

文章编号:1673-9468(2008)04-0107-03

自适应差分进化算法

高岳林¹,刘俊芳²

(1.北方民族大学 信息与系统科学研究所,宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 数学与计算机学院,宁夏 银川 750021)

摘要:提出了一种自适应差分进化算法,该算法在计算过程中自适应调整缩放因子,在搜索初期保持种群的多样性和增强全局搜索能力,后期有利于局部搜索提高算法的精度。数值实验结果表明,该算法有效的避免早熟,提高了全局寻优能力。该算法的性能优于基本微分进化算法。

关键词:差分进化算法;自适应;缩放因子;全局优化

中图分类号: TP 18

文献标识码: A

Adaptive differential evolution algorithm

GAO Yue-lin, LIU Jun-fang

(1. Research Institute of Information and System Computation Science, North National University, Yinchuan 750021, China; 2. School of Mathematics and Computer, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: An adaptive differential evolution algorithm is presented. It adjusts scale factor adaptively according to the computation process in order to preserve the diversity of population at the initial generation as well as to enhance the global searching ability and to improve local searching capacity and precision of solution finally. Experimental results show that the presented algorithm can avoid premature convergence effectively and enhance the global searching ability.

Key words: differential evolution algorithm; adaptive; scale factor; global optimization

差分进化(Differential Evolution,简称DE)算法是一种基于群体差异的高效并行搜索方法,是一种采用实数矢量编码在连续空间进行随机搜索的优化算法^[1]。该算法一经提出后,得到了众多学者的重视,并且在许多领域得到广泛应用^[2-5]。在1996年举行的国际进化优化竞赛上,DE表现优异,被证明是最快的进化算法之一。差分演化算法参数包括种群规模,缩放因子和交叉因子。缩放因子对算法的优化性能好坏起着至关重要的作用。标准的差分进化算法缩放因子固定,采用固定实数缩放因子的DE算法,在运算过程中存在一些缺点,搜索因子太大虽然有助于群体的多样性,全局搜索能力强,但是进化后期,算法容易在最优解附近徘徊,搜索效率低,搜索速度慢,最优解的精度低;太小的缩放因子,存在降低种群的多样性,易对局部区域过度开发,容易出现早熟收敛的问题。针对此问题本文设计了一种自适应调整缩

放因子策略,通过对典型函数的寻优问题进行测试,表明该策略能有效地避免早熟收敛,具有良好的全局收敛性。

1 基本差分进化算法

微分进化算法是根据父代个体间差分矢量进行变异、交叉和选择操作的,根据变异个体的生成方式不同,形成了多种不同的微分进化算法方案,本文采用变异方式为DE/rand/1的版^[6]。算法的基本思想是:对种群中的每一个个体 i ,从当前种群中随机选择三个点,以其中一个点为基础,另外两个点为参照作一个扰动,所得点与个体 i 交叉后进行“自然选择”,保留较优者,实现种群的进化。设第 t 代的种群为 $\bar{X}(t) = \{X_1(t), \dots, X_{NP}(t)\}$,其中 NP 为种群规模, D 为优化空间的维数, $X_i(t) = (x_1^{(i)}(t), \dots, x_D^{(i)}(t))$ 。在进化过程

收稿日期:2008-09-12

基金项目:宁夏自然科学基金资助项目(N20848)

作者简介:高岳林(1963-),男,陕西榆林人,教授,博士,从事最优化理论、智能计算及应用、经济金融学与金融工程。

中,对每个个体 $X_i(t)$ 依次作如下操作:

1) 变异操作: 利用下式产生变异个体。

$$V_i(t) = X_j^1(t) + F(X_j^2(t) - X_j^3(t)) \quad (1)$$

式中 $r_1, r_2, r_3 \in \{1, 2, \dots, NP\}$ —随机生成的 3 个互不相同的整数; $X_j^1(t), X_j^2(t)$ 和 $X_j^3(t)$ —个体 r_1, r_2, r_3 的第 j 维分量; F —变异因子, 一般取值于 $[0, 2]$ 。

这样就得到了变异个体 $V_i(t) = (v_1(t), \dots, v_D(t))$ 。

2) 交叉操作: 根据以下原理由变异个体 $V_i(t)$ 和 $X_i(t)$ 得到中间 $U_i(t) = (u_1(t), \dots, u_D(t))$

$$u_j(t) = \begin{cases} v_j(t), & \text{if } \text{rand}[0, 1] < CR \text{ or } j = j_{\text{rand}} \\ x_j(t), & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

式中 $j_{\text{rand}} \in \{1, 2, \dots, D\}$ —随机整数; CR —交叉概率。

一般来说 CR 越大, 有利于局部搜索和加速收敛速度, 但易陷入早熟, 算法稳健性差; CR 越小, 有利于保持种群的多样性和全局搜索。

3) 选择操作: 比较 $X_i(t)$ 和 $U_i(t)$ 所对应的适应度大小, 把其中适应度好的作为下一代个体。

2 改进的差分进化算法

2.1 自适应缩放因子策略

在标准差分进化算法中, 通常 F 取固定值, F 取值的大小直接影响到算法的收敛速度及收敛性。为了在搜索的初始阶段保持种群的多样性, 进行全局搜索, 尽可能得到多个可能全局最优的种子, 而在搜索的后期应加强局部搜索能力, 以提高算法的精度。本文提出了一种自适应缩放因子 F 的方法, 即 F 随迭代次数的增加而减小。

$$F = F_{\text{max}} - \frac{t(F_{\text{max}} - F_{\text{min}})}{T} \quad (3)$$

2.2 算法流程

步骤 1 初始化参数: 种群 NP , 变异因子的最大值 F_{max} 与最小值 F_{min} , 交叉概率 CR , 种群的最大进化代数 T 自变量的上下界 lb 和 ub . 置进化代数 $t = 0$, 随机生成初始种 $\bar{X}(0)$ 。

步骤 2 个体评价: 计算每个个体 $X_i(t)$ 的目标值 $f(X_i(t))$ 并更新种群最优解 X^* 。

步骤 3 对种群中的每个个体 $X_i(t)$, 按(1)和(2)进行变异和交叉操作得到中间个体 $V_i(t)$ 。

步骤 5 选择: $X_i(t+1) =$

$$\begin{cases} U_i(t), & \text{if } f(U_i(t)) < f(X_i(t)) \\ X_i(t), & \text{else} \end{cases}$$

步骤 6 终止检验: 如果满足终止准则, 则停止; 否则, 转步骤 2。

3 实验和结果分析

为了验证本文 ADE 的有效性, 通过对大量典型测试函数进行测试并与基本 DE 进行比较, 结果表明本文算法明显优于基本差分进化算法。篇幅所限, 只给出五个函数的测试结果。

1) Sphere' function $f_1(x) = \sum_{i=1}^D x_i^2; |x_i| \leq 100$ 。

2) Schaffers' function $f_2(x) =$

$$\frac{\sin^2 \sqrt{x_1^2 + x_2^2} - 0.5}{[1 + 0.001(x_1^2 + x_2^2)]^2} - 0.5; |x_i| \leq 100$$

3) Ackley' s function $f_3(x) = -20 \exp[-0.2 \sqrt{\sum_{i=1}^D x_i^2 / D}] - \exp(\sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) / D) + 20 + e; |x_i| \leq 32$ 。

4) Schwefel' s function $f_4 = \sum_{i=1}^D |x_i| + \prod_{i=1}^D |x_i|; |x_i| \leq 10$ 。

5) Rastrigin' s function $f_5 = \sum_{i=1}^{D-1} [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]; |x_i| \leq 5.12$ 。

式中 f_1 —单峰函数; f_2 —有无穷多局部极值; f_3, f_4 和 f_5 —多峰函数, 极难找到全局最优值。

用上述 5 个函数来测试本文提出的 ADE 算法的性能, 并与基本差分进化算法 DE 进行比较。实验参数设置为: 种群规模 $NP = 30$, $D = 30$, 变异因子 $F_{\text{max}} = 0.6$, $F_{\text{min}} = 0.2$ 和交叉概率 $CR = 0.5$ 。在标准 DE 中 $F = 0.6$, $CR = 0.5$ 。在最大进化代数下, 两种算法随机连续运行 20 次, 实验结果如表 1。

从表 1 中的结果可以看出, 对 5 个函数的寻优中, ADE 算法无论是最大最优值, 最小最优值, 还是平均最优值其结果都优于 DE 算法, 计算精度有明显提高。限于篇幅给出函数 $f_1 \sim f_4$ 的寻优曲线图(如图 1)。

4 结论

数值实验结果表明, 新算法利用时变缩放因子策略增强了原算法的收敛速度和精度, 同时也提高了全局寻优能力。因此, 该算法的性能优于基本差分进化算法。

表1 两种算法计算结果比较
Tab.1 Comparison of ADE with DE

测试函数	最大最优值		最小最优值		平均最优值		理论最优值	最大进化代数
	DE	ADE	DE	ADE	DE	ADE		
Sphere	6.7635e-006	3.8574e-008	9.1687e-007	6.4773e-017	4.8249e-006	2.4885e-012	0	1000
Schaffers	-9.9028e-001	-9.9028e-001	-1	-1	-9.9028e-001	-9.9685e-001	-1	300
Ackley	4.0535e-003	1.0875e-004	4.2780e-004	3.0615e-009	7.2370e-004	6.9148e-009	0	1000
Schwefel	3.6725e-004	2.4208e-007	9.2968e-005	4.6390e-013	1.6129e-004	5.0875e-013	0	1000
Rastrigin	1.6993e+002	1.1638e+002	1.3214e+002	7.3426e+001	1.5041e+002	9.0033e+001	0	5000

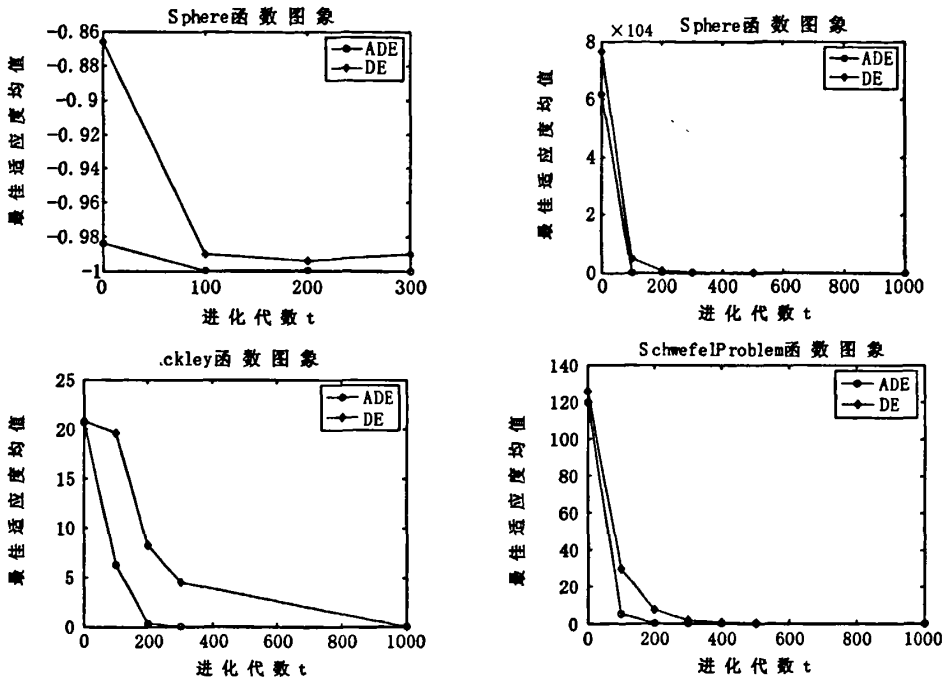


图1 f1~f4的寻优曲线图

Fig.1 The optimizing curve of f1~f4

参考文献:

[1] STORN R, PRICE K. Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous space [J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11(4): 341 - 359.

[2] STORN R, PRICE K. Differential evolution - a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces [J]. Technical Report, 1995, (3): 95 - 106.

[3] CHENG S L, HUANG C Y. Optimal approximation of linear systems by a differential evolution algorithm [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2001, 31(6): 698 - 707.

[4] BERGEY P K, RAGSDALE C. Modified differential evolu-

tion: a greedy random strategy for genetic recom - bination [J]. The International Journal of Management Science, 2005, (33): 255 - 265.

[5] 周艳平, 顾幸生. 差分进化算法研究进展[J]. 化工自动及仪表, 2007, 34(3): 1 - 5.

[6] 张利彪. 基于粒子群和微分进化的优化算法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2003.

[7] 吴亮红. 差分进化算法及应用研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2007.

[8] 王凌. 智能优化算法及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

[9] 刘军民, 高岳林. 基于混沌搜索的微分进化算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(12): 67 - 68.

(责任编辑 刘存英)

自适应差分进化算法

作者: 高岳林, 刘俊芳, GAO Yue-lin, LIU Jun-fang
作者单位: 高岳林, GAO Yue-lin(北方民族大学, 信息与系统科学研究所, 宁夏, 银川, 750021), 刘俊芳, LIU Jun-fang(宁夏大学, 数学与计算机学院, 宁夏, 银川, 750021)
刊名: 河北工程大学学报(自然科学版) 
英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)
年, 卷(期): 2008, 25(4)
被引用次数: 1次

参考文献(9条)

1. STOM R; PRICE K [Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous space](#) 1997(04)
2. STORN R; PRICE K [Differential evolution—a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces](#) 1995(03)
3. CHENG S L; HUANG C Y [Optimal approximation of linear systems by a differential evolution algorithm](#) 2001(06)
4. BERGEY P K; RAGSDALE C [Modified differential evolution: a greedy random strategy for genetic recombination](#) 2005(33)
5. 周艳平; 顾幸生 [差分进化算法研究进展](#)[期刊论文]-[化工自动化及仪表](#) 2007(03)
6. 张利彪 [基于粒子群和微进化的优化算法研究](#) 2003
7. 吴亮红 [差分进化算法及应用研究](#) 2007
8. 王凌 [智能优化算法及其应用](#) 2001
9. 刘军民; 高岳林 [基于混沌搜索的微进化算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2008(12)

本文读者也读过(10条)

1. 许小健, 黄小平, 钱德玲, XU Xiao-jian, HUANG Xiao-ping, QIAN De-ling [自适应加速差分进化算法](#)[期刊论文]-[复杂系统与复杂性科学](#)2008, 5(1)
2. 杨旭华, 戴华平, 孙优贤 [基于最小二乘法的SIMO傅里叶神经网络研究](#)[期刊论文]-[信息与控制](#)2004, 33(3)
3. 蔡亮, 杨启文, 岳兴汉, CAI Liang, Yang Qi-wen, YUE Xing-han [一种基于混合差分策略的改进差分进化算法](#)[期刊论文]-[河海大学常州分校学报](#)2007, 21(4)
4. 王蕾, 平静, 宋国杰, WANG Lei, PING Jing, SONG Guo-jie [FPNN: 优化的过程神经网络模型及其应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#)2009, 45(24)
5. 杨卫东, 姚峰, 张明, YANG Weidong, YAO Feng, ZHANG Ming [基于自适应交叉概率因子的差分进化算法及其应用](#)[期刊论文]-[信息与控制](#)2010, 39(2)
6. 史齐全, 黄民翔, SHI Ji-quan, HUANG Min-xiang [改进二进制差分进化算法在配电网重构优化中的应用](#)[期刊论文]-[机电工程](#)2008, 25(12)
7. 李英 [基于并行计算和粒子群优化算法的电力系统无功优化问题研究](#)[学位论文]2010
8. 王龙龙, 俞立, 张贵军, 黄骅, WANG Long-long, YU Li, ZHANG Gui-jun, HUANG Hua [自适应差分进化算法的研究及其在聚丙烯牌号切换优化中的应用](#)[期刊论文]-[浙江工业大学学报](#)2009, 37(6)
9. 李丹 [粒子群优化算法及其应用研究](#)[学位论文]2007
10. 刘俊梅, 高岳林, LIU Jun-mei, GAO Yue-lin [带有自适应变异和指数递增交叉算子的差分进化算法](#)[期刊论文]-[河南师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2009, 37(6)

引证文献(1条)

1. [汤小为](#), [汤俊](#), [万爽](#), [唐波](#) [改进变异策略的自适应差分进化算法及其应用](#)[期刊论文]-[宇航学报](#) 2013(7)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200804029.aspx