

文章编号:1006-7329(2003)06-0039-04

结构优化设计中自适应遗传算法的研究*

李正良, 董列奎

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要: 主要介绍了一种基于非连续设计变量的结构优化设计方法—遗传算法(Genetic Algorithms, GA)。首先对遗传算法的来源、基本过程进行了论述;为了提高遗传算法的收敛性能,同时考虑到交叉率和变异率的选取问题,引入一种基于个体适应度值的自适应调整交叉率和变异率的自适应遗传算法,并通过算例表明自适应遗传算法是有效的。

关键词: 自适应; 遗传算法; 结构优化

中图分类号: TU311.4

文献标识码: A

Design of Structural Optimization Based on Adaptive Genetic Algorithm

LI Zheng-liang, DONG Lie-kui

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P.R. China)

Abstract: In this paper, a simple genetic algorithm (GA) is presented for optimizing the structural systems with discrete design variable. First, the origin, basic process of GA was discussed. In order to improve the convergence of GA, considering the difficulty in choosing the probability of crossover and mutation, an adaptive GA, in which the probability of crossover and mutation were varied depending on the fitness values of the solutions, was introduced. Finally, the availability of the adaptive GA was shown by an example.

Keywords: adaptive; Genetic Algorithm; structural optimization

遗传算法(Genetic Algorithms, GA)最早是由密歇根大学的 John Holland 和他的合作者共同研究和提出的^[1]。由于其思路简单,易于实现,以及表现出来的鲁棒性,遗传算法很快便在各个领域得到了广泛的应用。许多学者也将遗传算法应用到了建筑结构方面,并在此基础上作了大量的探索与研究。从目前研究状况来看,遗传算法主要应用于建筑结构优化方面。

虽然以直接法和解析法为主导的传统结构优化方法已在各种实际工程中得到了广泛的应用。但在一些特殊问题的处理上,如非连续设计变量问题、多极值点问题、目标函数的强非线性问题等,传统算法需要计算目标函数的偏导数,这不但需要目标函数具有良好的连续性,而且给计算带来了极大的麻烦。遗传算法作为一种与以往方法截然不同的新方法,为建筑结构优化设计开辟了一条新思路,并且显示了高效性。

1 简单遗传算法结构优化设计的基本过程^[1,2]

基于简单遗传算法的框架结构优化设计程序的基本步骤归纳为:

* 收稿日期:2003-08-26

作者简介:李正良(1963-),男,江苏江阴人,教授,博士生导师,主要从事结构工程及工程力学研究。

1) 对于给定的问题,选择相应的遗传算法控制要素。这些要素包括:在程序运行之前我们需要统计非连续设计变量的个数 n ,子基因串长度 $l_i (i = 1, 2, \dots, n)$,每代个体数 m ,交叉率和变异率。同时输入计算框架结构的结构数据信息。

2) 遗传算法随机产生初始种群即随机产生一系列(m 个)的由 n 个设计变量组成的二进制串,这些二进制串称为染色体或个体,每一个个体都代表了一组设计变量在定义域内的可选值,但并不是这 m 个个体中的每一个都能满足约束条件,因为它们是随机选取的。

3) 设计变量的二进制编码串解码为十进制数,解码即是将每个二进制子串按一定的原则转化为相应的设计变量值。例如对于本文中的计算算例中每个设计变量的可供选择的槽钢型号有(5, 6.3, 8, 10, ...40b, 40c),共 30 种不同的形式,因此这里每个设计变量只需要采用 5 位二进制数就能表达出这 30 种不同的截面形式,则 n 个杆件截面所对应的二进制串的总长度为 $5n$ 。

4) 用合适的有限元分析程序对结构进行有限元计算。本文采用的是平面刚架静力分析程序作为结构分析程序。

5) 对照给定的约束条件,计算罚函数数值。遗传算法主要适用于无约束优化设计问题,将遗传算法应用于有约束最优化问题的关键是对约束条件的处理,由于等式约束可以包含到适应度函数中,所以仅需对不等式约束进行处理。在此,我们借鉴常规方法中的罚函数法来解决约束问题。

6) 对照收敛条件,如果满足条件则终止设计过程,否则继续进行。

7) 计算种群中的每个个体的适应度,根据适应度来选择较优的个体,并将其放入交配池中。

然后通过再生产、交叉和变异产生下一代。在本文的程序中,选择采用的轮盘赌选择,交叉采用的是单点交叉,变异采用的是基本变异操作。

8) 重复步骤 3)至步骤 7)。

2 简单遗传算法的改进 – 自适应遗传算法

遗传算法的参数中交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 的选择是影响遗传算法行为和性能的关键所在,直接影响算法的收敛性。针对不同的优化问题,需要反复实验来确定 P_c 和 P_m ,这是一件繁琐的工作,而且很难找到适应于每个问题的最佳值。Srinivas 等提出了一种自适应遗传算法(Adaptive GA, AGA), P_c 和 P_m 能够随适应度自动改变。当群体各个体适应度趋于一致或者趋于局部最优时,使 P_c 和 P_m 增加,而当群体适应度比较分散时,使 P_c 和 P_m 减少。自适应遗传算法在保持群体多样性的同时,保证遗传算法的收敛性。

在自适应遗传算法中,和按如下公式进行自适应调整

$$P_c = \begin{cases} \frac{k_1(f_{\max} - f')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} & f' \geq f_{\text{avg}} \\ k_2 & f' < f_{\text{avg}} \end{cases}$$

$$P_m = \begin{cases} \frac{k_3(f_{\max} - f)}{f_{\max} - f_{\text{avg}}} & f \geq f_{\text{avg}} \\ k_4 & f < f_{\text{avg}} \end{cases}$$

式中: f_{\max} ——群体中最大的适应度值; f_{avg} ——每代群体的平均适应度值; f' ——要交叉的两个个体中较大的适应度值; f ——要变异个体的适应度值。

这里,只要设定 k_1, k_2, k_3, k_4 取(0, 1)区间的值,就可以自适应调整了。

由图 1 可以看出,当适应度值越接近最大适应度值时,交叉率和变异率就越小;当等于最大适应度值时,交叉率和变异率的值为零。这种调整方法对于群体处于进化后期比较合适,但对于进化初期群体中较优的个体几乎处于一种不发生变化的状态,而此时的优良个体不一定是优化的全局最优解,这容易使进化走向局部最优解的可能性增加。为此,可以作进一步的改进,使对应于群体

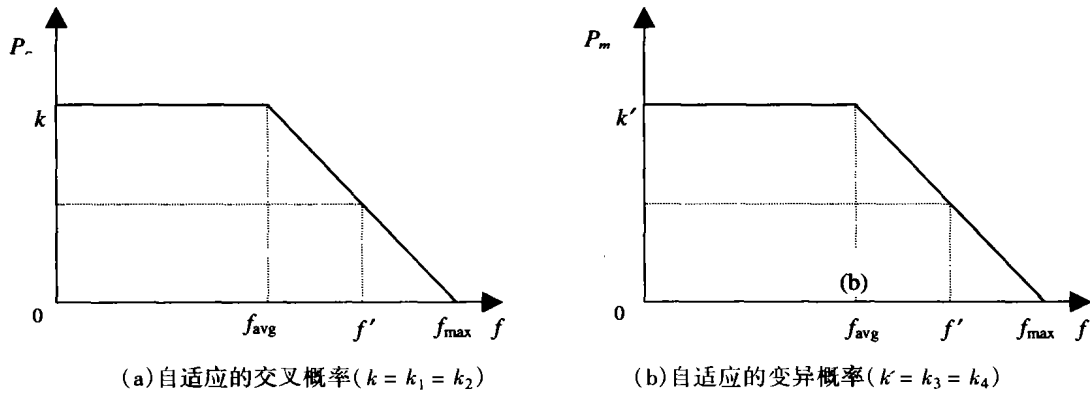


图1 适应交叉率和变异率

中最大适应度值的个体的交叉率和变异率分别取为图2中所示的 P_{c2} 和 P_{m2} ,这就相应地提高了群体中表现优良的个体的交叉率和变异率,使得它们不会处于一种近似停滞不变的状态。

经过上面的改进,对应于图2所示的交叉率和变异率的改进公式^[4]如下:

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{(P_{c1} - P_{c2})(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f' \geq f_{avg} \\ P_{c1} & f' < f_{avg} \end{cases}$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{(P_{m1} - P_{m2})(f - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}} & f \geq f_{avg} \\ P_{m1} & f < f_{avg} \end{cases}$$

式中: $P_{c1} = 0.9, P_{c2} = 0.6, P_{m1} = 0.1, P_{m2} = 0.001$ 。

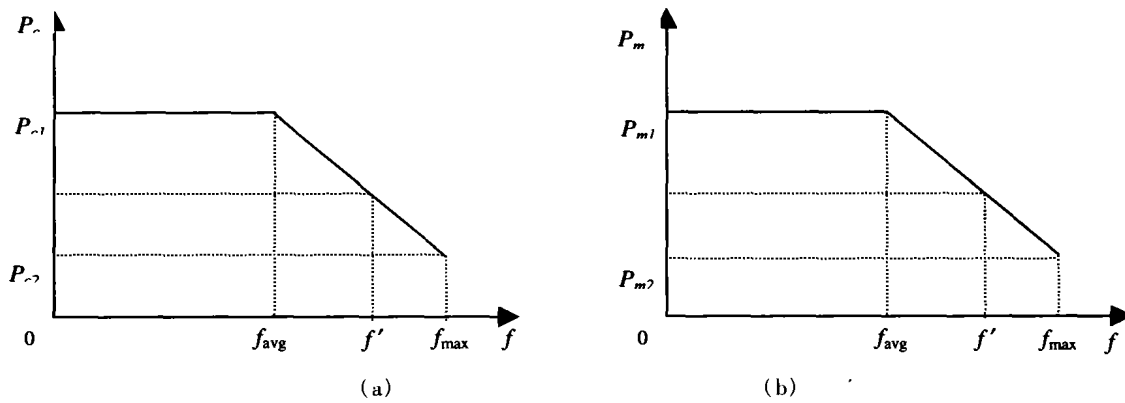


图2 改进的自适应遗传算法

3 算例

如图3所示框架结构,各杆件均由两根热轧槽钢(GB707-88)^[5]组成,各杆件截面可供选择的槽钢型号为:(5,6.3,8,10,12.6,14a,14b,16a,16b,18a,18b,20a,20b,22a,22b,25a,25b,25c,28a,28b,28c,32a,32b,32c,36a,36b,36c,40a,40b,40c),共30种,材料弹性模量 $E = 200 \text{ GPa}$,材料允许应力 $[\sigma] = 120 \text{ MPa}$,线位移最大允许值 $[\delta] = 60 \text{ mm}$;材料比重 $\rho = 7.8 \text{ g/cm}^3$,受力情况如图所示: $q = 20 \text{ kN/m}$ 。现在我们采用简单遗传算法(GA)和自适应遗传算法(AGA)设计此结构。初始参数设置见表1,优化结果如表2所示,优化进程如图4所示。

表 1 初始参数设置

	GA	AGA
种群大小	30	30
最大世代数	200	200
染色体长度	75	75
交叉率	0.8	-
变异率	0.05	-
随机种子数	0.5	0.5

从表 2 中我们可以看到,AGA 优化的结果为 2 085.62 kg,它比 GA 所得的优化结果(2 219.88 kg)有所改善,而且从图 4 中我们还可以看到 AGA(第 64 代收敛)的收敛速度也明显比 GA(第 77 代收敛)要快。GA 算法的结果之所以偏大,主要是由于 GA 擅长全局搜索,而局部搜索能力不足,因此它只找到了某个局部最优解,而非全局最优解。而本文中的自适应遗传算法可以在最大程度上避免了这种现象的产生。

表 2 框架结构优化结果

方法	设计目标 W(kg)	主要设计变量 X(型号)									
		1	2	3	4	5	9	10	14	15	
GA	2 219.88	6.3	25a	6.3	20a	28a	22a	32b	36c	20b	
AGA	2 085.62	14b	14a	20b	18b	22b	18b	28b	22a	20b	

4 结论

算例的计算结果表明,自适应遗传算法用于离散变量的结构优化设计的计算结果优于简单的遗传算法,能够获得较满意的计算结果。但在结果中我们也注意到:我们得到的仅仅是数值上的最优解,还不能应用于实际工程优化设计中,下一步我们可以通过经验确定各个变量的取值范围,使其真正能够进行工程结构优化设计。

参考文献:

- [1] 陈国良,王熙法.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996.
- [2] 王小平,曹立明.遗传算法-理论、应用与软件实现[M].陕西:西安交通大学出版社,2002.
- [3] S. Pezeshk. Design Of Nonlinear Framed Structures Using Genetic Optimization[J]. Journal of structural engineering, 2000, (3):382-388.
- [4] 段玉倩,贺家李.遗传算法及其改进[J].电力系统及其自动化学报,1998,10(1):39-52.
- [5] 孙训芳.材料力学(第三版)[M].北京:高等教育出版社,1994.

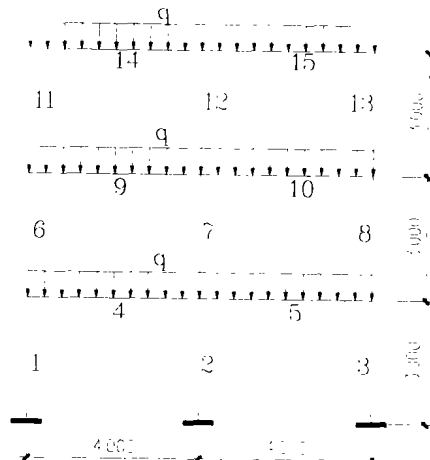


图 3 三层两跨框架结构

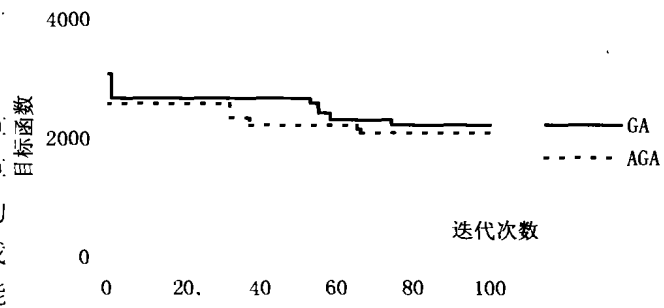


图 4 框架结构优化进程图