

离散二进制粒子群算法在基于模型配电网故障诊断中的应用

关 龙^{1,2}, 刘志刚¹, 何士玉¹, 杨红梅¹

(1. 西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031; 2. 中国能源建设集团安徽省电力设计院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 提出一种基于模型的配电网故障诊断方案, 该方案首先根据配电网原理模型的仿真数据和实际观测值存在的差异得到极小冲突集, 然后由离散二进制粒子群优化算法推出可能的故障元件和故障形式, 最后由贝叶斯方法确定概率最高的诊断结论。通过实际建模、编程和实验证明了该方案的可靠性和有效性。仿真结果表明, 与 HS-Tree、Boolean Algebra 方法、遗传算法等算法相比, 离散二进制粒子群算法搜索效率更高, 可节约 $1/3 \sim 1/2$ 的搜索时间, 并且可以避免当问题规模较大时出现内存溢出问题。

关键词: 配电; 模型; 离散二进制粒子群算法; 最小冲突集; 故障诊断

中图分类号: TM 711

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.09.016

0 引言

基于模型诊断 MBD (Model-Based Diagnosis) 是为了克服传统专家系统诊断方法的不足而提出的一种推理方法, 它对人工智能领域的研究具有重大意义^[1-3]。MBD 把诊断推理过程与系统模型分开, 具有很好的移植性, 已经广泛应用于工程、航天、电路诊断等领域^[4-6]。

MBD 方法一般先根据系统的描述和观测, 得到极小冲突集, 然后通过计算最小冲突集 MCS (Minimal Conflict Set) 的最小碰集, 得到系统的极小诊断。许多学者对计算最小碰集算法进行了深入研究, 文献[7-9]中提出的 HS-Tree、HST-Tree、BHS-Tree 等树形搜索算法, 需要建立树或者图, 而且可能因为剪枝问题而丢失正确解, 算法实现比较繁琐并且计算效率较低。文献[10-11]中提出的布尔代数、逻辑数组方法则需先存储所有碰集, 通过化简才能得到所有的最小碰集集合。文献[12]中提出的遗传算法(GA)只能快速计算出 95% 的最小碰集, 并不能保证所有输出结果都为最小碰集。

离散二进制粒子群优化(BPSO)算法由 Kennedy 和 Eberhart 在 1997 年首次提出^[13]。BPSO 算法本质上是属于迭代的随机搜索算法, 具有并行处理特征, 鲁棒性好, 易于实现, 原理上可以以较大的概率找到优化问题的全局最优解, 并且具有较快的收敛速度

和较高的计算效率, 在许多领域得到广泛应用。基于此, 本文在基于模型的配电网诊断实例中, 将计算最小碰集问题转化为 0、1 表示的二值空间问题, 并且引入离散 BPSO 算法用于求解冲突集的最小碰集, 取得了很好的效果。

1 MBD 的基本概念

MBD 的目的是辨识出故障部件, 所以模型必须清楚地表示设备的部件和行为模式。1987 年 Reiter 首次将 MBD 原理用一阶逻辑表示出来^[14,15]。在诊断的逻辑表示中, 系统可以用一个三元组 (SD, OBS, COMP) 来表示, 其中 SD 为系统的模型描述一阶语句, OBS 为系统的观测值一阶语句, COMP 为组成系统的元件集合。MBD 领域中的常用基本概念介绍如下。

冲突集: 元件集 C 是系统 (SD, OBS, COMP) 的一个冲突集 (C_{SC}), C 必须满足 2 个条件:

a. $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \subseteq \text{COMP}$;

b. $\text{SD} \cup \text{OBS} \cup \{\neg \text{AB}(c_1), \dots, \neg \text{AB}(c_n)\}$ 不一致。

如果 C 的任一真子集都不是冲突集, 则称 C 是最小冲突集。

在冲突集中至少有一个元件存在故障, 这样才能解释系统模型预期和实际观测差异存在的原因。

碰集: 设 C_s 是一个冲突集簇 (即由集合组成的集合), H 是 C_s 的一个碰集, H 必须满足 2 个条件: $H \subseteq \bigcup_{S \in C_s} S$; $\forall S \in C_s, H \cap S \neq \emptyset$ 。如果 H 的任一真子集都不是碰集, 则称 H 是最小碰集。

定理 1 Δ 是 (SD, OBS, COMP) 的一个极小诊断, 当且仅当 Δ 是 (SD, OBS, COMP) 的最小冲突集的最小碰集。

由定理 1 可知, 如果知道了系统所有的最小冲突集, 可以通过计算最小冲突集的最小碰集, 得到极小诊断结果。

收稿日期: 2012-12-22; 修回日期: 2013-07-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51007074); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NECT-08-0825); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (SWJTU11CX14, SWJTU09-ZT10)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (51007074), Program for New Century Excellent Talents in University of Ministry of Education of China (NECT-08-0825) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (SWJTU11CX14, SWJTU09ZT10)

2 基于 BPSO 算法的最小碰集搜索算法

2.1 标准 BPSO 算法

为解决离散或二进制变量的优化问题,文献[16]提出了 BPSO 算法。该算法用二进制编码方式来表示空间中的某一维是否被选择,粒子位置 x_{id} 每一维被限制为 1 或者 0,用速度 v_{id} 表示位置状态改变的可能性,速度代表粒子位置接近于 1 的概率, v_{id} 越大, x_{id} 为 1 的概率越大,它被限制在 $[0,1]$ 之间,由 $\text{sig}()$ 函数实现,其速度和位置更新公式如下:

$$v_{id}^{t+1} = wv_{id}^t + c_1r_1'(P_{bestid}^t - x_{id}^t) + c_2r_2'(G_{bestid}^t - x_{id}^t) \quad (1)$$

$$x_{id}^t = \begin{cases} 0 & \text{rand} \geq \text{sig}(x_{id}^{t+1}) \\ 1 & \text{rand} < \text{sig}(x_{id}^{t+1}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{sig}(x_{id}^{t+1}) = 1 / [1 + \exp(-v_{id}^t)]$$

其中, v_{id}^t 和 x_{id}^t 分别为粒子 i 在第 t 次迭代中第 d 维的速度和位置; w 为惯性权重; c_1 和 c_2 为学习因子; r_1' 和 r_2' 为介于 $[0,1]$ 之间的随机数; P_{bestid}^t 为粒子 i 在第 t 次迭代中第 d 维的个体极值点的位置; G_{bestid}^t 为整个种群在第 t 次迭代中第 d 维的全局极值点的位置; rand 为 $[0,1]$ 之间的随机数。

2.2 基于 BPSO 算法的最小碰集算法原理

冲突集是由若干系统元件组成,在这些元件中至少有一个元件是故障元件,这样才能解释系统模型预期和实际观测差异存在的原因。将每个冲突集 C_{sc} 映射成 0、1 表示的 N 维二值集合,其中 N 代表全部冲突集中系统元件的规模(问题规模)。每一系统元件存在 0、1 这 2 种状态,0 表示正常状态,1 表示故障状态。初始化粒子 X 为 $P \times N$ 维的随机二值矩阵, P 表示粒子群的种群规模。每次迭代过程中,通过适应度函数评价各粒子位置优劣,更新粒子的当前最优位置和全体粒子的最优位置,进而更新粒子的速度和位置,直到满足迭代次数为止。最终得出的粒子群的全局最优位置就是所求所有冲突集的最小碰集。

2.3 构造适应度函数

适应度是评价粒子优劣的唯一指标,因此构造合适的适应度函数就尤为重要。适应度函数不仅要能够准确评价一个粒子是否为最小碰集,而且还要尽可能提高粒子群算法的搜索效率。为此,本文定义的粒子适应度函数如下:

$$f = \frac{h_{\min} + h}{2P} \quad (3)$$

其中, P 为粒子群的种群规模, $h_{\min}$ 为粒子 X 和冲突集簇 C_s 中每个冲突集都有交集的二值集合个数, h 为粒子 X 中包含的不同二值集合的数目。

由于本文的算法是为了找出所有的最小碰集,所以粒子的适应度值越大越好。又因为 $h_{\min}$ 和 h 最大值只可能为 P ,所以适应度函数最大值为 1。在得到最优适应度函数对应的二值矩阵后,矩阵中每一行

对应的二值集合即为一个最小碰集集合。

2.4 提高算法性能的改进措施

a. 线性递减惯性权重策略。

Y. Shi 和 R. C. Eberhart 建议在粒子群算法中采用线性递减权重策略^[17-18],如式(4)所示,该策略使得粒子群算法在开始时探索较大的区域,快速定位最优解的大致位置,随着 w_t 逐渐减小,粒子速度减慢,着重局部搜索。本文采用的办法是将 w_t 初始化为 0.9,并随迭代次数的增加递减至 0.4,以达到较好的全局和局部搜索能力,并在诊断实例中与 w_t 取常值时的算法性能进行比较。

$$w_t = \frac{(w_{\text{int}} - w_{\text{end}})(T_{\text{max}} - t)}{T_{\text{max}}} + w_{\text{end}} \quad (4)$$

其中, w_{int} 、 w_{end} 、 T_{max} 分别为初始权重系数、最终权重系数、最大迭代次数。

b. 最小碰集保证策略。

为了加速离散 BPSO 算法的搜索效率并且保证最终输出结果全为最小碰集,提出最小碰集保证策略,其主要过程如下。

步骤 1 迭代过程中,以二值矩阵每一行对应的二值集合为操作对象,通过适应度函数判断其是否为碰集,若是则转步骤 2,否则,转步骤 3。二值矩阵中全部二值矩阵遍历结束,算法结束,保存遍历结果,继续进行下一次迭代。

步骤 2 扫描当前二值集合,当对应维数为 1 时,将其置为 0,再利用适应度函数对其进行适应度评估,若还是碰集则保留变化,否则恢复原先数值,若当前二值集合扫描完成,操作结束,转步骤 1。

步骤 3 扫描当前二值集合,当对应维数为 0 时,将其置为 1,对其进行适应度评估,若适应度函数值增加则保留变化,否则恢复原先数值,若当前二值集合扫描完成或者当前二值集合已为碰集集合,则操作结束,转步骤 1。

通过最小碰集保证策略,二值矩阵每一行对应的二值集合全为最小碰集,它满足最小碰集基本条件,本身为碰集集合,并且它的所有子集都不是碰集集合。通过诊断实例验证表明改进算法在收敛速度和全局搜索性能等方面均有很大优势,并且保证最终输出结果全为最小碰集。

2.5 算法流程

a. 初始化粒子群:初始化粒子 X 为 $P \times N$ 维的随机二值矩阵。对粒子群规模 P 、惯性权重 w 、学习因子 c_1 和 c_2 、迭代次数等参数进行初始化设置。定义全局变量 x_{hit} 来存储所有最小碰集。

b. 计算每个粒子的适应值,选取粒子个体极值 P_{bestid} 和粒子群的全局极值 G_{bestid} 。

c. 按照速度-位置模型式(1)、(2)更新粒子群的速度和位置,并根据适应度值更新粒子个体极值和

粒子群的全局极值 G_{bestid} ,采用最小碰集保证策略遍历当前二值矩阵,将粒子中是冲突集 C_{SC} 最小碰集的粒子添加到 x_{hit} 。

d. 若达到最大迭代次数,算法终止。输出集合 x_{hit} ,即为冲突集簇 C_s 的最小碰集。

3 诊断实例分析

3.1 基于模型的配电网诊断方案

MBD 方法的诊断过程主要包括系统建模、冲突识别、候选产生、诊断鉴别 4 个阶段。借鉴文献[19-20]中的方法,给出了一个将 MBD 理论应用于实际配电网的诊断方案,如图 1 所示。

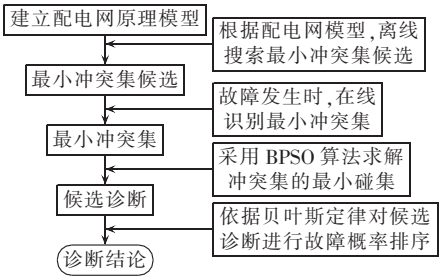


图 1 基于模型的配电网故障诊断步骤

Fig.1 Flowchart of model-based fault diagnosis for distribution network

a. 建立配电网设计原理模型。通过描述系统中元件内部的约束方程、元件与元件之间的连接关系,建立整个配电网系统的结构、功能和行为模型。建模时采用分层的结构抽象模型方案^[21-22],不仅可以依据此模型诊断出全部系统故障,而且模型简单实用。

b. 冲突识别。针对设计原理模型及观测信息的分布固定不变的特点,将最小冲突集的搜索问题分为离线搜索最小冲突集候选^[23]与在线识别最小冲突集 2 个步骤。这种策略能够明显减小在线搜索最小冲突集的空间,使得实际诊断时具有较好的实时性。根据配电网设计原理模型和观测数据,得到所有最小冲突集。

c. 候选产生。通过计算诊断识别过程中得到的最小冲突集的最小碰集,得到系统的极小诊断候选。本文引入改进的离散 BPSO 算法用于求解冲突集的最小碰集。

d. 诊断识别。通过诊断识别对得到的多个诊断候选作进一步区分,以获得最佳的诊断结论。依据系统元件的先验故障概率定性值,采用贝叶斯定理计算所得的候选诊断的后验故障概率,并进行故障概率排序,优先选择故障概率值较大的候选诊断作为故障点。

3.2 基于模型的配电网诊断实例

图 2 为某 10 kV 配电网子网,节点 1—7 都布置了相应的采集信息装置(即电压和电流互感器),故

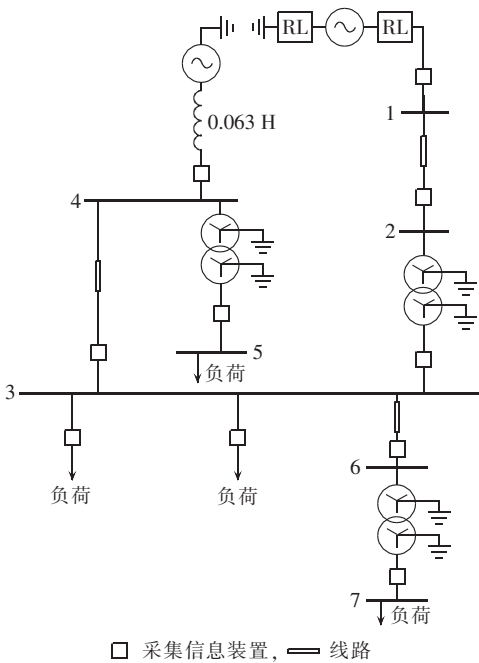


图 2 某 10 kV 配电网

Fig.2 A 10 kV distribution network

障发生时,可准确测量配电网的故障状态信息。母线节点和输电线路的先验故障概率假设如下:母线节点的故障概率均为 0.1;输电线路故障概率都为 0.4。

假设在该配电网中,线路 L23_A 和线路 L67_B 发生短路接地故障,通过 PSCAD 软件仿真获得在此故障情况下配电网内的各互感器的测量值,将电流、电压互感器测得的配电网的故障状态信息,代入到离线搜索时得到最小冲突集候选 MCSC (Minimal Conflict Set Candidate)所对应的解析冗余关系中,得到各解析冗余关系的残差如表 1 所示。其中残差定义为:一条解析冗余关系是从牵引变电站系统模型中得出的只含有系统可观测变量的约束方程,该方程在给定任意一组观测值后能够被求值,模型值与实际值之间的差值称为残差。

从表 1 中选择相对残差 $r' > 0.4$ 的最小冲突集候选,得到最小冲突集为: $MCS = \{MCSC1, MCSC8\}$,即 $MCS = \{\{B3_A, L23_A\}, \{B7_B, L67_B\}\}$, B3_A 表示

表 1 解析冗余关系的残差

Tab.1 Residue of analytic redundancy relations

MCSC	绝对残差 r	最大项值	相对残差 r'
MCSC1	486.31	486.31	0.9999
MCSC2	269.56	1 127.40	0.239 1
MCSC3	266.80	5 875.80	0.045 41
MCSC4	1.3360	487.67	0.002 74
MCSC5	1.3690	894.43	0.001 53
MCSC6	3.9965	5 722.70	0.000 698 4
MCSC7	313.397	1 643.30	0.190 7
MCSC8	564.660	564.66	0.9999
⋮	⋮	⋮	⋮
MCSC20	24.1628	189.29	0.127 6

节点 3 出现 A 相故障,L23_A 表示节点 2 与节点 3 之间导线出现 A 相故障,其他类似。

采用改进的离散 BPSO 算法求解冲突集的最小碰集,从而得到配电网系统的所有最小候选诊断 MHS(Minimal Hitting Set)。参数设置如下:搜索空间维数为 20,粒子群规模为 80,最大迭代次数为 100,学习因子 $c_1=2.5,c_2=1.5$ 。得到最小候选诊断为 $MHS:=\{[B3_A,B7_B],[B3_A,L67_B],[B7_B,L23_A],[L23_A,L67_B]\}$ 。

最小候选诊断的后验故障概率排序结果见表 2。

表 2 最小候选诊断的后验故障概率排序

Tab.2 Sorting of minimal candidate diagnosis according to fault probability

候选诊断	后验故障概率
[L23_A,L67_B]	0.735
[B3_A,L67_B]	0.122
[B7_B,L23_A]	0.122
[B3_A,B7_B]	0.021

由表 2 可知候选诊断[L23_A,L67_B]后验故障概率最大,因此,可判断线路 L23_A 和线路 L67_B 存在故障,与假设结果相符。

3.3 算法性能分析

配电网故障诊断实例中,引入改进 BPSO 算法求取冲突集的最小碰集,并对比不同最小碰集搜索算法性能及不同惯性权重策略对算法收敛性的影响。试验机器配置为:CPU P4200 GHz,内存 512 MB,操作系统 Windows XP,程序使用 Visual C++ 6.0 编译。

a. 惯性权重对算法性能的影响。

惯性权重 w 分别取 1、0.8 以及采用线性递减惯性权重策略,计算诊断实例中得到冲突集的最小碰集,搜索结果如表 3 所示。采用不同的惯性权重策略,离散 BPSO 算法均可以搜索到所有的最小碰集,但是采用线性递减惯性策略明显可以提高算法的收敛性和全局搜索能力,提高计算效率,算法性能优于惯性权重取常数的情况。

表 3 不同惯性权重下算法性能的比较

Tab.3 Comparison of algorithm performance among different inertia weights

w	碰集个数	最小碰集个数	运行时间/s
1	8	4	1.58
0.8	9	4	2.46
线性递减	9	4	1.21

b. 改进策略有效性验证。

为进一步验证离散 BPSO 算法求取冲突集的最小碰集的可行性,将离散 BPSO 算法与 HS-Tree 算法^[7]、Boolean Algebra 方法^[10]、遗传算法^[12]等算法搜索性能进行比较,引用文献[10]中算例:假设冲突集簇中均有 10 个最小冲突集,各最小冲突集分别

为 $\{1,2,\cdots,l\},\{2,3,\cdots,l+1\},\cdots,\{n,n+1,\cdots,n+l-1\}$,问题规模(即 $n+l-1$)分别取 5、15、25、 $\cdots$ 、85,实验结果如图 3 所示。

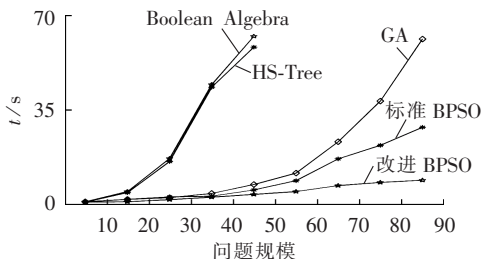


图 3 几种最小碰集算法搜索效率比较
Fig.3 Comparison of search efficiency among several minimum hitting set algorithms

离散 BPSO 算法对冲突集规模不太敏感,适用于求解问题规模较大时的情况,问题规模越大,BPSO 算法相对其他最小碰集算法的搜索效率越高。由实验结果可知,BPSO 算法有较高的计算效率和较快的收敛速度,求解时间节省了约 $1/3\sim 1/2$,尤其 HS-Tree 算法和 Boolean Algebra 方法在问题规模达到 50 时出现了由于内存溢出而终止的情况,说明算法实现比较繁琐,而 BPSO 算法对问题规模并不敏感,有效避免此种情况的发生。

4 结论

采用基于模型的配电网故障诊断方法,可以直接利用量测量来判断故障元件,而不必在故障后根据保护和断路器动作信息来进行故障定位,具有较好的实时性。以某 10 kV 配电网为诊断实例,通过实际建模、编程和实验表明 MBD 配电网故障诊断方法可以快速准确地诊断出故障元件,取得较好效果。

本文引入离散 BPSO 算法应用于基于模型的配电网故障诊断中极小诊断的求解,并提出算法的改进策略,进一步提高了 BPSO 算法的搜索效率和收敛速度。BPSO 算法有较快的收敛速度,相对于 HS-Tree 算法、Boolean Algebra 方法、遗传算法等常用最小碰集算法搜索效率更高,并且当问题规模较大时不会出现内存溢出的问题。但是 BPSO 算法并不能保证得到全部的最小碰集,当问题规模过大时,只能快速地搜索出 98%~100% 的最小碰集,在后续的研究中,如何进一步提高 BPSO 的最小碰集算法的正确率和搜索效率仍是本课题研究的重点。

参考文献:

[1] 欧阳丹彤,欧阳继红,刘大有. 基于模型诊断的研究与新进展[J]. 吉林大学自然科学学报,2001(2):38-45.
OUYANG Dantong,OUYANG Jihong,LIU Dayou. The research and new development on model-based diagnosis[J]. Acta Scientiarum Naturalism Universitatis Jilinensis,2001(2):38-45.

- [2] de KLEER J. Local methods for localizing faults in electronic circuits[EB/OL]. [1976-11-01]. <http://hdl.handle.net/1721.1/6267>.
- [3] de KLEER J, MACKWORTH A K, REITER R. Characterizing diagnoses and systems[J]. *Artificial Intelligence*, 1992, 56(2-3): 197-222.
- [4] 郑威. 液体火箭发动机基于定性模型的故障诊断方法研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2002.
ZHENG Wei. The fault diagnosis method study of liquid-propellant rocket engine based on qualitative model-based diagnosis [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2002.
- [5] de KLEER J, WILLIAMS B C. Diagnosing multiple faults [J]. *Artificial Intelligence*, 1987, 32(1): 97-130.
- [6] TRAVE M L, MILNE R. Gas turbines condition monitoring using qualitative model-based diagnosis[J]. *IEEE Expert*, 1997, 12(3): 21-31.
- [7] REITER R. A theory of diagnosis from first principles[J]. *Artificial Intelligence*, 1987, 32(1): 57-96.
- [8] GREINER R, SMITH B A, WILKERSON R W. A correction to the algorithm in Reiter's theory of diagnosis(research note)[J]. *Artificial Intelligence*, 1989, 41(1): 79-88.
- [9] WOTAWA F. A variant of Reiter's hitting-set algorithm[J]. *Information Processing Letters*, 2001, 79(1): 45-51.
- [10] 姜云飞, 林笠. 用布尔代数方法计算最小碰集[J]. *计算机学报*, 2003, 26(8): 919-924.
JIANG Yunfei, LIN Li. The computation of hitting sets with Boolean formulas[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2003, 26(8): 919-924.
- [11] LIN Li. Computing minimal hitting sets with logic array in model-based diagnosis[J]. *Journal of Jinan University*, 2003, 26(8): 919-924.
- [12] LIN L, JIANG Yunfei. Computing minimal hitting sets with genetic algorithm[J]. *Algorithmica*, 2002, 31(2): 95-106.
- [13] KENNEDY J, EBERHART R. A discrete binary version of the particle swarm algorithm[C]//1997 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1997. Computational Cybernetics and Simulation. Orlando, FL, USA: [s.n.], 1997: 4104-4108.
- [14] REITER R. A theory of diagnosis from first principles [J]. *Artificial Intelligence*, 1987, 32(1): 57-95.
- [15] de KLEER J, MACKWORTH A K, REITER R. Characterizing diagnoses and systems[J]. *Artificial Intelligence*, 1992, 56(2-3): 197-222.
- [16] 张长胜, 孙吉贵, 欧阳丹彤. 一种自适应离散粒子群算法及其应用研究[J]. *电子学报*, 2009, 37(2): 299-304.
ZHANG Changsheng, SUN Jigui, OUYANG Dantong. A self-adaptive discrete particle swarm optimization algorithm[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2009, 37(2): 299-304.
- [17] SHI Yuhui, EBERHART R C. A modified particle swarm optimization[C]//IEEE World Congress on Computational Intelligence, Evolutionary Computation Proceedings, 1998. Anchorage, AK, USA: [s.n.], 1998: 69-73.
- [18] SHI Yuhui, EBERHART R C. Empirical study of particle swarm optimization[C]//Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, 1999. Washington DC, USA: [s.n.], 1999: 1945-1950.
- [19] MARIE-ODILE C, PHILIPPE D, MICHEL D, et al. A comparative analysis of AI and control theory approaches to model-based diagnosis[C]//Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence. Berlin, Germany: [s.n.], 2000: 36-140.
- [20] 刘志刚, 钟炜, 邓云川, 等. 牵引变电站故障的基于模型诊断方法[J]. *中国电机工程学报*, 2010, 30(34): 36-41.
LIU Zhigang, ZHONG Wei, DENG Yunchuan, et al. Electric railway substation diagnosis with model-based method[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2010, 30(34): 36-41.
- [21] CHITTAR L, RANON R. Hierarchical model-based diagnosis based on structural abstraction[J]. *Artificial Intelligence*, 2004, 155(1-2): 147-182.
- [22] DARWICHE A. Model-based diagnosis using structured system descriptions[J] *Journal of Artificial Intelligence Research*, 1998, 8: 165-22.
- [23] de KLEER J. An assumption-based TMS[J]. *Artificial Intelligence*, 1986, 28(2): 127-162.

作者简介:

关 龙(1988-), 男, 安徽淮北人, 硕士研究生, 研究方向为基于模型的配电网故障诊断 (E-mail: longlong4073@126.com);

刘志刚(1975-), 男, 河南巩义人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 研究方向为现代信号处理及其在电力系统中的应用 (E-mail: liuzg_cd@126.com);

杨红梅(1987-), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向为受电弓故障检测方法。

Application of BPSO algorithm in model-based fault diagnosis of distribution network

GUAN Long^{1,2}, LIU Zhigang¹, HE Shiyu¹, YANG Hongmei¹

(1. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Anhui Electric Power Design Institute of CEEC, Hefei 230601, China)

Abstract: A scheme of model-based fault diagnosis is proposed for distribution network, which obtains the minimal conflict sets according to the difference between the simulative data of distribution network principle model and the actual observed data, applies the discrete BPSO(Binary Particle Swarm Optimization) algorithm to reason out the possible fault elements and fault forms, and adopts the Bayesian method to finally determine the diagnosis conclusion with the highest probability. Practical modelling, programming and experiment verify its reliability and effectiveness. Simulative results show that, compared with HS-Tree algorithm, Boolean Algebra algorithm and genetic algorithm, the discrete binary particle swarm optimization algorithm has higher search efficiency, saving 1/3~1/2 of search time and avoiding memory overflow.

Key words: electric power distribution; models; binary particle swarm algorithm; minimal conflict set; fault diagnosis