

基于遗传算法的电力系统故障诊断^{* 1}

周 昕,殷芸辉

(东南大学 电气工程系,江苏 南京 210096)

摘 要:采用遗传算法的电力系统故障诊断,其基本思想是将电网故障诊断描述为优化问题,建立诊断的解析模型,最终都归结为无约束0-1整规划问题,并采用遗传算法进行求解数学模型得到故障设备。诊断电力系统故障元件就是要找出最能解释警报信号的故障假说。对以前的目标函数进行了改进,此外简单介绍了采用遗传算法进行故障诊断的步骤。

关键词:电力系统、故障诊断、遗传算法

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2005)04-0018-04

现在的电力系统一般都配备 SCADA 系统,故障时将报警信息提供给调度员,供调度员判断和事故处理做参考。利用人工智能的方法自动处理大量的报警信息,诊断故障元件,对调度员迅速处理故障,保证电网安全稳定运行具有重要意义。

目前,电力系统故障诊断的主要方法有:逻辑处理方法、专家系统法、人工神经网络与专家系统相结合的方法和基于优化技术的方法^[1-2]。对于基于优化技术的方法的研究,其基本思想是将故障信息系统和 SCADA 系统进行连接,在收集故障录波信息(包括电压电流信息、高频保护收发信信息)、继电保护装置的动作信息(保护配置信息、动作信息、跳闸信息、重合闸信息)、断路器动作信息(断开、闭合)、刀闸位置信息的基础上,基于推理或遗传算法诊断出故障设备^[3]。在诊断出故障设备后,对保护和断路器的动作进行评价(正确动作、误动、拒动)。将故障诊断转化为0-1整数规则问题,目标函数为断路器和继电保护动作情况与假说故障的适配指标,求解采用遗传算法进行求解,结合停电区域快速求解。

1 基于遗传算法的故障诊断

1.1 数学模型

诊断电力系统故障元件就是要找出最能解释

警报信号(保护动作信息、故障录波信息、开关与刀闸变位信息)的故障假说,可表示为使下述目标函数(误差函数)最小的问题:

$$E(S) = \sum_{k=1}^{n_r} |r_k - r_k^*(S)| + \sum_{j=1}^{n_c} |c_j - c_j^*(R)| + \sum_{k=1}^{n_r} |d_{rk} - d_{rk}^*(S)| + \sum_{k=1}^{n_r} |f_{daK} - f_{daK}^*(S)| + \sum_{k=1}^{n_r} |f_{drK} - f_{drK}^*(S)| \quad (1)$$

式中:

n_r :故障区域内保护总数目;

n_c :故障区域内断路器总数目;

S :一个 n 维向量,表示系统中元件的状态(n 为故障区域中元件的数目)。 S 中的第 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 :一个 n_r 维向量,表示 n_r 个保护的的实际的状态。 $r_k = 0$ 或 1 分别表示第 k 个保护的未动作或动作状态;

$r^*(s)$:一个 n_r 维向量,表示 n_r 个保护的期望的状态。 $r^*(s)$ 中的第 k 个元素, $r^*(s)$ 表示第 k 个保护的期望的状态。如果第 k 个保护应该动作, $r^*(s) = 1$, 否则 $r^*(s) = 0$ 。 $r^*(s)$ 由 S 的状态决定;

C :一个 n_c 维向量,表示 n_c 个断路器的实际状态。 c 中第 j 个元素 c_j 表示第 j 个断路器的实际状态, $c_j = 0$ 或 1 分别表示第 j 个断路器的未跳

* 收稿日期 2005-09-02

作者简介:周昕(1981-),男,江苏盐城人,东南大学硕士研究生,主要研究方向为电力系统故障诊断。

闸或跳闸状态;

$c^*(R)$: 一个 n_c 维向量, 表示 n_c 个断路器的期望的状态。 $c^*(R)$ 中的第 j 个元素 $c^*(R)$ 表示第 j 个断路器的期望的状态。如果第 j 个断路器应该跳闸, $c^*(R) = 1$, 否则 $c^*(R) = 0$ 。

相对于以前的目标函数, 增加了方向元件和高频元件, 这些元件的状态都是由故障录波文件决定。

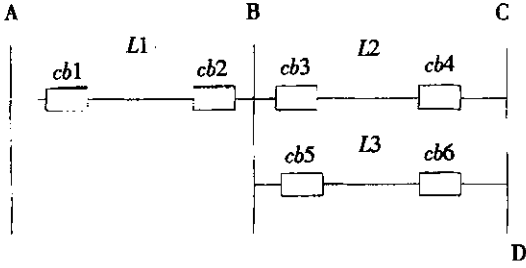


图1 简单例子

Fig. 1 Diagram of equipment-linking

1.2 故障期望状态的确定

利用图1所示系统共有7个设备, 依次为A、B、C、L1、L2和L3(依次用 $s_1 - s_7$ 表示) 3个断路器 $cb_1 - cb_6$ (依次用 $c_1 - c_6$ 表示) 22个保护即 $A_m, B_m, C_m, D_m, L_{1Am}, L_{1Bm}, L_{2Bm}, L_{2Cm}, L_{3Bm}, L_{3Cm}, L_{1Af}, L_{1Bf}, L_{2Bf}, L_{2Cf}, L_{3Bf}, L_{3Cf}, L_{1As}, L_{1Bs}, L_{2Bs}, L_{2Cs}, L_{3Bs}, L_{3Cs}$ (依次用 $r_1 - r_{22}$ 表示)。这里A、B、C表示母线, L表示线路, m表示主保护, f表示第一后备保护, s表示第二后备保护。

根据主保护动作原理, 期望状态可如下确定。如根据的原理, 当母线发生故障时, 应动作:

$$r_1^*(s) = s_1 \quad (2)$$

类似的可以得到

$$r_2^*(s) = s_2 \quad (3)$$

$$r_3^*(s) = s_3 \quad (4)$$

$$r_4^*(s) = s_4 \quad (5)$$

$$r_5^*(s) = s_5 \quad (6)$$

$$r_6^*(s) = s_5 \quad (7)$$

$$r_7^*(s) = s_6 \quad (8)$$

$$r_8^*(s) = s_6 \quad (9)$$

$$r_9^*(s) = s_7 \quad (10)$$

$$r_{11}^*(s) = s_7 \quad (11)$$

确定后备保护动作状态比确定主保护要复杂些。例如根据 r_{11} 的动作原理, 当 L_1 (即 s_5) 发生故障, L_{1Am} (即 r_5) 未动作时, L_{1Af} (即 r_{11}) 应该动作。

$$\text{万方数据} \quad r_{11}^*(s) = s_5 \times (1 - r_5) \quad (12)$$

同理:

$$r_{12}^* = s_5 \times (1 - r_6) \quad (13)$$

$$r_{13}^* = s_6 \times (1 - r_7) \quad (14)$$

$$r_{14}^* = s_6 \times (1 - r_8) \quad (15)$$

$$r_{15}^* = s_7 \times (1 - r_9) \quad (16)$$

$$r_{16}^* = s_7 \times (1 - r_{10}) \quad (17)$$

$$r_{17}^* = 1 - [1 - s_2 \times (1 - c_2)] [1 - s_6 \times (1 - c_2) (1 - c_3)] [1 - s_7 \times (1 - c_2) (1 - c_5)] \quad (18)$$

$$r_{18}^* = s_1 \times (1 - c_1) \quad (19)$$

$$r_{19}^* = s_3 \times (1 - c_4) \quad (20)$$

$$r_{20}^* = 1 - [1 - s_2 \times (1 - c_3)] [1 - s_5 \times (1 - c_2) (1 - c_3)] [1 - s_7 \times (1 - c_3) (1 - c_5)] \quad (21)$$

$$r_{21}^* = s_4 \times (1 - c_6) \quad (22)$$

$$r_{22}^* = 1 - [1 - s_2 \times (1 - c_5)] [1 - s_5 \times (1 - c_2) (1 - c_5)] [1 - s_6 \times (1 - c_5) (1 - c_3)] \quad (23)$$

断路器的期望状态与保护的实际情况有关, 只有继电保护动作了, 断路器才应当动作。因此断路器的期望状态由该处元件的保护和母线保护的動作状态决定, 即 $c_j^*(R) = \sum_{i=1}^{n_r} r_{ij}$ 。在上图中, 断路器 c_1 的期望状态就是线路 L_1 的所有主保护和后备保护的實際動作状态再加上母线 A 的母线保护的實際動作状态。

方向元件的期望状态建立比较简单, 即某设备故障时, 如该设备处于方向元件正方向, 则方向元件应当动作。如图1, 线路 L_1 故障, 则 C_1 处方向元件的期望状态为1, C_2 处方向元件期望状态为1。其自动计算是通过搜索网络拓扑完成

允许式高频的期望状态与主保护的期望状态相同, 闭锁式高频的期望状态也与主保护的期望状态相同。

1.3 目标函数的选择确定

由于遗传算法只能对正的最大值进行优化, 因此将上述求最小值优化问题转化为求下述最大值问题:

$$E(S) = W - \sum_{k=1}^{n_r} |r_k - r_k^*(S)| + \sum_{j=1}^{n_c} |c_j - c_j^*(R)| + \sum_{k=1}^{n_r} |d_{rk} - d_{rk}^*(S)| + \sum_{k=1}^{n_r} |f_{daK} - f_{daK}^*(S)| + \sum_{k=1}^{n_r} |f_{drK} - f_{drK}^*(S)| \quad (24)$$

W 为任意一个很大的正数, 用于确保 $E(S)$ 恒为正, 这里可取 10^6 。

由于不同的保护动作对于判断故障设备所起的作用是不同的, 对不同的继电保护动作和断路器动作赋予相同的权值, 尤其在出现断路器和继

电保护误动的情况下,可能会得到多个合理解,从而不利于调度人员快速准确的判断故障设备。为此,应为不同的保护加上适当的权值^[4]。

1.4 遗传算法的基本过程

其基本过程^[5]包括编码、初始群体的生成、自然选择、交叉、变异、形成下一代群体、收敛检查。本文在分析中采用 2 进制编码方式,即一个数据位表示一个元件的故障与否。在开始进行遗传算法迭代时必须为遗传操作准备一个由若干解组成的初始群体。初始群体将作为进化的初始代或第一代。初始群体可通过随机方法产生也可以用其他方法如根据经验确定,本文采用启发式方法,即在形成初始种子时,将主保护动作的设备在编码中对应的位置 1。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。个体适应度越高被选择的机会就越多。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 2 所示:

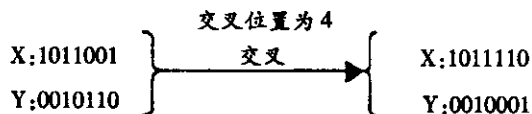


图 2 一点交叉示意图

Fig. 2 Diagram of equipment-linking

变异就是以很小的概率 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,使遗传算法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。对于收敛检查,本文采用了三种方法:达到最大迭代次数;连续一定次数适应度没有改进;或适应度已达最大值。

1.5 算法流程

根据上述介绍,形成遗传算法流程图(图 3)。

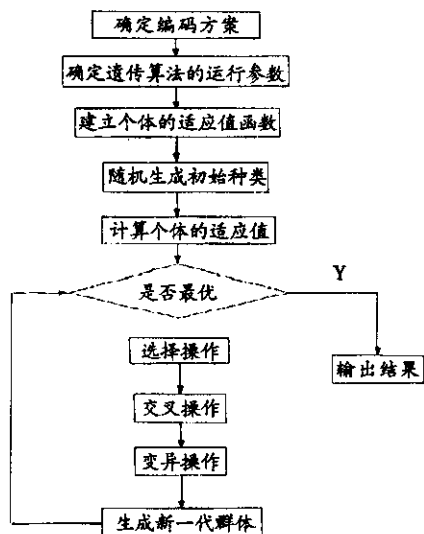


图 3 遗传算法流程

Fig. 3 Diagram of equipment-linking

2 算例

测试的实例来自现场 2004 年的实际电网故障数据,由于实际的故障都已经找到故障原因与故障地点,因此测试的结果可以进行直观的比对。

故障简述 2004 年 7 月 30 日 220kV 镇上线 2929 遭到雷击先 C 相瞬时接地,上党变 C 相断路器拒动,600ms 又发生 A 相瞬时接地。

在图中动作的保护有:30ms 左右,上党变 2929 线路的保护 LFP-901A 纵联变化量方向、纵联零序方向、快速距离、距离 I 段、重合闸与 PSL-602 纵联距离零序、重合闸动作,镇江电厂 2929 线路的保护 LFP-901A 纵联变化量方向、纵联零序方向、快速距离、重合闸与 PSL-602 纵联距离零序、重合闸动作。300ms 后,上党变 2929 线路的保护 LFP901A 后加速保护、与 PSL-602 纵联距离零序及 LFP-923A 的失灵保护动作,镇江电厂 2929 线路的保护 LFP901A 纵联变化量方向与 PSL-602 纵联距离零序动作,上党变 2933 线路的保护 WXB-11C 纵联距离保护动作,五州变 2 933 线路的保护 WXB-11C 的纵联距离保护动作。

在图中动作的录波器有:上党变、镇江电厂、五州变。

在图中动作的开关有:上党变 III 段母线上所有的开关,线路 2929 镇江电厂侧开关,线路 2933 五州变侧的开关。

诊断过程:首先形成的停电区域为线路 2929、2933 及上党变 III 母,所有动作的保护均为主保护,可以计算出保护的期望值;通过对录波文

