

基于遗传算法的电力系统负荷模型准确度研究

乔晓艳, 余娜, 孟鑫

(河北工程大学 水电学院, 河北 邯郸 056038)

摘要:在获得电网系统稳态和动态数据的基础上,对负荷模型参数不确定情况下的仿真准确度进行了分析,并利用故障后系统的动态数据对不确定参数进行校正。选择遗传算法作为校正求解的算法,并对之进行了一定的改进。仿真研究在 IEEE-39 系统上完成,不准确参数选择为负荷比例,实际应用中可推广为电力系统所有的模型参数。最后给出了这套方案的评价和有待改进的地方。

关键词:遗传算法;负荷模型;仿真准确度;电力系统

中图分类号:TM743

文献标识码:A

Research into veracity of power system load model based on genetic algorithm

QIAO Xiao-yan, SHE Na, MENG Xin

(School of Water Conservancy and Electric Power, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract:Based on acquiring the steady-state and dynamic data of grid, the simulation veracity in the case of uncertain load model parameters is analyzed in this paper, and in return the uncertain parameters are corrected using dynamic data of post-fault system. The genetic algorithm made some improvements is selected as correction algorithm. The load ratio is selected as inaccurate parameter in IEEE-39 system simulation, which can be extended to all model parameters of power system in actual application. Finally, the evaluation and improvement areas of this scheme are given.

Key words:genetic algorithm; load model; simulation veracity; power system

电力系统动态仿真是电力系统稳定分析与控制的主要工具,因此仿真结果的可信度直接影响到系统运行的安全性与经济性^[1-2]。长期以来,人们对于电力系统四大模型中的发电机、调速系统、励磁系统在行为机理和现场实测方面进行了深入研究^[3],而作为电力系统重要元件之一的负荷模型仍相当简单和粗糙。这种粗糙的负荷模型与精确的发电机、调速系统、励磁系统很不协调。大量的仿真计算表明:负荷模型的变化对系统暂态稳定、电压稳定以及潮流计算的结果具有不同程度的影响,在临界情况下,将发生质的变化。因此,有必要建立切合实际的负荷模型,并对负荷模型参数准确度进行验证^[4]。

参数的不准确会直接影响到仿真结果,反过

来,仿真结果与实际的差别也会反映出参数的准确程度。本文通过记录系统发生扰动时系统主要发电机、负荷节点的电压、功角等波形,比较实测曲线与仿真曲线的不同,应用遗传算法修正仿真参数,在 IEEE-39 系统上分别进行了负荷比例对仿真结果的影响研究和多个负荷比例参数校正的仿真。

1 遗传算法模型及改进

遗传算法(Genetic Algorithms, GE)是一种基于模拟生物进化机制的搜索和优化方法。遗传算法的基本思路是通过模拟生物进化、优胜劣汰的过程,来求解优化问题。它从整个解空间中随机

产生一组初始解,作为一个种群(Population),以此开始搜索过程。种群中的每个个体都是问题的一个合法解,称为染色体(Genome),染色体由若干个基因(Gene)组成。这些染色体在后代演化过程中不断进化,称为遗传。

遗传算法主要包括交叉(Crossover)、变异(Mutation)、选择(Selection)等算子。交叉或变异运算生成下一代染色体,称为后代(Offspring)。染色体的好坏用适应度(Fitness)来衡量。根据适应度的大小从上一代和后代中选择一定数量的个体,形成新一代的种群,再继续进化。这样经过若干代之后,算法收敛于最好的染色体,它很可能就是问题的最优解或次优解^[5]。

在最初的研究中,遗传算法模型选择为静态繁殖模型(Steady State GA),即在每一代繁殖后,把父代种群与子代种群一起评估,选择所有适应值最高的个体作为下一代的种群。这种做法有利于保留父代中具有优良性能的个体,但却引入了另一个问题——早熟。实践中发现,上述算法常常很快地收敛到某一个个体附近,导致搜索范围大大下降^[5]。

作者在静态繁殖模型的基础上进行了一定的改进,引入了个体距离的概念,定义个体距离为个体、的每个基因差异的平均值,如式(1)所示。

$$D_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N d_{ij}^k}{N} \quad (1)$$

式中 d_{ij}^k - 个体 i 和个体 j 在第 k 位基因上的差异, $d_{ij}^k = \left| \frac{g_i^k - g_j^k}{g_{\max}^k} \right|$; g_{\max}^k - 第 k 位基因上可能出现的最大值。

个体距离 D_{ij} 实际代表着两个个体之间差异程度的大小,最小值为0,最大值为1。引入个体距离的概念是为了在进行繁殖、交叉、变异等操作时,尽量考虑个体间差别的影响,优先选择差别大的个体,避免出现种群包含大量相同或相似个体的情况,从而使搜索的空间增大。

本文所要解决的是一个非线性系统的最优化问题,要求同时校正多个参数,并且电力系统暂态仿真是一个复杂的过程;而遗传算法可以同时处理多个输入,它只关心输入和输出的结果,而不关心输入、输出之间的复杂过程。所以参数校正问题非常适合应用遗传算法来解决。

2 基于遗传算法的负荷模型准确度仿真

2.1 仿真研究设计流程

负荷模型是电力系统仿真模型中最难获得的模型,由于负荷具有的时空变化特性和多样性,建立完全精确的负荷数学模型是十分困难的。负荷模型的研究并不是针对单个用电设备的,而是负荷群对外部系统所呈现的总体特性^[6]。

仿真研究是为了验证应用遗传算法进行仿真参数校正的可行性。仿真研究在同一系统下完成,设定相同的稳态状态和故障情况。研究过程中,用随机产生的数值来模拟实际参数,这种“实际参数”下的暂态仿真结果模拟实际的动态过程;然后应用遗传算法对设定的不准确参数进行校正;最后进行结果分析。仿真研究流程图如图1所示:

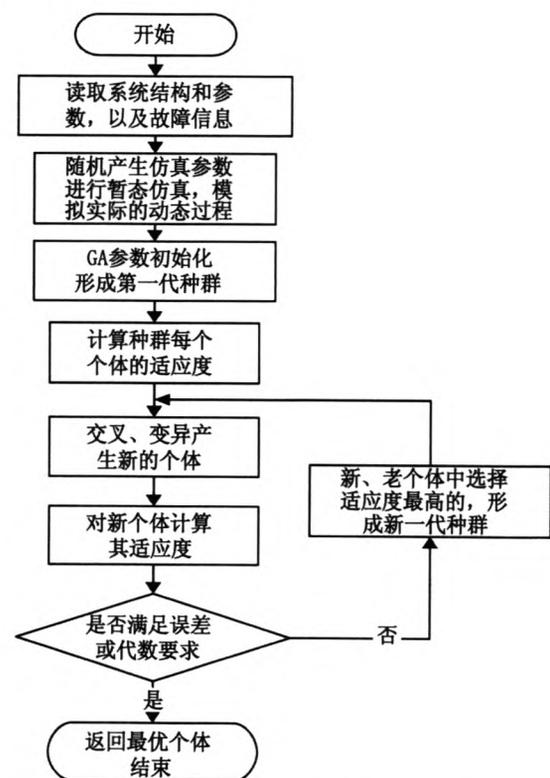


图1 应用遗传算法校正参数的流程图

Fig.1 The flow chart of parameters correction based on GA

2.2 仿真研究结果及分析

2.2.1 负荷比例对仿真结果的影响研究

为了验证负荷比例参数对电力系统暂态仿真的影响及程度,本文在 IEEE-39 系统(图2)进行仿真,故障设置为 Ln1(B1-B2)线路2%处 AB 短

路接地,时间为 1 ~ 1.2 s,不启用自动重合闸装置,仿真过程持续 5 s。

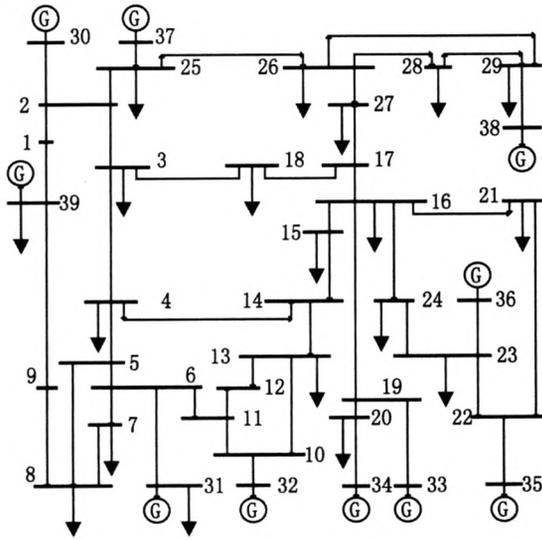
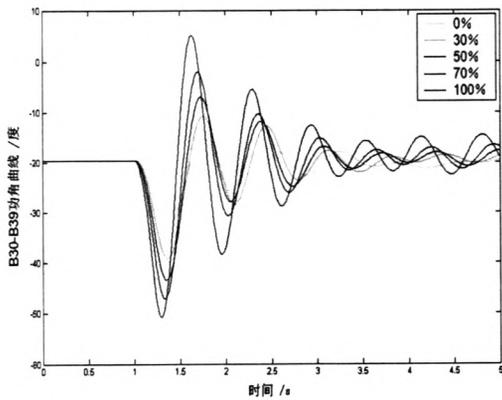
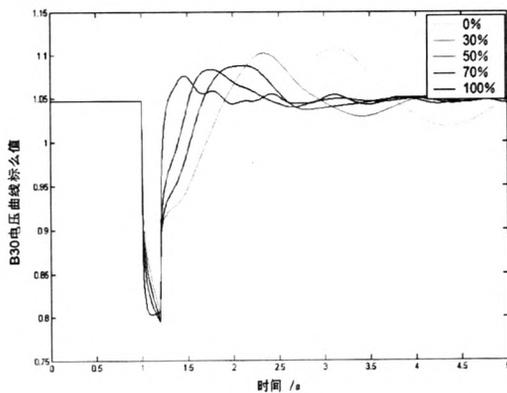


图2 IEEE-39系统
Fig.2 IEEE-39 system



(a)B30-B39 功角曲线



(b)B30 电压曲线标么值

图3 节点30功角和电压变化曲线

Fig.3 Power angle curve and Voltage curve of node 30

仿真的负荷模型采用的是阻抗加异步电动机的模型,阻抗比例分别采用 0%、30%、50%、70%

和 100%。采集的数据包括故障最近的发电机功角(B30 与 B39)、机端电压、电流、有功功率、无功功率以及几个主要发电机和负荷的电压。其中 B30 功角和电压变化曲线的故障后部分如图 3 所示。从图 3 可以看出,负荷比例对仿真会产生较大影响。

2.2.2 多个负荷比例参数校正的仿真

故障设在 IEEE - 39 系统线路 Ln1 (B1 - B2) 2% 处 ABC 三相短路接地,时间为 0.04 ~ 0.40 s,不启用自动重合闸装置,系统失稳。

仿真研究同时校正 5 个负荷的负荷比例,设不准确参数包括 5 个负荷的负荷比例,5 个负荷的功率情况如表 1 所示。负荷比例取 10% 为一个档次,共 10 个档次;全部解空间包含 10^5 个体;设置每代种群人口数为 50,每代生成 50 个新个体,在这 100 个个体中选择 50 个适应度最高的形成下一代种群,最大代数设置为 100。除去可能产生的相同个体,一次完整的 GA 过程大约计算 5000 左右的个体,大概占全部解空间的 5%。根据上文负荷比例对相角影响较大的结论,目标函数选为负荷节点电压相角曲线误差绝对值的平均值。负荷比例参数校正的情况如表 2 所示。

表 1 5 个负荷的功率情况

Tab. 1 The power of five loads

负荷位置	有功标么值	无功标么值
B3	3.22	0.024
B4	5.0	1.84
B8	5.22	1.76
B15	3.2	1.53
B16	3.29	0.323

表 2 校正 5 个参数多次仿真结果对比

Tab.2 The simulation results of correcting five parameters

	模拟实际参数	校正结果	校正误差
1	Load1 = 89%	Load1 = 95%	Load1 = 6%
	Load2 = 16%	Load2 = 5%	Load2 = 11%
	Load3 = 15%	Load3 = 15%	Load3 = 0%
	Load4 = 1%	Load4 = 5%	Load4 = 4%
	Load5 = 4%	Load5 = 5%	Load5 = 1%
2	Load1 = 70%	Load1 = 65%	Load1 = 5%
	Load2 = 28%	Load2 = 25%	Load2 = 3%
	Load3 = 67%	Load3 = 55%	Load3 = 12%
	Load4 = 1%	Load4 = 5%	Load4 = 4%
	Load5 = 5%	Load5 = 15%	Load5 = 10%

	Load1 = 1%	Load1 = 5%	Load1 = 4%
	Load2 = 12%	Load2 = 5%	Load2 = 7%
3	Load3 = 2%	Load3 = 5%	Load3 = 3%
	Load4 = 4%	Load4 = 5%	Load4 = 1%
	Load5 = 84%	Load5 = 85%	Load5 = 1%
	Load1 = 9%	Load1 = 55%	Load1 = 46%
	Load2 = 64%	Load2 = 35%	Load2 = 29%
4	Load3 = 83%	Load3 = 65%	Load3 = 18%
	Load4 = 39%	Load4 = 65%	Load4 = 26%
	Load5 = 40%	Load5 = 25%	Load5 = 15%
	Load1 = 16%	Load1 = 15%	Load1 = 1%
	Load2 = 96%	Load2 = 95%	Load2 = 1%
5	Load3 = 33%	Load3 = 95%	Load3 = 62%
	Load4 = 95%	Load4 = 75%	Load4 = 20%
	Load5 = 27%	Load5 = 25%	Load5 = 2%

以第1次校正仿真过程为例,种群的适应度变化情况如图4所示。其中,横坐标为代数,纵坐标为适应度值;红线为最优适应度,蓝线为平均适应度。由于适应度选择为仿真曲线与实测曲线的差异,所以越小则代表个体适应度越强。可以看到,最优适应度与平均适应度都是在逐渐地减小,且减小的趋势趋于平缓。

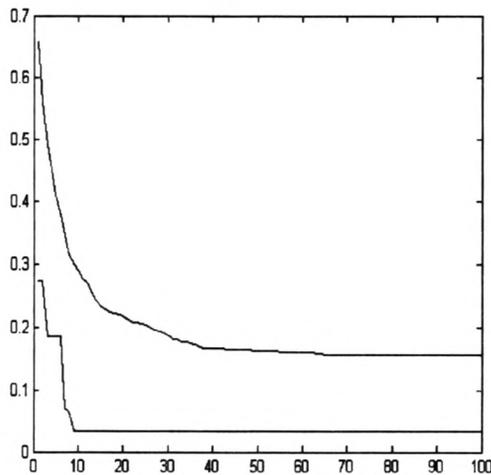


图4 校正5个负荷比例的种群适应度变化情况
Fig. 4 Population fitness of correcting 5 load proportion

根据应用遗传算法的经验,当搜索空间占整个解空间的1%到10%之间时,搜索效果会比较好,否则低到1%就很难获得较优的结果了。当同

时校正5个负荷比例时,应用本文设置的遗传算法的规模,搜索空间大概占全部解空间的5%,是比较合理的情况,因此效果也比较好;可以预见,随着负荷比例参数数量的增加,解空间的大小成指数递增,当增大到10个的时候,解空间增大到 $1e+10$,搜索空间仅仅占全部解空间的 $5e-7$,远远小于1%的限制,所以根本无法得到好的结果。

3 结论

1)在常规遗传算法的基础上引入了个体距离,实现了应用此方法校正多个负荷比例参数,并可推广为所有电力系统的模型参数。

2)校正少量参数时的效果较好,参数数量增多后,GA的规模不可能很大,搜索空间占全部解空间的比例较小,搜索效果变差。

3)采用增大种群规模,增加遗传代数等方法可以增大搜索空间,但会使得计算量非常大,以至无法完成;另外,在遗传算法里加入局部搜索等方法,可以改进搜索效果。

参考文献:

- [1] 王巧玲, 齐林, 梁永春. 高压电力电缆温度场和载流量数值计算软件的研究[J]. 河北科技大学学报, 2011, 32(6): 552-557.
- [2] 吴会丛, 楚杰, 原亮, 等. 基于演化硬件的电路自修复实验研究[J]. 河北科技大学学报, 2011, 32(6): 534-537.
- [3] 朱方, 汤涌, 张东霞, 等. 发电机励磁和调速器模型参数对东北电网大扰动试验仿真计算的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(4): 69-74.
- [4] 贺仁睦. 电力系统精确仿真与负荷模型实用化[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 4-7.
- [5] 曹兰, 梁梁, 全秀祥. 遗传算法在负载均衡系统中的应用研究[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(1): 76-79.
- [6] 周文, 贺仁睦. 电力负荷建模问题研究综述[J]. 现代电力, 1999, 16(2): 83-89.

(责任编辑 马立)