

基于改进遗传算法的图像恢复方法^{*}

赵金帅 鲁瑞华

(西南大学电子信息工程学院信号与信息处理研究所 重庆 400715)

摘要 通过对遗传算法在进行图像恢复时存在的早熟现象的研究,指出了在图像恢复中早熟现象产生的原因是种群多样性的迅速减少引起的。针对应用遗传算法进行图像恢复时存在的局限性,提出了一种改进的遗传算法。该算法通过加入随机种群弥补种群中减少的多样性,通过改进变异算子使算法加速向最优解收敛。实验结果表明,该算法不论以峰值信噪比为标准,还是以人的主观感觉判断,都明显优于简单遗传算法。而且,该方法能较好地抑制早熟现象,恢复效果对图像的模糊程度依赖性小,可以恢复严重模糊的图像。

关键词 遗传算法,图像恢复,早熟现象,随机种群

Image Restoration Method Based on the Improved Genetic Algorithm

ZHAO Jin-shuai LU Rui-hua

(Institute of Signal and Information Processing, School of Electronics and Information Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract By researching the premature of genetic algorithm in image restoration, this paper points out that the reason of premature is the quick reduction of population diversity. Aiming at the limitation of genetic algorithm in image restoration, an improved genetic algorithm is proposed. The algorithm through introducing random population compensates for the reduction of population diversity and through improving mutation operator quickens convergence to best individual. Experiments demonstrate that this method is better than simple genetic algorithm, in the sense of either peak signal-to-noise ratio or human perception. Furthermore, the improved genetic algorithm can effectively suppress premature and can be very insensitive to blur level of the image, therefore can restore the image heavily blurred.

Keywords Genetic algorithm, Image restoration, Premature, Random population

1 引言

图像恢复是一类复杂的图像处理问题。传统的图像恢复方法有逆滤波、Wiener 滤波、Kalman 滤波、最大熵恢复法等,这些方法均存在一定的缺陷^[1]。由于图像恢复能看作优化问题,而且复杂的先验约束可以通过适当地修改目标函数合并并在进化过程中,因此遗传算法能用于处理图像恢复^[2]。但遗传算法的性能和收敛速度又在很大程度上与遗传操作结构的设计有密切关系,且遗传算法有较为严重的早熟现象。现有的用遗传算法恢复退化图像的算法中,多数没有指出恢复图像质量能否克服进化过程中的早熟收敛现象^[3,4]。一些用遗传算法对退化图像进行恢复的算法中^[2,5],虽然取得了良好的效果,但迭代次数均在 1000 代以上,需要巨大的计算量。针对以上问题,本文首先对遗传算法进行图像恢复时产生早熟现象的原因进行了分析,然后提出了一种用于图像恢复的改进的遗传算法。

2 遗传算法用于图像恢复产生早熟现象的原因

用于图像恢复的遗传算法的遗传算子分别为:比例选择、窗口交叉、取反变异或相邻像素变异^[6]。下面分别分析其在图像恢复中所起的作用。

2.1 选择算子

设 H 为任意一个染色体, $P_t(H)$ 表示时刻 t 时染色体 H

出现的概率,每个染色体根据它的适应度值的大小决定其被选择的概率。因此染色体 H 在 t 时刻出现的概率可以表示为

$$P_t(H) = P_{t-1}(H) f(H) / \bar{f}_t \quad (1)$$

式中 $P_{t-1}(H)$ 为染色体 H 在 $t-1$ 时刻出现的概率, $f(H)$ 表示染色体 H 的适应度值, $\bar{f}_t$ 为 t 时刻种群的平均适应度值。可以看到染色体 H 的适应度值越高,它被选中的概率越大。

根据(1)式,染色体 H 在 $t-1$ 时刻出现的概率可以表示为

$$P_{t-1}(H) = P_{t-2}(H) f(H) / \bar{f}_{t-1} \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式,用 $P_{t-2}(H)$ 表示 $P_t(H)$ 得

$$P_t(H) = P_{t-2}(H) \cdot f(H)^2 / (\bar{f}_{t-1} \cdot \bar{f}_t) \quad (3)$$

依次类推,则有

$$\begin{aligned} P_t(H) &= P_{t-3}(H) \cdot f(H)^3 / (\bar{f}_{t-2} \cdot \bar{f}_{t-1} \cdot \bar{f}_t) \\ &= P_0(H) \cdot f(H)^t / \prod_{i=1}^t \bar{f}_i \end{aligned} \quad (4)$$

若 $P_0(H) = 0$, 则 $P_t(H) = 0$, 即选择算子不产生新的染色体,从而也不可能增加种群的多样性。在比例选择算子的作用下,一个具有很高适应度值的个体很容易大量繁殖,而其它个体被淘汰。

2.2 交叉算子

交叉算子是遗传算法的本质操作,有了不断的交叉才能不断地产生新的个体。而窗口交叉只是两个染色体在相同位

^{*} 基金项目:校发展基金项目(编号:SWNUF2004006)。赵金帅 硕士研究生,研究领域为信号与信息处理;鲁瑞华 教授,硕士生导师,CCF 高级会员,研究领域为信号与信息处理及数字通信。

置上基因的互换。在实际应用中,由于种群规模要受到运行效率和资源的限制,而且选择算子会造成种群多样性的丢失,因此只靠交叉算子不能恢复种群的多样性。

2.3 变异算子

不论是取反变异还是相邻像素变异,都是种群中染色体的某一基因值发生变化。其在时刻 t 发生改变的概率是

$$1 - (1 - P_m)^t \quad (5)$$

其中 P_m 为变异率。变异率一般取很小,如果取得过大,就变成盲目随机搜索,特别是对于相关性很强的图像恢复问题。所以对于某一个确定的基因值在时刻 t 变异的概率几乎为零。

在用遗传算法进行图像恢复时,选择算子造成种群多样性的迅速减少,是导致早熟现象的首要原因,而交叉和变异算子无法克服由于种群多样性的减少产生的早熟现象。

3 基于改进遗传算法的图像恢复方法

3.1 图像编码

为简化计算,选择一幅 40×40 的二值图像作为本文算法的原始图像。采用二维染色体编码,一幅图像用一个矩阵表示,矩阵中的元素位置对应图像上像素的位置,矩阵元素的值对应像素点上的像素值。

3.2 一般性算子

在函数优化中,加入随机种群可以防止进化过程中的早熟现象^[7]。然而图像的像素之间具有极强的相关性,如果每进化一代加入一次随机种群,实验结果表明遗传算法的恢复结果不收敛。所以本文算法每进化 k 代引入一次比例为 r 的随机种群, r 是随机种群的数量占种群规模 N 的比例。通过适当调整 k 和 r 的值,使算法能弥补进化过程中减少的种群多样性,克服早熟现象。种群中的其它个体由联赛竞争选择方法从父代种群中选出。由于在进化过程中加入随机种群会影响进化速度,因此,如果在某代加入随机种群,则该代中的交叉算子就用当前最优个体与加入随机种群后的种群中的每一个个体进行交叉操作。这样既能充分利用最优个体中所含有的优良模式,使最优个体的性状在后一代的新个体中尽可能得到遗传和继承;又能提高算法搜索新的解空间的能力。在本文算法中,除了一致行/列交叉、随机行/列交叉^[8]以外,还有一致算术行/列交叉。一致算术行/列交叉是被随机选择的两个父代个体以线性组合的方式交换它们在相同位置上的行或列信息。如果被选出的父代个体为 f_i, f_j , 被随机选择的两个个体的交叉部分为 p_i, p_j , 则交叉后两个个体中被选出的部分为

$$p'_i = a * p_i + (1-a) * p_j \quad (6)$$

$$p'_j = (1-a) * p_i + a * p_j \quad (7)$$

其中交叉因子 a 经过多次实验取 0.8 最佳。

3.3 基于边缘信息的局部变异算子

本文算法设计了基于图像边缘信息的变异算子使算法在经过交叉算子接近最优解邻域时加速向最优解收敛。

变异点连同其 8-邻域像素点构成的区域称为局部区域;如果该局部区域中的任何一点均不包含用边缘检测算子检测出来的边缘信息,则认为该局部区域是局部连通区域,否则是非局部连通区域。

对于一幅待变异的图像,首先用“canny”边缘检测算子检测出该图像的边缘^[9],然后随机选取变异点 p ,判断其局部区域是否是局部连通区域,如果是,则对于该局部连通区域中的

任意点 $x_{i,j}$,按下面的方法进行变异

$$new_x_{i,j} = \begin{cases} 0 & p < 0.25 \\ 1 & p > 0.75 \\ x_{i,j} & 0.25 \leq p \leq 0.75 \end{cases} \quad (8)$$

由于边缘检测算子对噪声点比较敏感,在进行检测时,容易把噪声点误判为图像的边缘,进而影响图像恢复的效果。所以,本文算法的变异算子只对进化过程中适应度值最高的个体进行变异。同时,利用文献^[10]中的基于邻域信息优化方法的消除图像噪声技术对种群中明显的噪声点进行处理。

与改进前的遗传算法相比,本文算法具有两个主要的特征:

- (1) 每隔一定进化代数加入一次随机种群;
- (2) 基于边缘信息的局部变异算子。

第一个特征加强了遗传算法搜索新的解空间的能力,第二个特征使遗传算法加速向最优解收敛。因此,在进化过程中两个算子相互交叉作用,使本文算法能在防止早熟现象的同时更快地接近全局最优解。

4 仿真结果

原始图像(图 1(a))通过退化算子 h (式(9))做第一步退化,加入高斯白噪声 n 做第二步退化,退化图像如图 1(b)所示。

$$h = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

4.1 遗传算子的选择及参数设置

实验中,种群规模 N 和算法终止代数 T 均分别设为 60 和 200。根据文献^[2]中的能量函数,适应度函数由(10)式给出

$$E(i) = \|g - f'_i * h\|^2 + \lambda * \|P * f'_i\|^2 \quad (10)$$

上式中 g 表示退化图像, f'_i 表示种群中第 i 个个体代表的推测恢复图像, λ 是平衡第一项和第二项的参数, P 是拉普拉斯算子。其中 $E(i)$ 的值越小,该个体代表的图像 f'_i 的适应度值越高。最佳图像的恢复过程,就是最小化 $E(i)$ 的过程。

本文算法在退化图像的基础上加随机扰动产生初始种群,并分别与随机产生初始种群的简单遗传算法(称 SGA1)、在退化图像的基础上产生初始种群的简单遗传算法(称 SGA2)进行比较。

在 SGA1 和 SGA2 中,遗传算子采用比例选择、窗口交叉和相邻像素变异,设交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 分别为 0.8 和 0.01;在本文算法中,选择算子为联赛竞争选择,交叉算子为一致行/列交叉、随机行/列交叉^[8],交叉概率分别设为 0.5, 0.3, 变异概率 p_m 设为 0.01, r 和 k 的取值分别为 2/60 和 37,各参数的最佳取值由实验确定。

4.2 实验结果分析

本文算法从主观效果和客观指标峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, 简称 PSNR)两个方面评价各种算法的恢复质量的提高情况。给出了实验的部分主观效果图和全部客观评价指标。部分主观效果如图 1 所示,全部的客观评价指标如表 1 所示。在表 1 中 A 表示算法, P 表示客观评价指标 PSNR, Z 表示加入的高斯白噪声的标准差。

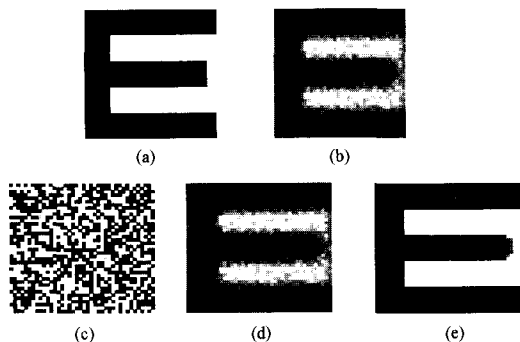


图1 恢复图像质量主观效果图:(a)原始图像;
(b)退化图像;(c)SGA1 恢复结果;(d)SGA2 恢复结果;
(e)本文算法恢复结果

表1 恢复图像质量客观评价表

P	A	Z	SGA1	SGA2	本文算法
0.1			3.2400	13.0425	22.5899
0.2			3.1135	11.6128	19.8566

图1为加入标准差为0.1的高斯白噪声的恢复结果。从图1中可以看出,在相同的适应度函数、种群规模和进化代数的前提下,本文算法恢复图像质量的主观效果比SGA1有较大提高,比在同等条件下产生初始种群的SGA2也有较大改善。SGA1根本就没有恢复出原始图像的大致轮廓,需要漫长的进化收敛期才能达到和其它算法相同的恢复结果;SGA2在退化图像的基础上产生的初始种群,由于个体间的极度相似,无法克服进行过程中的早熟现象;而本文算法能完全克服进化过程中的早熟现象,除了个别像素点以外,能得到与原始图像完全相同的恢复结果。

表1为加入不同程度的高斯白噪声的客观指标PSNR的评价表。从表1中可以看出,不论加入标准差为0.1的高斯白噪声还是加入标准差为0.2的高斯白噪声,本文算法恢复图像质量的客观评价指标PSNR分别比SGA1,SGA2提高了16dB,8dB以上。从PSNR的差异性可以看出,本文算法均远

(上接第234页)

去除噪声的同时,图像边缘效果较好,对噪声引起的形态梯度较大的点有很好的抑制减弱作用,表现在实验结果上就是边缘更接近单像素边缘。

较之传统的形态学算法,本文算法的不足是计算量较大。以一个 3×3 的结构元素为例,假设图像的大小为 $M \times N$,用传统的方法,其实际复杂度为 $9 \times M \times N$;运用本文的算法,如果计算四个方向,其时间复杂度为 $4 \times 9 \times M \times N$ 。同理,如果计算八方向,时间复杂度为 $8 \times 9 \times M \times N$ 。

结束语 本文指出了传统形态学边缘检测算法存在的不足,提出了多方向灰度形态学边缘检测算法,并分析了四方向和八方向算法。分析和实验都表明,本文算法对噪声抑制能力强且检测到的边缘更接近单像素边缘,因此在抗噪声和边缘检测效果两方面都优于传统的灰度形态学边缘检测算法。本文算法存在的不足是计算量较大。下一步的工作将研究如何提高算法效率,减少计算量。从抗噪声和边缘检测效果来看,本文算法是一个有一定优势且可行的算法。

远优于其它两种算法,并且本文算法对图像的模糊程度依赖性小,可以恢复严重模糊的图像。进一步说明了本文算法中随机种群的引入、改进的变异算子的有效性。证明了本文算法是一种有效的图像恢复方法。

结束语 针对遗传算法在图像恢复时存在的早熟现象,本文从改进遗传操作结构及提高搜索效率两个方面入手,提出了一种用于图像恢复的改进遗传算法。从实验结果看,本文算法能克服进化过程中的早熟现象,比SGA1,SGA2的恢复图像质量有较大的改善,并且在一定程度上减少了计算量。但是该算法也有一定的限制性,对于复杂的多灰度级图像,本文算法的恢复结果不是特别理想。因此,下一步的工作是如何充分利用遗传算法的特点,在降低计算复杂度的基础上,设计出适用于更多待恢复图像的遗传算法。

参考文献

- [1] 赵保军,史彩成,沈胜宏,等.一种基于CMAC的图像恢复算法[J].中国图象图形学报,2001,6(A8):780-783
- [2] 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): 285-293
- [3] Wang Zhe, Yu Yinglin. A Relaxation Evolutionary Image Restoration Method[J]. IEEE, 1997, 2(10): 1100-1104
- [4] Enokura T, Chen Y W, Nakao Z. A Fast Image Algorithm for Image Restoration based on a Hybrid GA and SA[J]. IEEE, 1999, 4(10): 891-894
- [5] Chen Y W, Nakao Z, Fang X, et al. A Parallel Genetic Algorithm for Image Restoration[C]//Proceedings of ICPR '96. IEEE: 694-698
- [6] 陈国良,王熙法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996
- [7] 孟伟,韩学东,洪炳熔.蜜蜂进化型遗传算法[J].电子学报,2006,34(7):1294-1300
- [8] Chen Y W, Enokura T, Nakao Z. Blind Deconvolution Based on a Hybrid GA/SA Approach[J]. IEEE, 1998, 3(10): 2190-2195
- [9] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. 数字图像处理(MATLAB版)[M].阮秋琪,译.北京:电子工业出版社,2005
- [10] 李威,郁道银,谢洪波,等.基于领域信息优化方法的图像恢复与增强[J].天津大学学报,2001,34(4):495-498

参考文献

- [1] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing. 2nd ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- [2] Hu Dong, Tian Xiangzhong. A Multi-directions Algorithm for Edge Detection Based on Fuzzy Mathematical Morphology[J]//Proceedings of the 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence-Workshops. IEEE, 2006
- [3] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社
- [4] Cheng Ke, Wang Shi-tong, Yang Jing-yu. Simulation Study of a New Algorithm NDA Based on Fuzzy Mathematical Morphology for White Blood Cell Detection[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5)
- [5] Michael A. Efficient Algorithms for the Soft Morphological Operators. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(11): 1142-1147
- [6] Song Xudong. Robust edge detector based on morphological filters. Pattern Recognition Letters 14, November 1993: 889-994
- [7] 舒昌献,莫玉龙.基于软化形态学的边缘检测.中国图象图形学报,1999,4(2):139-142
- [8] 黄凤岗,杨国,宋克欧.柔性(soft)形态学在图像边缘检测中的应用.中国图象图形学报,2000,5A(4):284-287