

基于自适应解列的电力系统解列面快速搜索

汪成根, 张保会, 李鹏, 舒进, 程临燕, 谢欢, 于广亮, 郝治国

(西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

摘要: 当遭受大干扰电力系统的失稳模式确定后, 针对快速寻找该失稳模式下的解列面的关键问题, 提出了电力系统解列面快速搜索的多级收缩图分割算法. 该算法将电力系统表示为有向加权图, 其优化目标为解列后各孤岛内发电机和负荷不平衡尽可能小. 算法具有时间复杂度小、计算速度快的特点. 基于 C++ 语言编制了算法程序, 对某省网 212 节点系统进行了解列面搜索仿真计算, 解列程序在普通的计算机上找到合适的解列面只需要 20 ms, 满足自适应解列的快速性要求.

关键词: 电力系统; 系统解列; 图分割; 失稳模式

中图分类号: TM732 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)02-0090-06

Fast Search for Islanding Strategy Based on Self-Adaptive System Islanding

WANG Chenggen, ZHANG Baohui, LI Peng, SHU Jin, CHENG Linyan

XIE Huan, YU Guangliang, HAO Zhiguo

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Self-adaptive system islanding refers to the separation of an interconnected power system into electrically isolated islands automatically based on the identification of unstable mode. A fast searching algorithm for self-adaptive power system islanding, called multilevel reduced graph partitioning algorithm (MLRGPA), is presented to make the generation load imbalance in each island as small as possible. A reasonable islanding strategy of power system is proposed, and a C++ program is developed to realize the algorithm. The islanding program is verified with the simulations for a practical 212-bus power system. It takes only 20 ms to get a reasonable islanding strategy on an ordinary PC to satisfy the rate requirement of self-adaptive system islanding.

Keywords: power system; system islanding; graph partitioning; unstable mode

目前, 电力系统失步解列装置多数安装在系统的主要联络线上, 当联络线两侧的系统失步时, 解列装置将其切除. 由于缺乏全系统的动态信息, 解列的地点和时机难以随系统的失稳模式和运行方式变化, 当有多个解列点时难以全网配合. 各分散安装的低压、低周减载装置测量安装点的频率、电压及其变化规律, 依据本地信息作出是否动作的判别, 不同地点装置间没有动作配合, 或者通过整定值配合, 难以从全系统的角度有效发挥作用.

针对上述问题有研究者指出^[1-2]: 解列控制作为一种针对系统的保护, 其设计应当从系统的角度出

发, 根据目前的信息采集条件, 整合分散动作的失步解列装置, 依据实时判别的失稳模式, 构成自适应的解列控制系统.

解列控制是电力系统的重大控制措施, 一般需要在确认真正失步后才实施, 因而失稳模式的判别^[3]和快速寻找该失步模式下的解列面成为两个重要问题. 本文提出了一种新的快速寻找解列后孤岛中不平衡功率最小的解列面的算法, 即多级收缩图分割算法. 该算法可按照失稳模式和运行方式信息, 自适应地找到系统合适的解列面.

1 电力系统的图论模型

首先将系统的接线图转化为电力系统图论模型,有向加权图 $G=(V,E)$. 图 G 中的节点集合 V 表示母线,称系统中连接有发电机的节点为发电机节点,其集合记为 V^G , V^G 中元素记为 v_i^G ,下标 i 表示该元素在 V 中的序号. 系统中除发电机节点外的节点称为负荷节点,记为 V^L , V^L 中元素记为 v_i^L ,下标 i 表示该元素在集合 V 中的序号. 因此,对于 $G=(V,E)$ 有

$$V = V^G \cup V^L \quad (1)$$

节点 v_i 的权值为该节点的净注入功率

$$P_i = P_i^G (1 - P_{\text{loss}} / \sum_{j=1}^n P_j^G) - P_i^L \quad (2)$$

式中: P_i^G 为第 i 个节点所连接发电机有功出力; P_{loss} 为系统有功网损; n 为系统节点总数; P_i^L 为第 i 个节点所带负荷有功; $(1 - P_{\text{loss}} / \sum_{j=1}^n P_j^G)$ 表示系统的网损按照发电机有功出力大小平均分摊到各发电机时的折算系数. 因为系统网损已分摊到各发电机节点,所以有

$$\sum_{i=1}^n P_i = 0 \quad (3)$$

图 G 中,边的集合 E 表示连接母线的电气设备,如变压器、输电线路等. E 中任意一条边记为 e_{ij} ,下标 i 和 j 表示边所连接的两个节点 v_i 和 v_j 在点集合 V 中的序号,且系统有功潮流由节点 v_i 流向节点 v_j . 边的权值记为 w_{ij} ,表示流过线路的有功功率. 在建立系统有向加权图模型过程中,如果两个节点之间有多条传输线相联,按一条传输线处理,边的权值为各输电线路流过有功功率大小之和.

2 电力系统实时解列基本原则

一般地,实时解列应满足以下两个基本原则^[4].

(1)依据系统的失稳模式和发电机的摇摆分群信息确定解列地点,将具有相同摇摆分群情况的发电机分在相同的解列部分.

假定系统 $G=(V,E)$ 在某一故障下失去稳定,发电机 V^G 分成 k 群,则解列后的系统应满足

$$\sum_{i=1}^k V_i^G = V^G \quad (4)$$

$$V_i^G \cap V_j^G = \emptyset \quad \forall i \neq j \quad (5)$$

式中: V_i^G 表示失去稳定后的第 i 群发电机. 式(4)、式(5)说明,解列后,系统中的任意一台发电机只属

于一个孤岛,且不在同一群的发电机不属于同一个孤岛.

(2)解列地点的确定应参考系统的潮流情况,解列后各孤岛内发电与负荷尽可能平衡,以减少解列后系统切机、切负荷,减少停电损失,即应满足

$$\left| I_{V_i} \right| = \left| \sum_{i \in V_i} P_i / \sum_{i \in V_i} |P_i| \right| \leq \epsilon \quad \forall V_i \in \{V_1, \dots, V_k\} \quad (6)$$

式中: $\sum_{i \in V_i} P_i$ 为由节点集 V_i 组成的孤岛的不平衡功率; $\sum_{i \in V_i} |P_i|$ 为孤岛中发电机出力与负荷绝对值之和,可反映孤岛的容量; I_{V_i} 为孤岛中发电机出力与负荷的不平衡度; ϵ 为阈值.

3 多级收缩图分割算法

电力系统解列地点搜索问题已被证明在多项式时间内无法得到确切解^[5-6]. 若电力系统节点数为 n ,边数为 m ,对于系统某一确定的失稳模式,其解列策略搜索空间达 2^m . 随着系统规模增大,解列策略搜索空间呈几何级数增长.

3.1 图收缩阶段

邻接节点:对于节点 v_i, v_j ,如果有边相连,即存在边 e_{ij} 或边 e_{ji} ,则称 v_j 是 v_i 的邻接节点,同时 v_i 亦是 v_j 的邻接节点. 记节点 v_i 的邻接节点集为

$$A(v_i) = \{v_j \mid e_{ij} \in E \text{ or } e_{ji} \in E\} \quad (7)$$

发电机相邻负荷节点:对于发电机节点 v_i^G ,如果负荷节点 v_j^L 与其存在边 e_{ij} ,则称 v_j^L 为 v_i^G 的相邻负荷节点,记 v_i^G 的相邻负荷节点集为

$$L(v_i^G) = \{v_j \mid e_{ij} \in E, v_j \in V^L\} \quad (8)$$

图1中,灰色圆圈表示发电机节点,白色圆圈代表负荷节点,节点、边的权重分别见表1、表2.

图收缩步骤如下:

(1)将原始图 $G=(V,E)$ 中负荷节点合并到相邻的发电机节点,得到收缩图 $G_1=(V_1, E_1)$. 在收缩过程中,原始图 G 的若干个节点 (V^v) 收缩为图 G_1 的一个节点 (v),该节点权重为节点集 V^v 权重之和,即

表1 16节点网络各节点权重

v_i	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8
P_i	10	-2	-3	-2	-5	-4	-3	15
v_i	v_9	v_{10}	v_{11}	v_{12}	v_{13}	v_{14}	v_{15}	v_{16}
P_i	-5	-12	-3	8	-4	-1	-4	15

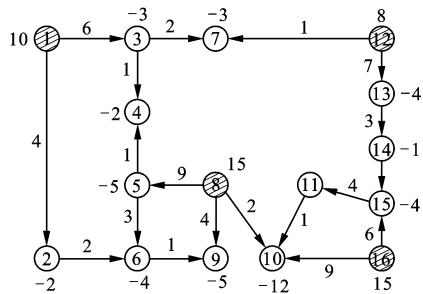


图 1 16 节点网络有向加权图

表 2 16 节点网络各边权重

e_{i-j}	e_{1-2}	e_{1-3}	e_{2-6}	e_{3-4}	e_{3-7}	e_{5-4}	e_{5-6}
w_{i-j}	4	6	2	1	2	1	3
e_{i-j}	e_{8-5}	e_{6-9}	e_{12-7}	e_{8-9}	e_{8-10}	e_{11-10}	e_{16-10}
w_{i-j}	9	1	1	4	2	1	9
e_{i-j}	e_{15-11}	e_{12-13}	e_{13-14}	e_{14-15}	e_{16-15}		
w_{i-j}	4	7	3	2	6		

$$P(V^v) = P(v) \quad V^v \subset V; v \in V_1 \tag{9}$$

同样地,为了保存收缩图 G_1 中节点之间的连接信息,假如在图 G 中, V^v 中不止一个节点与同一个节点 u 相连,则这些节点与 u 之间的边在图 G_1 中合并成新的有向边 e_{vu} ,且 e_{vu} 的权重为这些被合并的边权重之和

$$W(e_{vu}) = \sum W(e_{xu}) \quad x \in V^v \tag{10}$$

因为收缩图是有向加权图,收缩边的方向应是确定的,这样在程序实现时,原始图和各个阶段的收缩图可用同一种数据结构计算收缩边权重.

在图 G 中基于广度优先算法,依次搜寻出各发电机节点 v_i^G 的相邻负荷节点,将发电机节点的相邻负荷节点按其编号顺序依次合并到发电机节点中,从而形成新的发电机节点.在合并过程中,每并入一个负荷节点,按式(9)计算合并后的发电机节点权值,若该值为正,则继续并入下一个负荷节点,否则停止并入剩余的相邻负荷节点.

以发电机节点 1 的合并过程为例,首先将相邻负荷节点 2 并入到节点 1 中,形成新的发电机节点(1),合并后节点(1)权值为 8,继续将节点 3 并入,节点(1)权值变为 5.此时已无相邻负荷节点可以并入(1),发电机节点 1 的合并过程结束.由于负荷节点 2、3 已与节点 1 合并为一个节点(1),因此原始图中节点 1、2、3 与其余节点之间的边 e_{2-6} 、 e_{3-4} 、 e_{3-7} 在收

缩图中分别更新为 $e_{(1)-6}$ 、 $e_{(1)-4}$ 、 $e_{(1)-7}$.与发电机节点 1 合并过程类似,进行发电机节点 8、12、16 的合并,得到新的发电机节点(8)、(12)、(16).

这样,原始图 $G=(V, E)$ 就被收缩成图 $G_1=(V_1, E_1)$.显然,收缩图 G_1 的节点数目 n_1 小于 G 的节点数,即 $n_1 < n$. 16 节点网络第一次收缩后的结果如图 2a 所示,每个用线圈起来的节点集表示 G_1 的一个发电机节点.

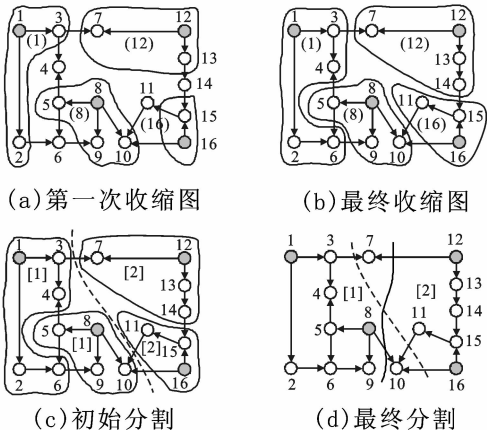


图 2 16 节点网络多级收缩图分割示意图

(2)将 $G_1=(V_1, E_1)$ 中负荷节点合并到相邻的发电机节点,得到收缩图 $G_2=(V_2, E_2)$.

重新计算 G_1 中各发电机节点的 $L(v_i^G)$,重复步骤(1),将负荷节点依次并入发电机节点,以形成新的收缩图 G_2 .反复步骤(2)逐级进行图的收缩,得到收缩图 $G_3, G_4, \dots$,直至发电机节点权重为负,或已无相邻负荷节点可并入.

(3)将剩余的负荷节点并入到发电机节点.

步骤(1)和(2)一般并不能将所有的负荷节点都并入到发电机节点中.计算各发电机节点上发电机出力 and 负荷的不平衡功率之差,并判别图中是否仍有负荷节点.若有负荷节点,则将负荷节点依次并入与其相邻的发电出力和负荷不平衡功率差最大的发电机节点.重复以上步骤,直到所有负荷节点并入发电机节点,得到最终的收缩图 G_n .至此,图收缩阶段结束.按此方法,收缩后的各发电机节点可以尽可能保持发电和负荷的平衡,以使多级收缩图分割算法的初始分割能尽量趋近为一合理解列策略.

16 节点图收缩结束后的最终收缩结果如图 2b 所示.可以看出,图收缩阶段结束后,图中只有 4 个发电机节点(1)、(8)、(12)、(16)和 4 条边 $e_{(8)-(1)}$ 、 $e_{(1)-(12)}$ 、 $e_{(16)-(8)}$ 、 $e_{(12)-(16)}$.收缩图与原始图中节点、边的对应关系分别如表 3、表 4 所示.

表 3 收缩图节点信息

节点号	节点权重	所包含的原始图的节点号
(1)	-1	1,2,3,4,6
(8)	-7	5,8,9,10
(12)	0	7,12,13,14
(16)	8	11,15,16

表 4 收缩图边信息

边	边权重	所包含的原始图中的边
$e_{(8)-(1)}$	3	$e_{5-4}, e_{5-6}, e_{6-9}$
$e_{(1)-(12)}$	2	e_{3-7}
$e_{(16)-(8)}$	10	e_{11-10}, e_{16-10}
$e_{(12)-(16)}$	2	e_{14-15}

注意:在图收缩阶段,被收缩的负荷只是暂时被划分到某个发电机节点,并不是真正合并到该发电机节点中,收缩是为了下一节的迅速寻找初始解列面做准备。

3.2 收缩图的初始解列

分割向量:对于解列成 k 个孤岛的有 n 个节点的电网 $G=(V, E)$,分割向量 $\boldsymbol{U}$ 是指一个长度为 n 的向量,其元素所在列号是节点号,元素值为相应节点所属孤岛编号^[7]。对于任意节点 $i \in V$,有 $\boldsymbol{U}[i] \in \{1, \dots, k\}$ 。

对于图 $G=(V, E)$,解列策略实质上是找到一组边的集合,若将解列策略中的边从电网中断开,则电网被分成 k 个孤岛。电网的一个解列策略可记为 E^{cut} 。多级收缩图分割算法的初始解列就是计算收缩图 $G_n=(V_n, E_n)$ 的分割向量 $\boldsymbol{U}_n$,进而找到相应的解列策略 E_n^{cut} 。

在收缩图中,根据发电机的分群信息进行初始分割。注意到此时图中节点已全部为发电机节点,只要将不在同一群中的发电机之间的边断开,就完成了初始分割,将电网分割为 k 个孤岛,各孤岛对应的节点集合分别为 $V_1^*, V_2^*, \dots, V_k^*$ 。

16 节点网络中,假设系统失稳后,发电机分成 2 群:发电机节点 1 和 8 为一群,发电机 12、16 构成另一群。初始分割结果如图 2c 中虚线所示,记虚线左边孤岛为[1],右边孤岛为[2]。图 2c 的分割向量为 $\boldsymbol{U}_n = [[1][1][2][2]]$,相应解列策略为 $E_n^{\text{cut}} = \{e_{(1)-(12)}, e_{(16)-(8)}\}$ 。由式(6)和表 1 可知,孤岛[1]和[2]的不平衡功率分别为-8、8,两孤岛中发电机出力与负荷大小绝对值之和分别为 58、38,两个孤岛的不平衡度分别为-0.137 9、0.210 5。

收缩图 G_n 的分割向量 $\boldsymbol{U}_n$ 和解列策略 E_n^{cut} 分别被影射为原始图 G 的分割向量 $\boldsymbol{U}$ 和解列策略 E^{cut} 。例如,图 2 中的 $\boldsymbol{U}_n, E_n^{\text{cut}}$ 对应的分别为 $\boldsymbol{U}, E^{\text{cut}}$

$$\boldsymbol{U} = [[1][1][1][1][1][2][1][1][1][2][2][2][2][2][2][2]]$$
$$E^{\text{cut}} = \{e_{3-7}, e_{11-10}, e_{16-10}\}$$

可以看到,收缩图的初始解列完成后,随后的初始分割改善阶段重新返回到原始图解列策略空间上进行解列策略搜索。但是,解列策略的搜索范围已经定位到一个较小的范围内,系统的合理解列策略也集中在这个范围内,因此搜索空间已经大大减少。

3.3 初始分割的改善

负荷节点的相邻孤岛:原始图 G 中的负荷节点的相邻孤岛 $N(v)$ 为节点 v 的所有邻接节点 u 在分割向量 $\boldsymbol{U}$ 中对应孤岛序号的集合^[7],即

$$N(v) = \{\boldsymbol{U}[u] \mid u \in A(v), \boldsymbol{U}[u] \neq \boldsymbol{U}[v]\}$$

(11)

由表 5 知,初始分割时,只有负荷节点 3、7、10、11 的相邻孤岛集不为空集,而此时的对应解列策略为 $E^{\text{cut}} = \{e_{3-7}, e_{11-10}, e_{16-10}\}$ 。可以看出,只有解列策略中的边所关联负荷节点 v 的 $N(v) \neq \emptyset$,也就是说,只有这些点可以直接移动到其他的孤岛中。这使我们只需要在初始解列策略附近的局部区域进行初始分割的改善,而不需要在整个网络中进行合理解列策略的搜索,这就是多级收缩图分割算法的优点。

表 5 初始分割时各负荷节点的相邻孤岛

节点号	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
相邻孤岛	$\emptyset$	$\{[2]\}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\{[1]\}$
节点号	v_9	v_{10}	v_{11}	v_{13}	v_{14}	v_{15}
相邻孤岛	$\emptyset$	$\{[2]\}$	$\{[1]\}$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

初始分割的改善具体做法如下:将各孤岛中 $N(v) \neq \emptyset$ 的负荷节点分别按其所带负荷由大到小排列,将有剩余负荷孤岛中的 $N(v) \neq \emptyset$ 的负荷节点移动到与其相邻的发电有剩余的孤岛中。每移动一个节点后,立即更新分割向量 $\boldsymbol{U}$ 和解列策略 E^{cut} ,并重新计算各孤岛的不平衡功率和不平衡度。反复以上步骤,直到所有孤岛的不平衡度在目标范围内。

由初始解列结果知,孤岛[1]发电与负荷差为-8,孤岛[2]发电与负荷差为-8,两个孤岛的不平衡度分别为-0.137 9、0.210 5。因此,从节点 3、10 中选择节点移动到孤岛[2]中,若移动节点 3 到孤岛[2]中,则两个孤岛的不平衡功率分别为-5、5,若选择节点 10 先移动到孤岛[2]中,则两孤岛不平衡功率分别为 4、-4,不平衡功率减小得快,因此先移动节点 10 到孤岛[2]。此时,分割向量和解列策略为

$$\boldsymbol{U} = [[1][1][1][1][1][1][2][1][1][2]]$$

$$[2][2][2][2][2][2]$$
$$E^{\text{cut}} = \{e_{3-7}, e_{8-10}\}$$

重复以上步骤,最终的分割向量和解列策略为

$$U = [[1][1][1][1][1][1][1][1][1][2][2]$$
$$[2][2][2][2][2]]$$
$$E^{\text{cut}} = \{e_{12-7}, e_{8-10}\}$$

最终得到的解列策略见图 2d,对应孤岛[1]发电与负荷差为 1,孤岛[2]发电与负荷差为-1,不平衡度分别为 0.02、-0.021.至此,多级收缩图分割过程结束.

4 仿真算例

4.1 仿真系统

某电网具有 220 kV 及以上电压等级节点为 212 个,发电机节点 35 个,发电机 122 台,总发电量为 22 741 MW,总有功负荷为 22 026 MW,加权图见图 3.

4.2 仿真分析

针对该运行方式下的潮流分布状态,建立相应的网络收缩图,如图 4 所示.假设在 0 s 时,线路

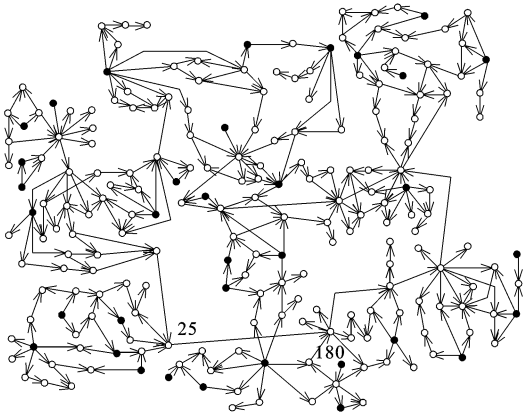


图 3 某省电网有向加权图

e_{25-180} 靠近节点 25 处发生三相短路,故障持续时间 0.12 s 后,故障线路被切除.故障发生后系统各发电机功角如图 5 所示.从图 5 中可以看出,电网发生三相短路故障后,发电机组首先表现为两群摇摆失稳模式.电网刚开始失稳时的两群摇摆失稳发电机组分群信息,如表 6 所示.

表 6 电网发电机分群信息

发电机 分群号	发电机节点号	总输出功率 /MW
1	3,11,16,18,21,27,28,36,37,	11 750
	40,41,47,60,72,83,86,94,128	
	98,103,112,123,130,	
2	135,144,145,151,166,176,	10 991
	184,186,195,201,210,211	

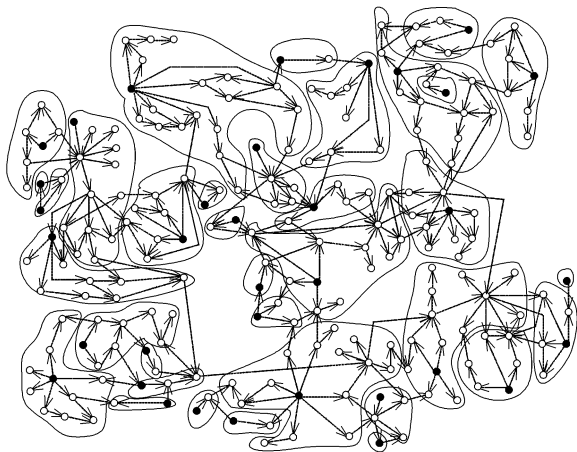


图 4 电网收缩后的状态图

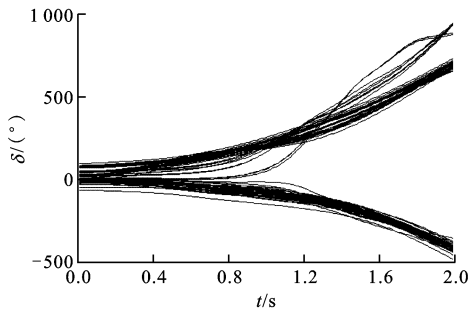


图 5 故障发生后系统发电机功角曲线

按照搜索方法得到的最终解列策略为 $E^{\text{cut}} = \{e_{96-135}, e_{129-130}, e_{129-131}, e_{133-135}, e_{134-135}\}$,两孤岛不平衡度分别为 0.095、-0.065,不平衡功率分别为 1 686、-1 686 MW,最终解列断面如图 6 所示.

仿真所用计算机性能为 Intel Core2 2.20 GHz

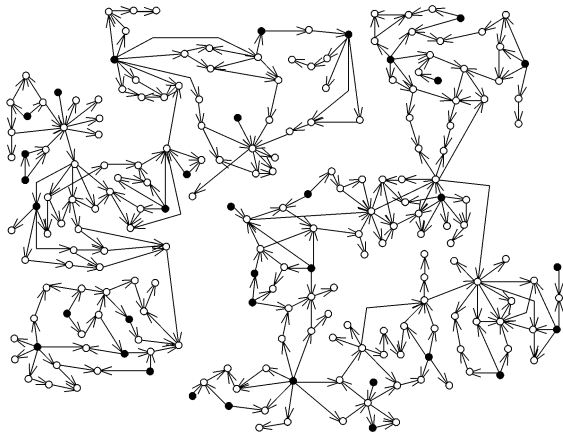


图 6 电网解列为 2 个孤岛

处理器,1G 内存. 利用编制的 C++ 程序,搜索所用时间约为 20 ms,充分体现了算法的快速性.

5 结 论

自适应解列控制系统与传统解列装置相比,具有解列面可随系统的运行方式和失稳模式变化、解列后孤岛内不平衡功率较小的优点. 本文提出的多级收缩图分割算法考虑到了电力系统的实际特点,具有计算复杂度小、计算速度快的特点.

参考文献:

[1] 张保会. 加强继电保护与紧急控制系统的研究提高互联电网安全防御能力[J]. 中国电机工程学报,2004,24(7):1-6.
ZHANG Baohui. Strengthen the protection relay and urgency control systems to improve the capability of security in the interconnected power network [J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(7):1-6.

[2] 高鹏,王建全,甘德强,等. 电力系统失步解列综述[J]. 电力系统自动化,2005,29(19):90-96.
GAO Peng, WANG Jianquan, GAN Deqiang, et al. Review on power system out-of-step separation [J]. Power System Automation, 2005, 29(19): 90-96.

[3] 谢欢,张保会,于广亮,等. 轨迹凸凹性判据在不健全广

域信息条件下的可靠性研究[J]. 西安交通大学学报,2006,40(10):1129-1133.

XIE Huan, ZHANG Baohui, YU Guangliang. Reliability of concave or convex characteristic trajectory criterion using partial wide-area measurement information [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006, 40(10): 1129-1133.

[4] YOU Haibo, VIJAY V, WANG Xiaoming. Slow coherency-based islanding [J]. IEEE Trans on Power System, 2004, 19(1): 483-491.

[5] 沈沉,吴佳耘,乔颖,等. 电力系统主动解列控制方法的研究[J]. 中国电机工程学报,2006,26(13):1-6.
SHEN Chen, WU Jiayun, QIAO Ying, et al. Studies on active splitting control of power systems [J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(13):1-6.

[6] SUN Kai, ZHENG Dazhong, LU Qiang. Splitting strategies for islanding operation of large-scale power systems using OBDD-based methods [J]. IEEE Trans on Power System, 2003, 18(2): 912-923.

[7] KARYPIS G, KUMAR K. Multilevel k -way partitioning scheme for irregular graphs [J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 1998,48(1): 96-129.

(编辑 杜秀杰)

西安交通大学获第 18 届国际核工程大会举办权

2008 年 12 月 12 日,从比利时布鲁塞尔第 17 届国际核工程大会筹备会上传来喜讯,具有“核工程界奥林匹克”之称的第 18 届国际核工程大会将由西安交通大学核科学与技术系承办,大会初步定于 2010 年 5 月在西安召开.

国际核工程大会是国际核工程领域最具影响力的大会,由美国机械工程师学会(ASME)、日本机械工程师学会(JSME)、中国核学会(CNS)和欧洲核学会(ENS)联合主办. 至今已经在美国、日本、欧洲和中国举行过 16 次,每次出席会议的人数一般在 600~900 人. 2005 年在北京举行了第 13 届国际核工程大会.

西安交通大学核科学与技术学科一直致力于加强国际交流、提高学科国际影响力. 此次,由核科学与技术系苏光辉教授和曹良志副教授赴比利时参加大会. 会上,曹良志所做的第 18 届国际核工程大会的组织计划和筹备情况的报告得到了与会者的广泛好评,与会者一致同意我校获得第 18 届国际核工程大会举办权.

(来源:交大新闻网 <http://xjtunews.xjtu.edu.cn>)