

基于 SAA 的混合演化算法及其应用研究*

何 霆 马玉林

金 铮

(哈尔滨工业大学现代生产技术中心 150001) (黑龙江省计算机总公司)

摘 要 提出将模拟退火、演化策略和局部搜索算法相结合的混合演化算法,以解决函数优化与组合优化问题。该算法克服了上述三种算法在应用中的不足,并具有搜索效率高、性能稳定的特点。具体算例验证了该算法的有效性。

关键词 模拟退火,演化策略,局部搜索算法,混合演化算法

分类号 F 406.2

Research on SAA-based New Hybrid Evolutionary Algorithm and Its Application

He Ting, Ma Yulin

Jin Zheng

(Harbin Institute of Technology) (General Computer Company of Heilongjiang Province)

Abstract A novel hybrid evolutionary algorithm is proposed to solve the problems of function and combinatorial optimization. The algorithm is combined with local search algorithm and evolutionary strategy with simulated annealing algorithm. This algorithm overcomes previous defects of the three algorithms above and has the characteristics of high search efficiency and stability. Two examples show that the algorithm is practical and effective.

Key words simulated annealing, evolutionary strategy, local search algorithm, hybrid evolutionary algorithm

1 引 言

在管理科学、计算机科学、自动化以及超大规模集成电路设计等领域,存在着大量函数或组合优化问题。其中许多问题(如生产调度)由于其 NP 完全性,至今尚未找到有效的多项式时间算法。用确定性优化算法求解此类问题,当问题规模增大时,往往由于计算时间的限制而丧失了可行性;用近似算法求得的近似解质量较差,而且最坏情况下的时间复杂性不能确定。近年来,以演化算法^[1](主要包括遗传算法、演化规划、演化策略和遗传编程)和模拟退火算法(SAA)为代表的智能搜索算法,为 NP 完全问题的解决提供了一条新的途径。

但是,这些基本的局域搜索算法源于对某些自然过程的直接模拟,在求解数学问题时不可避免的存在着一定的缺陷^[2]。为提高算法的效率和性能,本

文将 SAA、演化策略(ES)和局部搜索(LS)结合起来,提出一种新的混合演化算法(HEA)。计算机仿真实验表明,该算法具有良好的求解性能和广阔的应用前景。

2 算法简介

2.1 HEA 的主要步骤

设优化问题为

$$\max f(x), \quad \text{s. t. } x \in S \quad (1)$$

其中, S 为所有可能解构成的解集, $f(x)$ 为目标函数,对任意 $x \in S$, 均有一个确定的目标函数值 $f(x)$ 。以 x^* 表示当前最好解,则 HEA 的主要步骤如下:

Step1: 设置 SA 算法准平衡概念下冷却进度表参数值 T_0, T_f, α, L_k , 随机产生 μ 个初始可行解,令 $k = 0$ 。

Step2: 评价当前解群的适应函数值,若不满足

终止条件, 则循环执行:

1) ① 当解变量为连续变量时, 对当前解群使用高斯变异算子产生新解 $f(r)$, 并按 Metropolis 接受准则搜索取代当前解 $f(j)$ 的新解; ② 当解变量为离散变量时, 对当前解群使用二项变异算子产生新解, 并按 Metropolis 接受准则搜索取代当前解的新解。

2) 对当前解群按自适应重组概率使用单点或多点重组算子产生新解, 若新解优于当前解, 则接受它; 否则继续重组过程, 直到产生的新解有 λ 个为止。

3) 对当前解群(共 $\mu + \lambda$ 个解) 进行选择, 具体过程如下: 对每个个体 x_i , 从当前解群中随机选取 r 个个体, 把它们按适应值的大小与 x_i 进行比较, 计算出其中比 x_i 差的个体数 $w_i (w_i \in [1, r])$, 并把 w_i 作为 x_i 的得分; 对所有 $(\mu + \lambda)$ 个个体经过比较后, 按得分单调下降的顺序对 $(\mu + \lambda)$ 个个体排序(若得分相等则随机排列), 则 μ 个具有最高得分的个体作为下一代解群。

4) 将当前性能最好的解保存在 x^* 中, 并在 x^* 的邻域内随机产生 L_k 个新的可行解, 若其中适应值有大于 x^* 者, 则从中找出适应值最大的解替代 x^* , 否则保持 x^* 不变。

Step3: 若 $T_k = T_f$, 则转 Step4; 否则令 $T_{k+1} = \alpha T_k, k = k + 1$, 转 Step2。

Step4: 输出当前最优解 x^* , 算法结束。

注 1 上述算法中:

1) Metropolis 接受准则对应的转移概率为

$$Pt = \begin{cases} 1, & f(j) \leq f(i) \\ \exp\left[\frac{f(i) - f(j)}{T_k}\right], & f(j) > f(i) \end{cases} \quad (2)$$

2) 重组概率 Pr 为

$$Pr = \begin{cases} k_1 \frac{f_{\max} - f_r}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, & f_r \geq f_{\text{avg}} \\ k_2, & f_r < f_{\text{avg}} \end{cases} \quad (3)$$

其中, f_{\max} 和 f_{avg} 分别为当前群体中的最大适应值和平均适应值, f_r 为当前重组个体中的较大适应值。

3) 算法中邻域的定义如下:

连续变量 $x^* (x^* \in S)$ 的 δ 邻域为

$$N_{\delta}(x^*) = \{x \mid x - x^* < \delta, f \delta > 0\} \quad (4)$$

离散变量 $x^* = d_m, d_{m-1}, \dots, d_1$ 的 δ 邻域为

$$N_{\delta}(x^* \in S) = \{x \mid d < \delta, \delta > 0\} \quad (5)$$

其中, δ 为一给定常数, d 为新解与 x^* 之间的 Hamming(二进制编码) 或 Euclid 距离(实数编码)。

2.2 HEA 的性能特点分析

1) 对于较大规模的组合优化问题, 混合算法求解的质量与效率远高于单纯的 SAA。这是因为 SAA 对构形空间中已试探的区域所知不多, 并且难以判断哪些区域有更多的机会找到最优解。因此, ES、LS 和 SAA 的有机组合, 有效地指导了搜索过程, 提高了搜索效率与求解的质量。

2) 增加了种群多样性, 增大了短时间内搜索到最优解的概率。该算法的特点之一是先进行变异操作, 保持了群体的多样性, 然后通过重组、选择操作就能有效地搜索到较优解。

3) 引入了区域指引策略, 这是近年来研究提高局域搜索算法性能的主要策略之一^[1]。LS 的引入是利用问题的启发式信息及与领域相关的知识, 使用局部搜索的方法, 在某一代演化操作产生的新的最优解附近进行快速局部搜索。

4) HEA 和常用的演化算法(如 GA) 的不同之处在于: GA 将原问题的解空间映射到位串空间, 然后施行遗传操作, 它强调个体基因结构的变化对其适应值的影响, 对编码的变量空间进行搜索; 而 ES 则是直接在解空间进行操作, 强调演化过程中搜索方向和步长的自适应调节, 从而在编码问题上非常适用于解决有序(如 Job Shop 调度) 问题^[1]。

5) 本文算法的另一特点是自适应性。当演化群体在解空间中较分散时($f_{\max} - f_{\text{avg}}$ 较大), 则给予较大的重组概率, 使其尽快找到较优解。同时, 适应值较大的优良个体变异和重组概率总是较小, 使得这些个体得以繁衍, 有助于算法逐渐接近最优; 而对于适应值较小的个体变异和重组概率则大些, 不断更新这些低适应值的个体, 有助于恢复缺失的有效基因。

3 算法应用

为评价 HEA 的求解性能, 本文与简单遗传算法(SGA)、文献[3, 4] 的两种自适应遗传算法(AGA) 进行了对比。由于 GA 初始解的生成是随机的, 仅凭几次运行结果不能说明问题, 因此对所有的测试算法均独立运行 50 次。考虑以下多峰值函数优化问题:

例 1

$$f(x) = |\sin(30x)| * (1 - x/2), \quad x \in [0, 1]$$

该函数存在多个极值点, 最大极值点是

$$x = 0.0517900, \quad \max f(x) = 0.9739726$$

所有引用的测试算法均采用二进制编码,串长取 32 位,群体规模取 100,选择方法为轮盘赌法,迭代次数为 500 代。SGA 的交叉、变异概率分别为 0.6 和 0.01;本文算法参数选为: $T_0 = 300$, 迭代次数为 100 代, $\alpha = 0.9$, $\mu = 100$, $r = 100$, $L_k = 15$, $k_1 = k_2 = 1.0$ 。求解结果如表 1 所示。

表 1 几种算法的求解速度与性能对比

算 法	收敛到全局最优点的平均迭代数	收敛到局部极值点的次数
文献[3] 算法	331	4
文献[4] 算法	168	0
SGA	不收敛	
HEA	18	0

例 2 一 Job Shop, 有 5 台机床和 3 台机器人, 10 个 Job 类型共 45 道工序在车间内加工, 其批量分别为 5, 6, 4, 6, 4, 5, 7, 3, 5, 5, 各 Job 类型的加工要求与工序加工时间参见文献[5]。在此, 把 HEA 和文献[2, 5] 的 PN & HS、GATS 方法用于此问题的调度结果进行比较, 求解结果如表 2 所示。

表 2 几种算法的求解质量对比

	PN & HS	GATS	HEA
调度长度平均值	273	240	221
平均运行时间	10min	1.5min	46.2s
所用计算机	DEC 5 000/200	奔 166	奔 166

表 1 和表 2 所示结果表明, 无论是解决函数优化问题还是解决组合优化(Job Shop 调度) 问题, HEA 的求解速度、求解质量和稳定性都优于所引用的算法, 充分显示了其在解决优化问题时的优越性。

4 结 论

本文分析了几种算法的特点, 综合 SAA、ES 和 LS 各自的优点, 把 ES 的计算并行性、记忆功能和 LS 的快速搜索能力引入到 SAA 过程, 同时对一些控制参数进行了优化设置, 提出了混合的演化算法(HEA)。实验结果表明, HEA 从多方面不同程度地改进了算法的求解质量和速度, 充分说明了算法的有效性。

参 考 文 献

- 1 潘正君, 康立山, 陈毓屏. 演化计算. 北京: 清华大学出版社, 1998
- 2 姜思杰. 基于 GA 与 TS 的最小平衡算法研究及其在 FMS 中应用. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 1998
- 3 Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in GA. IEEE Trans on SMC, 1994, 24(4): 656~667
- 4 吴志远. 一种新的自适应遗传算法及其在多峰值函数优化中的应用. 控制理论与应用, 1999, 16(1): 127~129
- 5 Lee D Y, Dicesare F. Scheduling FMS using Petri-net and heuristic search. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1994, 10(2): 123~132

作 者 简 介

何 霆 男, 1972 年生。1997 年毕业于哈尔滨工业大学, 现为该校现代生产技术中心博士研究生。研究方向为生产计划、调度与控制。

马玉林 男, 1937 年生。哈尔滨工业大学现代生产技术中心主任, 教授, 博士生导师。主要研究方向为 FMS 及其仿真技术等。

金 铮 女, 1975 年生。黑龙江省计算机总公司工程师。主要研究方向为计算机软、硬件以及决策支持系统等。

(上接第 503 页)

参 考 文 献

- 1 Carlson N A, Berarducci M P. Federated Kalman filter simulation results. Navigation, 1994, 41(3): 297~321
- 2 翁海娜, 庄良杰, 李滋刚, 等. 液浮陀螺的试验建模研究. 中国惯性技术学报, 1999, 32(2): 30~34
- 3 庄良杰, 韩福江, 刘飞, 等. GPS 信息在惯性导航和惯性测量系统中的应用. 中国惯性技术学报, 1994, 12(3): 11~15

作 者 简 介

周 哲 男, 1965 年生。哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士生。研究方向为数据融合方法及应用, 小波变换。

翁海娜 女, 1969 年生。1999 年在东南大学获博士学位, 现为天津航海仪器研究所科研人员。研究方向为建模, 数据处理, 最优估计。

庄良杰 男, 1945 年生。1966 年毕业于中山大学数学系, 现为天津航海仪器研究所研究员, 兼职博士生导师。主要从事惯导系统技术, 最优估计理论, 最优控制理论及应用的研究。