

应用逻辑操作改善遗传算法性能*

杨启文 蒋静坪 曲朝霞 张国宏
(浙江大学电机系 杭州 310027) (山东建材学院信控系) (浙江大学电机系)

摘要 从理论上分析了传统变异算子存在的不足,借鉴数字技术的有关原理为基因增添了逻辑表达能力,引入逻辑运算规则改进了传统的遗传算子。实验结果表明,改进型遗传算法收敛速度快,克服早熟能力强。

关键词 遗传算法,早熟收敛,逻辑运算

分类号 TP 18

Improving Genetic Algorithms by Using Logic Operation

Yang Qiwen, Jiang Jingping Qu Zhaoxia Zhang Guohong
(Zhejiang University) (Shandong Building Material Institute) (Zhejiang University)

Abstract The shortcoming of conventional mutation operator was analyzed theoretically. Using the relative principle of digital technique for reference, the function of representing logic is added to genetic operators by importing the rule of logical operation are improved. Experimental results show that the improved genetic algorithm can converge quickly and overcome the premature convergence effectively.

Key words genetic algorithms, premature convergence, logical operation

1 引言

遗传算法(GAs)作为解决非线性、多变量等复杂问题最有力的工具之一,已广泛应用于诸多领域^[1]。但是,早熟现象和收敛速度慢一直是遗传算法自身所需要解决的主要问题。为此,人们为改善遗传算法性能所进行的努力也一直没有停止^[2-6]。

以二进制为编码方式的遗传算法,其变异算子的操作方式至今未做根本的改进。因此,作为最基本遗传方式的杂交和变异,如果能在本质上加以改进,将会极大地改善遗传算法的性能。

2 传统变异算子的不足

变异被认为是克服 GAs 早熟收敛最有效的手段之一。从现有的文献看,几乎所有的变异操作都是通过对基因的取反运算来实现的。但早熟现象的存在充分表明了取反变异的局限性。

定理 1 早熟收敛的必要条件是所有染色体同一基因座上的基因均相同,且至少有一个基因座被一非有效基因所控制。

证明 在一个有 N 个染色体(设其长度为 l)的种群中, S_i 为第 i 条染色体, $S_i(j)$ 为其第 j 个基因座上的基因,最优染色体为 \tilde{S} 。则当种群早熟收敛后,有

$$\begin{cases} \forall S_i(j) = S(j), & S = \tilde{S} \\ i = N, & j = l \end{cases} \quad (1)$$

式中, S 为收敛后的染色体, $S(j)$ 为其第 j 个基因座上的基因。于是,至少有一个基因使得

$$S(j) = \tilde{S}(j), \quad j = [1, l] \quad (2)$$

(证毕)

Craig Potts 等人认为,产生早熟收敛主要是由于有效等位基因的缺失造成的^[5]。由定理 1 知,为预防早熟收敛,必须保持同一基因座上等位基因的多样性,而不能由某个基因过早控制该基因座。即在种

* 教育部博士点基金项目(97033526)和浙江省自然科学基金项目(598019)

群收敛之前,该基因座上基因全为“0”或全为“1”的概率 $P(\text{“0”})$ (或 $P(\text{“1”})$) 应等于零。这样,造成有效基因在某些基因座上缺失的可能性就非常小。由于杂交算子不会导致基因丢失,而选择策略则因遵循“优胜劣汰”的复制原则,不可避免地会造成该基因座上的基因缺损。因此,变异算子能否有效地保持同一基因座上等位基因的多样性就显得尤为重要。

定理 2 传统的变异算子不能有效地维持同一基因座上等位基因的多样性。

证明 设种群规模为 N , 假设在染色体第 j 个基因座上有 n_1 个“0”和 n_2 ($n_2 = N - n_1$) 个“1”, 则该基因座上所有基因经取反变异后变为同一个基因的概率为

$$\begin{cases} P(\text{“0”}) = (1 - p_m)^{n_1} p_m^{n_2} & 0 \\ P(\text{“1”}) = (1 - p_m)^{n_2} p_m^{n_1} & 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 p_m 为变异概率。(证毕)

由于取反变异无法保证等位基因的多样性,因此在传统变异算子的 GAs 中,早熟收敛的可能性比较大。有两种从根本上克服传统变异算子不足的方法:

- 1) 采取非随机变异策略,增强对有效等位基因的识别能力,防止因误操作造成对有效基因的“伤害”,但如何识别有效等位基因却非常困难;
- 2) 设计新的变异算法,增强其保持同一基因座上基因多样性的能力。

3 基于逻辑运算的遗传算法

在二进制编码的 GAs 中,基因“0”和“1”基本上看作是一种符号,因而它们丧失了数字技术表达逻辑状态上的功能。这里重新赋予“0”和“1”逻辑表达能力,并引入 4 种逻辑运算,构成 GAs 新的遗传算子。

(1) 变异算子: 同或 / 异或

表 1 两种变异操作的不同结果

基因 $a_i b_i$	00	01	10	11
取反	11	10	01	00
同或 / 异或	1/0	0/1	0/1	1/0

表 1 为两个染色体在同一基因座上两个基因经新旧变异算子的运算结果。“同或 / 异或”操作结果使得参与变异的基因呈互补状态,这意味着在整个种群中,同一基因座上的基因不可能出现由同一个基因占据该基因座的情况发生,即 $P(\text{“0”}) = P(\text{“1”}) = 0$ 。因此,新的变异算子能够确保同一基因

座上基因的多样性,不会造成有效基因的缺损。

(2) 杂交算子: 与 / 或

同新的变异算子一样,改进后的杂交算子仍由两种逻辑算子组成,这两种算子在杂交时各自产生一个后代。

由逻辑运算的特点知,新的杂交算子在操作方式上有一个显著的特征,即父母之间的“信息”交换是以基因为单位进行的,而传统的“信息”单位则是染色体的基因段。父母遗传给后代的“信息”在很大程度上是“基因融合”,而不是简单的基因段复制。从生物学的角度看,这有利于得到性能优良的后代,易于产生适应值更高的个体,因而有利于提高算法的搜索能力。

由于“同或 / 异或”的特殊性,变异操作的实现方式也有所不同。基于逻辑运算的遗传算法可有多种实现方式,其中之一表示如下:

- 1) 种群初始化;
- 2) 遗传操作: 从种群中选择一对“父母”,执行杂交和变异操作;
- 3) 计算适合值,若满足程序终止条件,则程序结束;
- 4) 转向 2), 完成本代整个种群的进化;
- 5) 转向 2), 进行种群下一代的进化。

4 实 验

选择 De Jong 的 $F_1 \sim F_3$ 函数和 Schaffer 的 F_9 函数^[7] 作为实验测试函数。实验中,遗传算法采用最优个体保留法^[6] 以及锦标竞争策略。

实验 1 变异算子性能测试

为了测试变异算子改进前后对算法性能的影响,本实验中杂交算子采用传统的一点杂交方式,种群规模为 50,染色体长度为 20,初始种群不变,种群进化到 100 代结束,测试函数为 F_9 。如果在 100 代内能优化到阈值 0.999,则记录所选用的遗传概率(杂交概率 p_c , 变异概率 p_m)。

实验结果: 改进前可选遗传概率只有 142 组,改进后增加到 806 组(见图 1 中阴影部分); 平均收敛代数由改进前的 62 代降至改进后的 54.8 代。由此可以看出,改进型变异算子不但大大提高了算法的成功率,减少了早熟收敛的次数,而且在一定程度上加快了算法的收敛过程。

实验 2 对比实验

实验中,基于逻辑运算的遗传算法参数选为

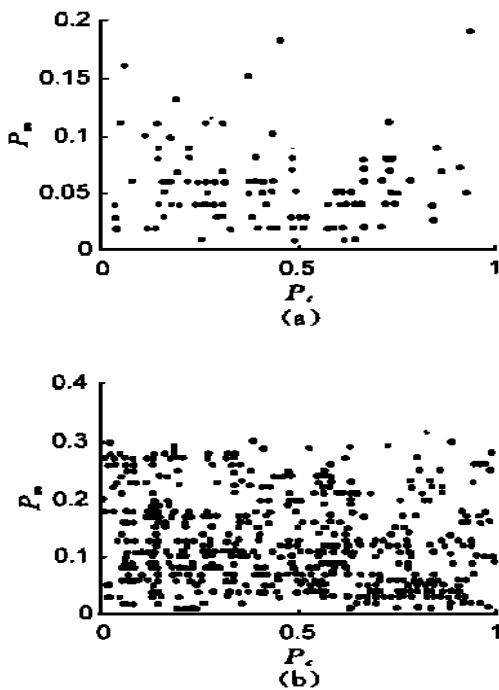


图1 变异算子对遗传概率选择范围的影响

(a) 传统变异算子 (b) 改进型变异算子

$(N, l, p_c, p_m) = (50, 16, 0.8, 0.15)$

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^[2]和非等概率操作^[3])的遗传算法,这里称为GA1和GA2)的测试结果列于表2和表3。

表2 实验结果1

函数编号	平均收敛代数(未收敛次数)				阈值
	SGA	GA1	GA2	本文	
F_1	30.83(4)	18.48(1)	33.61(0)	2.36(0)	75
F_2	32.46(4)	16.00(3)	41.15(0)	2.72(0)	3 850
F_3	19.75(4)	12.13(1)	24.23(0)	5.48(0)	25

SGA和GA1: $N = 50$; GA2: $N = 100$

表3 实验结果2

函数编号	平均收敛代数(未收敛次数)				阈值
	SGA	AGA	GA2	本文	
F_9	173.9(23)	106.6(6)	45.2(1)	9.38(0)	0.999

SGA, AGA和GA2: $N = 100$

实验结果表明,在群体规模相近或更小的情况下,基于逻辑运算的遗传算法稳定性好,收敛速度

快,性能指标优于其它几种方法;而且用数字逻辑运算代替常规遗传算子,使得遗传算法的硬件实现更加容易。

5 结 语

本文用数学逻辑运算代替传统的遗传操作,大大提高了算法的稳定性,加快了算法的收敛速度。同时,二进制的逻辑运算又为遗传算法的硬件实现提供了可能。但数字逻辑运算对遗传算法的影响还有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 1 席裕庚,柴天佑,恽为民. 遗传算法综述. 控制理论与应用, 1996, 13(6): 697~704
- 2 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. 控制理论与应用, 1998, 15(3): 404~407
- 3 章珂,刘贵忠. 交叉位置非等概率选取的遗传算法. 信息与控制, 1997, 26(1): 53~60
- 4 M Srinivas, L M Patnaik. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms. IEEE Trans on SMC, 1994, 24(4): 656~666
- 5 J Craig Potts, Terri D G, Surya B Y. The development and evolution of an improved genetic algorithm based on migration an artificial selection. IEEE Trans on SMC, 1994, 24(1): 73~86
- 6 John J G. Optimization of control parameters for genetic algorithms. IEEE Trans on SMC, 1986, 23(1): 122~128
- 7 潘正君,康立山,陈毓屏. 演化计算. 北京:清华大学出版社, 1998. 67~68

作 者 简 介

杨启文 男,1969年生。河海大学常州分校讲师,浙江大学博士生。研究方向为进化计算及其应用,时滞系统,模糊控制。

蒋静坪 男,1935年生。浙江大学教授,博士生导师。主要研究方向为智能控制和计算机控制。

曲朝霞 女,1963年生。山东建材学院讲师,硕士。研究方向为理论电工。

张国宏 男,1966年生。浙江大学工程师,硕士。主要研究方向为开关磁阻电动机。