基于遗传算法的框架结构的优化设计*

王宏丽, 李　凯, 李良晨
(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘　要]　将遗传算法应用于框架结构优化设计, 为提高收敛速度, 采用最优保存模型的选择方法, 利用 GA 算法的全局寻优特性, 拓宽了解的搜索范围, 保证了解的可靠性。最后编制了应用遗传算法优化框架结构的程序 GAKJ01. C, 进行了算例计算, 并同系统模糊优化法进行了对比和分析。

[关键词]　遗传算法; 框架结构; 优化设计
[中图分类号]　TU 311. 4　　[文献标识码]　A　　[文章编号]1000-2782(2001)05-137-04

60 年代, 由于电子计算机的发展, 使经典结构优化设计方法有了迅速的发展[1]。但是, 结构优化的实际应用远远落后于理论研究。原因之一是经典的优化方法都是以传统的数学模型为优化模型, 而数学模型的描述能力和求解方法有相当的局限性, 使现有的最优化理论和方法在实际应用中受到很大的限制, 存在着许多有待解决的难题。

遗传算法(Genetic Algorithm, 简称 GA), 是美国著名科学家 Holland 于 70 年代提出的[2], 它是一种模拟生物进化过程而创立的新的搜索、优化方法。与经典的优化搜索算法相比, 遗传算法具有下列优点: ①遗传算法对问题要求少, 对目标函数只要求有定义, 不要求连续、可微, 对约束条件也没有任何限制。②遗传算法在整个解空间内搜索能够取得次优解或最优解。③遗传算法对线性与非线性问题、离散变量与连续变量问题均可按同样方式处理。遗传算法已在许多优化问题中得到应用[3,4], 本研究试图在框架结构的优化中引入遗传算法, 以期为结构优化设计提供参考。

1　框架结构优化模型的建立

依照框架中杆件造价最小的原则和现行的钢筋混凝土结构规范[5]建立数学模型。

1.1　框架梁的优化模型

(1) 设计变量　梁宽 b, 梁高 h, 梁跨中钢筋截面积 A_{s_0}, 梁左、右支座负钢筋截面积 A_{s_1}, A_{s_2}, 单位箍筋间距内的箍筋截面积 A_{s_v}/s。

(2) 目标函数

$$C_b = C_h bhl + C_s[A_{s_0} + (A_{s_1} + A_{s_2})/6] + C_{s_v}\mu(b+h)lA_{s_v}/s + (b+2h)C_m l \quad (1)$$

式中, C_b 为梁的造价; C_h 为混凝土单位体积造价; l 为构件长; C_s 和 C_{s_v} 分别为纵筋和箍筋单位重量造价; C_m 为单位面积模板造价; μ 为构件跨中与支座配箍率之比。

(3) 约束条件

跨中、支座弯矩强度条件

$$M_i \le f_y A_{s_i}[h_0 - f_y A_{s_i}/(2f_{cm}b)] \quad (i = 0, 1, 2) \quad (2)$$

剪力强度条件

$$V \le \alpha_c f_c bh_0 + \alpha_{s_v} f_{y_v} h_0 A_{s_v}/s \quad (3)$$

最大配筋率限制

$$M_i \le f_{cm} bh_0^2 \xi_b (1 - 0.5\xi_b) \quad (4)$$

最小配筋率限制

$$A_{s_i}/bh_0 \ge \rho_{min} \quad (5)$$

最小截面尺寸限制

$$V \le 0.25 f_c bh_0 \quad (6)$$

1.2　框架柱的优化模型

(1) 设计变量　柱宽 b, 柱高 h, 柱纵向钢筋截面积 A_{s_0}。

(2) 目标函数

$$C_c = C_h bhl + 2C_s A_{s_0} l + C_{s_v}\mu(b+h)lA_{s_v}/s + 2(b+h)C_m l \quad (7)$$

(3) 约束条件　柱的强度条件与混凝土受压区高度有关, 因此柱的强度条件分为下列 2 种情况:

①大偏心受压($x \le \xi_b h_0$)

$$N \le f_{cm} bx \quad (8)$$

* [收稿日期]　2000-12-11
[基金项目]　西北农林科技大学青年科学基金资助项目(5210818)
[作者简介]　王宏丽(1966-), 女, 陕西澄城人, 讲师, 硕士。主要从事建筑结构研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$N e \leq f_{cm} bx \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f_y A_{s_i} (h_0 - a_s) \quad (9)$$

②小偏心受压($x \geq \xi_b h_0$)

$$N \leq f_{cm} bx + f_y A_{s_i} - \sigma A_{s_i} \quad (10)$$

$$N e \leq f_{cm} bx \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f_y A_{s_i} (h_0 - a_s) \quad (11)$$

剪力强度条件

$$V \leq [0.2/(\lambda + 1.5)] f_c bh_0 + 1.25 f_{y_v} h_0 A_{s_v}/s + 0.07N \quad (12)$$

最小配筋率限制

$$A_{s_i}/bh_0 \geq \rho_{min} \quad (13)$$

最小截面尺寸限制

$$V \leq 0.25 f_c bh_0 \quad (14)$$

2 遗传算法

遗传算法的基本处理流程如图 1 所示。

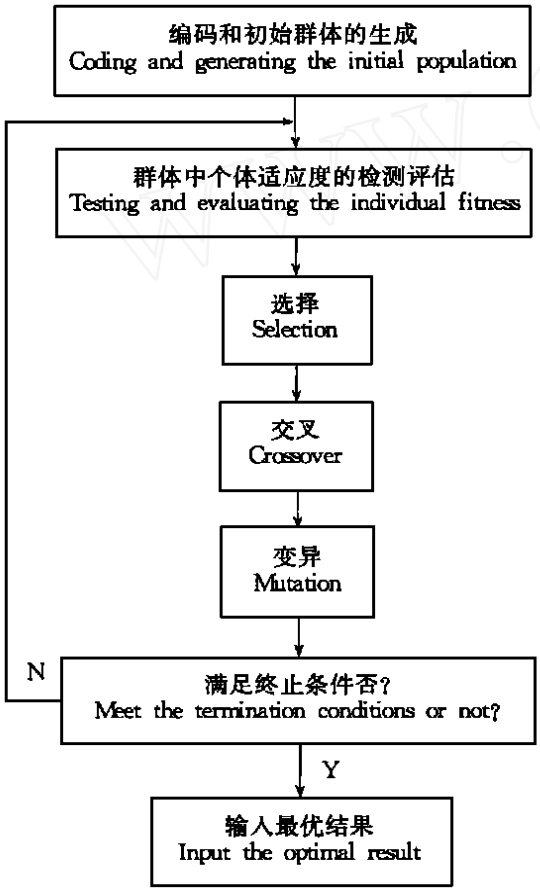

图1 遗传算法的基本流程

Fig. 1 Basic program of genetic algorithm

用遗传算法进行优化的过程如下。

2.1 编 码

采用二进制编码方案对设计变量进行编码。采用二进制编码的策略是将各设计分量分别进行编码然后合并成 1 个二进制位串, 就代表了优化问题的 1 个可能解。如自变量 X, Y, Z 的 1 组取值用 12 个比特的二进制代码串表示为

$$\underset{X}{1000} \mid \underset{Y}{1001} \mid \underset{Z}{1100}$$

2.2 初始群体的生成

通过随机方法产生出给定数量初始群体的个体, 这些个体就是一批二进制代码串。首先, 对每个个体计算其相应的适应度 F_i, 按 F_i 的大小评价该个体的染色体的素质。F_i 愈大表示第 i 个个体的素质愈好, 优化的目标是找到 F_i 最大时所对应的个体。初始种群的素质一般还比较差, GA 算子的任务就是从这些初始群体出发, 模拟进化过程择优去劣, 逐次迭代, 选出优秀的种群与个体, 以达到优化的目的。

2.3 选 择

根据各个个体的适应度, 按照一定的规则和方法, 从第 t 代群体 $P(t)$ 中选择出一些优良的个体遗传到下一代群体 $P(t+1)$ 中。一般选择的规则是适应度 F_i 越大的个体, 赋予更大的选择概率 p_i, 通常 $p \propto F_i$, 即适应值高的个体有更多的繁殖后代的机会, 以使优良特性得以遗传和保留。

2.4 交 叉

将群体 $P(t)$ 内的各个个体随机搭配成对, 对每一对个体, 以交叉概率 p_c 交换它们之间的部分染色体。交叉的方法是随机选取一个(或两个)截断点, 将双亲的二进制代码串在截断点处切开, 然后交换其尾部(或中间部分)以产生新的一代。如:

	双亲			后代
A	1001 | 0110	交叉	A'	1001 | 1001
B	1100 | 1001		B'	1100 | 0110

2.5 变 异

对群体 $P(t)$ 内的每个个体, 以变异概率 p_m 改变某一个或某一些基因座上的基因值为其他的等位基因。对于二进制基因串就是将 1 改为 0, 或将 0 改为 1, 如:

$$A \quad 110001101 \xrightarrow{\text{变异}} A' \quad 110101101$$

重复上述过程, 各代种群的优良基因逐渐积累, 种群的平均适应度和个体适应度不断上升, 直到迭

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

代收敛, 即找到最优解为止。

3　计算实例

为保证问题解的收敛稳定性, 本设计采用最优保存模型的遗传算法编制了框架结构遗传算法优化设计程序 GA KJ01. C, 并在 Pentium 200 上对文献[6]的算例进行计算, 计算需要 53 s。其主要运行参数为: 群体大小 $M = 40$, 终止代数 $T = 50$, 交叉概率 $p_c = 0.6$, 变异概率 $p_m = 0.001$。各设计变量依据现行的钢筋混凝土结构规范要求各取 16 个有效值。遗传算法和系统模糊结构优化的计算结果见表 1。

表 1　遗传算法优化和系统模糊优化的计算结果比较

Table 1　Comparison between results in genetic algorithm and system fuzzy optimal theory

杆件编号 No. of member		杆件的截面积/cm² Area of member		梁底的纵筋截面积/cm² Area of long-reinforcenments at the bottom of the beam		梁顶右端的纵筋截面积/cm² Area of long-reinforcenments at the right top of the beam		梁顶左端的纵筋截面积/cm² Area of long-reinforcenments at the left top of the beam		单位长度上的箍筋截面积/(cm²·cm⁻¹) Area of stir-rups per unit length	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
梁 Beam	1	882	858	3.80	3.45	15.10	15.12	14.30	14.21	0.286	0.283
	2	882	858	3.80	3.45	14.30	14.21	15.10	15.12	0.286	0.283
	3	882	855	3.40	3.42	14.60	14.98	13.80	14.37	0.286	0.283
	4	882	855	3.40	3.42	13.80	14.37	14.60	14.98	0.286	0.283
	5	722	738	3.90	3.80	13.50	14.10	12.80	13.30	0.286	0.283
	6	722	738	3.90	3.80	12.80	13.30	13.50	14.10	0.286	0.283
	7	648	697	3.80	3.98	11.40	12.60	10.60	12.20	0.286	0.283
	8	648	697	3.80	3.98	10.60	12.20	11.40	12.60	0.286	0.283
	9	578	616	3.40	3.34	8.80	9.13	8.20	8.12	0.286	0.283
	10	578	616	3.40	3.34	8.20	8.12	8.80	9.13	0.286	0.283
柱 Column	11	1 849	1 850	8.00	8.68					0.55	0.565
	12	1 849	1 850	9.50	9.72					0.55	0.565
	13	1 849	1 850	8.00	8.68					0.55	0.565
	14	1 849	1 880	7.00	6.22					0.55	0.565
	15	1 849	1 880	5.00	4.18					0.55	0.565
	16	1 849	1 880	7.00	6.22					0.55	0.565
	17	1 849	1 980	5.40	5.60					0.55	0.565
	18	2 025	2 070	3.50	3.13					0.55	0.565
	19	1 849	1 980	5.40	5.60					0.55	0.565
	20	2 401	2 430	4.50	4.48					0.55	0.565
	21	2 704	2 538	3.00	2.86					0.55	0.565
	22	2 401	2 430	4.50	4.48					0.55	0.565
	23	2 401	2 450	4.10	4.20					0.55	0.565
	24	2 704	2 548	3.00	2.80					0.55	0.565
	25	2 701	2 450	4.10	4.20					0.55	0.565

注: A 为本文计算结果, B 为文献[6]计算结果。

Note: A is the result of the paper, B is the result of No 6 reference

4　结论与建议

(1) 本研究首次将遗传算法应用于框架结构优化设计中, 为拓宽遗传算法应用领域进行了有效的探索。

(2) 从表 1 可以看出, 两种算法的计算结果符合性较好, 表明用遗传算法对框架结构进行优化是可行且可实现的。同系统模糊优化法相比, 遗传算法不需人为确定权重, 参数的确定性明显提高。加上采用最优保存策略遗传算法, 使结果的可靠性进一步加强。

(3) 本研究属初次尝试, 没有考虑上部结构和下部基础设计之间相互影响, 为使优化设计更为全面, 该方面问题有待进一步研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[参考文献]

[1] 洪锦如. 桥梁结构计算力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998.
[2] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.
[3] 王石刚. 结构优化的 GA 算法[J]. 应用力学学报, 1995, 12(3): 106- 110.
[4] 郭鹏飞, 韩英仕, 魏英姿. 混合离散变量结构优化的遗传算法[J]. 辽宁工学院学报, 1997, 17(3): 1- 4.
[5] 陈富生. 建筑结构设计新规范综合应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
[6] 程 辉, 傅传国, 娄 宇. 钢筋混凝土框架结构的系统模糊优化设计[J]. 山东建筑工程学院学报, 1997, 12(4): 18- 24.

Genetic algorithm optimum design for R. C. Frames

WANG Hong-li, LI Kai, LI Liang-chen

(*College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: In this paper, the genetic algorithm theory was introduced into R. C. frames design. To increase the disappearing speed, the optimal model method is adopted. Using the property of the global searching of genetic algorithm can develop the scope of the solution. A computing program *GAKJ01.C* for R. C. frame optimum design in genetic algorithm is developed and tested by example, and is compared with the system fuzzy optimum method.

Key words: genetic algorithm; R. C. frame; optimum design

·简 讯·

“林区无公害灭鼠技术的研究及应用”通过鉴定

由西北农林科技大学林学院林研所(原陕西省林业科学院)承担的国家林业局重点课题“林区无公害灭鼠技术的研究及应用”,通过了国家林业局科技司组织的成果鉴定。该课题通过对各种灭鼠剂、饵料、引诱剂、增效剂和保护剂及鼠类生态习性的研究,研究出两大系 16 个品种的新型灭鼠药剂。

①研制的克鼠星 1 号,其中加入新筛选的复合催吐剂,提高了杀鼠效果,同时解决了人畜误食与鼠类拒食这一关键问题。②通过对鼠类生理、生化特异性研究,研制出以酶性凝结剂和高分子硅类为主剂的新型灭鼠药——克鼠星 2 号,它是安全型无毒成品药剂,具有专一性,并为研制选择性灭鼠剂提供了新途径。经陕西省防疫站检测认为,克鼠星对鼠类适口性好,杀灭率高,不拒食,不污染环境,对人畜安全,无二次中毒。③首次研制出了集抗旱、保水、促长、防鼠功能于一体的林用型、农用型系列多效抗旱驱鼠剂(RPA),主要应用于林木及农作物种子处理、苗木蘸浆和喷施等。用 RPA 进行常规蘸浆造林,能显著提高苗木的抗旱能力和生长量;进行拌种和浸种处理,可以增强种子活力,提高出苗率和成苗率,使苗齐苗壮,提高了土壤的生产潜力。油松和侧柏试验表明,苗木保存率比对照分别提高 80.8% 和 73.2%,综合预防效果分别为83.7% 和90.7%。大面积区域试验证明,RPA 的作用明显、效果稳定,使抗旱和鼠害预防有机地结合起来。④在研究、生产、示范、推广相结合的基础上建立了3 300 多 hm^2林区鼠害防治示范样板林,使林木被害率下降到 5% 以下,防治示范辐射面积达6.6 万 hm^2。

鉴定委员会认为,该研究在以下方面取得了创新:①酶性凝结剂和高分子硅类的协同作用,是动物毒理学研究的一个新领域,为研制具有选择毒性灭鼠剂提供了一条新途径。②鼠类尝试取食习性的发现,揭示了鼠类群体拒食现象的本质。③研制筛选出了中西医相结合的复合催吐剂配方,解决了催吐剂与鼠类拒食这一关键问题。④成品药剂加工过程中的瞬间高温可以促使灭鼠剂颗粒饵粒表面发生糖化反应,增加了成品药剂颗粒表面的含糖量,提高了适口性。⑤首次将鼠害列为影响干旱半干旱地区农林牧业发展的主要因子,提出了灾害预防与环境保护和谐统一的观点,实现了害鼠预防与抗旱的有机结合。

与会鉴定委员会的专家一致认为,该研究整体上在同类研究中达到国内领先水平。该成果于 2001 年获陕西省科技进步一等奖。

(窦春蕊 供稿)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net