

混沌免疫遗传算法在电力系统故障诊断中应用

孟祥萍¹, 潘莹², 耿卫星², 霍飞², 高燕¹

(1. 长春工程学院 电气与信息学院, 吉林 长春 130012;

2. 东北电力大学 信息工程学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 针对电力系统故障诊断问题, 提出了一种新的免疫遗传算法——混沌免疫遗传算法。该算法将免疫算法、混沌与遗传算法相结合, 利用混沌运动的遍历性、随机性产生初始种群, 加快搜索的速度; 利用免疫原理的浓度计算及调整加入新的混沌序列补充种群, 增加种群的多样性, 避免陷入局部最优; 交叉变异结束后在最优解附近再用混沌进行局部寻优提高解的精度。它能从保护和断路器的拒动和误动中, 快速找到故障点。实验结果表明, 该算法能快速寻找到最优解, 保证系统的实时性和准确性, 较好地实现了对电力系统的故障诊断。

关键词: 故障诊断; 混沌; 遗传算法; 免疫算法

中图分类号: TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)05-0081-03

0 引言

近年来, 电力系统的安全稳定运行已经越来越引起人们的重视。通常, 电力系统的故障诊断就是尽可能地利用采集信息识别故障元件和误动作的保护和断路器, 其中, 故障元件的识别是关键问题。目前, 国内外对电力系统的故障诊断从总体上主要分为以下几种: 专家系统^[1-2]、逻辑方法^[3-4]、人工神经网络^[5-8]以及遗传算法^[9-12]等方法。目前, 专家系统方法应用较多, 但是难以获取完备的知识库、推理过程时间较长、无学习能力、实时效果较差。基于人工神经网络方法的故障诊断性能取决于样本集是否完备, 对于大型的电力系统要形成完备的样本集极其困难, 因而其诊断结果的正确性在原理上无法保证。遗传算法从优化的角度出发基本上可以解决故障诊断的问题, 但实际应用中还有许多问题有待进一步完善。从理论上分析, 尽管该算法在一定条件下具有全局收敛特性, 但算法的交叉、变异和选择等操作一般都是在一定的概率意义下随机进行, 因此, 在群体中的个体提供进化机会的同时, 又不可避免地出现了退化现象。对于大规模的电力系统问题, 遗传算法易于陷入局部最优解。

现从提高故障诊断的可靠性和实时性出发, 提出了一种基于混沌的免疫遗传算法——混沌免疫遗传算法(NIGA)。混沌免疫遗传算法是利用混沌运动的遍历性、随机性来减少种群中的数据冗余, 加快搜索速度。其基本思想是将实际求解问题的目标函

数和相应问题的解分别看作是免疫系统的抗原和抗体, 而将免疫系统的自我调节机制和用混沌进行局部寻优, 迅速地寻找到问题的最优解或近似最优解。利用混沌的局部寻优, 可加快搜索速度, 利用抗体的多样性保持功能, 可提高全局搜索能力, 避免未成熟收敛。因此, 它克服了寻优过程难应付的“早熟”问题, 最终求得全局最优解。

1 混沌免疫遗传算法原理

遗传算法(GA)是一类基于自然选择和遗传学原理的有效概率搜索算法, 它通过模拟生物进化来进行搜索和优化, 在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识, 并自适应地控制搜索过程以求得问题的最优解。本算法是将遗传算法、免疫算法和混沌相结合, 将待求解的问题作为抗原, 将问题的解作为抗体。通过抗原和抗体的亲和力描述可行解与最优解的逼近程度。对外界抗原侵入, 系统通过混沌产生抗体, 通过抗体浓度的判断及调整, 实现环境的自适应。利用混沌在最优解附近进行局部寻优, 提高解的精度, 加快收敛的速度。所提算法主要特点是在初始种群的产生和在最大值附近进行局部寻优。

1.1 初始种群的产生

免疫和遗传算法都是随机初始化种群, 算法中引入了混沌^[13-14], 由于混沌运动具有遍历性、随机性等特点, 混沌运动能在一定范围内按照其自身的规律不重复地遍历所有的状态。因此, 如果利用混沌原理产生初始种群, 数字取值会均匀地分布在解的空间中, 减少了可能出现的数据冗余, 并且在开始迭代就能产生较好的解, 加快搜索的速度。在此利用著名的 logistic 方程产生初始种群。该方程定义为

$$x_{n+1} = \mu x_n (1 - x) \quad (1)$$

其中, x 是变量, $x \in [0, 1]$, $n = 0, 1, 2, \dots$ 。 μ 为控制参数, 当 $\mu \in [3.5699, 4]$ 时, 映射处于混沌状态。本算法中 n 代表抗体数, x_n 代表第 n 个抗体, x_{n+1} 代表第 $n+1$ 个抗体。

由于混沌序列的空间为 $[0, 1]$, 状态空间也可可为 $[0, 1]$, 可以直接转化为二进制编码形式。

1.2 最大值附近进行局部寻优

交叉、变异结束后, 对新种群抗体和抗原的亲性和排序找出最优解值。把最优解对应的二进制域转为原问题域 x , 按式(1)进行混沌迭代, 找到好的值替代最优值 z , 然后再转化为二进制域。

1.3 算法的基本步骤及流程图

a. 抗原输入及参数设定。

b. 初始抗体的产生。把变量作为抗体, 由 logistic 映射产生 N 个个体, 形成初始群。

c. 亲和力及浓度计算。

d. 终止条件判断。若当前群体中包含最佳个体, 则算法停止运行并输出结果, 否则继续运行。

e. 多样性计算及判断。若种群的多样性低于阈值, 则采取措施提高种群多样性。

f. 多样性调整。由 logistic 映射产生 m 个个体, 替代从进化群中随机选出的 m 个个体, 直到多样性超过阈值。

g. 对当前的种群进行交叉、变异操作得到新一代种群。

h. 对新种群抗体和抗原的亲性和排序找出最优解, 在最优解附近进行局部寻优。

i. 群体更新。

算法的流程图如图 1 所示。

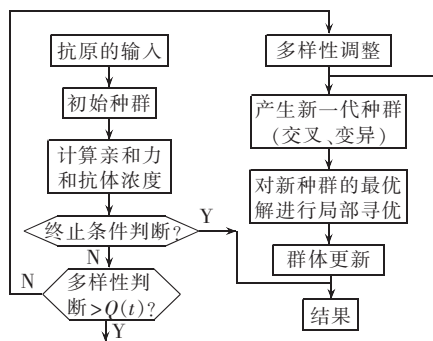


图 1 算法流程图

Fig.1 Flowchart of algorithm

2 电力系统故障诊断的数学模型

根据元件故障与保护动作和断路器跳闸之间的逻辑关系, 把电力系统的故障诊断问题表示为如下求最小值的目标函数:

$$f(S) = \sum_{k=1}^{n_r} |R_k - R_k^*(S)| + \sum_{j=1}^{n_c} |C_j - C_j^*(S, R)| \quad (2)$$

式中 n_r 为保护总数目; n_c 为断路器总数目。

S 为一个 n 维向量, 表示系统中元件的状态, S

中第 i 个元素 S_i 表示第 i 个元件的状态。 $S_i = 0$ 或 1 分别表示第 i 个元件的正常或故障状态。

R 为一个 n_r 维向量, 表示 n_r 个保护的实际情况。 R 中第 k 个元素 R_k 表示第 k 个保护的实际情况。 $R_k = 0$ 或 1 分别表示第 k 个保护处于未动作或动作状态。

$R^*(S)$ 为一个 n_r 维向量, 表示 n_r 个保护的期望状态, $R^*(S)$ 中第 k 个元素 $R_k^*(S)$ 表示第 k 个保护的期望状态。如第 k 个保护应该动作 $R_k^*(S) = 1$, 否则 $R_k^*(S) = 0$ 。 $R_k^*(S)$ 状态由 S 状态决定。

C 为一个 n_c 维向量, 表示 n_c 个断路器的实际情况, C 中第 j 个元素 C_j 表示第 j 个断路器的实际情况。 $C_j = 0$ 或 1 分别表示第 j 个断路器的分合状态。

$C^*(S, R)$ 为一个 n_c 维向量, 表示 n_c 个断路器的期望状态, $C_j^*(S, R)$ 表示第 j 个断路器的期望状态。如应跳闸 $C_j^*(S, R) = 0$, 否则 $C_j^*(S, R) = 1$ 。 $C^*(S, R)$ 状态由 S 和 R 状态决定。

用一比较简单典型的例子说明如何根据保护和断路器的动作原理确定期望值, 如图 2 所示。

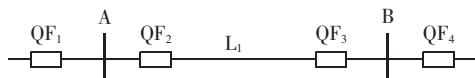


图 2 简单示例

Fig.2 Simple example

保护期望状态的确定:

主保护 = 元件状态

主后备保护 = 元件状态 \times (1 - 主保护)

第 2 后备保护 = $1 - [1 - \text{关联元件 1 的状态值} \times (1 - \text{关联路径上的断路器 1 的状态值}) \times (1 - \text{关联路径上的断路器 2 的状态值}) \times \dots] \times [1 - \text{关联元件 2 的状态值} \times (1 - \text{关联路径上的断路器 1 的状态值}) \times (1 - \text{关联路径上的断路器 2 的状态值}) \times \dots] \times [1 - \text{关联元件 3 的状态值} \times (1 - \text{关联路径上的断路器 1 的状态值}) \times \dots] \times \dots$

断路器期望状态 $C_j^*(S, R)$ 的确定:

$$C_j^*(S, R) = \text{MAX} \langle \text{关联保护期望状态} \times \text{实际状态} \rangle$$

其中, “关联路径”指一个元件到另一个元件, 从系统结线图上看, 经过的一个或多个断路器的排列。

在期望值确定之后, 为便于用混沌免疫遗传算法实现求解过程, 将前面的目标函数改为如下的适应度函数形式:

$$f(S) = w - \sum_{k=1}^{n_r} |R_k - R_k^*(S)| - \sum_{j=1}^{n_c} |C_j - C_j^*(S, R)| \quad (3)$$

其中, w 为任意给定的正数, 其目的保证 $f(S)$ 为正值, 这里取 $w = 10^4$ 。确定了 $f(S)$ 的表达式之后, 运用混沌免疫遗传算法求解使 $f(S)$ 成为最大值的 S 值, 即为故障元件。

3 实例

根据以上混沌免疫遗传算法的流程,编制了故障诊断目标函数的生成及混沌免疫遗传算法程序,并截取吉林新立地区的一个环形网进行了测试,如图 3 所示。

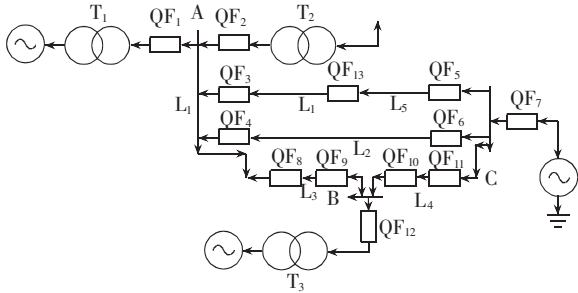


图 3 被测试的环形网
Fig.3 Ring net for test

针对可能出现的故障,测试了 10 种故障情况,结果表明,都能快速正确地诊断出系统中的故障元件,并得到系统最优解。给出系统诊断的部分结果,如表 1 所示(表中 L_4C_p 为 L_4 线路中的一种保护)。

表 4 诊断结果
Tab.4 Diagnostic results

动作的保护	动作的断路器	程序诊断结果 即故障元件
T_{3m}, L_{1m}	$QF_7, QF_9, QF_{10}, QF_{12}$	T_3, S
A_m, C_m, T_{3m}, L_{1m}	$QF_1, QF_7, QF_9, QF_{10}, QF_{12}$	A, C, T_3, S
T_{3m}, L_{1m}, L_4C_p	$QF_7, QF_9, QF_{10}, QF_{12}$	T_3, S, L_4
$C_m, T_{1m}, T_{2m}, T_{3m}, S_m, L_4C_p$	$QF_1, QF_2, QF_3, QF_4, QF_7, QF_8, QF_9, QF_{10}, QF_{12}$	C, T_1, T_3, S

4 结论

在电力系统的故障诊断中引入混沌免疫遗传算法,免疫遗传算法是把问题的空间和对应的解空间对应于抗原和抗体,并通过浓度控制来控制局部最优解的繁殖^[15]。在此基础上,在初始种群和多样性调节中引入了混沌,加快了搜索速度。在最优解附近进行局部寻优,提高了解的精度。可以对电力系统正常运行时出现的故障作出快速反应,为故障的及时诊断、恢复提供了有力的保证,确保了电力系统安全稳定运行,增强了供电的可靠性和连续性,保证了生产生活的正常有序进行。

参考文献:

[1] ANGELI C. Application of a real-time expert system for fault diagnosis[M]. Berlin:Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2000.
 [2] 周明,任建文,李庚银,等. 基于模糊推理的分布式电力系统故障诊断专家系统[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(24): 33-36.
 ZHOU Ming, REN Jian-wen, LI Geng-yin, et al. Distributed power system fault diagnosis expert system based on fuzzy inference [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(24): 33-36.

[3] PARK Y M, KIM Gwang-won, SOHN Jin-man. A logic based expert system (LBES) for fault diagnosis of power system [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 363-369.
 [4] SIDHU T S, CRUDER O, HUFF G J. An abductive inference technique for fault diagnosis in electrical power transmission networks[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(1): 515-522.
 [5] 李小慧,丛望,刘勇. 电力系统故障诊断神经网络专家系统的一种实现方式[J]. 船电技术, 2001, 5(6): 32-35.
 LI Xiao-hui, CONG Wang, LIU Yong. One realization way of neural network expert system in electrical power system fault diagnosis [J]. Ship Electricity Technology, 2001, 5(6): 32-35.
 [6] CHEN Kok-yeng, LIM Chee-peng, LAI Weng-kin. Fault detection and diagnosis using the fuzzy min-max neural network with rule extraction[M]. Berlin: Computer Science Springer-Verlag, 2004.
 [7] MA Liang-yu, MA Yong-guang, MA Jin. Fault diagnosis for the feedwater heater system of a 300 MW coal-fired power generating unit based on RBF neural network [M]. Heidelberg: Computer Science Springer-Verlag, 2006.
 [8] 杨勇. 神经网络在电力系统中的应用与展望[J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13(1): 41-45.
 YANG Yong. Application and prospect of artificial neural networks in electric power systems [J]. Proceedings of the EPSA, 2001, 13(1): 41-45.
 [9] ZHENG Zhang, HUANG Wei-hua, XIAO Deng-ming. Fault detection of power transformers using genetic programming method [C] // Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Shanghai: [s.n.], 2004: 26-29.
 [10] 朱红霞,申炯,王培红. 基于免疫遗传算法的模糊优化控制及其仿真[J]. 东南大学学报:自然科学版, 2005, 22(1): 64-68.
 ZHU Hong-xia, SHEN Jiong, WANG Pei-hong. Fuzzy optimization control based on immune genetic algorithm and its simulating study [J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2005, 22(1): 64-68.
 [11] BI T S, NI Y X, SHEN C M, et al. A novel ANN fault diagnosis system for power systems using dual GA loops in ANN training [C] // IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. Seattle, United States: IEEE, 2000: 425-430.
 [12] 邓宏贵, 罗安, 曹建基, 等. 基因多点交叉遗传算法在变压器故障诊断中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(24): 1-4.
 DENG Hong-gui, LUO An, CAO Jian-ji, et al. Application of multi-point criss-cross genetic algorithm in transformer fault diagnosis [J]. Power System Technology, 2004, 28(24): 1-4.
 [13] GRASSO F, MANETTI S, PICCIRILLI M C. An approach to analog fault diagnosis using genetic algorithms [C] // IEEE MELECON. Dubrovnik, Croatia: IEEE, 2004: 12-15.
 [14] 吴祥兴, 陈忠. 混沌学导论[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997.
 [15] 武晓今, 朱仲英. 基于模式记忆的免疫遗传算法[J]. 计算机仿真, 2005, 22(8): 98-100.
 WU Xiao-jin, ZHU Zhong-ying. Schema control for immune genetic algorithm [J]. Computer Simulation, 2005, 22(8): 98-100.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

孟祥萍(1961-), 女, 吉林长春人, 教授, 主要研究方向为多 Agent 系统、强化学习;
 潘莹(1979-), 女, 辽宁大石桥人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机应用及开发 (E-mail: PY_0613@sina.com.cn);
 耿卫星(1976-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统安全与稳定。

Chaos immune genetic algorithm in power system fault diagnosis

MENG Xiang-ping¹, PAN Ying², GENG Wei-xing², HUO Fei², GAO Yan¹

(1. Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China;

2. Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: Combining immune algorithm, chaos algorithm and genetic algorithm together, a chaos immune genetic algorithm is presented for power system fault diagnosis. Using the over-spread character and randomness of chaos, a cluster is initiated to accelerate the search, which is then recruited with new chaos sequence according to the concentration calculation and regulation of immune principle, enhancing the cluster diversity to avoid local convergence. Chaos is used again after crossover and mutation in local optimization round the optimal solution to improve its precision. It can find the faulty section fleetly from the misoperations of protection and breaker. Test results show that, the approach can find the optimal solution quickly, guaranteeing the real-time performance and accuracy of fault diagnosis.

This project is supported by the Natural Science Foundation of Jilin Province(20040539) and the Education Science Foundation of Jilin Province(2005-81).

Key words: fault diagnosis; chaos; genetic algorithm; immune algorithm