

文章编号:1672-058X(2012)12-0049-06

基于 ES-PN 模型的电力系统故障诊断*

黄俊¹,田丽¹,周明龙²,王静¹

(1. 安徽工程大学 电气工程学院,安徽 芜湖 241000;2. 安徽机电职业技术学院 电气工程系,安徽 芜湖 241000)

摘要:提出了一种基于 Petri 网理论和专家系统的电力系统故障诊断方法,详细阐述了基于引出线诊断模型和鉴别故障元件的方法,包括故障元件和其保护的关联度。通过对保护的方向性、区域性以及关联度的分析,增加了模型的拓扑适应能力。这种方法克服了专家系统难于用数学方法描述的缺点,增强了 Petri 网在该问题上的推理能力,利用 Petri 网建立数学模型,提高了故障诊断速度。诊断结果表明,该方法能够大大减少响应时间,并且比之前的方法更能适应电网配置的变化。

关键词:故障诊断;专家系统;Petri 网;引出线诊断模型

中图分类号:TM711

文献标志码:A

到目前为止,已经有各种各样的智能算法应用到电力系统故障诊断领域中,例如,人工神经网络(ANN)、遗传算法(GA)、禁忌算法(Tabu)、专家系统和逻辑推理等。Petri 网是一个十分实用的建模工具^[1],它的特点是处理并行信息和并行操作功能。很多基于 Petri 网的诊断模型和方法都已经实现^[2,3],但是这些方法都面临着同样的一个问题:随着电力系统复杂性的增加,电网拓扑结构的变化也越来越快,原有的模型很难适应各种复杂的变化。此处提出一种基于 Petri 网理论的电力系统故障诊断新方法,即基于引出线的诊断模型,其非常适合不断变化的电网配置。另外,故障设备与其继电保护的关联度也将在文中提到,这将为调度操作提供更有价值的信息。

1 Petri 网理论^[4]

Petri 网最早是由 Carl Adam Petri 提出,它的原理是:一个具有同步和异步动作的系统各部分的关系可以用一个网络来表示。Petri 网最早是用来描述和分析信息流,它也是为异步并发系统建模的最好工具,例如计算机系统、制造系统和电力保护系统^[5,6]。

1.1 网络模型

一个 Petri 网是带有加权信息流关系的简单网络。P 元被称为库所,它并不是状态量。Petri 网通常以网络图形的方式呈现出来。Petri 网是一个双向直射型多重网络图形,它是由两套分区节点、库所和变迁组成,这些节点由有向弧连接而成。

对于任何给定的 Petri 网,它的拓扑结构都能由一个矩阵表示出来,这样的矩阵称为关联矩阵。关联矩阵 C 是一个 $|S|$ 行 $|T|$ 列的矩阵,其定义如下:

收稿日期:2012-05-22;修回日期:2012-06-20.

* 基金项目:国家自然科学基金(71171002);安徽省自然科学基金(11040606M24).

作者简介:黄俊(1987-),男,安徽安庆人,硕士研究生,从事复杂系统建模研究.

$$C(s,t) = \begin{cases} -W(s,t) & \text{if } f(s,t) \in F \\ +W(t,s) & \text{if } f(t,s) \in F \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$|S|$ 和 $|T|$ 分别表示 S, T 集合中元素的个数; $W(s,t)$ 表示从 S 到 T 的有向弧的权; $(s,t) \in F$ 表示从 S 到 T 存在着流关系。

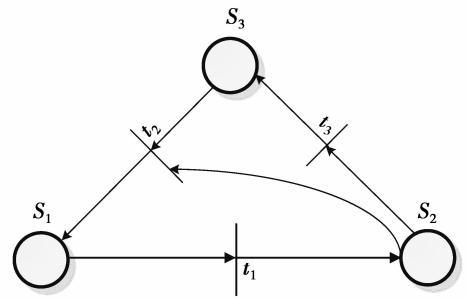


图 1 Petri 网的图形表示

图 1 就是一个静态的 Petri 网模型,具体描述为:

$$M = \{S, T, I, O\}, S = \{S_1, S_2, S_3\}, T = \{t_1, t_2, t_3\}$$

$$I(t_1) = S_1, O(t_1) = S_2; I(t_2) = \{S_2, S_3\}, O(t_2) = S_1; I(t_3) = S_2, O(t_3) = S_3$$

1.2 执行规则

一个网络的动态性能是由该网络的标识和执行次数来决定的。执行一次,网络中的变迁点火一次,通过托肯从输入到输出的移动改变网络标识。当输入库所至少含有与输入有向弧数量相等的托肯数,同时输出库所在变迁点火后容量没有溢出,这时该变迁使能。用数学术语来表示, t 可以点火需要满足下列条件:对于所有的 $s \in S, s \in {}^0t \Rightarrow M(s) \geq W(s,t)$,并且 $s \in t^0 \Rightarrow [M(s) + W(t,s)] \leq K(s)$ 。 0t 和 t^0 分别表示 t 的输入和输出库所初始值。如果 t 使能, t 的点火将改变初始标识 $M_0(s)$,进而得到一个新的标识 $M_1(s)$, $M_1(s)$ 定义如下:

$$M_1(s) = \begin{cases} M_0(s) - W(s,t) & \text{if } f(s,t) \in F \\ M_0(s) + W(t,s) & \text{if } f(t,s) \in F \\ M_0(s) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

最终的标识是由一系列的变迁点火而形成的,它可以利用数学方法得到,这就必须和关联矩阵的网络标识联系起来。观察方程 1 和 2,初始标识 $M_0(s)$,让第 k 个网络变迁使能,然后通过第 k 个变迁的点火,很容易得到 $M_1(s)$ 约等于 C 矩阵的第 k 列加上 $M_0(s)$,即 $M_1(s) = M_0(s) + [-W(s,t_k) + W(t_k,s)]$,对于所有的 $s \in S$,定义向量 $U[U_1 \ U_2 \ \dots \ U_n]^T, U_n$ 表示事件 t_n 的数量,在一系列的变迁点火下,可以推导出基本公式:

$$M_1 = M_0 + CU \quad (3)$$

例如,图 2 的关联矩阵表示为:

$$C = \begin{matrix} N \\ DM \\ R_1 \\ CB_1 \\ R_2 \\ CB_2 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}; M = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{matrix} N \\ DM \\ R_1 \\ CB_1 \\ R_2 \\ CB_2 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

以上矩阵结果表明: N 有一个托肯,即意味输电线 N 有故障, CB_1, CB_2 保护已经动作。

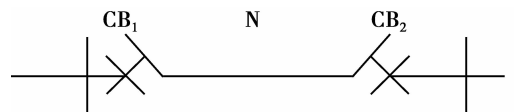


图 2 一个简单的网络

2 专家系统

专家系统是目前人工智能中应用最活跃、成果最多的研究领域。它常被应用于复杂设备的故障诊断,其诊断原理是一种基于知识的人工智能诊断系统,其实质是应用大量人类专家的知识和推理方法求解复杂实际问题的一种人工智能计算机程序。其核心部分是知识库和推理机。知识库包含所要解决问题领域中的大量事实和规则。推理机是专家系统的组织控制机构,它

断路器, t 表示动作时间。图 4 中 B_{85} 的断路模式包括:

- 1) $B_{85} \rightarrow CB_5$ 方向: $(B_{85m}, CB_5, t_0), (L_{3Ss}, CB_6, t_1)$
- 2) $B_{85} \rightarrow CB_7$ 方向: $(B_{85m}, CB_7, t_0), (L_{4Ss}, CB_8, t_1)$
- 3) $B_{85} \rightarrow CB_{15}$ 方向: $(B_{85m}, CB_{15}, t_0), (L_{8Ss}, CB_{16}, t_1)$
- 4) $B_{85} \rightarrow CB_{13}$ 方向: $(B_{85m}, CB_{13}, t_0), (L_{7Ss}, CB_{14}, t_1)$
- 5) $B_{85} \rightarrow CB_4$ 方向: $(B_{85m}, CB_4, t_0), (L_{2Ss}, CB_3, t_1)$

所以当故障发生在 B_{85} 上, 继电保护和相应的断路器将会动作, 从这 5 个方向来切断电路。可以利用 5 个类似的 Petri 网模型来表示每个方向。观察这 5 个方向的结果, 可以判断 B_{85} 是否发生故障。通过这种方式, 把诊断模型分成 5 个单元, 这样可以减少关联矩阵 C 的维数, 同时减少进程所需时间。除此之外, 当网络配置改变时, 同样能够根据故障元件和相邻元件的实际连接来建立引出线诊断模型。

在图 4 中, D_m 是一个虚拟的库所, 表示对应保护、断路器所处的优先级位置。由于设置了虚拟库所, 在不同保护动作情况下推导 Petri 网变迁时, 托肯就会经过不同的路径。经过变迁点火托肯到达相应优先级位置的虚拟库所则表示对应等级的保护动作起到保护元件的作用。库所 B_{85m}, L_{3Ss} 代表继电保护, CB_i 代表相应的断路器。

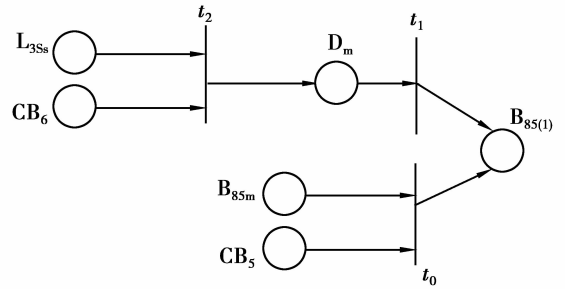


图 4 $B_{85} \rightarrow CB_5$ 方向的 Petri 网模型

4.2 诊断步骤^[8]

整个诊断过程如下图所示:

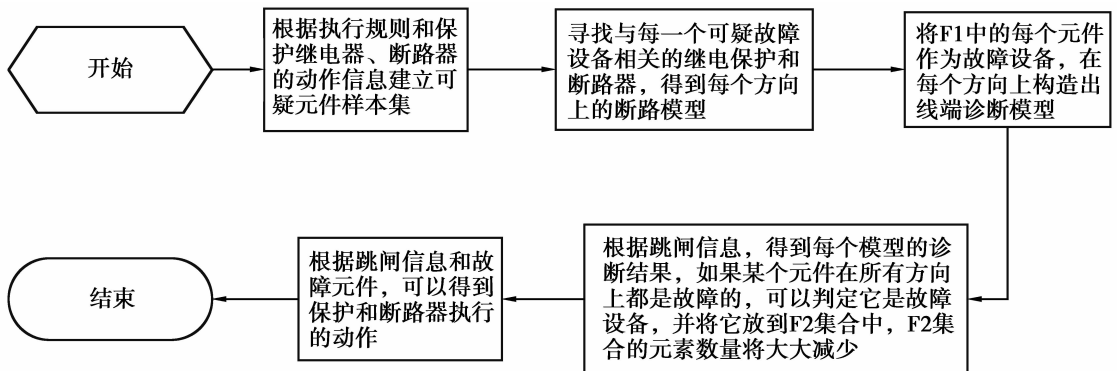


图 5 Petri 网诊断步骤

针对以上的诊断步骤, 为推理机设定以下的推理规则:

规则 1: 在保护区域的元件, 如果它们相应的保护继电器跳闸, 则将这些元件归为可疑故障设备集 $F1$ 中。当然这样的元件会有很多, 但是能够确保任何可能的故障元件都被包括在内(图 5 中步骤 1)。

规则 2: 主线 CB 部分主要与其主保护和主后备保护相关, 因此在 Petri 网模型中, 这些保护利用相同的库所和变迁点火来代替(图 5 中步骤 4)。

规则 3: 在某个方向上, 误动的关联度高于拒动; 如果该方向上有两个保护跳闸了, 误动的保护关联度低; 跳闸信息不采用误动信息(图 5 中步骤 5)。

5 应用

以上方法已经在图 4 所示的 IEEE-118 中得到验证。考虑到 L_7 在维护而停止运行, 已动作的保护继电器为 $B_{85m}, L_{2Rs}, L_{3Rs}, L_{4Rs}$ 和跳闸的断路器为 $CB_3, CB_4, CB_6, CB_8, CB_{15}$ 。

5.1 诊断过程:

(1)得到可疑故障设备 B_{85} 、 L_2 、 L_3 和 L_4 。

(2)以 B_{85} 为例, B_{85} 连接着 4 个断路器,如果故障不能被主继电器清除,它将传向 4 个方向。然后,需要建立如图 4 所示的 4 个 Petri 网模型。观察每个方向上的结果,可以判定 B_{85} 发生故障,但是在 $B_{85} \rightarrow CB_4$ 方向上, B_{85m} 和 L_{2Rs} 都跳开了。又因为 L_{2Rs} 的关联度低于 B_{85m} ,因此 L_{2Rs} 是误动作。使用同样的方法,不难得出结论: L_2 、 L_3 、 L_4 故障。

5.2 诊断结果:

B_{85} 故障, B_{85m} 正确跳闸, L_{2Rs} 是误动作, CB_5 和 CB_7 误打开。

如果维护结束, L_7 恢复动作,这就需要一个新的传输线连接到 B_{85} ,也就需要构造一个新的 Petri 网模型。

表 1 该方法与其他方法的比较

比较项目	此处方法	一般 Petri 网方法	神经网络方法
计算量	简单的矩阵运算,只需要局部信息	简单的矩阵运算,只需要局部信息	取决于输入、输出及神经元数目,需要涉及电网的全部信息
精度	对于实例中的所有故障均能正确诊断	某些诊断和误操作不能正确诊断	取决于训练样本的完备性
响应速度	收到第一个信息即启动诊断	收到第一个信息即启动诊断	当涉及的所有保护动作信息和断路器动作信息均得到后才开始启动诊断
拓扑变化能力	快速	一般	需要重新训练

5.3 结 论

基于 Petri 网理论、电网拓扑和保护配置,为每个方向建立了动态的 Petri 网模型。该方法在 IEEE-118 中得到测试,并能够快速、准确地得到结果。通过使用该模型,能够减少处理时间,比之前的方法更能适应继电保护配置和电网拓扑结构的改变,适应能力强;引入了不同的保护对其保护元件关联度的概念,丰富了诊断结果的内容。

参考文献:

- [1] 郭创新,朱传柏,曹一家,等. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势[J]. 电力系统自动化,2006(8):30-32
- [2] 方培培,李永丽,杨晓军. Petri 网与专家系统结合的输电网络故障诊断方法[J]. 电力系统及其自动化学报,2005(2):17-18
- [3] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005
- [4] 李雄刚,李力,李日隆. 基于 Petri 网技术的电力系统故障诊断[J]. 广东电力,2004(3):14-16
- [5] 张明锐,徐国卿,贾廷纲. 基于 Petri 网的变电站故障诊断方法[J]. 信息与控制,2004(6):33-36
- [6] 李孝忠,马永军,李纪扣. 基于 Petri 网的故障诊断新方法[J]. 天津科技大学学报,2004,(3):19-21
- [7] 刘青松,夏道止. 基于正反向推理的电力系统故障诊断专家系统[J]. 电网技术,1999(9):23-25

Power System Fault Diagnosis Based on ES-PN Model

HUANG Jun¹ , TIAN Li¹ , ZHOU Ming-long² , WANG Jing¹

(1. School of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Anhui Wuhu 241000, China;

2. Department of Electrical Engineering, Anhui Technical College of Mechanical and Electrical Engineering, Anhui Wuhu 241000, China)

Abstract: A power system fault diagnosis method based on Petri net theory and expert system is presented, the method based on outgoing line diagnosis model and fault equipment detection, fault equipments and their protection relevance are elaborated in detail, the topological adaptability of the model is increased through the analysis of directivity, regional and relevance of the protection, therefore, this method overcomes the shortcoming that expert system is difficult to be described by mathematical method, increases speculative ability of Petri net on this problem and uses Petri net to set up mathematical model to boost fault diagnosis speed. The diagnosis results show that this method can greatly reduce response time and can better fit for the change of electrical power net configurations than previous method.

Key words: fault diagnosis; expert system; Petri net; outgoing line diagnosis model

责任编辑:李翠薇

(上接第 43 页)

Estimate and Evaluation on VaR of China Stock Indices Portfolio Based on t Copula

LI Bao-liang

(School of Economics and Finance, Huaqiao University, Fujian Quanzhou 362320, China)

Abstract: The assumption of traditional joint normal distribution can not describe tail dependence condition of finance market, which cause low estimation on VaR. This paper uses t Copula to overcome this problem and to test 95 percent and 99 percent of VaR of equal weight investment portfolio of the composition of Shanghai stock indices and Shenzhen stock indices and the results show that the performance of VaR based on t Copula Model is better than traditional variance-covariance analysis method, historic simulation method, Monte Carlo simulation method and estimation method of correlative coefficient model based on dynamic condition

Key words: value at risk; tail dependence; copula

责任编辑:李翠薇