



改进的进化计算及其应用¹⁾

蔚承建 姚甦甦 何振亚

(东南大学无线电系 DSP 研究室 南京 210018)

关键词 进化计算, 进化模拟退火, Cauchy 分布

1 引言

进化计算是一种模拟进化优化算法, 由 Fogel L J 在60年代提出^[1]. 目前, 这一方法已成为模拟进化优化方法的四个主要研究(遗传算法、进化计算、进化策略和遗传编程)热点之一. 1993年 Yip 和 Pao 提出了带区域指引的进化模拟退火算法, 对进化策略引入了区域指引^[2]. 本文提出了一种新的改进的进化计算方法, 这种改进在随机搜索过程中引入区域指引且使用 Cauchy 变异替换 Gaussian 变异产生后代, 增强了算法的可收敛性和收敛速度.

转动圆桌平衡摆盘问题是在古典的 Packing 问题基础上附加平衡性能约束的布局优化问题. 腾弘飞等人提出了该问题的模型及其启发式的算法^[3]. 本文应用改进的进化计算成功地求解了该问题.

2 改进的进化计算

生物的进化源于自然选择和自然遗传. 改进进化计算, 同样是从这两个方面进行探索.

Yip 和 Pao 提出的带区域指引的进化模拟退火算法属于选优过程. 这种改进随机地产生一个初始解集, 每一个解为一家族的父辈, 然后, 每个父辈产生一组新的解集, 新产生的解集称为每个家庭的孩子, 父辈和孩子们使用类似 Boltzman 机的机构竞争优选解, 优选解为该家庭的下一代父辈, 家庭越好, 家庭下一代孩子的接受数就越大, 这个过程不断重复直到获得该问题的可接受解. 这给出了一个带区域指引的进化策略.

本文把进化模拟退火算法的选优过程引入了进化计算, 根据 Cauchy 分布与 Gaussian 分布的相似性和 Cauchy 分布较高的两翼概率特性, 使用 Cauchy 变异替换 Gaussian 变异作为产生后代的方法, 提出了改进的进化计算. 假设问题是求函数的最小值, 详细的

1) 国家攀登计划认知科学(神经网络)重大关键项目资助课题.

描述如下

- 1) 设置初始温度 t ;
- 2) 随机地选择 N 个父辈,根据求解问题对每一个父辈赋予一个适应值;
- 3) 使用 Cauchy 分布产生后代;
- 4) 找出每一个父辈所产生的最好的孩子;
- 5) 找出下一代的父辈:对每个家庭,按照(1)式选择最好的孩子作为父辈

$$y_1 < y_2 \quad \text{or} \quad \exp(-(y_1 - y_2)/t) > \rho. \quad (1)$$

这里 y_1 是最好的孩子的适应值; y_2 是它的父辈的适应值; t 是温度系数; ρ 是 0 和 1 之间均匀分布的随机数;

- 6) 找出下一代每个父辈所能产生的孩子数,这一步的细节如下:

- a. 对每个家庭重复 b 到 e , 然后转 f ;
- b. $count = 0$ (计数家庭的接受数);
- c. 对每个孩子重复 d , 然后转 e ;

d. 如果这个孩子的适应值低于它父辈的适应值,那么 $count$ 增 1; 否则 $count$ 按(2)式增加 1

$$\exp(-(y_1 - y_2)/t) > \rho. \quad (2)$$

这里 y_1 是这个孩子的适应值; y_2 是曾经找到孩子的最低的适应值; t 是温度系数; ρ 是 0 和 1 之间均匀分布的随机数;

- e. 使这个家庭的接受数等于 $count$;
- f. 把所有家庭孩子的接受数累加;
- g. 按(3)式计算每个家庭所能产生的孩子数

$$M = \frac{T * A}{S}. \quad (3)$$

这里 M 是该家庭所能产生的孩子数; T 是总的点数; A 是这个家庭的接受数; S 是所有家庭接受数的总和;

- 7) 减少温度系数;
- 8) 重复 3), 到 7), 直到找到一个可接受的解或一定的重复次数已达到.

3 转动圆桌平衡摆盘问题的求解

3.1 数学模型

文献[3]提出的转动圆桌平衡摆盘模型如下:在半径为 R 的圆桌面(下称图面)上,布置 n 个厚度及质量均匀的小圆盘(下称图元),其半径和质量分别为 r_i 和 m_i ($i=1, 2, \dots, n$). 设布置后的图面与图元间的摩擦力无限大,求各图元的位置,使之向图面中心高度聚集,并满足约束条件:第一图元的任何部分不得超出图面边缘;第二各图元间不得相互干涉;第三布置后系统的静不平衡量小于允许值 $[\delta_j]$.

设二维坐标系原点在图面中心 O 处, $x_1 O x_2$ 平面与图面、图元重合,不计图元厚度, x_{1i} , x_{2i} 为第 i 个图元的圆心 O_i (亦即其质心)的坐标值,其优化数学模型为:求 $X = [x_{1i} x_{2i}]^T$.

$$\min f(s) = \max \{ \sqrt{x_{1i}^2 + x_{2i}^2} + r_i \} \quad s. t. \quad (4)$$

$$g_1(x) = r_i + r_j - \sqrt{(x_{1i} - x_{1j})^2 + (x_{2i} - x_{2j})^2} \leq 0 \quad (i \neq j),$$

$$g_2(x) = \sqrt{x_{1i}^2 + x_{2i}^2} - (R - r_i) \leq 0,$$

$$g_3(x) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n m_i x_{1i}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n m_i x_{2i}\right)^2} - [\delta_j] \leq 0, i = 1, 2, \dots, n,$$

其中根号开方均取正值.

3.2 求解方法

把(4)式化为无约束的优化问题

$$\psi(X, \lambda^{(k)}, \gamma^{(k)}) = f(X) + \lambda^{(k)} \sum_{j=1}^2 [g_j(X)]^2 u_j(g_j) + \gamma^{(k)} [g_3(X)]^2 u_3(g_3), \quad (5)$$

$$u_j(g_j) = \begin{cases} 0, & g_j(X) \leq 0, \\ 1, & g_j(X) > 0, j = 1, 2, 3. \end{cases}$$

其中 λ, γ 为罚因子, 把上式作为目标函数, 分两步加约束, 即先加 $g_1(X), g_2(X)$, 然后加 $g_3(X)$, 所得的 $\min f(X)$ 即为各图元的最大包络半径 R_s^* .

3.3 算例

待布物为7个图元, 已知图面半径 $R = 50\text{mm}$, 各图元半径分别为 $r_1 = 10\text{mm}, r_2 = 11\text{mm}, r_3 = 12\text{mm}, r_4 = 11.5\text{mm}, r_5 = 9.5\text{mm}, r_6 = 8.5\text{mm}, r_7 = 10.5\text{mm}$. 设静不平衡 J 的允许值为 $[\delta_j] = 3.4\text{g} \cdot \text{mm}$, 每个图元的 $m_i = r_i^2(\text{g})$, 外包络圆半径为 R_s^* . 计算结果见表1.

表1

图元			文献[3]结果				本文结果			
序号	r_i	m_i	x_1	x_2	R_s^*	J	x_1	x_2	R_s^*	J
1	10.0	100.0	17.675	10.805	32.837	0.102	-1.96	0.40	32.669	0.906
2	11.0	121.0	17.843	-10.585			20.77	2.09		
3	12.0	144.0	-4.228	-20.404			9.72	-18.24		
4	11.5	132.25	-0.274	2.768			7.02	19.96		
5	9.5	90.25	-16.110	16.558			-22.22	-5.56		
6	8.5	72.25	4.803	22.113			-12.14	-20.77		
7	10.5	110.25	-21.538	-2.900			-15.97	17.38		

4 结束语

使用 Cauchy 分布的好处在于这种分布基本上保持了 Gaussian 分布的局部性, 但同时少量的大幅度跳跃加快了从局部极小点逃出; 进化模拟退火的选择过程导至了带区域指引的随机查找. 从这两方面对进化计算进行改进会得到更好的进化计算过程.

带性能约束的 Packing 问题理论上具有 NP——难度, 在实践上具有广泛的工程应用前景. 应用改进的进化计算对转动圆桌平衡摆盘的简单而又成功的求解的意义是重大的.

参 考 文 献

- 1 Fogel L J, Owens A J, Walsh M J. Artificial intelligence through simulated evolution. New York, John Wiley and Sons, 1966
- 2 Yip P, Yoh-han Pao. Combinatorial optimization with use of guided evolutionary simulated annealing. *IEEE Trans. Neural Networks*, 1995, 6(2): 290—295
- 3 腾弘飞, 孙守林, 葛文海等. 转动圆桌平衡摆盘. *中国科学*, 1994, 24(7): 754—760

AN IMPROVEN EVOLUTIONARY PROGRAMMING AND ITS APPLICATIONS

YU CHENGJIAN YAO SUSU HE ZHENYA

(Department of Radio Engineering, Southeast University,
Nanjing 210018 P. R. China)

Key words Evolutionary programming, evolutionary simulated annealing, Cauchy distribution

.....
(上接第257页)

《关肇直奖》条例

- 一、关肇直教授是中国科学院院士,国内外知名的数学家和控制理论专家。他一生致力于数学、控制科学和系统科学的研究和发展,作出了重要的贡献。为了缅怀和纪念关肇直教授,推动我国控制科学的发展,特设立关肇直奖。
- 二、关肇直奖是中国自动化学会控制理论专业委员会设立的最高青年奖。基金由国内外单位和个人捐赠,并由关肇直奖基金委员会管理。
- 三、关肇直奖的授奖对象为年龄不超过40周岁的青年作者(包括合作者),在中国自动化学会控制理论专业委员会举办的《中国控制会议》上宣读的论文。关肇直奖每年评定一次,每次获奖名额不多于两名。
- 四、凡申请关肇直奖的论文,需在投稿时注明,交论文一式九份,并附工作证(或学生证)和身份证复印件,及至少一份同行教授级专家推荐意见。请奖论文需经会议审稿通过,然后交评奖委员会委员作书面评审,定出候选论文。最后,在年会期间由评奖委员会根据论文质量及宣读水平,定出获奖者,在会议闭幕式上宣布结果并授奖。
- 五、评奖委员会每年由关肇直奖基金委员会聘请国内知名控制理论及应用专家组成。
- 六、关肇直奖基金委员会设正主任一人,副主任若干人。基金委员会负责基金的筹集和管理,组织论文的评奖与颁发,以及决定其他有关事项。具体工作委托中国自动化学会控制理论专业委员会办理。
- 七、本条例的解释权和修改权属于关肇直奖基金委员会。

《关肇直奖》基金委员会

主 任: 陈翰馥

副主任: 毕大川 秦化淑

委 员: 王恩平 郑大钟 郑应平