

基于“联姻”策略的并行遗传算法

杨启文, 张国宏, 蒋静坪

(浙江大学电机系, 杭州 310027)

摘 要: 早熟现象一直是遗传算法(GAs)所面临的主要问题. 为了防止单一种群近亲繁殖导致早熟, 本文将人类的联姻策略应用于遗传算法中, 提出了一种基于“联姻”策略的并行遗传算法. 对比实验显示出该算法极其优异的性能. 同时, 文中尝试了一种新的遗传算子, 为遗传算法的硬件实现奠定了基础.

关键词: 遗传算法; 早熟收敛; 联姻策略

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 11-0108-03

A Parallel Genetic Algorithm Based on Allied Strategy

YANG Qi-wen, ZHANG Guo-hong, JIANG Jing-ping

(Electrical Engineering Department of Zhejiang University, 310027, China)

Abstract: Premature convergence has been a main problem in Genetic Algorithms (GAs). In order to prevent premature convergence, the allied strategy of human being is introduced into GAs, and a parallel genetic algorithm based on the allied strategy (PGAAS) is presented. Excellent performance is showed in compared experiments. A new genetic operator is also used in this paper which establishes the foundation of implementing GAs by hardware.

Key words: genetic algorithms; premature convergence; allied strategy

1 引言

遗传算法作为一种寻优手段, 被广泛地应用于交通、通信、电力、工程结构优化、计算数学、制造系统、航空航天、计算机科学、电子学、材料科学等领域^[1]. 与传统的寻优算法不同, 它不苛求于问题的动力学信息(如连续、可微等), 具有全局收敛的特性^[2].

遗传算法发展到今天, 人们针对其存在的问题和缺点提出了许多改进型算法, 主要包括两个方面的改进:

(1) 遗传策略的改进(如: 保留最优个体^[3](Elitist Strategy); 迁移及人工选择策略 GAMAS^[4]).

(2) 遗传算子及其操作概率的改进^[5~8](遗传算子因编码方式不同而不同, 如: 自适应操作概率 AGA^[5]).

这些改进措施大大提高了 GAs 的优化能力.

由于 GAs 天生就具备并行处理的能力, 因此, 随着并行分布式计算机的推广, GAs 的并行处理算法越来越受到人们的重视. 为了进一步提高遗传算法搜索效率, 本文对遗传策略和遗传算子分别提出了一种改进措施, 得到了一种可并行处理的遗传算法——基于“联姻”策略的并行遗传算法(A Parallel Genetic Algorithm Based on Allied Strategy, 简称 PGAAS).

2 基于“联姻”策略的并行遗传算法

2.1 “联姻”策略

J. Craig Potts 等人提出了一种可并行实现的基于迁移和

人工选择的 GAMAS 算法. 该算法采用四个功能不同的种群, 通过各种种群间最佳个体有目的迁移来保持种群内个体的多样性, 并在此基础上寻求新的最佳个体. GAMAS 不足之处在于: (1) 种群数目较多, 算法计算量大; (2) 种群内的进化采用 SGA, 收敛慢; (3) 不同种群间的联系较疏松, 每一代产生的最佳个体相互间没有发生作用, 因此, 这些“优秀”个体所携带的有效基因没有开发出来. 文中的函数测试结果也表明该方案极容易得到问题的次优解, 而不是最优解.

我们知道, 在生物的进化过程中, 一般存在着这样一种现象: 近亲繁殖的后代, 其许多性能往往比父辈差, 而血缘关系相差很大或者地域差异大的父母结合所得到的后代往往会表现出非常优异的特性. 因此, 作为高等生物的人类自觉或不自觉地采取了异地联姻的方式, 尽可能地避免同族间(特别是具有一定血缘关系的个体)产生婚配关系.

在单种群的遗传算法中, 由于种群的大小受到限制, 后代都是由有限个父母产生, 有相当一部分后代很可能源于具有相同基因结构同一父母, 因此, 这很容易导致算法的早熟收敛. 本文将人类的这种联姻方式引入遗传算法中, 提出了一种多种群并行进化的遗传算法: 设 $M(M \geq 2)$ 个种群并行进化, 当种群与种群之间满足某种条件时, 不同种群间的当代最佳个体两两联姻, 并将联姻后代中的最佳个体, 复制到相关的两种群中, 参与其下一代的进化过程. 由于联姻后代携带了另一

个种群的基因,因此,联姻策略一方面能保持种群中基因的多样性,避免了近亲繁殖带来的危害,另一方面由于引进其它种群的优良基因,因而能够加快算法的搜索过程.为防止最佳个体在进化过程中的消失,本文同时扩展了单种群

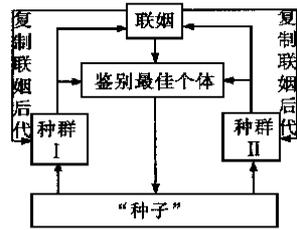


图1 两种群联姻模式图

GAs的最佳个体保留策略:比较各种群的最佳个体以及联姻后代的最佳个体,保留其最优者,并作为“种子”参与各种群的下一代进化过程.这就是联姻策略的主要思想.

图1是两种群的联姻模式图.

2.2 逻辑算子

对于二进制编码的遗传算法,杂交算子通常为一点杂交、两点杂交、多点杂交和均匀杂交.在这四种杂交算子中,由{0,1}构成的基因都是作为符号进行遗传操作.但是,我们知道“0”和“1”在数字技术(如计算机技术)中的是两种逻辑状态,其行为方式可通过定义不同的逻辑运算实现.这里,我们将“0”和“1”的逻辑功能付与GAs中的基因,这样便可以得到一种全新的遗传算子——逻辑算子:

杂交算子:与/或 变异算子:同或/异或

例如:

	父母	后代	算子
杂交	110100101	010100001	“与”运算
	011101001	111101101	“或”运算
变异	110 10 0101	110001101	“异或”运算
	011 10 1001	011100001	“同或”运算

“.”表示两染色体在该基因座上的基因发生变异.

2.3 PGAAS 描述及算法流程

根据文献[9]对单种群GAs的描述,PGAAS算法可描述为:

$$PGAAS = \begin{matrix} M \\ i=1 \end{matrix} (P_i(0), N_i, l, S_i, g_i, p_i, f_i, c_i, t), (M > 1) \quad (1)$$

其中, M 为种群规模; $P_i(0)$ 为初始种群; N_i 为每个种群的大小; l 为染色体长度,为保证联姻成功, l 必须保证相同; S_i 为遗传策略,“联姻”策略为其中之一; g_i 和 p_i 分别表示遗传算子和遗传概率; f_i 为适合值计算法; c_i 为联姻条件; t 为算法终止准则.

PGAAS 相应的算法流程如下:

- (1) M 个种群分别初始化.
- (2) 每个种群独自进化(单种群GAs).
- (3) 若满足联姻条件 c_i , 种群两两联姻(见图1).
- (4) 判断是否满足终止准则,若条件成立,则程序终止,否则转向(2).

3 实验

3.1 实验

本次实验目的在于测试常规遗传算子和逻辑算子对PGAAS性能的影响.测试函数采用DeJong的三个函数 $F1 \sim F3$ (见文[6,7])以及Schaffer的函数 $F6$ (见文[4,5]).

在采用不同遗传算子的情况下(其它参数的设置均相同),PGAAS在100代内对四种函数的优化过程如图2所示.图中虚线为传统的遗传算子(单点杂交、取反变异)的优化轨迹,实线为逻辑算子的优化轨迹.由图2可以看出,PGAAS采用逻辑算子后,优化速度明显得到改善,而且其优化值也高于传统的遗传算子.

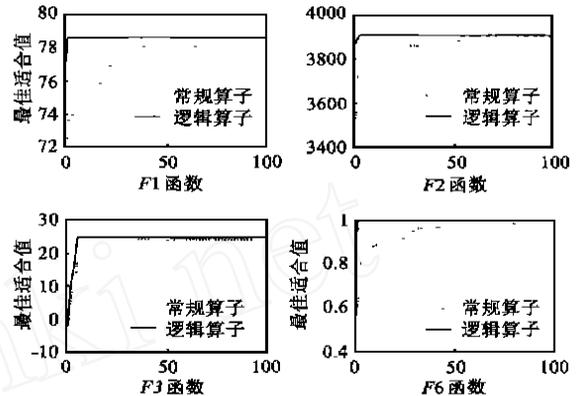


图2 遗传算子对算法性能的影响

3.2 实验

为验证PGAAS性能,本实验将PGAAS同标准遗传算法(SGA)及其它改进型GAs进行实验比较.实验中PGAAS参数作如下选取:

$$M, N_i, l_i, p_c, p_m = (2, 24, 13, 1.0, 0.06);$$

适合值 f_i : 函数值;

联姻条件 c_i : 每进化一代联姻一次;

终止准则 t : 优化到指定的阈值.

函数测试以50次实验为一组,每次进化100代结束,若在100代内未优化到阈值,则认为算法未收敛.同时将有关函数其它方法(大变异操作^[6]和非等概率操作^[7])的遗传算法暂命名为GA1和GA2的测试结果列入表1,2中.

表1 实验结果1

函数编号	平均进化代数(未收敛次数)			
	SGA[7]	GA1	GA2	PGAAS
F1	30.83(4)	18.48(1)	33.61(0)	1.92(0)
F2	32.46(4)	16.0(3)	41.15(0)	2.12(0)
F3	19.75(5)	12.13(1)	24.23(0)	4.76(0)
备注	SGA和GA1: $N = 50$		GA2: $N = 100$	

利用GAMAS测试函数 $F6$ ($N_i = 36$),在50次实验中,40%收敛到极大值0.999,其余收敛到次极大值0.990.

上述实验结果表明,在群体规模相近或更小的情况下,基于“联姻”策略的并行遗传算法稳定性好,且收敛速度快,性能指标优于其它几种方法;同时,用数字逻辑运算代替常规遗传算子使遗传算法的硬件实现变得相当容易.

表2 实验结果2

函数编号	平均进化代数(未收敛次数)			
	SGA[5]	AGA[5]	GA2	PGAAS
F6	173.9(23)	106.6(6)	45.2(1)	5.7(0)
备注	SGA,AGA和GA2: $N = 100$			

4 结论

遗传算法的提出,源于生物进化的启示.遗传算法在很大程度上遵循了生物的进化法则.因此,任何有助于物种繁衍和进化的自然规律,都可作为遗传算法的改进措施,这也是遗传算法被认为“不是一种单纯的优化算法,而是一种以进化思想为基础的全新的一般方法论”^[1]的主要原因.人类的联姻方式是人类在千万年的进化过程中不断总结形成的繁衍方式.将人类“联姻”思想引入遗传算法,大大提高了算法的稳定性,加快了算法的收敛速度.由于 PGAAS 中各独立进化的种群只是在适当的时候才相互发生联系(“联姻”),因此 PGAAS 可用于多处理器的并行计算;同时,用逻辑算子代替传统的遗传算子,也为遗传算法的硬件实现奠定了基础.

参考文献:

- [1] 席裕庚,柴天佑,恽为民.遗传算法综述 [M]. 控制理论与应用. 1996,13(6):697 - 704.
- [2] A. E. Eiben, E. H Aarts and Van Hee K. M. Global Convergence of Genetic Algorithms: An Infinite Markov Chain Analysis [M]. Parallel Problem Solving from Nature. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlay, 1991.
- [3] J. G. John. Optimization of control parameters for genetic algorithms [J]. IEEE Trans. on SMC. 1986,23(1):122 - 128.
- [4] J. Craig Potts, Terri D. Gand Surya. B. Y. The development and evolution of an improved genetic algorithm based on migration an artificial selection [J]. IEEE Trans. on SMC. 1994,24(1):73 - 86.

- [5] M. Srinvas, and L. M. Patnaik. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms [J]. IEEE Trans. on SMC. 1994,24(4):656 - 666.
- [6] 章珂,刘贵忠.交叉位置非等概率选取的遗传算法 [J]. 信息与控制,1997,26(1):53 - 60.
- [7] 马钧水,刘贵忠,贾玉兰.改进遗传算法搜索性能的大变异操作 [J]. 控制理论与应用. 1998,15(3):404 - 407.
- [8] 伍永刚,王定一.一种改进的双基因遗传算法 [J]. 华中理工大学学报. 1996,24(10):47 - 50.
- [9] 潘正君,康立山,陈毓屏.演化计算 [M]. 清华大学出版社,广西科技出版社,1998,7.

作者简介:



杨启文 1969年生.讲师,博士生.目前研究方向:进化计算及其应用,感兴趣的领域:时滞对象的优化控制、模糊控制技术、神经网络.



蒋静坪 1935年生.浙江大学教授、博士生导师,IEEE高级会员.主要研究方向:计算机及智能控制.

(上接第 107 页)

- [2] A. K. Das, A. Ganguly, A. Dasgupta, and P. P. Chaudhuri, Efficient characterisation of cellular automata [J]. IEE Proc. -E, 1990, 137(1): 81 - 87.
- [3] S. Bhattacharjee, S. Sinha, C. Chattopadhyay, and P. P. Chaudhuri, Cellular automata based scheme for solution of Boolean equations [J]. IEE Proc. -Comput. Digit. Tech, 1996, 143(3): 174 - 180.
- [4] A. K. Das and P. P. Chaudhuri, Vector space theoretic analysis of addi-

tive cellular automata and its application for pseudo-exhaustive test pattern generation [J]. IEEE Trans, C- 42, 1993, 340 - 352.

- [5] A. K. Das, D. Saha, A. R. Chowdhury, S. Misra, and P. P. Chaudhuri, Signature analyzer based on additive cellular automata [A]. Proc. 20th Fault tolerant computing systems [C]. UK, June 1990: 265 - 272.
- [6] 陈其翔. $\bar{1}, 0, 1$ 三进制制 [J]. 数学通报, 1958, 3: 4 - 7.