

文章编号: 1005-3026(2004)07-0692-03

改进遗传算法在建筑结构 优化设计中的应用

张延年¹, 刘 斌¹, 董锦坤¹, 郭鹏飞²

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2. 辽宁工学院 土木建筑系, 辽宁 锦州 121001)

摘 要: 针对标准遗传算法在迭代过程中经常出现未成熟收敛、发生振荡、随机性太大等缺点, 提出一种新的遗传算子——转基因算子, 用于对标准遗传算法的改进。这种转基因算子有效地利用了计算适应度的信息, 很好地保护了最优个体, 并能提高群体中个体的适应度。包含转基因算子的改进遗传算法能直接计算具有应力约束和截面尺寸约束的离散变量结构优化设计问题, 也能处理同时具有稳定约束和位移约束的多工况、多约束、多变量的离散变量结构优化设计问题。算例结果表明, 改进遗传算法的收敛特性和优化设计结果远好于标准遗传算法, 是一种理想的建筑结构优化设计方法。

关 键 词: 全局最优; 离散变量; 结构优化; 遗传算法; 改进遗传算法; 转基因算子

中图分类号: TU 311.4 **文献标识码:** A

在实际工程结构设计中, 常遇到某些或全部设计变量只能取限定离散值的情况^[1]。采用一般的优化设计方法, 结果必须经过数据处理, 才能够符合工程设计规范和各项技术标准的要求, 但这种经过连续变量优化方法调整后得到的离散结果需要重新检验其可行性和可靠性。在这种情况下, 可能得不到可行的离散解, 也可能所得的解不是离散最优解。因此, 建立适用于离散变量结构优化设计计算方法是很有工程实用价值的^[2,3]。

遗传算法(GA)是由美国的 J. H. Holland 教授于 20 世纪 70 年代提出的。由于解决不同非线性问题的鲁棒性^[4]、全局最优性以及不依赖于问题模型的特性、可并行性的高效率^[5], 这种算法正引起人们研究及应用的热潮^[6]。尽管与传统优化方法相比, GA 可以更有效地找到全局最优解, 但在迭代过程中经常出现未成熟收敛、振荡、随机性太大等缺点^[7~10]。为此, 提出一种新的遗传算子——转基因算子, 用于对标准遗传算法(SGA)的改进。算例结果表明, 包含转基因算子的改进遗传算法(IGA)比 SGA 有好得多的收敛特性, 迭代次数明显减少, 优化设计结果也远好于 SGA 的优化设计结果。

1 数学模型的建立

以杆系结构为例, 数学模型为:

$$\left. \begin{aligned} \min W(X) &= \sum_{i=1}^N A_i L_i, \\ X &= [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in \mathbf{R}^D \end{aligned} \right\} \quad (1)$$
$$\text{s. t. } \left. \begin{aligned} g[i] &= [i] - 0 \\ (i &= 1, 2, \dots, n_s), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$
$$\left. \begin{aligned} g[j] &= [U_j^D] - U_j^D, \\ (j &= 1, 2, \dots, n_d; i = j + n_s). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式(1)中, $W(X)$ 为目标函数; N 为杆件总数; L_i , A_i , i 分别为杆件 i 的长度, 截面积及密度; $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为离散设计变量; n 为设计变量数目。式(2)中, $[i]$, i 为杆 i 的许用应力和在各种工况下最不利的应力; n_s 为应力约束数目。式(3)中, U_j^D 和 $[U_j^D]$ 分别为特定节点给定方向上的位移值和位移允许值; n_d 为位移约束数目。 \mathbf{R}^D 为 n 维离散设计空间, 该集合可用一个 $n \times l$ 阶矩阵 D 来描述。

$$D = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1l} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nl} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

收稿日期: 2003-10-13

基金项目: 辽宁省高等学校科研项目(990821107)。

作者简介: 张延年(1976-), 男, 辽宁葫芦岛人, 东北大学博士研究生; 刘 斌(1940-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师; 郭鹏飞(1957-), 男, 辽宁营口人, 辽宁工学院教授。

此桁架承受 3 种工况荷载。

$P_1 = 50 \text{ kN}$, $P_2 = 80 \text{ kN}$, $P_3 = 50 \text{ kN}$; $P_1 = 50 \text{ kN}$, $P_2 = 80 \text{ kN}$, $P_3 = -50 \text{ kN}$; $P_1 = 50 \text{ kN}$, $P_2 = 80 \text{ kN}$, $P_3 = 0$ 。

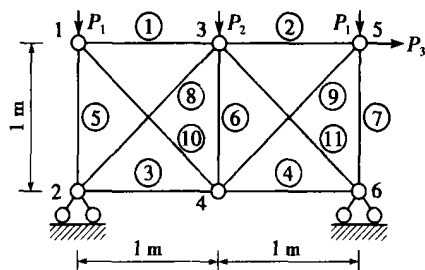


图 2 11 杆桁架结构

Fig. 2 Structure scheme of 11-beam truss

试用改进遗传算法设计此结构。

解 当取 $M = 200$, $P_c = 0.99$, $P_m = 0.01$, $P_t = 0.5$ 时, 各种算法的优化设计结果对比如表 1 所示。

表 1 11 杆桁架结构优化结果比较

Table 1 The comparison of optimum results of 11-beam truss

单元号	SGA		IGA	
i	A_i/mm^2	约束条件/MPa	A_i/mm^2	约束条件/MPa
1	143.2	21.279	143.2	62.212
2	235.9	39.770	507.6	112.785
3	113.2	45.558	143.2	51.6382
4	185.9	89.904	143.2	82.275
5	507.6	126.620	791.2	128.289
6	185.9	51.038	143.2	61.767
7	338.2	159.999	113.2	139.938
8	143.2	6.813	113.2	59.384
9	1063.7	60.102	1063.7	100.335
10	265.9	56.764	265.9	87.341
11	308.6	100.750	338.2	113.684
W/N	127.58		113.87	
迭代次数	100		20	

5 结 论

两种算法的优化设计结果均满足应力和位移等约束条件, 表明强度、刚度等多方面均达到设计

要求。引入转基因算子的 IGA 有效地解决了 SGA 的未成熟收敛、发生振荡、随机性太大等缺点。IGA 大大地提高了算法计算效率和计算的精度, 并能够获得较为满意的符合工程实际要求的最优解, 其实用性得到很大改善, 应用得更广。

参考文献:

- [1] 郭鹏飞, 韩英仕, 魏英姿. 离散变量结构优化设计的拟满应力设计方法[J]. 工程力学, 2000, 17(1): 94 - 98.
(Guo P F, Han Y S, Wei Y Z. An imitative full-stress design method for structural optimization with discrete variables[J]. *Engineering Mechanics*, 2000, 17(1): 94 - 98.)
- [2] 郭鹏飞, 韩英仕. 离散变量结构优化设计的拟满应力遗传算法[J]. 工程力学, 2003, 20(2): 95 - 99.
(Guo P F, Han Y S. An imitative full-stress genetic algorithm for structural optimization with discrete variables[J]. *Engineering Mechanics*, 2003, 20(2): 95 - 99.)
- [3] 张延年, 刘斌, 郭鹏飞. 基于混合遗传算法的建筑设计优化设计[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2003, 24(10): 985 - 988.
(Zhang Y N, Liu B, Guo P F. Hybrid genetic algorithm for optimum design of building structures[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2003, 24(10): 985 - 988.)
- [4] Zhou X, He X R, Chen B Z. Genetic algorithm based on new evaluation function and mutation model for training of BPNN[J]. *Tsinghua Science and Technology*, 2002, 7(1): 28 - 31.
- [5] Kwon Y D, Kwon S B, Jin S B, et al. Convergence enhanced genetic algorithm with successive zooming method for solving continuous optimization problems[J]. *Computers and Structures*, 2003, 81(1): 1715 - 1725.
- [6] Jenkins W M. Structural optimization with the genetic algorithm[J]. *The Structural Engineer*, 1991, 69(24): 418 - 422.
- [7] Su C T, Chiang C L. No convex power economic dispatch by improved genetic algorithm with multiplier updating method[J]. *Electric Power Components and Systems*, 2004, 32(3): 257 - 273.
- [8] Kobayashi Y, Aiyoshi E. Optimization of a boiling water reactor loading pattern using an improved genetic algorithm[J]. *Nuclear Technology*, 2003, 143(2): 144 - 151.
- [9] Mashhadi H R, Shanechi H M, Lucas C. A new genetic algorithm with Lamarckian individual learning for generation scheduling[J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2003, 18(3): 1181 - 1186.
- [10] Niewierowicz T, Escarela P R, Campero L E. Hybrid genetic algorithm for the identification of highorder synchronous machine two-axis equivalent circuits[J]. *Computers and Electrical Engineering*, 2003, 29(4): 505 - 522.

Application of Improved Genetic Algorithm in Optimum Design of Building Structures

ZHANG Yan-nian¹, LIU Bin¹, DONG Jin-kun¹, GUO Peng-fei²

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2. Department of Civil Engineering, Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001, China. Correspondent: ZHANG Yan-nian, E-mail: zhangyannian@sina.com)

Abstract: In view of that the standard genetic algorithm (SGA) has such frequent shortcomings as premature convergence, oscillation and over-randomization in iterative process, a new genetic operator named transgenic operator is proposed to improve SGA. The transgenic operator can make good use of the information of which the adaptability has been calculated, keep the best individual from missing, and improve the adaptability of every chromosome in the population. The improved genetic algorithm (IGA) including the transgenic operator could not only be used directly to work out the optimum structural design with discrete variables to constrain both stress and cross-section area but deal with the discrete structural optimization featured with multi-loading, multi-constraints and multi-variables. The results by exemplification show that IGA of which the performances of convergence and optimization results are superior to those of SGA is an ideal method for optimum design of building structures.

Key words: global optimum; discrete variables; structural optimization design; genetic algorithm; improved genetic algorithm; transgenic operator

(Received October 13, 2003)