

自适应基因算法在环境优化问题中的应用

杨晓华¹ 陆桂华² 酆建强²

(1.河海大学理学院,江苏 南京 210098;2.河海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 探讨了基因算法的原理及本身参数优化特性,总结了参数的简便设置技术,并针对该法的寻优效果明显依赖于模型参数的初始变化区间的大小,及可能会出现过早收敛的问题,提出了自适应加速基因算法.实例应用结果表明,该法具有直观、简便、快速、适用性强等特点,可广泛应用于各种优化问题中.

关键词 自适应基因算法;优秀个体;环境优化

中图分类号 X11 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2002)02-0039-03

实际环境控制规划问题多为复杂的非线性形式,传统的非线性优化方法往往只能求得其局部最优解,方法本身也较复杂,通用性差,给实际工作带来很大的困难.

基因算法(genetic algorithm,简称 GA)作为一种借鉴生物界自然选择思想和自然基因机制的全局随机搜索算法,可模拟自然界中生物从低级向高级的进化过程,而且优化求解过程与梯度信息无关,对于复杂的非线性优化问题只需选择、杂交、变异 3 种基因算子就能得到优化解.但 GA 计算量大、对变量取值范围大小变化适应性较差、在进化后期搜索效率较低及易发生过早收敛等现象.据此,本文提出一种自适应加速基因算法(AAGA),并应用于环境优化问题.

1 AAGA 的计算技术

不失一般性,设模型的参数优化问题为

$$\begin{aligned} \min f &= \sum_{i=1}^m \left\| F(c, x_i) - y_i \right\|^q \\ \text{s.t.} \quad &a_j \leq c_j \leq b_j \quad j = 1, 2, \dots, p \end{aligned}$$

式中: c_j —— p 个待优化变量; x_i, y_i —— m 对模型输入、输出的观测数据; q ——任意常数.

自适应加速基因算法包括如下 8 步:步 1:变量取值范围的二进制数编码.步 2:初始化.设置进化代数计数器 $t \leftarrow 0$,设置最大进化代数 T .随机生成 n 个个体作为初始群体 $P(0)$.步 3:个体评价.计算群体 $P(t)$ 中各个个体的适应度.步 4:选择运算.将选择算子作用于群体.步 5:杂交运算.将自适应杂交算子 P_c 作用于群体.步 6:变异运算.将自适应变异算子 P_m 作用于群体.群体 $P(t)$ 经过选择、杂交、变异运算之后得到下一代群体 $P(t+1)$.步 7:进化迭代.由上步得到的子代个体作为新的父代个体.算法转入步 3,进入下一次进化过程.重新评价、选择、杂交、变异.如此循环往复,优秀个体将逼近最优点.以上 7 步构成经典的基因算法(GA).步 8:加速循环.把第 1、第 2 次进化迭代所产生的优秀个体的变化范围作为变量的新取值范围,算法转入步 1.以上 8 步构成自适应加速基因算法(AAGA).它自身的参数有长度 e ,父代个体数目 n ,优秀个体数目 n_s 和变异率 P_m .一般地,AGA 算法^[1]的杂交概率 P_c 、变异率 P_m 通常取常数.这种算法收敛速度可能很快,但也可能会出现局部收敛(尽管这种概率较小).

众所周知,进化种群始终保持多样性是基因算法有效运行的前提条件.在种群规模一定的情况下,种群多样性越大,种群就越有可能产生出更优子代,而一旦种群失去多样性,种群个体间越相互趋同,则过早收敛

现象就越容易发生. 理论研究证明, 传统的简单基因算法不能保证收敛到全局最优解, 而如果将父代当前最优解直接复制到子代中去, 虽然有可能全局收敛, 但又易发生过早收敛. 改进基因算法的困难在于: 一方面为了保证基因算法能全局收敛, 必须使群体中有足够多的不同的个体; 另一方面, 为了加快算法的收敛速度, 又必须使群体中的个体尽快向最优解方向靠拢, 而这样做不可避免地降低种群的多样性, 增加种群过早收敛的可能. 由此可见, 正确评价群体中个体分布的过早收敛程度, 对基因算法性能的改进起着非常重要的作用. 文献 [2] 给出了种群过早收敛程度的 3 种定量评价指标. 种群在进化过程中发生过早收敛的主要表现是: 种群内适应度暂时最大的一些个体相互重复或趋同, 且它们之间杂交后的子代也不会与父代有太大的变化, 这导致一般基因算法搜索过早收敛. 因此, 要正确判断一个种群是否会发生过早收敛, 主要应看这个种群中当前适应度最大的那些个体是否重复或相互趋同. 本文引进 Δ 作为表征种群过早收敛程度的指标. 设第 t 代种群由个体 $x_t^1, x_t^2, \dots, x_t^N$ 构成, 适应度分别为 $f_t^1, f_t^2, \dots, f_t^N$, 个体总平均适应度

$$\bar{f}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_t^i$$

最优个体的适应度为 $f_{\max}$, 将适应度大于 $\bar{f}_t$ 的个体的适应度再做平均得 $\bar{f}$, 定义 $\Delta = f_{\max} - \bar{f}$, 则指标 Δ 可用来表征种群的过早收敛程度. 在传统的基因算法中, 杂交率 P_c 、变异率 P_m 等控制参数与种群进化过程无关, 从始至终都保持定值. 近年来的研究表明^[2,3], 控制参数对系统性能有重要影响, P_c 及 P_m 在进化过程中, 应根据种群的实际情况随时调整大小. 本文把这一思想应用于加速基因算法中, 使 P_c 和 P_m 随 Δ 的增大而减小, 提出了基于动态杂交、变异操作的自适应加速基因算法, 取杂交率和变异率分别为

$$P_c = 1.5 - \frac{1}{1 + \exp(-\Delta)} \quad P_m = 1.0 - \frac{1}{1 + \exp(-\Delta)}$$

2 应用实例

例 1 沈阳南部浑河沿岸 4 个排放口污水处理效率的非线性规划问题为

$$\min F = 696.744x_1^{1.962} + 10586.71x_1^{5.9898} + 63.927x_2^{1.8815} + 9054.54x_2^{5.9898} + 375.658x_3^{2.9972} + 57.428x_3^{1.8731} + 5200.91x_3^{5.9898} + 113.471x_4^{1.8815} + 223.825x_4^5 + 23.626x_4^{4.8344} + 5431.427x_4^{5.9898} + 398 \text{ (万元)}$$
$$\text{s. t. } g_1 = 20.475(1 - x_1) \leq 22.194$$
$$g_2 = 17.037(1 - x_1) + 12.998(1 - x_2) \leq 23.505$$
$$g_3 = 15.660(1 - x_1) + 11.940(1 - x_2) + 8.820(1 - x_3) \leq 24.031$$
$$g_4 = 14.220(1 - x_1) + 10.850(1 - x_2) + 8.020(1 - x_3) + 21.960(1 - x_4) \leq 24.576$$
$$g_5 = x_i \in [0, 0.9] \quad i = 1, 2, 3, 4$$

其中 x_i 为第 i 个排放口的污水处理效率. 上述用模糊非线性规划方法求得的最小总费用 F 为 5063.10 万元^[4]. 现用 AAGA 求解.

取目标函数的极小化为

$$f = F + \sum_{i=1}^4 h_i(g_i)$$

式中 $h_i(g_i)$ 为罚项, 当约束 g_i 满足时取值为 0, 否则取值为 10^5 . 由约束 g_5 构成 x_i 的初始取值范围, 用 AAGA 求解, 加速寻优 10 次, 得近似解 $x_1^* = 0.4877, x_2^* = 0.5081, x_3^* = 0.5072, x_4^* = 0.6362$, 代入前 4 个约束条件的左端, 其值分别为 10.4897, 15.1166, 18.2437, 24.5753, 而此时的最小费用 F 为 5061.16 万元, 优于文献 [4] 结果(其最小费用为 5063.10 万元), 也优于用 AGA 加速寻优 10 次的结果(其最小费用 F 为 5061.75 万元). AAGA 计算结果见表 1. 由表 1 可知, AAGA 历时仅 6 s, 优化速度大大提高.

表 1 AAGA 估计的环境优化问题的参数

Table 1 Parameters estimated by use of AAGA in environment optimization

加速 次数	优秀个体各变量的变化范围				最小 费用
	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	[0.2947 0.6924]	[0.4504 0.7179]	[0.0572 0.6009]	[0.5639 0.8094]	5205.73
5	[0.4643 0.5135]	[0.4784 0.5294]	[0.4749 0.5251]	[0.6206 0.6630]	5061.85
10	[0.4796 0.4914]	[0.4968 0.5128]	[0.4995 0.5128]	[0.6352 0.6457]	5061.16

例 2 设某行业万元产值工业污水量时间序列为

$$y(t) = A - K(1 + be^{-at})$$

式中 $y(t)$ ——第 t 年万元产值工业污水量的
计算值 y /万元 ; A, K, b, a ——待优化参数. 现
用 AAGA 来优化这些参数. 取文献 1 的观测数
据 ,优化准则函数取残差平方和最小 ,AAGA 的
参数取 $n = 300, n_s = 10$ 加速寻优 5 次 ,结果见
表 2 ,可见 AAGA 的结果明显好于文献 1 的结
果 ,AAGA 历时仅 2 s.

表 2 例 2 各方法计算比较

Table 2 Comparison of calculation methods for example 2					
方法	参 数				最小残差 平方和
	A	K	b	a	
AAGA	603.667	243.487	5.665	0.838	6.934
AGA	600.700	240.700	6.069	0.853	8.130
文献 1 法	600.000	240.000	6.360	0.851	31.020

3 结 语

本文在探讨基因算法的原理步骤及算法本身参数优化特性的基础上 ,针对该法的寻优效果明显依赖于
模型参数的初始变化区间的大小及可能会出现过早收敛的现象 ,提出了自适应加速基因算法 ,其自适应杂交
算子及变异算子的引进在理论上是收敛的[5] . 但自适应基因算法可能运行时间很长 ,本文又将自适应基因算
法第 1、第 2 次进化迭代所产生的优秀个体的参数变化区间作为模型参数的新的初始变化区间 ,再重新运
行 ,由此形成本文的自适应加速基因算法 ,并大大缩短了寻优时间. 文中给出了这一改进的基因算法的详细
步骤和简便的算法参数的设置技术 ,并在环境优化问题中得到满意的全局最优解.

参考文献 :

[1] 金菊良 , 杨晓华 , 储开凤 ,等 . 加速基因算法在海洋环境预报中的应用[J] . 海洋环境科学 ,1997(4) :7 ~ 11.
[2] 吴浩扬 , 朱长纯 , 常炳国 ,等 . 基于种群过早收敛程度定量分析的改进自适应遗传算法[J] . 西安交通大学学报 ,1999 ,33
(11) :27 ~ 30.
[3] Qi Xiaofeng. Theory analysis of evolution algorithms with an infinite population size in continuous space[J] . IEEE Trans Neural Network ,
1994 ,5(1) :120 ~ 129.
[4] 熊德琪 , 陈守煜 , 任洁 . 水环境污染系统规划的模糊非线性规划模型[J] . 水利学报 ,1994(12) :22 ~ 23.
[5] 孙建永 , 申建中 , 徐宗本 . 一类自适应遗传算法的理论分析与数值模拟[J] . 西安交通大学学报 ,2000 ,34(12) :84 ~ 87.

Application of Adaptive Genetic Algorithm to Environment Optimization

YANG Xiao-hua¹ , LU Gui-hua² , LI Jian-qiang²

(1. College of Science , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;

2. College of Water Resources and Environment , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : The principle of genetic algorithm and the characteristics of parameter optimization are discussed , and
techniques for convenient configuration of parameters are summarized . In consideration of the facts that the characteristics
of the optimal result apparently depends on the size of the initial variation region of parameters , and that too early
convergence may appear , an accelerated adaptive genetic algorithm is proposed . Application shows that the method is
direct , convenient , fast , and highly adaptive , and can be widely applied to various kinds of optimization .

Key words : adaptive genetic algorithm ; superior individuals ; environment optimization