

电动机故障诊断的 Petri 网方法

蒋建东, 蔡泽祥

(华南理工大学电力学院电力工程系, 广东 广州 510640)

摘要: Petri 网是异步并发诊断系统建模与分析的一种重要工具, 它可以利用图形语言对故障诊断系统的结构、功能及流程进行系统的分析和描述, 在故障诊断领域得到了越来越广泛的应用。论述了 Petri 网的矩阵描述方法以及 Petri 网建模的一般方法。根据文中给出的电动机常见故障及其征兆表提出了一种电动机故障诊断 Petri 网模型, 该模型只需经过简单的矩阵运算即可实现电动机故障的快速离线诊断。与传统的电动机故障诊断人工智能方法相比, 具有简单直观, 诊断速度快, 准确度高的优点。并用搜集到的实例进行了验证, 表明该诊断方法是迅速、准确的。

关键词: Petri 网; 故障诊断; 模型; 电动机

中图分类号: TM307.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)12-0012-04

0 引言

电动机是各行各业应用最广泛的动力设备, 供电系统 90% 的电能是通过电动机消耗的, 由于保护技术落后, 其烧损情况严重^[1~3]。电动机故障诊断技术就是要通过故障检测技术, 测定出能反映故障隐患的早期征兆和趋向参数, 从中得到预警信息。进一步通过信息分析对电动机故障程度和起因有一个准确判断, 能及时有效地对电动机进行维修, 排除故障, 以实现对该电动机的预知维修, 而不致影响生产。当前电动机早期故障诊断研究领域中的一个很重要的特点是, 人工智能方法正越来越广泛地进入到电动机早期故障的诊断中来, 主要有模糊方法、人工神经网络、专家系统以及这些方法的综合。这些方法的特点是, 以大量的历史数据为基础, 建立相应的输入、输出映射关系, 可以实现电动机早期故障的有无以及故障类型的分类或识别。人工智能方法故障诊断准确率高, 但是要花费大量的训练时间, 实时性差, 目前仍处于研究阶段。

Petri 网理论以描述系统中各元件之间的关系为基础, 对系统中同时发生、次序发生或循环发生的各种活动不仅可以用网络直观地表示出来, 而且可以用矩阵运算来描述, 是一种优良的系统建模方法。基于 Petri 网的故障诊断方法可将知识表示和诊断推力融为一体, 通过简单的矩阵计算即可快速获得诊断结果。为此, 本文应用 Petri 网理论提出了一种电动机故障诊断模型, 对收集到的实例所进行的分析表明该模型是正确的, 为电动机故障快速离线诊断提供了一种新的工具。

1 Petri 网的基本概念

Petri 网的概念是由德国的 Carl Adam Petri 于 1962 年在他的博士论文(用自动机通信)中提出的, 后经 Peterson 和 Hack 等人的不断研究, 发展成为一种可并发的状态变迁模型。目前已经在许多领域展开了广泛的研究, 并在上世纪 80 年代后期得到了大量的应用。基于 Petri 网知识表示和诊断推理的研究也不断发展, 并已经开始在电力系统故障诊断中得到应用^[4~6]。

基本 Petri 网是由节点和边组成的有向图 $G = (V, E)$, 如图 1 所示。节点 V 分为两类: 位置 P (place) 和变迁 T (transition), 位置表示系统发生变化的条件, 变迁表示四通八达的状态改变。在图中, 位置用圆圈表示, 变迁用画线表示, 而边用有向线段表示, 每条边将一个位置连接到一个变迁, 或将一个变迁连接到一个位置。位置中可以包含令牌 (token), 表示与该位置相连的条件是否成立。位置和所含的令牌构成系统的一个标识。如果一个变迁的所有指向它的位置都至少含有一个令牌, 那么该变迁是可以发生的。如果变迁是可以发生的, 并且使它发生的外部逻辑条件也得到了满足, 则称这个变迁是可发射的。变迁发射后, 从这个变迁的各输入

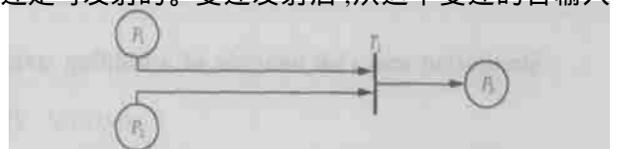


图 1 Petri 网结构示意图

Fig. 1 Diagram of Petri nets structure

位置中取出一个令牌,并在这个变迁的各输出位置中放入一个令牌,系统进入一个新的标识状态。

为了能够清晰地描述 Petri 网系统,我们可以用矩阵来表示 Petri 网模型。假定一个 Petri 网由 m 个位置, n 个变迁构成,则可以定义如下的网络描述矩阵:

输出矩阵 $O(m, n)$, 其中

$$O(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{若位置 } i \text{ 是变迁 } j \text{ 的输出位置} \\ 0 & \text{若位置 } i \text{ 不是变迁 } j \text{ 的输出位置} \end{cases}$$

输入矩阵 $I(m, n)$, 其中

$$I(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{若位置 } i \text{ 是变迁 } j \text{ 的输入位置} \\ 0 & \text{若位置 } i \text{ 不是变迁 } j \text{ 的输入位置} \end{cases}$$

系统标识状态列向量 $M(m)$, 其中

$$M(i) = \begin{cases} 1 & \text{若位置 } i \text{ 含有令牌} \\ 0 & \text{若位置 } i \text{ 不含有令牌} \end{cases}$$

变迁是否可以发生列向量 $V(n)$, 其中

$$V(i) = \begin{cases} 1 & \text{若变迁 } i \text{ 可以发生} \\ 0 & \text{若变迁 } i \text{ 不可以发生} \end{cases}$$

变迁发射条件列向量 $R(n)$, 其中

$$R(i) = \begin{cases} 1 & \text{若变迁 } i \text{ 发射条件成立} \\ 0 & \text{若变迁 } i \text{ 发射条件不成立} \end{cases}$$

设 Petri 网的初始标识状态为 $M_0(m)$, 则有:

$$V = I^T \cdot M_0 \quad (1)$$

定义 n 维列向量

$$P = V \cdot R \quad (2)$$

$$\text{其中 } P(i) = \begin{cases} 1 & \text{若变迁 } i \text{ 可发射} \\ 0 & \text{若变迁 } i \text{ 不可发射} \end{cases}$$

网络中可发射的变迁发射之后网络新的标识状态 M 可用下式计算:

$$M = M_0 - I \cdot P + O \cdot P \quad (3)$$

式(1)、(2)和(3)中的加、乘、与分别为逻辑加、逻辑乘和逻辑与。

2 Petri 网建模的一般方法

Petri 网系统以研究系统的组织结构和动态行

表 1 电动机常见故障及其征兆

Tab. 1 Motor faults with corresponding indications

故障类型	故障征兆						
	定子绝缘电阻	绝缘分解	振动	定子电流	噪声	放电	三相阻抗
定子铁心绝缘损坏	正常	有	大	正常	大	正常	正常
定子绕组绝缘故障	小	正常	正常	正常	正常	正常	正常
鼠笼断裂或开焊	正常	正常	大	脉动	大	正常	正常
转子轴承故障	正常	正常	大	正常	大	正常	正常
定子绕组匝间短路	正常	正常	大	不对称	正常	正常	正常
转子绕组接地	正常	正常	大	正常	正常	有	正常
转子绕组匝间短路	正常	有	大	脉动	正常	正常	不平衡

为为目标,着眼于系统中可能发生各种变化和变化间的关系,并不关心变化发生的物理和化学性质,只关心变化的条件及发生后对系统的影响。Petri 网的这种观点可简单地归结为典型的 if - then 结构的产生式规则,也即为规则的前提—规则的结论表示方式。用 Petri 网络的一个迁移的输入位置表示规则的前提部分,输出位置表示规则的结论部分,所以一个 Petri 网络模型可以表示一条基本的产生式规则。输入事实或信息与一命题相匹配用位置中的一个令牌来表示。如果一个变迁所有的输入位置都有一个令牌,那么此变迁是可发射的,并将令牌传送到它的所有输出位置。推理输出一个结论就相当于在相应的 Petri 网络中由相关事实或信息得到的网络初始标识状态,并通过一系列变迁的发射将令牌传播到其后的位置中得到的网络新的标识状态,与命题相关的 Petri 网模型输出位置的令牌就是本命题的结论。

Petri 网模型方法从规则的前提—规则的结论的观点来分析和描述系统结构和系统行为,在将实际系统抽象化的同时,保持了模型与模型对象在逻辑上的一致性,这是 Petri 网建模方法广泛用于各类系统建模和分析中的重要原因。

3 基于 Petri 网的电动机故障诊断模型

必须有大量的经验积累,形成一个尽量覆盖所有电动机故障类型的故障类型及其征兆数据库,用 Petri 网理论建立的电动机故障诊断模型才有较高的可靠性与实用性。作者根据对文献^[3~7]提供资料的分析,得出了如表 1 所示电动机常见故障及其征兆表。并由此表根据 Petri 网建模的一般方法提出了一种电动机故障诊断 Petri 网模型,如图 2 所示。需要说明的是,随着有关电动机故障方面的经验积累与更新,上述模型可以方便地进行修改。

$0)^T$, 诊断为转子轴承故障。将电机拆开检查,发现轴承有不同程度的磨损。属转子轴承故障。

算例 3: 某电厂一台风机振动异常,且有异味产生,定子电流来回摆动,经测量三相阻抗不平衡。

诊断: 故障征兆为振动大,绝缘分解,定子电流脉动,三相电阻不平衡,可得初始标识状态为 $M_0(m) = [0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$, 经计算 $M_0(m) = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1]^T$, 诊断为转子绕组匝间短路。实际情况为转子绕组匝间短路。

5 结论

文中介绍了 Petri 网理论的基本概念,论述了 Petri 网的矩阵描述方法以及 Petri 网建模的一般方法。提出了一种电动机故障诊断的 Petri 网模型,为电动机故障快速离线诊断提供了一种新的工具。与传统的电动机故障诊断人工智能方法相比,具有简单直观,诊断速度快,准确度高的优点。最后用搜集到的实例对模型的有效性进行了验证。随着有关电动机故障方面的经验积累与更新,模型会得到逐步完善并满足工程实际应用的需要。

参考文献:

- [1] Pat O Donnell. Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installation, Part One and Part Two. IEEE Committee Report[J]. IEEE Trans on Industry Application, 1985, 21(4): 853-872.
- [2] Pat O Donnell. Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installation, Part Three: IEEE Committee Report [J]. IEEE Trans on Industry

Application, 1987, 23(1): 153-158.

- [3] 吴国沛,任震,管霖,等 (WU Guo-pei, REN Zhen, GUAN Lin, et al). 鼠笼异步电动机常见故障的分析与诊断 (Fault Analysis and Diagnosis of Squirrel Cage Induction Motors) [J]. 华南理工大学学报 (Journal of South China University of Technology), 1999, 27(10): 52-57.
- [4] 赵洪山,米增强,杨奇逊 (ZHAO Hong-shan, MI Zeng-qiang, YANG Qi-xun). 基于冗余嵌入 Petri 网技术的变电站故障诊断 (Substation Fault Diagnosis Based on Petri Nets Embedding) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(4): 32-35.
- [5] 孙静,秦世引,宋永华 (SUN Jing, QIN Shi-yin, SONG Yong-hua). 一种基于 Petri 网和概率信息的电力系统故障诊断方法 (A Fault Diagnosis Method for Power Systems Based on Petri Nets and Probability Information) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(13): 10-14.
- [6] 王建元,纪延超 (WANG Jian-yuan, JI Yan-chao). 模糊 Petri 网络知识表示方法及其在变压器故障诊断中的应用 (Application of Fuzzy Petri Nets Knowledge Representation in Electric Power Transformer Fault Diagnosis) [J]. 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 2003, 23(01): 121-125.
- [7] 沈标正 (SHEN Biao-zheng). 电机故障诊断技术 (Diagnosis Technology of Electric Machines) [M]. 北京:机械工业出版社 (Beijing: China Machine Press), 1996.

收稿日期: 2003-10-23; 修回日期: 2003-12-16

作者简介:

蒋建东(1975-),男,博士研究生,研究方向为电力系统故障诊断与继电保护;

蔡泽祥(1960-),男,博士,教授,博导,研究方向为电力系统故障诊断与继电保护,电力系统稳定分析与控制。

A Petri nets based method for the motor fault diagnosis

JIAN G Jian-dong, CAI Ze-xiang

(Electrical Engineering Department, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The Petri nets is an important tool for the modeling and analysis of asynchronous current diagnosis system. The nets can describe the structure, function and flow chart of the diagnosis system systemically by graphic language. So it is more and more widely used in fault diagnosis field. Its basic concept described by matrix and its normal modeling method are introduced. Based on the motor normal faults and their indication table given in this paper, a Petri nets model for the motor fault diagnosis is presented. Only with simple matrix calculation, the model can realize the fast off-line diagnosis for motor faults. Compared with the traditional artificial intelligence method, the presented model is simple, clear, fast and high accuracy. The model is tested by practical examples and the testing results show that the model is fast and accurate.

Key words: Petri nets; fault diagnosis; model; motor