

基于蛙跳算法的模糊图像复原

邵明省¹ 王其华²

(¹ 鹤壁职业技术学院电信学院, 河南 鹤壁 458030; ² 黄淮学院电子科学与工程系, 河南 驻马店 463000)

摘要 为了提高模糊图像复原后的清晰度, 提出蛙跳算法。将蛙群体分成若干个族群, 每个族群包含若干只青蛙, 每次进化只更新最差青蛙的位置。为防止解空间收缩, 对最优个体进行高斯变异算子操作, 同时设定阈值策略对蛙跳各维变量进行指导性更新。建立模糊图像复原模型, 用蛙跳算法非线性映射特性建立模糊图像与复原的函数关系, 使模糊图像复原的解最终收敛于泊松统计的最大似然解。建立了复原评价指标。仿真实验结果表明, 与其他算法相比, 蛙跳算法复原较清晰, 改善百分比最大, 同时耗时最少。

关键词 图像处理; 图像复原; 蛙跳; 高斯算子; 映射

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.021003

Blurred Image Restoration Based on Frog Leaping Algorithm

Shao Mingsheng¹ Wang Qihua²

(¹ Department of Telecommunications, Hebi Occupation Technology College, Hebi, Henan 458030, China)
(² Department of Electronic Science and Engineering, Huanghuai College, Zhumadian, Henan 463000, China)

Abstract In order to obtain clear restoration result from a blurred image, we propose the frog leaping algorithm. The frog population is divided into several groups, each ethnic group includes a number of frogs, and every evolution only updates the worst frog's position. In order to prevent the solution space from contraction, the best individual is chosen to perform operation with the Gaussian mutation operator. A threshold value strategy is set to guide the update of the variables in various dimensions of frog leaping. The blurred image restoration model is established, in which the relation between blurred and restored images is set up with the nonlinear mapping characteristics of the frog leaping algorithm. The blurred image restoration solution converges on the Poisson statistical maximum likelihood solution. A recovery evaluation system is established. Simulation results show that the frog leaping outperforms other algorithms with the clearer recovery, the highest improvement percentage and the least time consumption.

Key words image processing; image restoration; frog leaping; Gaussian operator; mapping

OCIS codes 100.3010; 110.4155; 110.3080; 120.1880

1 引言

由于观测环境的动态复杂性以及成像设备的限制, 如光电传感器的暗电路噪声、在轨相机的抖动、大气的干扰、光学系统的像差、成像光源和射线的散射等, 拍摄会造成图像的模糊。如何从模糊图像中复原出真实图像, 是图像复原所要解决的问题^[1]。

Lucy-Richardson 算法是目前应用最广泛的图像复原技术之一, 通过合适的迭代次数收敛于泊松统计的最大似然解来对图像进行恢复, 但是合适的迭代次数往往无法把握, 太小则校正次数不够, 太大则噪声会被放大, 恢复图像会出现一些斑点^[2]。图像插值技术通过放大单幅图像的尺寸, 仅仅使图像低频部分恢复, 对于损失的高频成分不能恢复^[3]。Hough 变换可以对模糊图像进行恢复, 但这种算法需要拉格朗日内插对曲线做拟合, 增加了计算复杂度, 只适用于大信噪比的情况^[4]。一种基于 Z 变换的模糊图像恢复算法能将运算转化为简单的代数方程, 但要求噪声的功率谱已知, 且需先进行复杂的矩阵运算^[5]。蚁群算法、粒子群算法、人工鱼群算法等在求解时依赖于梯度信息, 对于信噪比低的图像, 复原的效果比较差。

本文结合人工智能仿生优化思想, 根据蛙跳的特点提出蛙跳算法, 达到了全局探索能力和局部开发能力的平衡, 有较强的稳健性; 通过阈值和高斯变异因子来使收敛速度加快。

收稿日期: 2011-07-26; 收到修改稿日期: 2011-09-20; 网络出版日期: 2011-12-07

作者简介: 邵明省(1980—), 男, 硕士, 讲师, 主要从事信号处理和通信技术方面的研究。E-mail: wapinetcn@yahoo.com.cn

2 蛙跳算法的模糊图像复原

2.1 蛙跳算法描述

将所有的青蛙个体按适应度值降序排列,然后将群体分成若干个族群,每个族群包含若干只青蛙。在每个子群中,具有最好适应度和最差适应度的青蛙分别记为 F_b 和 F_w ,而整个种群中具有最好适应度的青蛙记为 F_g 。每次进化只更新最差青蛙 F_w 的位置,调整公式为

$$\begin{cases} C_i = \text{rand}() \times (F_b - F_w), \\ F_{\text{new}} = F_w + C_i, \end{cases} \quad (1)$$

式中 $\text{rand}()$ 为处于 $(0,1)$ 之间的随机数^[6], $C_{\min} \leq C_i \leq C_{\max}$ 。

$\text{rand}()$ 函数具有随机性,会导致更新步长过大,在最优解附近不停搜索。将目标函数的解域定为总样本,种群的产生视为抽样,种群规模视为子样,这样相对于整个解空间,算法中所抽取的初始种群规模是较小的,可以看作是小子样。当种群进化到一定程度以后,个体集中在可能最优解区间附近查找,可以视为解空间收缩。而高斯算子同样具有很好的随机性,并且有较强的局部搜索能力。对最优个体进行高斯变异算子操作,更新公式为

$$F_{\text{new}} = F_{\text{current}} + kF_{\text{current}} [1 + N(0,1)], \quad (2)$$

式中 $k \in (0,1)$ 为控制参数, $N(0,1)$ 为方差高斯算子。

如果更新后的适应度值优于当前最优个体,则更新,这样使个体避免在已搜索过的区域重复搜索,缩小随机生成解的范围^[7]。

调整公式中随机判别条件的不确定性比较大,即 k 值选择过大或过小均会引起部分青蛙最差个体趋近于最优值的更新速度减缓,会对计算速度和结果稳定性产生一定的影响。 k 值过大使复原图像产生过于平滑的效应,并且抹去了图像中的许多细节信息;过小则不能消除图像模糊效果。为提高算法的收敛速度,设定阈值策略对蛙跳各维变量进行指导性更新:

$$F_{\text{wj,new}} = \begin{cases} 1, & F_{\text{new}} + d_j > T \\ 0, & F_{\text{new}} + d_j \leq T \end{cases} \quad d_j \in [-d_{j,\max}, d_{j,\max}] \quad (3)$$

式中 $T \in (0,1)$ 为设定的阈值, d_j 表示 F_{new} 中的第 j 维变量的移动距离, $d_{j,\max}$ 为青蛙所允许改变位置的最大值^[8]。

在整个迭代过程中提高群体的多样性和最差个体搜索的遍历性,可以确保群体持续进化,有利于提高收敛速度,并避免陷入局部最优,进而算法既能快速收敛到最优解的附近,又能有比较好的逼近精度。

2.2 模糊图像复原

2.2.1 模糊图像复原模型

设 $f(x,y)$ 是原始图像; $h(x,y)$ 是运动模糊核函数即成像系统的点扩展函数; $g(x,y)$ 为经成像系统生成的退化图像,是可以获得的观测数据样本; $n(x,y)$ 是随机高斯白噪声。在几何光学条件下,对于线性移不变成像系统^[9],离焦模糊图像的退化过程可以表示为

$$g(x,y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\alpha,\beta) h(x-\alpha, y-\beta) d\alpha d\beta + n(x,y) = f(x,y) * h(x,y) + n(x,y), \quad (4)$$

式中 $*$ 是二维卷积运算。 $h(x,y)$ 的一般表达式为

$$h_r(x,y) = \begin{cases} 0, & x^2 + y^2 > r^2 \\ 1/r^2, & x^2 + y^2 \leq r^2 \end{cases} \quad (5)$$

式中 r 为退化模型唯一的模糊参数,是待求参数, $x/y = -\tan \theta$, θ 为像素模糊倾斜度。

图像复原的目的就是利用图像退化过程中的信息来重建图像,重构图像与原图像越接近则表明复原效果越好。通常的图像复原是从给定的退化图像 $g(x,y)$ 得到复原估计图像 $\hat{f}(x,y)$ 的反向处理过程。蛙跳算法实现从 n 维欧氏空间 R^n 的一个子集 A 到 m 维欧氏空间 R^m 的一个子集 $\phi[A]$ 的映射^[10],利用蛙跳算法非线性映射特性,建立 $\hat{f}(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 的映射关系 ϕ ,使

$$\hat{f}_i = \phi(g_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

同时把二维图像 $M \times N$ 按行展开为 L^2 维的列向量,通过图像系统点扩展函数生成的 Toeplitz $L \times L$ 维矩阵,可用 L^2 个分块循环矩阵来表示:

$$\mathbf{H}_j = \begin{bmatrix} h_e(j,0) & h_e(j,L-1) & h_e(j,L-2) & \cdots & h_e(j,1) \\ h_e(j,1) & h_e(j,0) & h_e(j,L-1) & \cdots & h_e(j,2) \\ h_e(j,2) & h_e(j,1) & h_e(j,0) & \cdots & h_e(j,3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_e(j,L-1) & h_e(j,L-2) & h_e(j,L-3) & \cdots & h_e(j,0) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

式中 $h_e(x,y)$ 为 $h(x,y)$ 扩零后的点扩展函数^[11]。

结合蛙跳迭代运算使图像模糊复原的解最终收敛于泊松统计的最大似然解。这种算法和以往基于傅里叶变换的图像复原算法不同,它假定观察图像、点扩展函数和原始图像服从某个概率统计模型,根据贝叶斯理论,通过迭代复原出原图像。

假定模糊图像各个分块矩阵相互独立,有

$$f^{n+1}(x,y) = \left\{ \left[\frac{h^{n+1}(x,y)}{h^{n+1}(x,y) * f^n(x,y)} \right] * h^n(-x,-y) \right\} f^n(x,y). \quad (8)$$

用 $p(g|f)$ 表示点扩散函数,利用最大似然估计原始清晰图像:

$$J(f) = \ln p(g|f) = \sum_{(x,y)} \{ g(x,y) \ln[(h * f)(x,y)] - (h * f)(x,y) - \ln g(x,y) \}. \quad (9)$$

令

$$\frac{\partial}{\partial f(x,y)} [\ln p(g|f)] = 0, \quad (10)$$

得

$$\sum_{(x,y)} g^n \frac{h(x,y)}{(h * f)(x,y)} - 1 = 0. \quad (11)$$

图像的第 $n+1$ 次迭代估计即为(8)式^[12]。

2.2.2 复原图像评价标准

2.2.2.1 图像质量改善百分比

设处理的图像为 $M \times N$ 的灰度图像,原图像模糊度 B 和复原后的模糊度 F 分别为

$$B = \sqrt{\frac{1}{\max(M,N)} - 1} \times \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left[g(i,j) - \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N g(i,j)}{\max(M,N)} \right], \quad (12)$$

$$F = \sqrt{\frac{1}{\max(M,N)} - 1} \times \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left[\hat{f}(i,j) - \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \hat{f}(i,j)}{\max(M,N)} \right], \quad (13)$$

式中 $g(i,j)$, $\hat{f}(i,j)$ 分别表示模糊图像和复原图像^[13]。图像质量改善百分比为 $(B - F)/B \times 100\%$,改善百分比越大则复原质量越好。

2.2.2.2 时效性评价

当模糊图像复原数据跨越较长的时间间隔时,算法的时效性分析就不能被忽略。若复原数据的时间满足条件 $f(t) = t - T_i$, t 表示当前时间, T 表示处理当前像素 i 有效时间帧长度,时间帧随时间的推移自动向前移动,以保证当前时间始终在时间帧头部^[14]。

第 i 个像素数据的处理时间长度定义为:

$$\lambda_i = \begin{cases} 0, & f(t) < t - T_i \\ 1 - \frac{t - f(t)}{T_i}, & t \geq f(t) \geq t - T_i \end{cases} \quad (14)$$

则时效性评价计算公式为

$$T_{\text{timeliness}} = \sum T_i / \sum \lambda_i. \quad (15)$$

$T_{\text{timeliness}}$ 越小则时效性越好。

3 实验仿真

3.1 复原效果视觉对比

对一幅藏品古画进行拍摄,通过 Matlab7.0 平台进行编程,采用 Lucy-Richardson 算法、图像插值算法、Hough 变换算法、Z 变换算法、蚁群算法、粒子群算法、人工鱼群算法以及本文算法进行复原效果对比,如图 1 所示。其中图 1(a)为存在高斯噪声的模糊图像,图 1(b)~(i)为采用各种算法复原的结果。

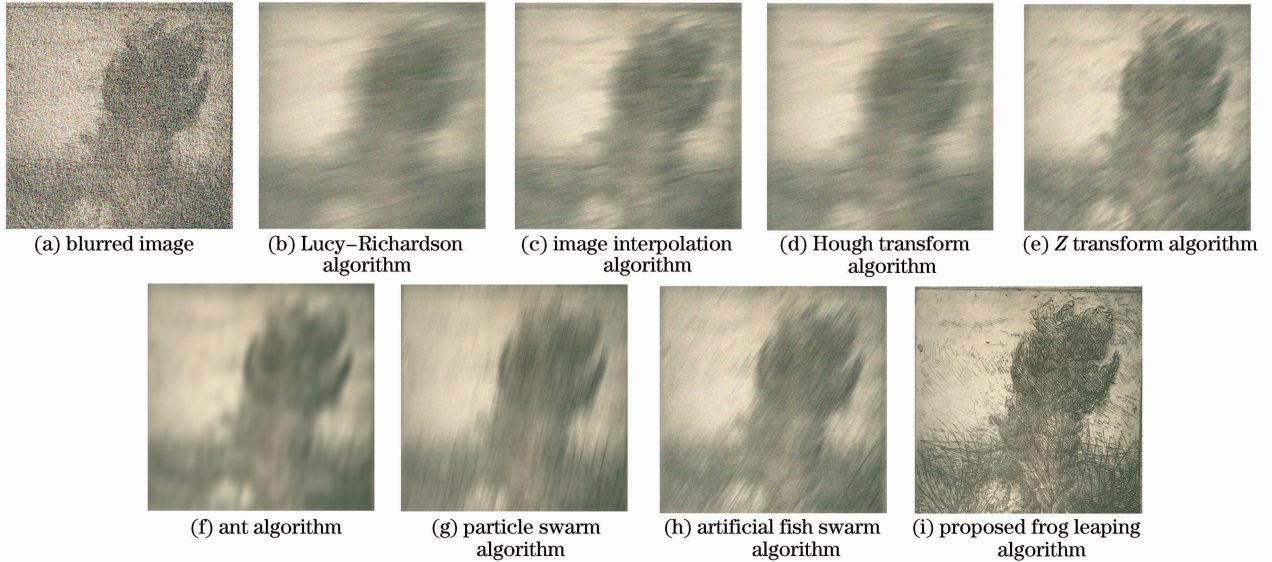


图 1 不同算法复原效果对比

Fig. 1 Comparison of restoration effects with different algorithms

由图 1 可知, Lucy-Richardson 算法、图像插值算法、Hough 变换算法、Z 变换算法尽管进行了去噪预处理,但恢复效果仍不是很理想;蚁群算法、粒子群算法、人工鱼群算法恢复效果较 Lucy-Richardson 算法、图像插值算法、Hough 变换算法、Z 变换算法更好,模糊度降低,但是混迭现象依然存在。而采用本文算法所得到的复原图像抑制了振铃效应,同时提高了图像中相邻像素的对比度,使图像复原效果更加清晰,明显好于其他算法的复原效果。因为蛙跳算法依据蛙跳步长的不确定性,数据寻优滤波器是非线性的,符合图像记录 and 人类视觉的非线性特点,所以得到了较好结果。

3.2 评价指标对比

将改善百分比作为衡量复原性能的指标,不同算法设置相同的复原前模糊度,对比复原后模糊度的相对变化,结果如表 1 所示。

表 1 改善百分比对比表

Table 1 Comparison of improvement percentage

Algorithm	B	F	Improvement percentage /%
Lucy-Richardson algorithm	0.8254	0.7901	4.28
Image interpolation algorithm	0.8254	0.7101	13.97
Hough transform algorithm	0.8254	0.6021	27.05
Z transform algorithm	0.8254	0.5736	30.51
Ant algorithm	0.8254	0.3065	62.66
Particle swarm algorithm	0.8254	0.2282	72.35
Artificial fish swarm algorithm	0.8254	0.1591	80.71
Proposed frog leaping algorithm	0.8254	0.0532	93.56

本文算法的改善百分比大,复原质量好,这是因为蛙跳算法混合了竞争进化算法思想,每隔一定周期对最优个体进行高斯变异算子操作,使算法在局部深度搜索的同时具有全局搜索能力。

3.3 时效性分析

为了更好的对本文算法进行实时性分析,在相同的硬件条件和操作系统下,对图 1(a)的模糊图像进行处理时间分析,以图 1(b)~(i)为最终结果,则不同算法的耗时如表 2 所示。为减少统计误差,对每种算法进行 20 次蒙特卡罗实验。

从处理时间上可以看出,本文算法相对耗时较少,这是因为设定了阈值策略对蛙跳各维变量进行指导性更新,防止蛙跳出现盲目性,避免了普通算法中随机挑选元素执行搜索导致效率低下的缺点,同时蛙跳每个族群都向全局最优方向收敛,整个群体也朝此方向收敛。

4 结 论

提出了一种蛙跳算法用于模糊图像复原。在该算法中,每次进化只更新最差青蛙 F_w 的位置,为了防止当种群进化到一定程度后解空间的收缩,对最优个体进行高斯变异算子操作,为了提高算法的收敛速度,设定阈值策略对蛙跳各维变量进行指导性更新。与其他算法比较的结果显示,本文算法恢复效果清晰,模糊度的改善百分比最大,同时耗时较少。未来蛙跳算法在图像处理领域的发展,将会根据蛙跳子代更新以及蛙自身体积的改变来满足人类视觉需求。

参 考 文 献

- Chen Xi, Wang Yangang, Peng Silong. Restoration of degraded image from partially-known mixed blur [J]. *J. Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2010, **22**(2): 272~278
陈曦,汪彦刚,彭思龙. 部分模糊核已知的混合模糊图像复原算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, **22**(2): 272~278
- Li Dan, Qian Jiansheng, Lu Nannan *et al.*. Improving image restoration algorithm for image with Gaussian blur noise[J]. *Computer Applications and Software*, 2010, **27**(10): 13~16
厉丹,钱建生,芦楠楠等. 高斯模糊噪声图像的图像复原算法的改进[J]. 计算机应用与软件, 2010, **27**(10): 13~16
- Zhang Xiaoling, Shen Lanyun. A survey of super resolution image reconstruction[J]. *Measurement & Control Technology*, 2005, **24**(5): 1~5
张晓玲,沈兰韵. 超分辨率图像复原技术的研究进展[J]. 测控技术, 2005, **24**(5): 1~5
- Wan Faping, Liu Zhi, Zhang Zhaoyang. Out-of-focus blurred images restoration based on Hough transformation[J]. *Video Engineering*, 2010, **34**(10): 29~31,35
万发平,刘志,张兆杨. 基于 Hough 变换的散焦模糊图像复原算法[J]. 电视技术, 2010, **34**(10): 29~31,35
- Li Minghe, He Bin, Yue Jiguang *et al.*. Blurred image restoration of local uniform motion based on Z transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(5): 1193~1197
黎明和,何斌,岳继光等. 基于 Z 变换的局部匀速运动模糊图像恢复算法[J]. 光学学报, 2009, **29**(5): 1193~1197
- Xiong Weiping, Zeng Biqing. Studies on some bionic optimization algorithms[J]. *Computer Technology And Development*, 2010, **20**(3): 9~12
熊伟平,曾碧卿. 几种仿生优化算法的比较研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, **20**(3): 9~12
- Zhang Min, Wang Xiangjun, Ji Dou *et al.*. A novel evolutionary programming[J]. *J. Naval University of Engineering*, 2008, **20**(3): 40~43
张民,王向军,嵇斗等. 一种新的进化规划算法[J]. 海军工程大学学报, 2008, **20**(3): 40~43
- Wang Qian, Zhang Lizi, Shu Jun *et al.*. Application of improved shuffled frog leaping algorithm based on threshold selection strategy in transmission network planning[J]. *Power System Protection And Control*, 2011, **39**(3): 34~39
王茜,张粒子,舒隽等. 基于阈值选择策略的改进混合蛙跳算法在电网规划中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, **39**(3): 34~39

表 2 处理时间对比表
Table 2 Comparison of processing time

Algorithm	Processing time /s
Lucy-Richardson algorithm	12.56
Image interpolation algorithm	11.21
Hough transform algorithm	12.02
Z transform algorithm	9.63
Ant algorithm	6.97
Particle swarm algorithm	6.26
Artificial fish swarm algorithm	5.91
Proposed frog leaping algorithm	3.01

- 9 Hu Xiaoping, Chen Guoliang, Mao Zhengyu *et al.*. Study on Wiener filtering for restoration of defocus blur image[J]. *Chinese J. Scientific Instrument*, 2007, **28**(3): 479~482
胡小平,陈国良,毛征宇等. 离焦模糊图像的维纳滤波复原研究[J]. 仪器仪表学报, 2007, **28**(3): 479~482
- 10 Dong Jun. Research on Image Restoration Algorithm Based on BP Network[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2009. 30~45
董俊. 基于BP神经网络的图像复原算法研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2009. 30~45
- 11 Meng Meng, Wang Yu. Three-dimension microscopic image restoration based on the Hopfield network[J]. *J. Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*, 2008, **32**(2): 236~239
孟猛,王宇. 基于Hopfield网络的三维显微图像复原[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2008, **32**(2): 236~239
- 12 Chen Yunlong, Wang Ping, Wang Peng. Degradation image restoration algorithm based on L-R nonlinear iteration[J]. *Computer Engineering*, 2010, **36**(4): 202~204
陈云龙,王平,王鹏. 基于L-R非线性迭代的降质图像复原算法[J]. 计算机工程, 2010, **36**(4): 202~204
- 13 Wu Shuyan. Motion Blurred Image Restoration Algorithm[D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2009. 46~50
吴淑艳. 运动模糊图像复原算法研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2009. 46~50
- 14 Yang Chao, Wu Airong. Method of evaluation data freshness based on reduction-factor[J]. *Computer Engineering and Design*, 2010, **31**(3): 684~686
杨超,吴爱荣. 基于衰减因子的评价数据时效性处理方法[J]. 计算机工程与设计, 2010, **31**(3): 684~686