用。

GA 在图像处理方面的应用多数处于理论性仿真阶段,实际系统中的应用还比较少。如何针对图像处理方面的特点选择适用图像分析和处理的 GA 结构或合适的参数是今后进一步研究的内容。

随着理论研究的深入,可以肯定,GA 以其特有的算法特点使其在图像处理问题中的应用会越来越广;同时,广泛的数学方法和强大的计算机模拟工具的出现,必将使 GA 研究取得长足的进展,使 GA 在图像处理中的作用更趋完善。

### 参考文献 (References)

- 1 Zhang Yu-jin. Image Processing and Analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. [章毓晋著. 图像处理和与分析(第 1 版)[M]. 北京:清华大学出版社,1999.]
- 2 Lin Lei, Wang Xiao-long, Liu Jia-feng. Research on optimization of a handwritten Chinese character recognition system based on genetic algorithm[J]. Journal of Computer Research & Development, 2001, 38(6): 658 ~ 661. [林磊,王晓龙,刘家锋. 基于遗传算法的手写体汉字识别系统优化方法的研究[J]. 计算机研究与发展, 2001, 38(6): 658 ~ 661.]
- 3 Liu Zhi-ming, Zhou Ji-liu. Using genetic algorithms to detect face in complex background [J]. Journal of Compute-Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(10): 940 ~ 944. [刘智明,周激流. 基于遗传算法的有效人脸检测法[J]. 计算机辅助设计与图形学

- 学报, 2002, 14(10): 940~944.]
- 4 Chen Gou-lang, Wang Xi-fa, Zhuang Zheng-quan, *et al.* Application of Genetic Algorithms [M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Publishing House, 1996. [陈国良, 王熙法, 庄镇泉等著. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.]
  - 5 Lu Li-min, Zhou Hai-yin. A method of image enhancement based on genetic algorithm[J]. Mathematical Theory and Applications, 2003, 23(1): 82~88. [卢丽敏, 周海银. 一种基于遗传算法的图像增强方法[J]. 数学理论与应用, 2003, 23(1): 82~88.]
  - 6 Li Hong-gui, Li Xing-guo, Li Cuo-zhen, *et al.* A method for infra image enhancement based on genetic algorithm [J]. Systems Engineering and Electronics, 1999, 21(7): 44~46. [李宏贵, 李兴国, 李国桢等. 一种基于遗传算法的红外图像增强方法[J]. 系统工程于电子技术, 1999, 21(7): 44~46.]
  - 7 Chen Jia-juan, Chen Xiao-guang, Ji Shou-wen, *et al.* Study on the fuzzy enhancement method of image based on genetic Algorithm[J]. Computer Engineering and Application, 2001, 37(21): 109~111. [陈佳娟, 陈晓光, 纪寿文等. 基于遗传算法的图像模糊增强处理方法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(21): 109~111.]
  - 8 Zhou Ji-liu, Lv Hang. Image enhancement based on a new genetic algorithm[J]. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(9): 959~964. [周激流, 吕航. 一种基于新型遗传算法的图像自适应增强算法的研究[J]. 计算机学报, 2001, 24(9): 959~964.]
  - 9 Munteanu C, Rosa A. Towards automatic image enhancement using genetic algorithms [A]. In: Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation CEC00 [C], California, USA, 2000: 1535~1542.
  - 10 Chen Y W, Nakao Z, Arakaki K, *et al.* Restoration of gray images based on a genetic algorithm with laplacian constraint[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 103(2): 285~193.
  - 11 Xu Li-zhong, Zhang Min. Image restoration based on combination of fuzzy method and genetic algorithms[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2001, 22(2): 149~153. [徐立中, 张敏. 模糊方法与遗传算法相结合的图像恢复[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(2): 149~153.]
  - 12 Pan Yong-xiang, Li Shou-zhi, Liu Qing-feng. An application of polypopulation genetic algorithm to image restoration[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2001, 17(2): 156~158. [潘永湘, 李守智, 刘庆丰. 多种群遗传算法在图像恢复中的应用研究[J]. 西安理工大学学报, 2001, 17(2): 156~158.]
  - 13 Tsai Hung Hsu, Yu Pao Ta. Genetic-based fuzzy hybrid multi-channel filter for color image restoration[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 114(2): 203~224.
  - 14 Knoll Peter, Mirzaei S. Validation of a parallel genetic algorithm for image reconstruction from projections [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2003, 63(3): 356~359.
  - 15 Susumu Yoshimori, Atsushi Terauchi. Genetic relaxed iterative fourier transform algorithm for image reconstruction from fourier transform magnitude[J]. Systems and Computers in Japan, 2001, 32(5): 1290~1298.
  - 16 Yu Chun-yang, Gao De-yuan. High-resolution radar image reconstruction based on genetic algorithms [J]. Micro-Wave and Optical Technology Letters, 1997, 16(5): 290~292.
  - 17 Dipanda A, Woo S. 3-D shape reconstruction in an active stereo vision system using genetic algorithms [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(9): 2143~2159.
  - 18 Saupe D, Ruhl M. Evolutionary fractal image compression [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Lausanne, Switzerland, 1996, 1: 129~132.
  - 19 Zhang Yuan-liang, Zheng Nan-ning, Jia Tian-xu. Fractal image coding based on genetic algorithm [J]. Information and Control, 1998, 27(6): 469~474. [张元亮, 郑南宁, 贾天旭. 基于遗传算法的分形图像压缩[J]. 信息与控制, 1998, 27(6): 469~474.]
  - 20 Chen Xiao, Zhu Yao-ting, Zhu Guang-xi. Image coding method based on genetic algorithms and IFS [J]. Infrared and Laser Engineering, 2000, 29(1): 30~34. [陈晓, 朱耀庭, 朱光喜. 基于遗传算法和迭代函数系统的图像压缩方法[J]. 红外与激光工程, 2000, 29(1): 30~34.]
  - 21 Wu Geng-shi, Liang De-qun, Tian Yuan. Genetic algorithm used in fractal compression[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1999, 33(4): 34~38. [吴更石, 梁德群, 田原. 基于遗传算法的分形图像压缩方法[J]. 西安交通大学学报, 1999, 33(4): 34~38.]
  - 22 Cheng Yi-min, Wang Yi-xiao. Digital image compression using a genetic algorithm [J]. Real-Time Imaging, 1999, 5(6): 379~383.
  - 23 Wu Cheng-ke, Liu Jing. Image segmentation method by genetic algorithms [A]. In: Proceedings of the Pacific-Asian Conference on Expert Systems 1995 (PACES'95) [C], Huangshan, China, 1995: 597~600.
  - 24 Chong Jin-song, Zhou Xiao-kuan, Wang Hong-qi. Entropic thresholding method based on genetic algorithm [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1999, 6: 747~750. [种劲松, 周孝宽, 王宏琦. 基于遗传算法的最佳熵阈值图像分割法[J]. 北京航空航天大学学报, 1999, 6: 747~750.]
  - 25 Jin Cong, Peng Jia-xiong. Digital image segmentation based on genetic algorithm [J]. Mini-Micro System, 2002, 23(7): 875~877. [金聪, 彭嘉雄. 利用遗传算法实现数字图像分割[J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23(7): 875~877.]
  - 26 Shen Ting-zhi, Wang Lei, Zhou Chang-zhi. Application of the genetic algorithm in small object segmentation [J]. Systems Engineering and Electronics, 2002, 24(12): 86~88. [沈庭芝, 王蕾, 周长志. 遗传算法在小目标图像分割中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(12): 86~88.]
  - 27 Wu Cheng-ke, Liu Jing, Hou Ge-xian. Image segmentation method using genetic algorithms of multiple parameters [J]. Acta Automatica Sinica, 1998, 24(3): 410~413. [吴成柯, 刘靖, 侯格贤. 图像分割的多参量遗传算法[J]. 自动化学报, 1998, 24(3): 410~413.]
  - 28 Lee S U, Chung S Y, Park R H. A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation [J]. Computer Vision, Graphics and Image Process, 1990, 52(2): 171~190.

- 29 Bhanu B, Lee S, Ming J. Adaptive image segmentation using a genetic algorithm [A]. In: Proceedings of IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vancouver [C], British Columbia, Canada, 1995: 1543 ~ 1567.
- 30 Tao Wen-bing, Tian Jin-wen, Liu Jian. Image segmentation by three-level thresholding based on maximum fuzzy entropy and genetic algorithm[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(16): 3069 ~ 3078.
- 31 Jiang Tian-zhi, Yang Fa-guo. A parallel genetic algorithm for cell image segmentation [J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2001, 46(8): 1 ~ 11.
- 32 Chun Dae N, Yang Hyun S. Robust image segmentation using genetic algorithm with a fuzzy measure [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(7): 1195 ~ 1211.
- 33 Bhandarkar S M, Zhang Y, Potter W D. An edge detection technique using genetic algorithm based optimization[J]. Pattern Recognition, 2004, 27(9): 1159 ~ 1180.
- 34 Philippe Andrey. Selectionist relaxation: genetic algorithms applied to image segmentation [J]. Image and Vision Computing, 1999, 17(3): 175 ~ 187.
- 35 Li Ying, Jiao Li-cheng. Edge detection using adaptive immune genetic algorithm[J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 18(8): 890 ~ 895. [李映, 焦李成. 基于自适应免疫遗传算法的边缘检测[J]. 中国图象图形学报, 2003, 18(8): 890 ~ 895.]
- 36 Yi Kim Eun, Jung Keechul. Genetic algorithms for video segmentation[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(1): 59 ~ 73.
- 37 Hou Ge-xian, Wu Cheng-ke. A fast matching method based on genetic algorithms[J]. Journal of Xidian University, 1998, 25(4): 450 ~ 453. [侯格贤, 吴成柯. 一种利用遗传算法的快速匹配算法[J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(4): 450 ~ 453.]
- 38 Zhu Hong, Zhao Yi-gong. Fast image correlative matching based on genetic algorithm [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 1999, 18(2): 145 ~ 150. [朱红, 赵亦工. 基于遗传算法的快速图像相关匹配[J]. 红外与毫米波学报, 1999, 18(2): 145 ~ 150.]
- 39 Zheng Jun, Zhu Jing. Image matching based on adaptive genetic algorithm[J]. Journal of Zhejiang University, 2003, 37(6): 689 ~ 692. [郑军, 诸静. 基于自适应遗传算法的图像匹配[J]. 浙江大学学报(工学版), 2003, 37(6): 689 ~ 692.]
- 40 Liu Jian-zhuang, Xie Wei-xin, Gao Xin-bo, et al. Hausdorff distance based object matching with genetic algorithms[J]. Acta Electronica Sinica, 1996, 24(4): 1 ~ 6. [刘健庄, 谢维信, 高新波等. 基于 Hausdorff 距离和遗传算法的物体匹配方案[J]. 电子学报, 1996, 24(4): 1 ~ 6.]
- 41 Chong Jin-song, Wang Hong-qi, Zhou Xiao-kuan, et al. Application of natural number coding genetic algorithm for image correlation matching[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2001, 23(7): 644 ~ 649. [种劲松, 王宏琦, 周孝宽等. 自然数编码遗传算法在图像相关匹配中的应用[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(7): 644 ~ 649.]
- 42 Alexander Toet, Walter P Hajema. Genetic contour matching[J]. Pattern Recognition Letter, 1995, 16(8): 849 ~ 856.
- 43 Andrew D J, Richard C Wilson, Edwin R Hancock. Inexact graph matching using genetic search[J]. Pattern Recognition, 1997, 30(7): 953 ~ 970.
- 44 Qi Yan, Lu De-tang. The Application of IGA in the CBIR [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(1): 46 ~ 55. [齐岩, 卢德唐. 交互式遗传算法在基于内容的图像检索中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(1): 46 ~ 55.]
- 45 Wang Sheng-hui, Wang Shang-fei, Wang Xi-fa. Visualized interactive genetic algorithm and its application in Kansei-based image retrieval[J]. Mini-Micro Systems, 2004, 25(3): 399 ~ 403. [王胜惠, 王上飞, 王煦法. 可视化交互式遗传算法及其在图像感性检索中的应用[J]. 小型微型计算机系统, 2004, 25(3): 399 ~ 403.]
- 46 Suganthan P N. Structural pattern recognition using genetic algorithms [J]. Pattern Recognition, 2002, 35(9): 1883 ~ 1893.