

(3) 关于遗传算法的收敛性

目前工程应用中有很多采用的都是标准遗传算法, 又称简单遗传算法(simple genetic algorithms, SGA), 原文和文献[8] 采用的都是这种算法。在标准遗传算法中, 采用比例选择法, 且每个进化代中产生的最好染色体不予保存, 可参与以后的遗传操作, 这将导致最好的染色体可能被较差的染色体替代。标准遗传算法从实用角度讲是有效的, 它总可以通过足够多的进化代找到问题的最优解, 但在数学上可以证明^[9], 它不能保证收敛到全局最优解。没有理论保证, 用起来总有点不放心, 尤其是对于高维、复杂的多峰优化问题。如果对标准遗传算法稍加改进, 如在进化过程中保留当前最佳个体(即超个体), 且不参与遗传操作, 则可从数学上证明^[9]: 保留当前最优个体遗传算法, 最终能收敛到全局最优解。因此, 在工程实际应用中, 最好采用这种经过改进的遗传算法, 理论上有保障, 程序上也易实现, 而且还可提高搜索效率。

(4) 关于计算效率及适应性

尽管遗传算法与传统优化方法相比具有更强的鲁棒性, 并且擅长全局搜索, 但其局部搜索能力与数值优化方法相比却存在明显不足。从以往研究结果看, 标准遗传算法可以极快的速度接近最优解的 90% 左右, 但要达到真正的最优解(在任意给定的精度范围内) 则要花费很长时间。遗传算法这种临近最优解搜索效率降低的缺陷, 极大地限制了它在一些特殊高维复杂问题中的应用, 尤其是对于具有狭长谷底、或者是具有宽广平缓谷底的优化问题, 标准遗传算法的搜索效率更低, 甚至有时不能搜索到问题的全局最优解。笔者大量的数值模拟计算表明, 标准遗传算法在求解一些目标函数较简单的单峰连续变量优化问题、以及一些较大型的复杂连续变量优化问题时, 如果兼顾收敛速度和对最优解的逼近精度两个指标, 它未必比传统的数值优化方法更优越。因此, 在求解目标函数明确、且只具有单极值点的岩土工程优化问题时, 标准遗传算法的计算效率和精度并不比传统数值优化方法优越。例如, 原文图 1 的土钉支护结构以及文献[10] 中的边坡, 如果只有单一土层, 则最小安全系数的搜索通常是一个单极值优化问题, 遗传算法就不如数值优化方法(如二分法) 计算速度快; 但是, 如果土钉支护结构或边坡中含有复杂的土层, 则问题就变成多极值优化问题, 采用遗传算法就具有一定的优势。

为了改善遗传算法的局部搜索能力, 文献[11, 12] 将稳定性较好的数值优化方法(如复合形法、可行方向法、信赖域法等) 改造后, 融入到遗传算法中, 提出了一类新型的混合遗传算法, 即改进复合形遗传算法、可行方向遗传算法以及信赖域遗传算法等。实际应用表明, 该类新型混合遗传算法不仅极大地改善了算法的局部搜索能力, 同时大大提高了算法的整体搜索效率。

以上几点看法虽然是由原文引发出来的, 但是除第 1 点外, 其他各点都带有一定的普遍意义, 提出来是希望大家在应用中引起注意。

参考文献:

- [1] Michalewicz Z. Genetic Algorithms+ Data Structure= Evolutionary Programs[M]. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [2] 刘勇, 等. 非数值并行算法(第 2 册) —遗传算法[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [3] 王正志, 薄涛. 进化计算[M]. 长沙: 国际科技大学出版社, 2000.
- [4] 潘正军, 等. 演化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [5] 陈国良, 等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [6] 刘宝碇, 赵瑞清. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [7] 玄光南, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [8] 徐军, 等. 遗传算法在岩石工程可靠性中的应用[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 586– 589.
- [9] 张文修, 梁怡. 遗传算法的数学基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.
- [10] 肖专文, 等. 遗传进化算法在边坡稳定性分析中的应用[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 44– 46.
- [11] 陈昌富. 深基坑土钉墙内部稳定性计算新方法—最危险滑裂面复合遗传进化搜索策略[J]. 湖南大学学报, 2000, 27(3): 81– 85.
- [12] 陈昌富. 仿生算法及其在边坡和基坑工程中的应用[D]. 长沙: 湖南大学, 2001.

对“遗传算法在土钉支护结构优化设计中的应用”讨论的答复

贺可强¹, 阳吉宝², 王胜利¹

(1. 青岛建筑工程学院 岩土工程研究所, 山东 青岛 266033; 2. 上海市民防地勘勘察院, 上海 200232)

中图分类号: TU 942

文献标识码: A

文章编号: 1000– 4548(2002) 02– 0267– 02

作者简介: 贺可强(1960–), 男, 在职博士生, 教授, 青岛建筑工程学院岩土工程研究所所长, 主要从事地质工程及岩土工程的教学和科研工作。

感谢高玮先生和陈昌富先生对“遗传算法在土钉支护结构优化设计中的应用”(以下简称“原文”) 一文的关注, 笔者基本同意陈昌富先生针对遗传算法在求解高维及复杂连续变量等优化问题和关于遗传算法收敛性和计算效率以及适应性等问

题的意见和建议。众所周知, 遗传算法是一种基于生物自然规律与遗传机理的随机搜索算法, 该方法与传统搜索算法不同, 它是从一组随机产生的初始解, 称为“种群(population) ”的更新与迭代来搜索全局最优解。种群的迭代是通过选择、杂交和变

异等具有生物意义的遗传算子来实现的^[1,2]。笔者认为近些年来人们对遗传算法兴趣日益增长和特别关注有两个基本原因:其一是工程领域不断涌现出超大规模的非线性系统,在这些系统研究存在着大量的经典优化方法所不能有效求解的优化问题;其二,遗传算法本身就是一种模拟生物自然进化过程的随机优化技术,该技术在解决非线性工程领域优化难题中显示了通常优于传统优化算法的性能,且能以独立或与其他方法相结合的形式用于智能机器学习系统的设计中。但同时还必须看到,遗传算法还是在 20 世纪 60 年代末、70 年代初开始逐渐发展起来的一种智能优化方法,发展历史还相对较短,再加上该方法本身还存在一些固有的局限,这些因素都决定了运用这种方法在解决高维复杂非线性工程领域优化问题时肯定会存在这样或那样不足,这正需要在未来工程领域的工程实践中不断解决和完善,这也正表明了遗传算法是一种具有潜力和生命力的智能优化方法。由于篇幅所限,现仅就讨论中涉及的几个问题答复如下。

(1) 关于最小稳定系数问题

首先,广义上讲土质边坡的最危险滑动面位置,正如高玮先生所说的,是由圆心位置的两个坐标和圆弧半径确定。但本文研究对象是土钉支护结构,而不是一般的土质边坡。诚然,对一般土质边坡,特别对坡角较小的且内摩擦角 φ 接近于零的边坡,其最危险圆滑动面位置是由圆心位置的两个坐标及圆弧半径来确定,即最危险滑动面有可能不通过边坡坡脚。但费伦纽斯通过大量计算认为,对均质黏性土坡,当 $\varphi > 0$ 时,其最危险滑动面通过坡脚;而当 $\varphi = 0$ 时,其最危险滑动面也可能通过坡脚,这取决于土坡坡角和坡底下卧硬土层埋藏深度^[3]。泰勒对简单均质土坡和坡底下埋有硬层土坡的研究计算指出,可能滑动面位置与土的内摩擦角和硬层埋深(用 $n_d = H'/H$ 表示, H' 为坡顶至硬层顶面距离, H 为坡高)以及坡角 β 有关,即 $\varphi > 3^\circ \sim 5^\circ$, $\beta > 53^\circ$, 滑动面经过坡脚(称坡脚圆);在此范围外,则视 n_d 大小或呈坡脚圆,或滑弧中心通过坡面中点,或滑弧下缘出露在坡面的坡面圆^[3]。对于饱和软黏土地基, $\varphi = 0$ 的情况下,泰勒根据理论分析得出当坡角 $\beta > 53^\circ$ 时,滑动面通过坡趾^[4]。

原文研究的土钉支护结构是指开挖边坡在加筋杆(土钉)作用下由土体和土钉共同组成的主动复合边坡结构体,土钉支护结构的施工程序是由上而下短台阶式阶段开挖^[5]。目前对这种特殊复合土体结构的稳定性分析通常是在考虑土钉的作用下,参考天然边坡稳定性计算的方法,从而得出土钉支护结构的稳定性分析方法。

城市深基础工程,一般建在密集的建筑群中,因而基坑边坡一般非常陡,直立边坡亦非常普遍,而需要土钉支护处理的边坡结构通常为直立边坡结构,同时经土钉处理后边坡综合值 φ 也一般较大。根据土钉复合体潜在滑移面的确定方法^[5],不论潜在滑面的形状是圆弧型还是对数螺线型,其滑面必然通过土钉复合体的坡脚。综合上述研究结果,可推论土钉支护结构如果发生整体破坏,其最危险滑移面必然会通过坡脚。所以,原文在用遗传算法求解最危险滑移面时其决策变量只考虑了圆心位置 X 和 Y ,而没有考虑圆弧半径问题。

(2) 关于交叉操作问题

原文中已经说明参加交叉的染色体以及交叉位置的随机产生方法,具体见原文。

(3) 关于变异操作问题

原文染色体序列号应为 $(\frac{m}{m_1 + m_2} + 1)$ 的绝对值取整,笔者在进行程序的编写过程中是这样操作的,但由于笔误,在此向读者致歉。原文中 ②是选出了变异基因的位置,该基因是在所有染色体排序中随机选出的,③是确定选出的基因是位于哪个染色体的第几个基因,这是程序设计过程中进行操作的必要步骤,也是进行变异操作的必要过程。

(4) 关于原文中的目标函数及参数 α

原文将土钉支护的优化设计问题表示为 $\min W(L, S_v, S_h, \alpha)$, 表示了既考虑土钉材料用量又考虑施工等因素的条件下其土钉支护结构优化设计参数可由土钉长度 L 、土钉垂直间距 S_v 、土钉水平间距 S_h 和土钉倾角 α 来共同描述,其控制条件与 α 有关。但在 α 变化较小且仅考虑土钉材料用量的情况下,其优化设计的目标函数可简化用经济指标 $W = L/(S_v S_h)$ 来表示和计算,即为单位面积所需的土钉长度。由于笔误,向陈昌富先生表示致谢,并向广大读者致歉。

(5) 遗传算法控制参数问题

初始种群的规模和交叉概率是遗传算法的重要控制参数,对工程优化搜索全局最优解的计算效率及收敛性等问题都将有着重要的影响。但对某一个具体工程领域的优化问题其初始群体规模及交叉概率到底选择多大更为合适,还应取决于待解决问题的本身,并需要在实验中确定^[6]。另外,这个问题的确定很大程度上取决于编码方法和选择、交叉、变异所采用的方法。因此,就初始种群的规模和交叉概率的大小确定问题,目前还没有完善的理论依据来借鉴,原文采取的编码方法,是参考著名的 Michalewicz 算法步骤得出的。从编码的过程可看出,初始种群中有效模式占绝对优势,且从交叉、变异的过程可以看出,其交叉、变异得出的染色体,其有效模式亦应占绝对优势。

关于交叉概率的大小,高玮先生提出,有人给出的经验值为 0.6~0.95,笔者没有查到这方面的文献资料,但就原文所采用的遗传算法,可能不太合适。

参考文献:

- [1] 玄光男,程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 张文修,梁 怡. 遗传算法的数学基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.
- [3] 杨英华. 土力学[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [4] 陈希哲. 土力学子地基基础. 第 2 版. [M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [5] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [6] Nirwan Ansari Edwin Hou. 用于最优化的计算智能[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.