

文章编号:1005-0523(2006)02-0107-04

遗传算法在电力系统无功优化中的应用

黄 瑛, 陈 恩

(南昌大学 信息工程学院, 江西 南昌 330029)

摘要:详细介绍了浮点数编码遗传算法的编码、选择、交叉、变异等操作. 该编码不仅可以降低算法的搜索空间, 而且可以避免初始化及在遗传操作中生成的不可行解. 将该算法用于 IEEE30 节点系统, 结果表明, 该方法降低了网络损耗, 实现了电力系统的无功优化, 得到了满意的结果.

关键词:无功优化; 遗传算法

中图分类号:TM76

文献标识码:A

0 引言

无功优化历来是一个备受关注的研究课题. 它通过调节电网中的各种设备来改变无功潮流在网络中的分布, 目的是为了在满足约束条件的前提下, 使系统的某个指标或多个指标达到最优, 从而提高电力系统电压质量, 降损节能, 保证系统安全、经济运行. 它涉及无功补偿装置投入地点的选择、无功补偿装置投入容量的确定、变压器分接头的调节和发电机机端电压的配合等, 是一个多约束的非线性规划问题.

无功优化的方法很多, 如线性规划、非线性规划、灵敏度分析、内点法等. 但这些方法都普遍存在对初始解有特殊要求, 或在离散变量的处理上与其算法本身要求的函数连续性之间存在矛盾等问题. 近些年来, 一些基于人工智能的新方法如人工神经网络、模拟退火算法、专家系统以及遗传算法等都被相继用于电力系统无功优化的研究中. 但是人工神经网络在运算过程中容易陷入局部极小; 模拟退火算法在迭代过程中只能进行一对一的比较, 容易导致收敛早熟; 而基于灵敏度分析的专家系统, 由于同样采用梯度定向, 就决定了它与传统的方法没

有很大的区别. 相比而言, 遗传算法在解决多变量、非线性、不连续、多约束问题时显示出其独特的优势, 使得它在无功优化领域日益为人们所重视. 它是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法, 具有搜索不依赖于梯度信息、鲁棒性、全局收敛性、通用性强等特点, 并具有求解混合整数优化和寻找全局最优解的能力.

1 无功优化模型的建立

无功优化的基本思路是: 在电力系统有功潮流调度已经给定的情况下, 以发电机机端电压幅值、无功补偿装置的无功补偿容量、有载调压变压器变比作为控制变量, 以发电机无功出力、负荷节点电压作为状态变量, 应用优化技术, 在满足电力系统无功负荷的要求下, 寻求合理的无功补偿点和最佳无功补偿容量, 保证电网能够安全、优质、经济运行.

无功优化模型包括目标函数、功率方程约束和变量约束. 针对不同的应用领域、网络分层及所分析网络的特性, 无功优化问题的目标函数会因侧重点不一样而存在差别, 主要有以下几种: 保证最优电压质量, 使电压与额定电压值相差最小; 系统有

收稿日期:2005-10-17

作者简介:黄 瑛(1982-), 女, 1982 年生, 南昌大学电力系统及其自动化硕士研究生.

功网损最小;无功补偿设备投资最小;变压器分接头和电容器投切次数最少.其中普遍采用的是以系统有功网损最小为目标函数的优化模型.

目标函数为:

$$\min f_1 = \min_{i,j \in N_L} \sum G_{ij} [U_i^2 + U_j^2 - 2U_i U_j \cos(\delta_i - \delta_j)]$$

式中: N_L 为网络总支路数; G_{ij} 为支路 $i-j$ 之间的电导; U_i 、 U_j 、 δ_i 、 δ_j 分别为节点 i 、 j 的电压和相角.

约束条件包括等式约束和不等式约束.等式约束即满足潮流方程:

$$P_i - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0$$

$$Q_i - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0$$

式中: P_i 、 Q_i 表示节点 i 注入的有功、无功功率; U_i 表示节点 i 电压幅值; G_{ij} 、 B_{ij} 、 δ_{ij} 为节点 $i-j$ 之间的电导、电纳、电压相角差.

不等式约束分别为:

$$U_{Gi \min} \leq U_{Gi} \leq U_{Gi \max} \quad Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max}$$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max} \quad T_{i \min} \leq T_i \leq T_{i \max}$$

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max}$$

式中: U_{Gi} 表示可调发电机机端节点电压; Q_{Gi} 表示发电机节点无功出力; Q_{Gi} 表示无功补偿装置的无功补偿容量; T_i 表示有载调压变压器变比; U_i 表示负荷节点电压幅值.

2 基于遗传算法的无功优化

无功优化的目标函数是使下式得出的值最小,该式以罚函数的形式处理节点电压越限、发电机无功出力的非等式约束.

$$F = f + \sum_{i=1}^{N_U^{\lim}} \lambda_{U_i} (U_i - U_i^{\lim})^2 + \sum_{i=1}^{N_Q^{\lim}} \lambda_{Q_i} (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{\lim})^2$$

本文取其适应值函数为:

$$Fitness = f_{\max} - f - \sum_{i=1}^{N_U^{\lim}} \lambda_{U_i} (U_i - U_i^{\lim})^2 - \sum_{i=1}^{N_Q^{\lim}} \lambda_{Q_i} (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{\lim})^2$$

式中 λ_{U_i} 和 λ_{Q_i} 为罚因子, $f_{\max}$ 取为 2000.00, $U_i^{\lim}$ 和 $Q_{Gi}^{\lim}$ 定义为

$$U_i^{\lim} = \begin{cases} U_i^{\max} & U_i \phi U_i^{\max} \\ U_i^{\min} & U_i \pi U_i^{\min} \end{cases} \quad Q_{Gi}^{\lim} = \begin{cases} Q_{Gi}^{\max} & Q_{Gi} \phi Q_{Gi}^{\max} \\ Q_{Gi}^{\min} & Q_{Gi} \pi Q_{Gi}^{\min} \end{cases}$$

2.1 编码

编码的主要任务是建立解空间和染色体空间的一一对应关系.遗传算法的编码方式一般使用二进制编码或者浮点数编码.二进制码不直接,需要频繁的编码和解码,计算量大,而且只能产生有限的离散点阵.本文采用的是浮点数编码.它是指个体的每个基因用某一范围内的一个浮点数来表示,个体的编码长度等于其控制变量的个数.无功优化的控制变量为发电机节点的电压幅值、有载调压变压器的变比以及无功补偿节点的电容器补偿量.只需对控制变量的变化范围进行编码.这种编码方式使用的是控制变量的真实值,这样省去了解码过程,节省了很多计算时间.

IEEE30 节点电力系统无功优化问题遗传算法编码为:

$$U_{G1} \ U_{G2} \ U_{G3} \ U_{G4} \ U_{G5} \ U_{G6} \ K_1 \ K_2 \ K_3 \ K_4 \ Q_{C1} \ Q_{C2} \ Q_{C3} \ Q_{C4}$$

式中 $U_{G1} \sim U_{G6}$ 为发电机节点电压; $K_1 \sim K_4$ 为变压器变比; $Q_{C1} \sim Q_{C4}$ 为无功补偿量.

2.2 选择、交叉和变异

从群体中选择优胜的个体,淘汰劣质个体的操作叫选择.它的目的是把优化的个体直接遗传到下一代或通过配对交叉产生新的个体再遗传到下一代.选择操作是建立在群体中个体的适应度评估基础上的.优胜劣汰的选择机制使得适应度值大的解有较高的存活概率.不同的选择方法对算法的性能也有较大的影响.本文采用了基于排名的选择方法.即先将染色体按适应度值从小到大排列,然后按下式分配选择概率.

$$p_i = \begin{cases} q(1-q)^{i-1} & i=1, 2, \dots, N-1 \\ (1-q)^{i-1} & i=N \end{cases}$$

其中 p_i 是个体的选择概率; N 是群体规模; q 为常数,表示最好个体的选择概率.最后,通过轮盘赌的方式,选择个体.

交叉操作是同时对两个染色体操作,组合二者的特性产生新的后代.本文的交叉操作采用 3 点交叉算子.即首先产生 3 个随机数并转换成需要进行交叉操作的浮点数.然后针对确定的浮点数,再产生 3 个随机数以确定在每个浮点数中进行交换的位置.

变异运算是对于群体中的个体串的某些基因座上的基因值作变动,它可以提供初始种群中不含有的基因,或找回选择过程中丢失的基因,为种群提供新的内容.本文的变异操作采用了逆转算子,它

的真正目的并不在于变异,而在于实现一种重新排序操作.即将染色体中某一选定的浮点数利用随机数代替,如选定对染色体中的第 i 个浮点数进行逆转操作,则逆转操作可表示为:逆转后浮点数值 = $0.2 - \text{逆转前浮点数值}$.

2.3 收敛性判断

遗传算法对于初始解没有要求,一般是通过预先设置进化代数来结束循环的,为了防止对于预先设置的代数还没有收敛,可以在产生初使解的同时,用部分约束条件来检验(例如机组能否满足负荷平衡条件),将不满足条件的解重新生成,直到达到群体规模.

2.4 例证

以 IEEE30 节点系统为例.系统结构和详细数据参见文献[13].该系统有 6 个发电机节点(选节点 1 为平衡节点,节点 2、5、8、11、13 为 PV 节点).共有 48 条支路,其中有 4 条有载调压变压器支路(支路 9—6、6—10、24—4、28—27),4 个无功补偿节点(节点 7、14、16、30).

无功优化前所有发电机节点的电压均取 1.0 p.u. ,所有变压器变比均为 1.0,所有电容器的无功补偿量为 0.此时潮流计算结果是:发电机总的有功出力为 292.33 MW,总的无功出力为 112.18 MVAR.总的有功负荷为 284.12 MW,总的无功负荷 126.23 MVAR.总的有功网损为 0.0879 p.u. .系统中有 2 个发电机无功功率越限,即发电机节点 8 无功出力 63 MVAR,超过上限;发电机节点 11 无功出力为 -24 MVAR,超过下限.此时,系统中有 13 个节点的电压有不同程度的越限,其中节点 19 的电压最低.因而需要利用无功调节手段进行调整.

遗传算法的计算参数设置为:种群规模为 40,最大迭代次数为 200,杂交概率为 0.6,变异与逆转概率均为 0.3.优化后系统节点的电压越限和发电机节点 8、11 的无功越限都得到了纠正.此时发电机总的有功出力为 287.56 MW,总的无功出力为 108.25 MVAR.总有功网损为 0.0689 p.u. ,系统的有功网损比优化前降低了 21.62%.系统满足所有的运行约束条件.优化后的控制变量的取值如表 1 所示.

表 1 IEEE30 节点控制变量的优化结果

控制变量	下限	上限	优化结果
V_{G1}	0.97	1.10	1.0913
V_{G2}	0.97	1.10	1.0828
V_{G5}	0.97	1.10	1.0539
V_{G8}	0.97	1.10	1.0710

V_{G11}	0.97	1.10	1.0623
V_{G13}	0.97	1.10	1.1010
网损(优化前)			0.0879
网损(优化后)			0.0689
网损降低率			21.62%

3 结束语

本文用遗传算法求解无功优化问题,详细论述了编码方法及相应的基因操作策略.与传统的优化方法相比,遗传算法具有以下特点:①处理的是参数的编码而不是参数本身;②同时在全局解空间中搜索,因而能达到快速全局收敛的目的;③只需定义一个适应度函数,对该函数约束少,既不要求连续,又不要求可微;④使用概率规则指导搜索而非确定性规则,能搜索离散的有噪声和非凸复杂空间.因而遗传算法在无功优化中运用的前景十分广阔.

参考文献:

[1] 张伯明,陈寿孙.高等电力网络分析[M].北京:清华大学出版社,1996.

[2] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996.

[3] 李林川,王建勇,陈礼义.电力系统无功补偿优化规划[J].中国电机工程学报,1999,19(2):66—69.

[4] 陈皓勇,王 锡.电力系统无功优化的退火选择遗传算法[J].中国电力,1998,31(2):3—6.

[5] 吴际舜,侯志俭.电力系统无功安全对策[J].电力系统自动化,1987,11(1).

[6] 吴耀武,侯云鹤,熊信良,等.基于遗传算法的电源规划模型[J].电网技术,2000,23(3).

[7] 李运灵,侯云鹤,熊信良,等.遗传算法在电力市场中的应用[J].电网技术,2000,24(3).

[8] 张勇军,任 震,唐卓尧,尚 春.电压无功优化的强多样性遗传算法[J].电力自动化设备,2003,23(1):18—24.

[9] 毕鹏翔,苗竹梅,刘 健.浮点数编码的无功优化遗传算法[J].电力自动化设备,2003,23(9):42—45.

[10] 盛兆俊,刘观起,等.基于并行遗传算法的电力系统无功优化[J].华北电力大学学报,2004,31(1):11—14.

[11] 任 震,钟红梅,张勇军,唐卓尧.电网无功优化的改进遗传算法[J].电力自动化设备,2002,22(8):16—19.

[12] 顾承宏.城市电力网无功优化的研究与实践[J].安徽电力职工大学学报,2002,7(3):44—50.

[13] IEEE 电力系统汇刊.

[14] 刘源祺,张航,刘玉田.地区电网无功优化规划[J].山东工业大学学报,2000,30(5):401—407.

The Application of Genetic Algorithm in Reactive Power Optimization

HUANG Ying, CHEN Ken

(Information Engineering School, Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract:The problems of reactive power optimization with genetic algorithm are discussed in detail in this paper. The crossover, mutation and inversion operations are proposed which not only reduces the search space, but also avoids the infeasible solutions produced during initialization and gene operations. The proposed genetic algorithm has been tested in an IEEE 30—bus power system. At the same time, based on the above genetic algorithm, network less of electric power systems can be effectively reduced, and then reactive power optimization can also be realized.

Key words:reactive power optimization;genetic algorithm

(上接第 100 页)

4 结论

Web 挖掘研究是几种研究领域,如信息检索 IR、人工智能 AI 等会合的研究领域.Web 数据挖掘并不是一个单一的活动,而是许多活动的集合.频繁模式和序列模式挖掘算法应用于网站优化系统中表现出很好的效果以发现用户感兴趣的页面集合以及页面链接序列.Web 挖掘应用于网站优化系统使得网站访问率提高,为网站赢得更多利润.

参考文献:

[1] 韩家炜,孟小峰,王 静,李盛恩.Web 挖掘研究[J].计算机研究与发展,2001,(4):14.
[2] Jiawei Han, Micheline Kamber, Data Mining: Concepts and

Techniques [M]. Copyright by Morgan Kaufmann Publishers, Inc, 2001
[3] On creating Adaptive Web Servers using Weblog Mining Technical report CS—TR—00—05, CSEE Department, UMBC, 2000.
[4] Low Complexity Fuzzy Relational Clustering Algorithms for Web Mining, IEEE Trans. Fuzzy Systems, 9: 4, pp 596—607, 2001.
[5] R. Kosala and H. Blockeel, "Web Mining Research: A Survey," in SIGKDD: SIGKDD Explorations; Newsletter of the Special Interest Group (SIG) on Knowledge Discovery & Data Mining, ACM, ACM Press, 2000, pp. 1—15.
[6] 宋擒豹,沈均毅.web 日志的高效多能挖掘算法[J].计算机研究与发展,2001,38(3):328~332.
[7] 柳炳祥,盛昭翰.一种基于 web 挖掘的网站性能评价方法[J].计算机工程与应用,2003,(4)189—191.

A Website Optimize System Based on the Web Mining

XU Xiao-ling

(School of Electrical and Electronic Engineering, East Chin Jiaotong Univousity, Nanchang 330013, China)

Abstract:This paper uses Web mining to optimize website and propose a basic framework of website optimize system. We also develop correspondng web mining algorithm which are frequent pattern mining and sequential pattern mining to find the webpage set and frequent link webpage sequences which visitors who explore the website are interesting in. These results will improve the website design.

Key words:Web mining;website optimize