

A Construction of Rotary Mechanism Fault Diagnosis Expert System Based on Relational Database

采用关系数据库构造旋转机械故障诊断专家系统的一种方法

摘要: 本文将关系数据库技术与传统的专家系统产生式推理规则相结合, 在已有实现方法的基础上提出了一种采用关系数据库技术构造故障诊断专家系统的方法, 采用启发式的搜索策略, 在针对旋转机械的故障诊断专家系统中, 证明了该方法的有效性。

关键词: 关系数据库 产生式规则 规则元素

1 引言

在人工智能领域中, 专家系统是一个重要组成部分, 目前专家系统大多采用产生式系统技术实现。产生式规则概念由波斯特 (Post) 于 1943 年提出, 后有尼维尔 (Newell) 和西蒙 (Simon) 于 1972 年提出产生式系统, 基于规则的产生式系统是目前知识库系统中使用最为普遍的一种。它具有知识结构接近人类思维和会话形式; 规则表示形式一致; 能有效地表达表层知识; 具有高度的模块化等特点, 因而得到广泛应用。

产生式系统的开发语言, 传统的有 LISP、PROLOG 等, 这些语言的规则和事实都是以语句形式存在于程序当中, 不便维护, 而且当新增规则或事实时, 难以得到新增规则与已有规则或事实的关系, 因而造成知识库内部缺乏逻辑关系或关系不明确。目前关系数据库的理论和应用都已趋于成熟, 利用关系数据库结构来表示产生式的规则和事实应当是方便和有效的。

利用关系数据库来表示产生式规则的主要问

题是: 关系数据库是二维的规范数据的存储格式, 而产生式规则则根据推理问题的不同有各种各样的形式和表示方法。基于此, 本文在已有的采用关系数据库存储和表达产生式知识方法的基础上, 结合旋转机械故障诊断专家系统的特点提出了一种设计关系数据库来表示产生式知识的方法, 并通过仿真实验验证了其有效性。

2 背景知识介绍

产生式规则常用于表示具有因果关系的知识, 其基本形式是 IF A THEN B, 其中, A

代表一组前提或状态, B 代表若干结论或动作。其含义是如果前提 A 得以满足, 即为“真”, 则可得结论 B 或 B 所规定的动作。但在实际旋转机械故障诊断专家系统中, 产生式规则的形式往往要复杂得多, 例如, 图 1 所示的产生式规则形式, P_i 表示知识中的前提条件, R_i 表示知识中的结论。

由图可见, 由于前提之间、结论之间以及各条规则之间存在各种各样的关系, 要完整地表达出一条产生式规则的内容, 就必然要将这种种关系表达清楚。而关系数据库的数据结构是一个二维表, 它是以二维表结构来描述客观世界的实体及其联系。表的每一行对应一个元组, 每一列对应一个属性, 数据按属性分解, 按元组存储, 因此关系数据库对处理结构型数据是非常有效的。如前所述, 产生式规则的数据结构是一种复杂的不规范的结构关系, 要利用关系数据库表示这种非规范性图形结构, 必须对其进行一些处理。文 [2] 提出了采用与或等价逻辑关系转换以及结点

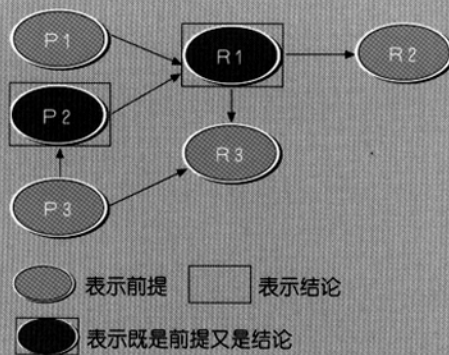


图 1 产生式规则的基本形式

分离法两个步骤实现对复杂的产生式规则关系的处理方法。经过这两个步骤之后,可以将原来的非规范性图形数据结构转换为线性表结构。

3 构造关系数据库表示产生式规则的方法

经过上述步骤,理论上已经可以将产生式规则存入关系数据库中了。文 [3] 提出了一种具体的实现方法。由于这种方法能够较完整清晰的表示出产生式规则的相互联系,并且便于知识库中知识的添加和删除,引用起来较为方便。但在此基础上建立起来的推理机制却必须遍历整个知识库才能得出最终的结论,因此推理速度较慢,尤其是当知识库中的知识量非常大的时候,这一缺点就更为明显。鉴于此,本文在文 [3] 的基础上提出了一种新的数据库结构,采用启发式的搜索策略,放弃了原来遍历搜索数据库的方法,大大提高了故障诊断专家系统的推理搜索速度。

首先,给出规则元素的定义:

规则元素 (Rule-element) 规则元素是产生式规则的基本构成元素,不可再分,它们具有相同、固定、单一的结构特点,按照特定关系的组合后,组成一条产生式规则。

要将一条产生式规则存入数据库中,首先要将这条规则中的规则元素分解出来,将所有不相同的规则元素存入规则元素表中,再将规则元素表中的规则元素之间的链接关系存入规则关系表,重新组合成原来的规则。

数据表的结构为:

3.1 规则元素表结构如表 1 所示

3.2 规则关系表结构如表 2 所示

NO 域是赋给每个规则元素的一个编号,以便在整个数据库中建立规则元素之间的关系,因此它是起到一个指针的作用,将拆分的规则元素恢复成原有规则的形式。但仅仅通过一个 NO 域并不能完成这一工作,它还需要 BAK、PRE 以及

表 1 规则元素表结构

域名	含义解释
Ruleno	规则元素编号, 对应出规则关系表的相应规则元素
Descript	规则元素内容, 对应出该编号的规则元素名称

表 2 规则关系表结构

域名	含义解释
NO	规则元素的编号;
BAK	前提链指针; 指向同一规则中下一规则元素的编号
PRE	前提链指针; 指向同一规则中上一规则元素的编号
BH	规则元素指针; 指向规则元素表中相应规则元素
FLAG	标志位; 表示规则元素类型
ACTIVE	规则元素激活标志位;
RULENO	规则指针; 指向该规则元素所属的规则

BH 域的配合才能联接起被拆分的规则元素。BAK 域中放入的是该规则元素所在规则中上一规则元素的编号, PRE 域中放入的是该规则元素所在规则中下一规则元素的编号。通过这三个域,使用相应的查询语句,再对应出 BH 域在规则元素表中的规则元素名称,就可以恢复出一条规则中所包含的各个规则元素。但要利用规则进行推理,仅仅知道其中的规则元素是远远不够的,我们还需要知道在这条规则中哪个元素是前提条件,哪个元素是结论结果, FLAG 域就是用来标志规则元素的类型的标志位。若该规则元素在该条规则中是前提,那么它对应的 FLAG 域就被置为 FALSE,反之,如果它是结论,那么它对

应的 FLAG 域就被置为 TRUE。这样一来,在进行推理的过程中,我们就可以根据推出的规则元素的 FLAG 域判断能否得出结论,是否继续进行推理。ACTIVE 域的作用是用来标志该条规则元素在这次推理过程中是否已被使用过,如果已使用过它进行推理,则将 ACTIVE 域置 1,否则 ACTIVE 域保持为 0。使用 ACTIVE 域能够避免重复使用一条规则陷入死循环。最后的 RULENO 域是将规则进行编号,以方便知识库的维护和管理。

各域之间的关系如图 2 所示:

为了提高推理的速度和效率,在这里我们没有采用遍历推理的搜索方式,而是根据 BH 域与

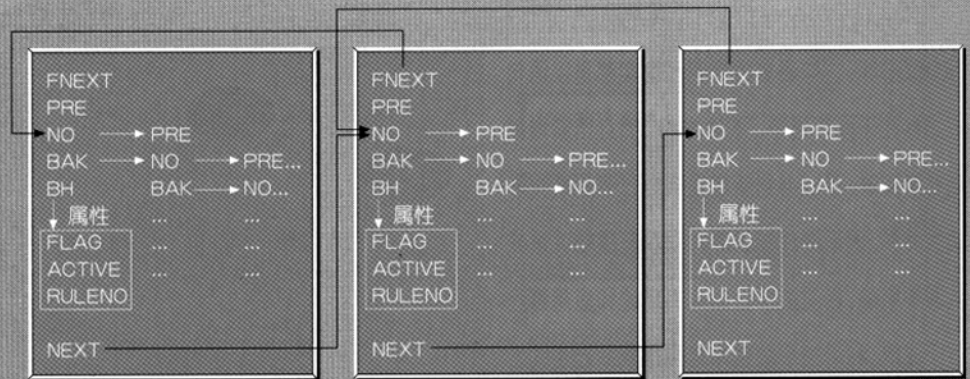


图 2 规则关系表中各域之间的相互关系

SQL 查询语句的相互配合采用启发式的搜索策略。详细的推理方法实现过程会在下节说明。采用这种方法删掉了用来指定推理顺序的指向前一规则和后一规则的域的主要作用，但是这样一来，就不可避免地引出了知识库维护的问题。如何能够既保证采用启发式搜索策略带来的快速推理的优点，又能方便地进行知识的添加和删除，RULENO 域的引入为解决这一问题提供了一个可行的方法。

4 推理方法的实现

经过上述步骤，可以把故障诊断专家系统要用到的产生式知识放入关系数据库之中，接下来就要在此基础上进行推理。在这里，我们采用的是启发式的搜索策略，即先在整个数据库中搜索与所输入的一个症状匹配的知识，未被搜索到的知识就将其舍弃，下一步匹配只在满足第一步搜索的知识中进行，这样逐步搜索下去，直至得出最终的结论。过程如图 3 所示：

系统程序框图如图 4 所示：

5 仿真实验结果

将上述理论方法应用于旋转机械故障诊断专家系统中，在实际的应用过程中，可能会由于失误未能输入完全的症状表现，因此，在实际的操作系统中又加入了询问的对话框，以确定是否真的没有出现这一故障。

例如，若故障征兆为：振动稳定性为不稳定(p1)&振动方向为径向(p2)&进动方向为径向(p3)&轴心轨迹为紊乱(p4)&相位特征为不稳定(p5)&矢量区域为突变(p6)&发生的故障为：喘振。专家系统的推理过程如图 5 所示。

诊断结果如表 3 所示：

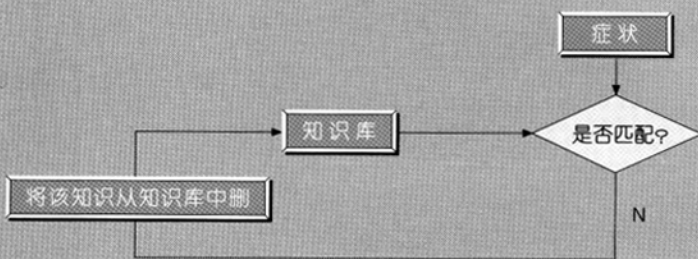


图 3 启发式搜索的推理过程

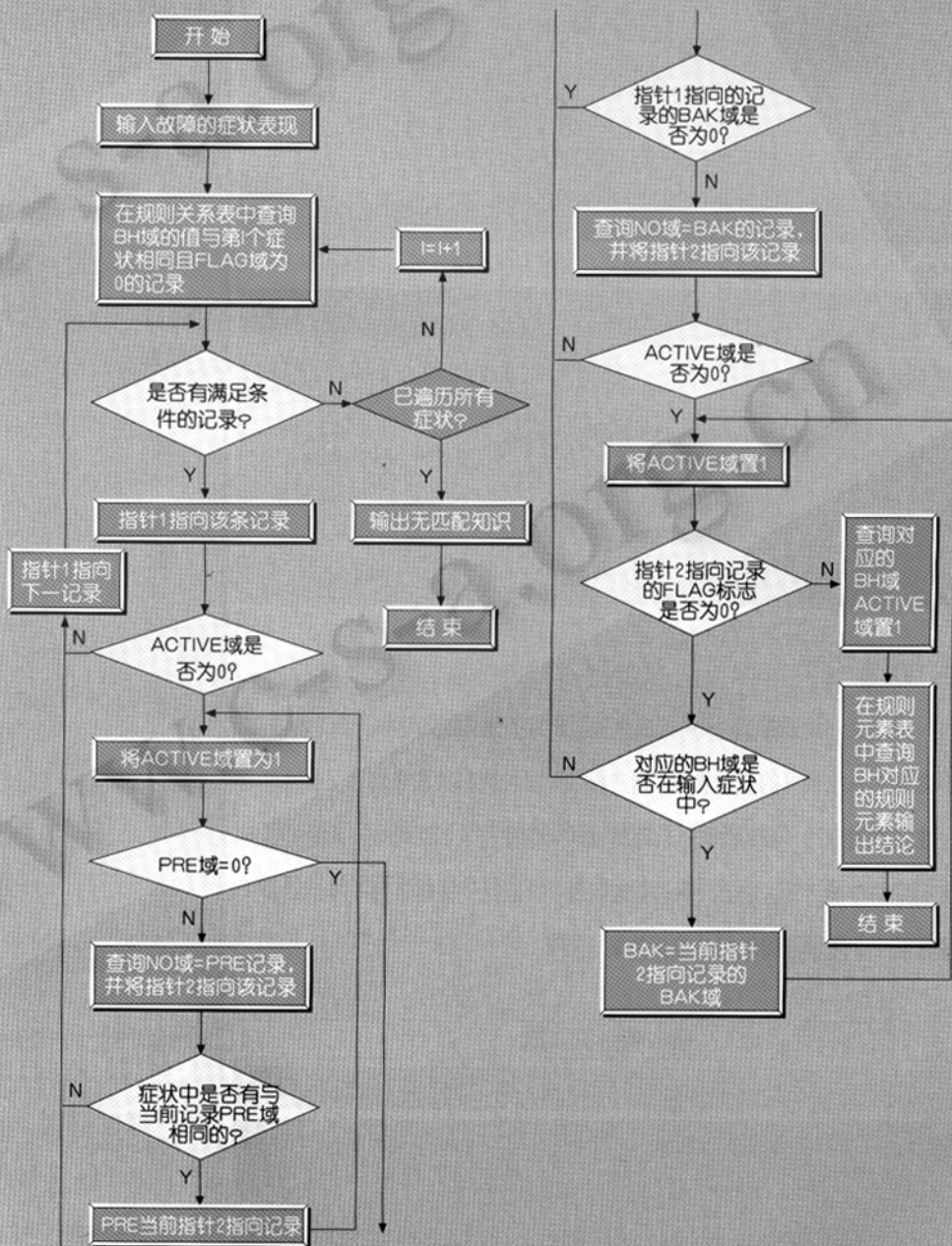


图 4 启发式推理程序框图

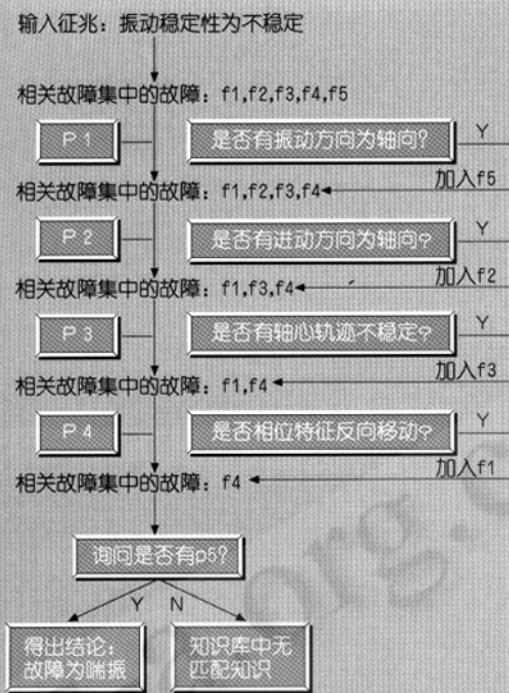


图5 专家系统推理过程

表3 专家系统故障诊断结果

诊断方法	频域诊断	时域诊断	症状诊断	综合推理诊断
喘振	0.9991758	0.99	0.85	0.8431077
推力轴承损坏	0.8685761	<0.8	0.5166667	0.5458865
转子径向局部摩擦	0.9566548	0.8922456	0.6521974	0.7549218
共生松动	0.88771682	<0.8	0.6654487	0.7254681
转子径向连续摩擦	0.8251141	0.8161956	<0.5	0.6187053

6 结束语

通过上述论述可见，采用关系数据库表示产生式规则可以充分利用关系数据库系统良好的数据管理、用户权限设置和数据共享等功能。通过对产生式规则进行一定的处理，既能保证规则的完整性和正确性，又能符合数据库的存储方式，便于知识的管理和维护。应用于旋转机械故障诊断专家系统中，能够取得较好的应用效果。 ■

参 考 文 献

- 1 吴泉源、刘江宁，人工智能与专家系统，国防科技大学出版社，1995，116~120。
- 2 傅荣、罗键，一种基于关系数据库的专家系统体系结构及其应用，厦门大学学报(自然科学版)，Vol.38 No.4。
- 3 吴伟民、舒勤，基于关系数据库表示产生式规则，四川联合大学学报(工程科学版)，Vol.2 No.6，88-95。