

基于遗传算法的电力系统分层信息故障诊断方法

许仪勋, 陆拯, 郭志忠

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 分层信息是指在不失信息的完整性和可靠性的基础上,把采集信息按目前电力系统通讯规约在时间优先级的规定划分为遥信变位,遥测,录波三层。在简要说明故障诊断的必要性后,说明了采用分层信息和遗传算法的优点,论述了基于GA的分层信息故障诊断方法的流程。通过模型系统的算例,表明所提出的方法十分有效。

关键词: 故障诊断; 分层信息; 遗传算法

中图分类号: TM71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)10-0015-04

1 引言

电力系统用户对电能可靠性的要求越来越高,然而电力系统由于运行、维护、绝缘老化等原因,发生故障是不可避免的。为了快速监测及消除故障,确保系统安全稳定运行,增强供电的可靠性和连续性,就需要一个优质的故障诊断系统。电力系统的故障诊断问题就是尽可能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。由于这一过程很难用传统的数学方法描述,而人工智能技术则由于其善于模拟人类处理问题的过程,容易计及人的经验以及具有一定的学习能力等特点在这一领域得到了广泛的应用。目前,国内外对电力系统的故障诊断已在理论和实践上作了不少工作,采用了如专家系统(expert system)^[1]、人工神经网络(artificial neural network)^[2]、模糊理论(fuzzy theory)^[3]、遗传算法(genetic algorithms)^[4-6]及Petri网络(Petri net)^[7]等方法,取得了不少进展。专家系统直观,解释能力强,但是难以获取完备的知识库,无学习能力,容错能力较差。人工神经网络具有学习能力,容错能力比较强,神经元之间的计算具有相对独立性,便于并行处理,但是,它的学习算法收敛的速度一般比较慢。学习完成之后,如果系统结构发生变化,则需要增加新的样本重新学习。另外,ANN学习完成之后具有较好的内插结果,但外推时则可能误差较大。一般的模糊系统采用了与专家系统类似的结构,所以它也具有专家系统的一些固有的优缺点,但增加了容错能力。遗传算法从优化的角度出发基本上可以解决故障诊断问题,尤其是在复故障或存在保护、断路器误动作的情况下,能够给出全局最优或局部最优的多个可能的诊断结果,但是速度较慢,完善的故障诊断数学模

型难建。近两年来,从分析、模拟保护系统动作逻辑入手,用Petri网络解决故障诊断问题也是一种趋势。

本文从提高实时性和灵活利用信息的角度提出了一种分层信息故障诊断方法。在不失信息的完整性和可靠性的基础上,把采集信息按目前电力系统通讯规约在时间优先级的规定划分为三层,即第一层的断路器和保护等遥信,第二层的电压、电流、功率等遥测信息,第三层的录波信息。利用第一层的信息可以进行基本的故障诊断,此时对停电区域的划定只利用遥信;利用第一层和第二层的信息可以进行更可靠的故障诊断,此时可以利用遥测和网络参数进行断路器状态辨识,更可靠的确定停电区域;利用全部三层的信息可以进行最可靠的故障诊断,此时一般可以确定保护是否应该动作及断路器的实际状态,程序可以根据具体情况灵活选择故障诊断的方式,用户也可以自由选择,这样将使软件有更好的适应性。相比而言,遗传算法是全局收敛的且搜索效率远远高于一般随机算法,在解决多变量、非线性、不连续的问题时显示出其独特的优势。虽然遗传算法一般迭代次数大,但通过对停电区域的划分,初始个体按相关的保护断路器信息形成,自适应技术的应用^[8],有效地减小了搜索空间的规模,提高了搜索效率,同时又不失该算法的全局性,能较好地得到结果。

2 基本过程

把电力系统看成由保护,断路器,元件构成,其中元件包括母线,线路,变压器,发电机,电容器,电抗器及负荷等,根据系统的拓扑结构形成保护,断路器,元件的相互关系。再根据断路器,元件的连接关系把系统分成一个个连通图,根据连通图里是否含

有源元件,把连通图分成有源连通图和无源连通图(停电区域)。对停电区域用遗传算法进行分析(故障元件总是在停电区域内),得出结果。根据实际运行情况,形成四种运行方式,即利用第一层遥信信息的第一种方式,利用第一层遥信信息和第二层遥测信息的第二种方式,利用全部三层信息的第三种方式,和根据信息的接收情况,尽可能多利用信息的第四种方式。

2.1 数学模型

本文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0-1 整数规划问题,采用如下的适应度目标函数:

$$f(s) = w - \sum_{k=1}^{n_r} |r_k - r_k^*(s)| - \sum_{j=1}^{n_c} |c_j - c_j^*(s, r)| - \sum_{l=1}^{n_{rc}} r_l^*$$

其中: n_r 为保护总数目, n_c 为断路器总数目, n_{rc} 为重合闸保护数目, 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 个元素的状态。 $s = 0$ 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 个保护处于未动或动作状态。 $r_k^*(s)$ 为一个 n_r 维向量,表示 n_r 个保护的期望状态, $r_k^*(s)$ 中第 k 个元素 r 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。 $c_j^*(s, r)$ 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 $c_j^*(s, r) = 1$ 。 $c_j^*(s, r)$ 状态由 s 和 r 状态决定。

r_{c1}^* 为一个 n_{rc} 维向量,表示重合闸动作对适应度的影响。 w 为任意给定最大正数,用于确保 $f(s)$ 恒正。

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 * (1 - 主保护),第二后备保护 = (关联元件 1 的状态值 & 关联路径 1 上断路器 1 状态值 & 关联路径 1 上断路器 2 状态值 & ...) | (关联元件 2 的状态值 & 关联路径 2 上断路器 1 状态值 & 关联路径 2 上断路器 2 状态值 & ...) | ...

断路器期望状态 $c_j^*(s, r)$ 的确定: $c_j^*(s, r) = 1 - \text{MAX} < \text{关联保护期望状态} * \text{其实际状态} >$

重合闸影响 r_{c1}^* 的确定: $r_{c1}^* = \text{重合闸状态} * (1 - \text{元件状态} \wedge \text{断路器状态})$

本文在参考文献^[4]的基础上,增加了重合闸影响 r_{c1}^* ,其原因是一般线路保护带重合闸,而重合成功时,认为线路未故障。

2.2 具体步骤

第一步:建立 ACCESS 关系型数据库结构,并输入数据表。数据表包括基本表和关系表,其中基本表包括保护表、断路器表、元件表;关系表包括断路器元件关系表,保护元件关系表,保护跳闸断路器关系表,元件关联路径表,SBPR(第二后备保护)元件关系表,保护元件关联断路器关系表。利用关系表在程序中建立起各保护保护的元件,各保护跳闸的断路器,各第二后备保护到对应的保护元件的连接路径,各元件连接的断路器,各元件的保护,各断路器连接的元件,使断路器跳闸的保护等对应关系。程序采用面向对象的多态和继承的技术,查询简单、方便。

第二步:接收数据及予处理。

把实时遥信信息加入各断路器、保护对象。如有遥信变位,则置遥信变位标记,同时启动遥信、遥测延时计数。如果遥信、遥测延时计数到,则置遥测已收到标记。如果是第二种或第四种方式则利用遥测数据和网络参数对断路器状态进行辨识,并置相应标记。如果收到录波数据且是第三种或第四种方式,则对录波数据进行处理,判定保护、断路器的状态,并置相应标记。如果有遥信变位则进入下一步,否则继续接收数据。

第三步:采用遍历所有断路器的方法形成连通图。当断路器合时:当与其连接元件属于同一个连通图则把断路器加入此连通图,当与其连接元件属于两个连通图时合并两连通图并把断路器加入此连通图,当与其连接元件只有一个属于已有连通图时把断路器加入此连通图并把另一元件加入此连通图,当与其连接元件都不属于已有连通图时形成一个包含此断路器和两端元件的连通图;当断路器分时:当与其连接元件不属于已有连通图时,形成一个包含此元件的连通图。停电区域的确定:当连通图无有源元件时为无源连通图,即停电区域;当连通图内含源元件时,分两种情况进行处理:

当不考虑遥测时:如果连通图内元件个数小于 K 时,认为此连通图无源,需要进行下一步处理;否则认为此连通图有源,不必要时用遗传算法计算。其中 K 根据保护范围达到有源元件的保护形成的停

电区域所包含的元件数目和运行经验来确定。

当考虑遥测时:根据有源元件是否有电压、电流或是是否送出有功功率来判定其是否处于运行态。如果连通图没有这种正在运行的有源元件,则认为此连通图无源,需要进行下一步处理,否则认为此连通图有源,不必要时用遗传算法计算。

第四步:根据不同的运行模式选取不同的适应度函数,采用带最优个体保留的遗传算法进行计算。适应度函数的形成参考文献^[5]有比较详细的说明,利用第一步形成的保护、元件、断路器间的相互关系和2.1提到的保护期望状态、断路器期望状态、重合闸影响项的确定方法来形成。遗传算法的基本过程是自然选择,交叉,变异,形成下一代群体,收敛检查。本文采用了2进制编码方式,即一个数据位表示一个元件的故障与否。群体大小为40。自然选择是指从群体中选择优良个体并淘汰劣质个体的操作,本文采用了竞争法。交叉采用了按一定概率P进行一点交叉的方式,即在个体串中随机地选定一个交叉点,两个个体在该点前或后进行部分互换,以产生新的个体。举例如图1:变异就是以很小的概

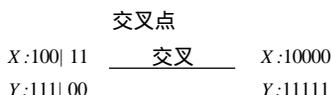


图1 一点交叉示意图

率 P_m 随机地改变群体中个体的某些基因值。变异操作的基本过程:对于交叉操作中产生的后代个体的每一基因值,产生一个[0,1]之间的随机数 $rand$, 如果 $rand < P_m$, 就进行变异操作。在二进制编码方式中,变异算子随机地将某个基因值取反,即“0”变成“1”,或“1”变成“0”。变异本身是一种局部随机搜索,与选择、交叉算子结合在一起,就能避免由于选择和交叉算子而引起的某些信息的永久性丢失,保证了遗传算法的有效性,使GA具有局部的随机搜索能力;同时使得遗传算法保持群体的多样性,变异操作也是一种防止算法早熟的措施。在传统遗传算法的基础上,作了如下改进。在形成初始个体(赋初值)方面:形成如元件相关保护故障则元件故障的个体,形成有一个元件故障的个体,形成无元件故障的个体。在遗传算子方面:对交叉率 P_c 、变异率 P_m 采用了参考文献^[8]所提的自适应处理方法,对适应度大的个体按线性降低其交叉率 P_c 和变异率 P_m ,对适应度小的个体按线性提高其交叉率 P_c 和变异率 P_m 。收敛检查本文采用了三种方式:达到最大迭代

次数(本文采用了400),连续一定次数适应度没有改进(本文采用了100),或适应度已达最大值 10^6 。

2.3 遥测信息的利用

遥测信息用来进一步确定断路器状态,使结果更准确。由于有些断路器状态的状态对结果影响很大。例如,有些断路器的状态影响停电区域的划分,有些断路器的状态影响第二后备保护期望状态的判断。在求个体适应度时,把断路器的影响加权,适应度改成如下函数:

$$f(s) = w - \sum_{k=1}^{n_c} |r_k - r_k^*(s)| - \sum_{j=1}^{n_c} 2 * |c_j - c_j^*(s, r)| - \sum_{l=1}^{n_{rc}} r_l^*$$

2.4 录波信息的利用

接收到录波信息后,利用富氏算法求得电压、电流,并求得其正序、负序、零序分量,对线路还应计算出阻抗与距离,对发电机、变压器还应计算谐波分量。根据保护的整定值,推导出保护是否应该动作,求个体适应度时,把此保护状态当作保护实际状态,但是在解释时把由遥信获得的状态当作实际状态。在计算适应度时,适应度函数还原。

3 算例

从参考文献^[6]的实际系统截取图2所示区域进行模拟实验,考虑各种元件的各种保护动作情况,其中包括有误差遥信和保护动作信息不全的情况。下面是其中的几组数据。

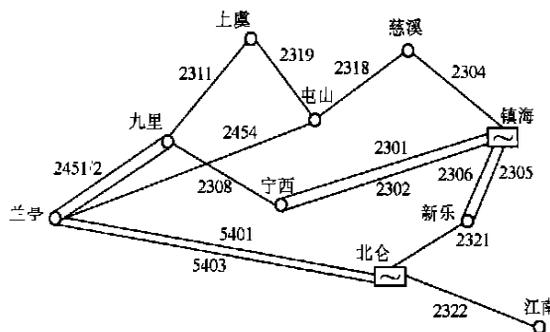


图2 拓扑图

算例1 线路2301故障,线路2301宁西侧、镇海侧距离 段保护动作,其两侧断路器跳闸。

模拟在线信息:线路2301宁西侧距离 段保护动作,线路2301镇海侧距离 段保护动作,线路2301宁西侧断路器跳闸,线路2301镇海侧断路器跳闸。

诊断结果如下:线路2301故障,线路2301宁西侧、镇海侧主保护正确动作。

算例2 无故障

模拟在线信息:线路 2301 宁西侧距离 段保护动作,线路 2301 宁西侧断路器跳闸,镇海母线电压正常。

诊断结果如下:无停电区域,无故障,线路 2301 宁西侧主保护误动作。

算例 3 镇海母线故障,母差保护动作,跳开线路 2302、2303、2305、2306 镇海侧断路器和主变高压侧断路器,线路 2301 宁西侧距离 段保护动作跳开线路 2301 宁西侧断路器。

模拟在线信息:镇海母线母差保护动作,线路 2302、2303、2305、2306 镇海侧断路器跳闸,主变高压侧断路器跳闸,线路 2301 宁西侧距离 段保护动作,2301 宁西侧断路器跳闸,录波信息显示镇海母线母差应该动作。

诊断结果如下:镇海母线故障,镇海母线主保护正确动作,线路 2302 宁西侧第二后备保护正确动作,线路 2301 镇海侧断路器拒跳,线路 2301 宁西侧第二后备保护正确动作。

4 结语

本文根据电力系统目前的实际运行情况和以后的发展,提出了一种合理利用采集信息,采用遗传算法进行分层信息故障诊断的方法,通过对一个实际电网的仿真实验,结果表明本方法快速有效。这种符合电力系统运行惯例的故障诊断方法应该很有发展前景。

参考文献:

[1] Ernesto Vazquez M, Oscar L, Chacon M, et al. An OnLine

Expert System for Fault Section Diagnosis in Power Systems. IEEE Transactions on Power Systems, 1997, 12(1): 357 ~ 362.

- [2] Vazquez E, Altuve H J, Chacon O L. Neural Network Approach to Fault Detection in Electric Power Systems. In: IEEE International Conference on Neural Networks. Mexico: 1996.
- [3] Chang C S, Chen J M, Srinivasan D, et al. Fuzzy Logic Approach in Power System Fault Section Identification. IEE Proceedings—Generation, Transmission and Distribution, 1997, 144(5): 406 ~ 414.
- [4] 文福拴, 韩祯祥, 等. 基于遗传算法的电力系统故障诊断的解析模型与方法(一). 电力系统及其自动化学报, 1998, 10(9), 1 ~ 7.
- [5] 文福拴, 韩祯祥, 等. 基于遗传算法的电力系统故障诊断的解析模型与方法(二). 电力系统及其自动化学报, 1998, 10(9), 8 ~ 13.
- [6] 文福拴, 韩祯祥, 等. 基于遗传算法的电力系统故障诊断的解析模型与方法(三). 电力系统及其自动化学报, 1999, 11(3), 8 ~ 13.
- [7] Lo K L, Ng H S, Trecat J. Power Systems Fault Diagnosis Using Petri Nets. IEE Proceedings—Generations, Transmissions and Distributions, 1997, 144(3): 231 ~ 236.
- [8] 段玉倩, 贺家李. 遗传算法及其改进. 电力系统及其自动化学报, 1998, 10(3), 39 ~ 52.

收稿日期: 2000-05-09

作者简介: 许仪勋(1969 -), 男, 在读硕士, 主要研究方向为电力系统综合自动化; 郭志忠(1961 -), 男, 教授, 博导, 从事电力系统分析与控制、计算机在电力系统中的应用及电力系统光学测量技术等方向的研究。

Layered information fault diagnosis based on genetic algorithm

XU Yi-xun, LU Zheng, GUO Zhi-zhong

(Harbin Institute of Technology, Heilongjiang 150001, China)

Abstract: Layered information is defined that collected information is divided into three layers according to the rules presented by remote protocol of power system information transmission. They are remote status information, remote measure information and wave record. After briefly analyzing the necessity of fault diagnosis, this paper accounts for the advantage of using layered information and genetic algorithm, then, the process of the layered information fault diagnosis based on genetic algorithm is described. Through the examples of a model system, the efficacy of the proposed algorithm is demonstrated.

Keywords: fault diagnosis; layered information; genetic algorithm

《继电器》杂志社全体同仁向广大读者朋友问好!