

文章编号:1009-6825(2010)16-0075-02

模拟退火算法在岩土工程中的研究应用进展

潘长军

摘要:简要介绍了 SA 算法的形成、优点、应用范围等基本情况,具体阐述了 SA 算法在岩土工程中应用的理论基础,结合具体实例探讨了 SA 算法在岩土工程相关学科中的应用及研究成果,并得出了有益的结论和提出相关建议,以指导实践。

关键词:模拟退火算法,岩土工程,控制参数,边坡体

中图分类号: TU413.6

文献标识码: A

SA 算法最早是在 1983 年由 Kirkpatrick 等^[1]受到 Metropolis 等对固体在恒定温度下达到热平衡过程的模拟的启迪,将热力学中的固体退火思想引入组合优化领域,提出一种解大规模组合优化问题的有效近似算法^[2]。SA 算法的主要优点是:不求目标函数的偏导数及解大型矩阵方程组,即能找到一个全局最优解,而且易于加入约束条件,编写程序简单,这种算法避免了计算结果过分依赖初始模型的选取,而容易导致解落入局部极小值的情况^[3,4]。

SA 算法的应用范围广阔,目前在国内外的研究成果多集中于以下领域:车辆调度^[5]、医学^[6]、岩土工程^[7-9]等。SA 算法在应用方面虽然取得了骄人的成绩,但其本质上存在着两个缺憾:1)模拟退火算法解得性能对初始值及有关参数非常敏感;2)若要得到性能非常好的解,则降温过程需足够缓慢,这样相对的是收敛速度太慢。因此,为了完善研究中所遇到的问题,各种改进的 SA 算法应用而生,如张发明等^[7]将 SA 算法与 Sarma 分析方法相结合,形成了 Sarma-SA 算法,张涛等^[5]利用协同粒子群——模拟退火算法求解逆向物流车辆路径问题,并运用典型的算例验证了其实用性。徐贞如和王晓明^[6]利用改进的 SA 算法成功的搜索出了最小自由能的蛋白质的三维结构。

最近几年,SA 算法在岩土工程相关学科中的应用刚刚开始,鉴于其强大的解决最优化问题的能力,有必要简单介绍一下 SA 算法的核心思想。

1 SA 算法的基础

模拟退火算法在求解最优化问题时,先预设一个解 i 及其目标函数 $E(i)$ 分别与固体的一个微观状态 i 及其能量 E_i 等价,在模拟固体退火过程中的问题 T 时,选用算法递减参数 t 控制,这样对于控制参数 t 的每次取值,算法就执行一次 Metropolis 算法^[10],模拟退火算法从预设解 i 出发,求得给定控制参数值时最

优化问题的相对最优解(见图 1)。然后减小控制参数 t 的值,重复执行 Metropolis 算法,当控制参数趋于零时,便可以求得最优化问题的整体最优解^[6]。

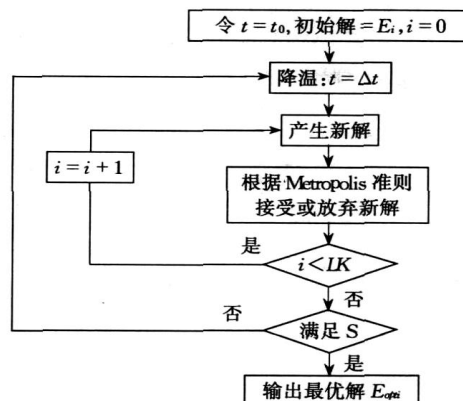


图 1 SA 算法流程图

模拟退火算法,用 Metropolis 算法产生组合优化问题解的序列,并有与 Metropolis 准则对应的转移概率 P 确定是否接受从当前解 i 到新解 j 的转移。

$$P_i(i \rightarrow j) = \begin{cases} 1 & E(j) \leq E(i) \\ \exp\left\{-\frac{[E(j) - E(i)]}{t}\right\} & E(j) > E(i) \end{cases}$$

其中, t 为控制参数; $E(i)$ 和 $E(j)$ 分别为对应状态 i 和 j 时的目标函数值。如果 $E(j) \leq E(i)$,更新当前解为新解,否则表明新解为恶化解,此时产生一个随机数 r ;若 $P_i(i \rightarrow j) > r$,以新解更新当前解,否则维持当前解。

1.1 控制参数 t 的初值 t_0

控制参数 t 的值只要选的充分大,SA 算法就可以很快的达到平衡,为使算法进程一开始就达到准平衡,定义初始接受率为:

- [5] 王泳嘉,邢纪波. 离散单元法及其在岩土力学中的应用[M]. 沈阳:东北大学出版社,1991.
[6] 黄润秋,许强,陶连金. 地质灾害过程模拟和过程控制研

究[M]. 北京:科学出版社,2002.

- [7] 杜斌,殷国锋,钱勇峰. 浙东某水库工程地质问题初探[J]. 山西建筑,2009,35(13):363-364.

Kinematical model of scattered-type loess landslide

ZHANG Jian DU Bin LI Xiao-bao

Abstract: On the basis of the analysis on kinematical characteristics of the scattered-type landslide, the thesis made a kinematical model, anti-calculated the comprehensive internal friction angle in the movement process of landslide according to discrete element program, worked out the landslide distance of scattered-type landslide, which laid a basis for risk assessment of high-risk landslide.

Key words: scattered-type landslide, kinematical model, landslide distance

收稿日期:2010-02-24

作者简介:潘长军(1971-),男,工程师,九龙仓(无锡)置业有限公司,江苏 无锡 214000

$$x_0 = \frac{\text{接受变换数}}{\text{提出变换数}} \quad 1。$$

由 Metropolis 准则可知,这样 t_0 的值就会很大,例如,取 $x_0 = 0.8$ 时,则在 $E = 100$ 时, $t_0 > 448$ 。

1.2 控制参数 t 的终值 t_E 的选取

通常由停止准则确定控制参数的终值 t_E 。合理的停止准则既要确保算法收敛于某一近似解,又要使最终解具有一定的质量,可用事先确定好的控制参数 t 的个数,即 Markov 链的个数或迭代次数 n 作为停止准则^[11]。

2 相关研究成果

2.1 云峰混凝土材料参数反演^[12]

云峰发电厂是中国和朝鲜在界河鸭绿江上共同投资、分工兴建的国家大型水力发电厂,大坝为混凝土宽缝重力坝,全长 828 m,高 105 m,宽 7 m~14 m,全坝段分为 55 个坝段,分别对 26 号及 28 号坝段坝顶水平位移水压分量与上游水库水位的关系进行回归分析,通过 SA 算法,对大坝弹性参数识别,结果见表 1。

表 1 大坝弹性参数识别结果 GPa

坝段	E	
	混凝土	岩石基础
26	15.850	27.511
28	15.192	29.313

利用大坝弹性参数识别结果,计算得到了不同水位条件下坝顶水平位移的水压分量,并与观测值进行对比(见图 2),发现由 SA 算法识别出的参数后算出的水平位移预报值和现场实际观测的结果基本一致,说明基于 SA 算法的材料识别方法具有较高的识别精度和预报精度。

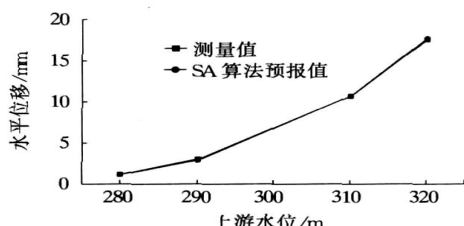


图 2 坝顶实测水平位移和预报值比较

2.2 岩体边坡 SA 位移反分析^[13]

对某一由单一岩性组成的采场边坡岩体进行岩体的抗剪强度参数 c 和 ϕ 的反分析,初始应力场按自重应力场考虑,屈服条件采用 Drucker-Prager 准则,假定在平面应变状态下分析。

在边坡体中选取 5 个测点,对于每一个测点利用有限元法计算该点的位移全量作为实测值进行位移反分析。对每个抗剪强度参数 c 和 ϕ 取 5 个水平,即 c 分别为 0.2 MPa,0.4 MPa,0.6 MPa,0.8 MPa 和 1.0 MPa; ϕ 分别为 20°,30°,40°,50°和 60°,共有 25 组不同的参数组合。在模拟退火优化计算中,共进行 7 200 次迭代,得到目标函数最小值为 127.6,与该最小目标函数值对应的参数,

即为本次反演过程得到的最优参数值。位移反分析结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,模拟退火算法的位移反分析所得结果误差较低,且和理论值比较接近,说明模拟退火算法能很好的应用在岩体边坡反分析方面。

表 2 位移反分析结果与理论值比较

c/MPa			$\phi/^\circ$		
反演值	理论值	绝对误差	反演值	理论值	绝对误差
0.572	0.600	0.028	37.110	40.000	2.890

3 结论与建议

1) SA 方法本身的两方面的缺陷还有待进一步研究,如何对算法进一步改进,获得高效的计算方法,将是今后计算岩土力学中 SA 方法研究的重点之一。2) 如何将 SA 算法与其他搜索机制的算法耦合起来,如遗传算法,混沌搜索等,也将是今后研究的方向。

参考文献:

- [1] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by simulated annealing[J]. Science, 1983(220): 671-680.
- [2] 刘华强,陆明志,殷宗泽. 基于模拟退火算法的边坡临界滑面搜索方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(2): 3686-3691.
- [3] 江思珉,朱国荣,胡西嘉,等. 单纯形——模拟退火混合算法反求水文地质参数及其并行求解[J]. 地质论评, 2007, 53(1): 92-97.
- [4] 张浩,王常明,马文东. 边坡最危险滑动面全局搜索的模拟退火算法及改进[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 129-133.
- [5] 张涛,张春梅,张玥杰. 协同粒子群——模拟退火算法求解 VRPSD 问题[J]. 系统管理学报, 2009, 18(6): 681-685.
- [6] 徐贞如,王晓明. 基于改进的模拟退火算法的蛋白质折叠研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(12): 24-26.
- [7] 张发明,郭丙跃. 基于模拟退火算法的边坡稳定分析方法[J]. 岩土力学, 2006, 27(4): 514-518.
- [8] 何则干,陈胜宏. 遗传模拟退火算法在边坡稳定分析中的应用[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 316-319.
- [9] 阮永芬,熊光赤. 遗传——模拟退火算法在边坡稳定分析中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2007, 3(3): 573-577.
- [10] Kirkpatrick S, Gelatt C D, Vecchi M P. Optimization by Simulated Annealing[J]. Science, 1983(5): 265-266.
- [11] 康立山,谢云,尤矢勇,等. 非数值并行算法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] 李守巨,刘迎曦,孙伟. 智能计算与参数反演[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [13] 许传华,任青文,周庆华. 基于支持向量机和模拟退火算法的位移反分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(22): 4135-4138.

Research and application development of simulated annealing algorithm in geotechnical engineering

PAN Chang-jun

Abstract: This paper briefly describes formation of SA algorithm, advantages, application and other basic conditions, and specifically addresses theoretical foundation of SA algorithm application in geotechnical engineering. Integrating with concrete examples, it explores the application and research results of SA algorithm in geotechnical engineering related disciplines, draws useful conclusions, and puts forwards relative suggestions to guide practice.

Key words: the simulation anneals algorithm, geotechnical engineering, control parameters, side slope body