

基于多层竞争的高效并行遗传算法

李 碧, 雍正正

(深圳大学信息工程学院, 广东深圳 518060)

摘 要: 借鉴生态进化中普遍存在的竞争现象, 本文提出了一种基于多层竞争的并行遗传算法(GAMLC, genetic algorithm based on multi-level competition). 仿真结果表明, 该算法能较好地解决遗传算法中的早熟现象及收敛速度慢的问题, 提高了搜索到全局最优解的概率.

关键词: 遗传算法; 多种群; 并行算法; 竞争

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 12A-2161-02

A High-Efficient Parallel Genetic Algorithm Based on Multi-Level Competition

LI Bi, YONG Zheng-zheng

(Information Engineering Faculty of Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

Abstract: Enlightened by the knowledge of prevalent competition in evolution, a new parallel genetic algorithm is proposed which is based on multi-level competition(GAMLC) in this paper. Experimental results show the high efficiency of GAMLC in solving premature convergence and accelerating the convergence and promoting the probability to locate the optima.

Key words: genetic algorithm; multigroup; parallel algorithm; competition

1 引言

遗传算法是密歇根大学 Holland 教授借鉴生物进化中的“生存竞争”和“优胜劣汰”现象提出的全局优化算法. 它将进化操作应用于一群对搜索空间编码的染色体中, 在每一代, 遗传算法同时作用于整个搜索空间的不同区域, 通过优胜劣汰, 去掉解空间中期望值较低的部分, 保留高期望值部分, 从而能以较大的概率找到最优解. 由于遗传算法不苛求问题的动力学信息(如连续、可微等), 它在解决非线性等复杂问题上具有传统优化算法所不具备的优越性, 自从 20 世纪 70 年代被提出来后已得到了广泛的研究和应用.

经典的遗传算法容易出现早熟现象, 并且在进化后期的搜索效率较低. 为了提高遗传算法的性能, 学者们提出了许多种改进的遗传算法, 但是主要集中于遗传操作与遗传参数的改进上. 多种群并行遗传算法^[1-3]是近年来所提出的改进算法中性能较好的一种, 但没有充分考虑生物进化中的多种竞争现象. 本文提出的改进的多种群并行算法充分考虑了不同层次上的竞争现象, 且在实验中显示了良好的性能.

2 GAMLC 中的多种群并行进化模型

多种群并行遗传算法^[1]的基本思想是用多个子种群代替原单一种群, 每一个子群采用不同的遗传算子、不同的遗传参数并行地进化. 不同的子群体独立地进化 m 代后, 各子群体把各自的最佳个体复制到别的子群, 这样的迁移不但有利于各子群共享进化的成果, 同时给各子群体引进新的个体, 有利于避免早熟现象.

图 1 为 GAMLC 的并行进化结构图, 子群体 I 采用均匀交叉, 且变异概率 p_m 、交叉概率 p_c 两个值比较大, 称为探测子

群体, 用于在进化过程中寻找新的“积木块”. 子群体 III 采用一点交叉, 且 p_m 、 p_c 均比较小, 称为开发子群体, 其特点是在保留“积木块”的前提下, 进行局部寻优. 子群体 II 采用两点交叉, p_m 、 p_c 的值处于子群体 I 与子群体 III 之间, 称为开发探测子群体. 子群体 IV 称为保留群体, 里面的个体不发生进化, 它开始是空的, 不断吸收其它三个子群体进化过程中的不同的优良个体, 但是经过 n 代的进化后, 把其中的优良个体回代到群体 III 中参与进化, 以进行进一步的寻优.

因为每个子群体每独立进化 m 代就要进行迁移, 所以 GAMLC 是一个同步并行算法^[2]. 由于每个子群体有不同的遗传操作和遗传参数, 所以算法的实际实施时应采用多指令流多数据流结构(MIMD)计算机结构, 各处理器之间通过传递消息的方式进行同步. 每个处理器中的子群体进化 m 代后就进入等待状态, 直到所有的子群体都完成 m 次进化, 共享进化的成果后各处理器继续运行.

按照理论生态学的观点^[3], 竞争会导致各子群体规模的变化. 所以在 GAMLC 中, 各子群体的规模与其平均适应度是相关的, 这是群体层次的竞争. 这里采用的方案是“排队法”, 即平均适应度最高的子群体的规模增大 $\Delta size$, 平均适应度最低的子群体减少 $\Delta size$, 中间的保持不变. 这样有助于提高算法的效率, 因为平均适应度高的子群体里更有可能寻到最优解, 所以对于适应度高的子群体要重点对待.

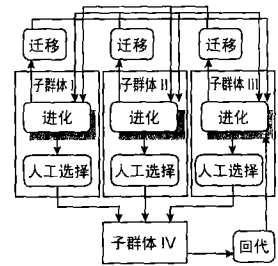


图 1 GAMLC 并行进化结构图

3 GAMLC 中子群体的进化

在各子群体的进化中,还体现了家庭层次的竞争和个体层次的竞争.文献[1]提出的 GAMAS (genetic algorithm based on migration and artificial selection) 象经典遗传算法一样只是考虑了个体之间的竞争,文献[3]提出的协同进化考虑了群体之间的竞争,却没有考虑家庭之间的竞争.在 GAMLC 中,家庭之间竞争的体现是:优良的家庭通过交叉产生多于 2 个(我们算法中取 4 个)的后代进入竞争池,而其他家庭只产生 2 个后代进入竞争池,竞争池中多余的劣质后代通过优胜劣汰被去掉;所以,优良家庭产生的后代可能多于两个,而其他家庭产生的后代不会超过 2 个;个体之间的竞争体现在选择操作上.

GAMLC 中子群体的进化沿用了 SGA (simple genetic algorithm) 中的框架,引进了如下的思想:群体的大小随进化代数的变化而变化;为了加大选择压力,采用适应度定标;子群体 I 采用均匀交叉,子群体 II 采用两点交叉;不同的家庭由于产生的后代的数目不同而体现家庭层次的竞争;进化 R 代后,种群重新初始化.综上所述,子群体中的进化过程表示如下:

Begin

- (1) 确定各子群体的 p_c 、 p_m 及 m 、 n 、 R 、 $\Delta size$ 、 $generation_{max}$ 值, $g=0$;
- (2) 初始化各群体
- (3) while $g < generation_{max}$ do:
 - (3.1) 确定种群的规模,保留最佳个体,迁移;
 - (3.2) 适应度定标,采用赌轮机制进行选择,随机配对;
 - (3.3) 交叉产生后代,优良家庭产生 4 个后代进入竞争池,其它的家庭产生 2 个后代进入竞争池;
 - (3.4) 变异;
 - (3.5) 评估个体适应度,去掉竞争池中的多余劣质个体;
 - (3.6) 更新子群体, $g = g + 1$;
 - (3.7) if $g \text{ MOD } R = 0$, go to (2)
- (4) 选择最后一代中的最佳个体作为进化的结果.

End

GAMLC 的结果为三个子群体的进化结果中的最佳个体.

4 仿真实验

为了验证 GAMLC 的性能,选用文献[1]中的 $F6$ 作为实验对象. $F6$ 如式(1)所示:

$$f(X) = 0.5 + \frac{\sin^2 \sqrt{x_1^2 + x_2^2} - 0.5}{[1.0 + 0.001(x_1^2 + x_2^2)]^2} \quad (1)$$

其中 $x_1, x_2 \in [-100, 100]$, 当 $x_1 = 0, x_2 = 0$ 时 $F6$ 取最大值 1.

图 2 是 $F6$ 的三维曲面,从这里可以看出 $F6$ 的形状是一个多波峰的曲面.图 3 是令 $x_2 = 0$ 时的二维曲线,可清楚地看到 $F6$ 有很多“陷阱”.由于 $F6$ 的形状的复杂性, $F6$ 是验证优化算法性能的理想对象.

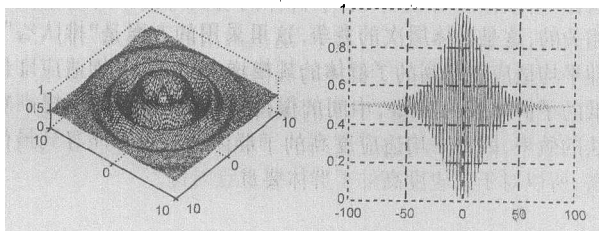


图 2 $F6$ 的三维曲面

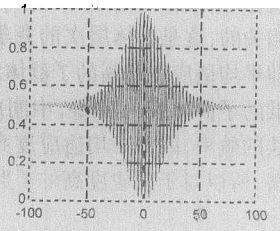


图 3 $F6$ 的二维曲线

实验中各子群体初始规模为 80, $\Delta size = 8$, m 、 n 、 R 的取值分别为 1、30、50, 各子群体的交叉概率和变异概率等参数的取值同参考文献[1].

实验重复进行了 50 次, GAMLC 在 50% 搜索中找到了全局最优, 优于 GAMAS 的 40% [1], SGA 找到全局最优的次数为 0, 所以 GAMLC 具有较高的收敛概率.

GAMLC 在没有找到全局最优的情况下,

最后结果亦非常接近全局最优.图 4 是 50 次实验中, GAMLC、GAMAS 与 SGA 的平均收敛速度比较.从图 4 可以看出, GAMLC 不但能较好地克服早熟现象,而且能加快进化后期的收敛速度,提高全局寻优的能力.

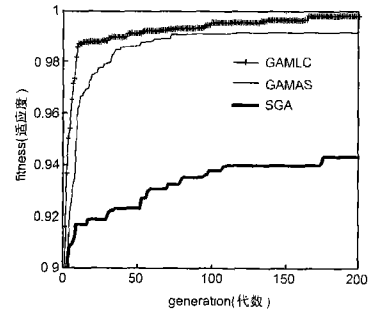


图 4 收敛速度比较

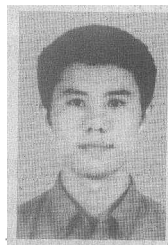
5 结论

遗传算法不是一种具体的优化算法,而是受进化论的启发而提出的一种用于解决问题的自适应思想.所以遗传算法的设计应吸取生态学中的成果.本文在充分考虑生物界中竞争现象的基础上,提出了一种改进的多种群并行进化模型,提高了算法的性能.今后的主要工作是不不断吸取理论生态学中的成果,继续提高多种群并行遗传算法的寻优性能.

参考文献:

- [1] J Craig Potts, Terri D Giddens, Surya B Yadav. The development and evaluation of an improved genetic algorithm based on migration and artificial selection[J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1994, 24(1): 73 - 86.
- [2] 吴浩扬,常炳国,朱长纯,刘君华.基于模拟退火机制的多种群并行遗传算法[J].软件学报,2000,11(3):416 - 420.
- [3] 曹先彬,罗文坚,王熙法.基于生态种群竞争模型的协同进化[J].软件学报,2001,12(4):556 - 562.

作者简介:



李 碧 男,1973 年 7 月出生于湖南省涟源市,现为深圳大学信号与信息处理专业 2000 级硕士研究生,主要研究兴趣有最优化理论与应用、数字图象处理和计算机应用.



雍 正 正 男,1946 年 10 月出生于江苏省南京市,现为深圳大学信息工程学院教授,研究领域为网络理论、电子线路 CAD、数字信号及图象处理、最优化计算方法和进化计算等.