

猴王遗传算法的改进

李宇中¹,刘红星¹,张 胜²

(1. 南京大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210093; 2. 南京师范大学 物理科学与技术学院,江苏 南京 210097)

[摘要] 猴王遗传算法是一种很新颖的遗传算法,对其初步的研究已经显示出一定优越性和潜力.猴王遗传算法尚存在的不足或待改进的地方是:有些参数要靠人为确定不够方便,猴王点附近没有专门的局部寻优机制——影响了整体寻优能力.针对这些问题,对猴王遗传算法进行了改进,通过扩大随机个体引进的数量简化了原有的一些参数,设计增加了一种局部寻优机制——猴王爬山操作算子.经大量实验测试,改进效果令人满意.

[关键词] 遗传算法,进化计算,进化算法,猴王

[中图分类号] O221.2, **[文献标识码]** A, **[文章编号]** 1672-1292-(2004)03-0053-04

0 引言

文献[1]的作者受自然界中猴王在猴群中具有基因遗传绝对优先权的现象启发,提出了猴王遗传算法,其特点是:每代群体主要由上代群体中的最优个体(即猴王)与其他个体交叉产生.文献[1]的猴王遗传算法还提出了在每代种群中引入若干随机个体的策略,以增加种群多样性进而提高算法抗早熟(Pre-mature)能力.猴王遗传算法的仿生思想及实现算法中引进随机个体的策略极具新颖性,目前尚未见有任何文献报道.文献[1]中的初步工作也显示了这种算法一定的优越性和潜力.

猴王遗传算法尚存在的不足或待改进的地方是:有些参数要靠人为确定不够方便,猴王点附近没有专门的局部寻优机制——使其整体寻优能力受到影响.本文将针对这些问题,对文献[1]中的经典猴王遗传算法进行改进,将通过扩大随机个体引进的比例简化原有的一些参数,增加一种局部寻优机制——猴王爬山操作算子.总之,旨在使猴王遗传算法成为比较完善的一种函数优化方法.

1 经典猴王遗传算法简介^[1]

文献[1]提出的经典的猴王遗传算法采用实数编码.对有简单约束的函数优化问题 $\min f(X)$, $s.t. LB \leq X \leq UB$, 其搜索空间与满足约束的可行解空间等价,经典猴王遗传算法可简述如下:

(1) 初始化:搜索空间内随机产生 popsize 个个体 $X_i, i = 1, 2, \dots, \text{popsize}$, 根据其函数值 $f(X_i)$ 将

它们做升序排列得 $X_i, i = 1, 2, \dots, \text{popsize}$, 即有 $f(X_1) \leq f(X_2) \leq \dots \leq f(X_{\text{popsize}})$. 将排在后面的 $i_b = \text{round}(r_b \cdot \text{popsize})$ 个个体用搜索空间内随机产生的同样数目的随机个体置换, round 为取整函数, r_b 为引入随机个体占比. 令 Generation = 0. 初始化完成. X_1 为初始猴王点.

(2) 复制、交叉产生新一代群体. 从当前群体中复制前面 $i_f = \text{round}(r_f \cdot \text{popsize})$ 个个体直接进入新一代群体, r_f 为复制率. 通过猴王点交叉再产生 $\text{popsize} - i_f$ 个新个体. 具体地, 如此产生新一代群体:

$$X_i = X_i, i = 1, 2, \dots, i_f \quad (1)$$

$$X_i = X_1 + (\text{random} - 0.5)(X_1 - X_j),$$

$$i = i_f + 1, \dots, \text{popsize}, j = 2, \dots, \text{popsize} - i_f + 1$$

(2)

式中, random 为 0 到 1 之间一随机数, 为调整系数. 若式(2) 计算中出现 X_i 超出搜索边界, 则重新反复按式(2) 计算该 X_i , 直到不越界.

(3) 排序新一代群体并引进随机个体. 同样, 将暂时产生的新一代群体根据其函数值 $f(X_i)$ 对它们做升序排列得 $X_i, i = 1, 2, \dots, \text{popsize}$, 即有 $f(X_1) \leq f(X_2) \leq \dots \leq f(X_{\text{popsize}})$. 再将排在后面的 $i_b = \text{round}(r_b \cdot \text{popsize})$ 个个体用搜索空间内随机产生的同样数目的随机个体置换. 令 Generation = Generation + 1. 新的猴王点 X_1 也已确定.

(4) 达到终止代数或获得满意解则过程结束,

收稿日期: 2003-10-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60275041, 59905011).

作者简介: 李宇中(1978 -), 硕士研究生, 主要从事遗传算法的学习与研究. E-mail: peterlee1978@163.com

通讯联系人: 刘红星(1968 -), 副教授, 主要从事智能信息处理的教学与研究. E-mail: njhxlou@nju.edu.cn

否则转步骤(2)。

经典猴王算法需要人为确定的参数是上面的 r_b (或 i_b)、 r_f (或 i_f)、 r_c 。对不同问题,这3个参数最佳取值可能不同。不难理解, r_b 越大,引进的随机个体越多,算法抗早熟能力越强。 $i_f > 1$ 时,会使排在后面的 $i_f - 1$ 个引进随机个体参与不了式(2)中与猴王点的交叉,因而 r_f 越大算法的全局勘探能力会越弱,但同时猴王点在其局部隐含的爬山能力会越强。 r_c 决定了每次交叉产生新个体的搜索范围,太大新个体容易超出搜索空间,太小使搜索范围太小不利于全局勘探,经验取值为2~5之间。^[1]

2 猴王遗传算法的改进

2.1 总体改进方案

扩大随机个体的引进力度,在第1节猴王遗传算法流程的第1步和第3步中,将除猴王点外的其它个体全部置换成随机个体;同时,在第1节流程的第2步,只复制猴王点进入新一代群体,其他的新个体均由猴王点与新引进随机个体交叉产生。也就是说,把 r_b 确定为 $(\text{popsize} - 1) / \text{popsize}$,把 r_f 确定为 $1 / \text{popsize}$ 。如此,旨在一方面减少经典猴王算法参数、简化算法流程,另一方面更重要的是进一步提高算法抗早熟的能力。

上面扩大随机个体引进力度的做法在提高抗早熟性的同时,势必减弱猴王点在其局部隐含的爬山能力。为此,在第1节猴王算法流程的第3步和第4步之间增加一个专门的在当前猴王点邻域进行局部爬山操作的步骤,不妨记为步骤C.1。本文设计了这样一种爬山算子,下称猴王爬山算子。猴王爬山算子本身也是一个遗传算法,只是一个局部搜索的微型遗传算法。加入爬山算子后,整个猴王遗传算法变成了有主次之分的两层遗传算法,外层主遗传算法的每代调用爬山算子微型遗传算法。实际中,主GA不一定每代都调用爬山算子,可根据情况隔几代执行一次C.1步。

以上扩大随机个体引进力度的策略和增强猴王点局部爬山能力的策略结合起来就构成了本文的总体改进方案。

2.2 猴王爬山算子

文献[3]提出,在最优点邻域用遗传算法进行搜索,即微遗传算法搜索,可作为一种通用的爬山算子。本文的思路是用猴王遗传算法在猴王点邻域进行搜索,故称为猴王爬山算子。为了该爬山算子能在猴王点附近快速寻优,本文使微猴王遗传算法

的操作与外层主猴王遗传算法有所不同,不只是简单地缩小了搜索空间。算法具体过程如下:

(1) 在主程序输入的猴王点 X_1 邻域 $[X_1 - L, X_1 + L]$,随机产生 $M\text{popsize} - 1$ 个个体,这些个体与该猴王点一起按函数值做升序排列,则新的初始猴王点随之产生。爬山算子初始化完成。令 $M\text{generation} = 1$;

(2) 将当前猴王点复制至新一代微遗传算法群体中,并用该猴王点与其他个体按式(2)交叉产生共 $M\text{popsize} - 1$ 个新个体,可取得小一点,下面的实验中取为1。并按函数值做升序排列, $M\text{generation} = M\text{generation} + 1$,获得新的猴王点;

(3) 若 $M\text{generation}$ 达到设定的最大代数 $M\text{generationMax}$,则返回当前猴王点及其函数值,否则,转步骤(2)。

猴王爬山算子除其初始化操作外,随机个体不进行交叉,旨在提高局部爬山能力。

3 测试实验

随机选取6个有代表性的函数优化问题^[4]进行实验。函数名、表达式、约束区间及函数最小值见表1。

将本文提出的改进猴王遗传算法(下称方法4)与采用最优保留策略的普通遗传算法(下称方法1)、经典猴王遗传算法(方法2)、文献[3]提出的带普通爬山算子的遗传算法(方法3)进行比较。每个函数计算50次进行统计比较,统计项目和结果见表2(对方法3和4指外层主GA的进化代数)。

上面比较计算中,各方法对同一函数的进化代数相同——已列于表2中,现把各方法其他运行参数作一介绍。方法1的主要运行参数为:种群大小 $\text{popsize} = 20$;适应度计算时指数尺度变换因子为0.025;交叉率为0.99;算术交叉组合系数为-0.25~1.25;变异率为0.05;最优保留策略为父代全部保留,越界惩罚值+。方法2的主要运行参数为:种群大小20; $r_b = 0.4$; $r_f = 0.05$; $r_c = 4$ 。方法3中,外层主GA及爬山算子均采用了普通的最优保留策略,其主要运行参数为:大多数参数同方法1,爬山算子在输入最优点 X_1 附近的相对搜索区域为 $[-\text{Range}/100, \text{Range}/100]$ 。其中 $\text{Range} = \text{UB} - \text{LB}$,为变量的约束范围大小; $M\text{popsize} = 5$; $M\text{generationMax} = 20$;主GA的每代均执行爬山算子。方法4中,主GA的种群大小为 $\text{popsize} = 10$;主GA的 $r_b = 0.4$; $r_f = 0.05$; $r_c = 4$;爬山算子的搜索区间同方法3;参数 $r_c = 1$; $M\text{popsize}$ 和 $M\text{generationMax}$ 也同方法3;主GA每 $\text{InterM} = 10$ 代

执行一次爬山操作.

表1 测试函数

| 函数名 | 表达式 | 约束区间 | 最小值 |
|-------------|---|------------------|-------------|
| DeJong F1 | $\sum_{i=1}^3 x_i^2$ | [- 5.12, 5.12] | 0 |
| DeJong F2 | $100(x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2$ | [- 2.048, 2.048] | 0 |
| Schaffer F6 | $0.5 + \frac{\sin^2 \sqrt{x_1^2 + x_2^2} - 0.5}{[1 + 0.001(x_1^2 + x_2^2)]^2}$ | [- 100, 100] | 0 |
| Schaffer F7 | $(x_1^2 + x_2^2)^{0.25} [\sin^2(50(x_1^2 + x_2^2)^{0.1}) + 1.0]$ | [- 100, 100] | 0 |
| Shubert | $\prod_{i=1}^5 \text{icos}[(i+1)x_1 + i] \cdot \prod_{i=1}^5 \text{icos}[(i+1)x_2 + i]$ | [- 10, 10] | - 186.730 9 |
| Camel | $(4 - 2.1x_1^2 + x_1^4/3)x_1^2 + x_1x_2 + (-4 + 4x_2^2)x_2^2$ | [- 3, 3; - 2, 2] | - 1.031 628 |

注:其中,前5个函数每个变量的约束区间相同.

表2 改进猴王遗传算法与3种方法比较结果(50次计算的统计结果)

| 函数 | 每次进化代数 | 统计项目 | 方法1 | 方法2 | 方法3 | 方法4(本文方法) |
|-------------|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| DeJong F1 | 100 | 最优值 | 2.22e - 9 | 5.16e - 16 | 1.84e - 14 | 7.78e - 35 |
| | | 平均值 | 1.39e - 3 | 2.75e - 11 | 4.64e - 8 | 3.28e - 33 |
| | | 标准偏差 | 2.12e - 3 | 8.41e - 12 | 1.14e - 7 | 4.39e - 33 |
| DeJong F2 | 150 | 最优值 | 6.00e - 6 | 1.43e - 9 | 6.81e - 8 | 9.01e - 15 |
| | | 平均值 | 1.55e - 1 | 7.23e - 4 | 2.85e - 3 | 2.51e - 5 |
| | | 标准偏差 | 2.03e - 1 | 2.22e - 3 | 9.91e - 3 | 9.55e - 5 |
| Schaffer F6 | 200 | 最优值 | 0 | 4.50e - 7 | 0 | 0 |
| | | 平均值 | 1.35e - 2 | 3.29e - 3 | 2.32e - 5 | 1.26e - 8 |
| | | 标准偏差 | 1.68e - 2 | 3.68e - 3 | 6.57e - 5 | 8.94e - 8 |
| Schaffer F7 | 200 | 最优值 | 2.72e - 4 | 2.81e - 9 | 2.05e - 5 | 5.52e - 10 |
| | | 平均值 | 5.36e - 1 | 2.96e - 2 | 2.43e - 2 | 2.11e - 9 |
| | | 标准偏差 | 5.13e - 1 | 7.39e - 2 | 2.90e - 2 | 1.14e - 9 |
| Shubert | 50 | 最优值 | - 186.730 9 | - 186.730 9 | - 186.730 9 | - 186.730 9 |
| | | 平均值 | - 177.994 4 | - 186.569 9 | - 182.728 7 | - 186.730 9 |
| | | 标准偏差 | 8.27e - 3 | 6.99e - 3 | 1.20e - 2 | 7.02e - 3 |
| Camel | 20 | 最优值 | - 1.031 628 | - 1.031 628 | - 1.031 628 | - 1.031 628 |
| | | 平均值 | - 1.028 255 | - 1.031 570 | - 1.031 627 | - 1.031 628 |
| | | 标准偏差 | 1.93e - 2 | 1.62e - 4 | 3.34e - 6 | 6.52e - 13 |

实验中,方法4每代平均计算函数值次数:
 $\text{popsize} + \text{Mpopsize} \times \text{Mgeneration} / \text{InterM} = 10 + 5 \times 20 / 10 = 20$.

实验中本文方法的运算量与方法1和方法2相当,少于方法3.从表2可看出,本文改进的猴王遗传方法在不增加运算量的情况下效果最佳.对各测试函数,不仅有最小的优化结果均值,也有最小的优化结果标准差.标准差最小说明本文改进方法的鲁棒性或者说稳定性很好.

4 结论与讨论

猴王遗传算法作为一种新颖的有潜力的遗传算法,对之做进一步研究是必要的.本文对猴王遗传算法的改进表现在两个方面:一是扩大引进随机个体进行交叉的力度,二是增加了新设计的猴王爬山算子.实验验证显示,本文改进的猴王遗传算法

在不增加运算量的情况下可显著提高猴王遗传算法的寻优能力,也比普通的采用最优保留策略的遗传算法和采用其他爬山算子的遗传算法效果好.

改进的猴王遗传算法简化了原有经典算法的一些参数,同时爬山算子的引入又增加了一些新的参数,但相信爬山算子之参数物理含义明确,易于确定.

爬山算子的引入会产生相应的计算量,实际中可通过增大爬山算子调用间隔的手段减小运算量,也可通过减少主GA种群大小来抵消.

[参考文献]

- [1] 郭晨海,谢俊,刘军,等.连续非线性规划的猴王遗传算法[J].江苏大学学报(自然科学版),2002,23(4):87-90.
- [2] Wolpert D H, Macready W G. No Free lunch theorems for

- optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(2): 62-87.
- [3] Kazarlis S A, Papadakis S E, Theocharis J B, et al. Micro-genetic Algorithms as Generalized Hill-Climbing Operators for

- GA Optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2001, 5(3): 204-217.
- [4] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 125-128.

Improving Monkey-King Genetic Algorithm

LI Yuzhong¹, LIU Hongxing¹, ZHANG Shen²

(1. Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China;
2. School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Monkey-King Genetic Algorithm is a novel genetic algorithm, and the original research has revealed its some advantages and potentials. Some aspects to be improved for Monkey-King Genetic Algorithm are: a number of running parameters are inconvenient to be determined by users, and there is no local searching operator in the area of surrounding the Monkey-King point, so lacking the whole searching ability. Aiming to these two problems, the Monkey-King Genetic Algorithm is improved in this paper. The innovation includes two aspects: one is to enlarge the proportion of the introduced random individuals, thus reducing the original running parameters, and another is to add a new local searching operator—Monkey-King up-climbing operator in the algorithm. A lot of testing experiments show that the improved Monkey-King genetic algorithm is good and satisfactory.

Key words: genetic algorithm, evolutionary computation, evolutionary algorithms, Monkey-King

[责任编辑: 丁蓉]

(上接第13页)

[参考文献]

- 2) 本文提出的算法是全解析方法, 因此有利于计算机辅助设计技术的进一步使用.
- 3) 本文提出的计算方法和公式都是与具体结构形式无关的通用公式, 可用于各种不同螺旋布置形式的螺旋计算, 而分段半圆弧方法的计算公式则不是通用公式, 其形式与换热器螺旋外侧切向(或径向)接管的布置方式有关, 具体说与两螺旋板的圈数有关, 圈数是否相等、圈数是否为整数等, 都会影响公式的最后形式, 因此使用时需要结合换热器的具体结构加以推导.

- [1] 毛希龛. 化工设备设计全书. 换热器设计分册[M]. 上海: 上海科技出版社, 1988. 278-279.
- [2] 史美中, 王中铮. 热交换器原理与设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 1996. 117-119.
- [3] 朱聘冠. 热交换器原理与计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987. 201-202.
- [4] 高尧林. 基于螺旋线方程的螺旋板换热器板长计算方法[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2003, 3(1): 70-73.

Spiral Plate Heat Exchanger's Analytic Spiral Calculation Based on Spiral Curve Equation

GAO Yaolin

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: An innovated and universal analytic calculation used for spiral plate heat exchanger design is introduced in this paper. This technique is based on a new spiral plate calculation method, which is deduced from the spiral curve equation. With the techniqued, the spiral geometrical calculation can be improved in spiral plate heat exchanger design.

Key words: spiral plate heat exchanger, heat exchanger design, spiral calculation, spiral curve

[责任编辑: 刘健]