

③  
14-18一种用于电气倒闸操作专家系统的  
知识库结构A Novel Constructure of Combinatorial Knowledge Base  
for the Expert System of Eletrical Switching李 建 中      王 官 洁  
Li Jianzhong      Wang Guanjie

(重庆大学电气工程系)

TM 762

**摘 要** 结合电气操作的特点,通过对人工智能中产生式规则和逻辑谓词两种知识表示技术优缺点的比较分析,提出了一种组合型知识库结构。这种知识库结构能提高系统的推理效率,便于知识库的扩充、修改,有利于建造通用专家系统的外壳。

**关键词** 专家系统; 电力系统/知识库  
中国图书资料法分类号 TP18

电气倒闸  
10 11

**ABSTRACT** By comparing the techniges of the production and the logic predicate for knowledge representation, this paper presents a kind of constructure of combinatorial knowledge base applied to the expert system for switch operation in electric power system. This constructure of knowledge base to be expanded and revised easily, and it is cinvenitnt to build the general shell of the expert system.

**KEY WORDS** expert system; knowledge base power system

## 0 引 言

知识库是专家系统推理所依赖的基础。知识库结构反映了知识的组织方法和表达知识的模式。知识库结构的好坏对整个专家系统的执行效率影响很大,所以在知识库设计中其结构是很值得重视的问题。

知识表示模式是决定知识库结构的关键因素。比如,采用产生式规则表示模式,其知识库只能是规则的层次结构。设计专家系统时,确定合适的知识表示模式来构造相应的知识库结构是至关重要的,它关系到领域知识表达的充分性和冗余度,也关系到整个专家系统的结构和推理机制。不同的知识表示模式,可使知识在专家系统的推理执行过程中呈现不同的性态。人工智能中研究的各种知识表示技术,按其主要特征可分成如下两大类:

- 1) 叙述型:将大多数知识表示成静态事实,仅有少数知识被表示成处理这些静态事实

的通用程序。

2) 过程型:大多数知识表示为使用知识的过程,仅有少数知识表示成静态事实。从逻辑上讲,叙述型和过程型是等价的,因为  $P \rightarrow Q \Leftrightarrow \sim PVQ$ 。但在实际系统中,随着处理问题的不同,两类知识表示将出现一定的优劣。

现已报道的有关电气操作专家系统,几乎毫不例外地采用了产生式系统。产生式系统中,各种知识以产生式规则表达,这就确定了知识库具有规则的层次结构。产生式系统在推理执行过程中,与求解问题相关的一些知识表达规则是通过数据联系,按层次关系逐条驱动使用。所以,产生式规则表达的知识在执行过程中,呈现为过程性知识。这种知识表示模式有许多优点:

- 易于表达如何处理问题的知识;
  - 可表达无法用叙述法表示的知识;
  - 易于表达各种启发性知识。
- 但也存在一些缺点:

知识库和推理程序不能完全独立,不便于知识库的扩充、修改,不利于建造通用专家系统外壳。

表示知识的规则包含在系统程序中,占用计算机内存大。

基于规则的产生式系统的推理,一般用深度优先搜索策略,推理效率低。

## 1 组合型知识库结构

电气操作具有明显的因果逻辑关系和严格的顺序层次关系。一般来讲,对具有因果、顺序、逻辑关系的知识,特别是采用 PROLOG 语言设计的系统用产生式规则或逻辑表示技术表达比较合适。可是在电气操作专家系统中,用产生式规则表示技术存在前已讨论的一些缺点,正是这些缺点阻碍着已开发系统的实用性和通用性。事实上,采用逻辑表示技术也存在缺点。其缺点主要有二:其一,各种过程知识难以表达;其二,电气操作有灵活多变的组合特点,这种组

合特点要通过演绎推理机制来实现,将导致组合爆炸的问题,使系统推理效率降低。对产生式规则和逻辑表示技术进行分析,可以发现,二者的某些优缺点是互补的。如果把二者恰当地结合,就能扬长避短,会使系统性能得到改善。对一个专家系统来讲,采用两种表示技术的知识表达模式可称为组合知识表示模式,由此构造的知识库结构可称为组合型知识库结构。

在一个专家系统中,采用两种知识表示技术,就存在哪些知识该用哪种表示技术来表达的问题,即知识的划分问题。这是构造组合型知识库的关键。下面以高压直流输电系统的状态转换操作为例,具体地分析采用产生式规则表示技术存在的问题,进而讨论组合型知识库结构的构造。

图1是高压直流输电系统各种状态转换的顺序关系。图中任意两状态之间可以进行相互

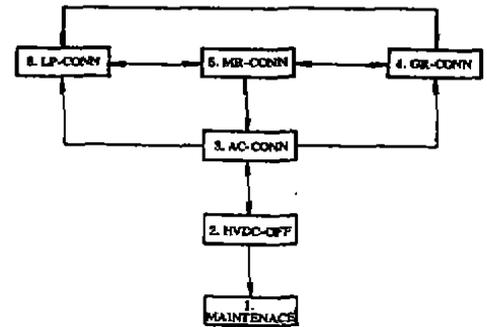


图1 状态关系

转换。

高压直流输电系统有两个极,在每个极上都可以分别进行图1所示的状态转换操作。而且每两个状态之间的转换操作可以在两种操作方式(手动分步操作方式和顺控操作方式)下进行。每个操作过程以及同一操作过程在不同的操作方式下具有不同的操作规则。如果用产生式规则来表示在不同操作方式下各种操作过程的知识,所需的产生式规则数目就有  $RN = 2^2 \times P_i = 120$  条。这表示了操作过程的一级规则。一个操作过程一般包含几个具有一定层次顺序关系的子过程,还须用分级规则来表示。图2、3分别表示了手动分步操作方式和顺控操作方式下“HVDC-OFF”到“GR-CONN”转换操作过程的分级规则。如此构造的层次规则库的规模是相当庞大的,其规则数目能达到系统不能接收的程度。从图2、3中可以看出,两种操作方式下的操作规则不同,但作用于网络的部件是相同的。事实上,互逆的两个操作过程所涉及网络的部件也是相同的,只是操作顺序和行为是相反的。用不同的产生式规则表示两种操作方式下的操作过程及两个互逆的操作过程,势必在知识库中包含很多冗余信息,不能做到知识共享。

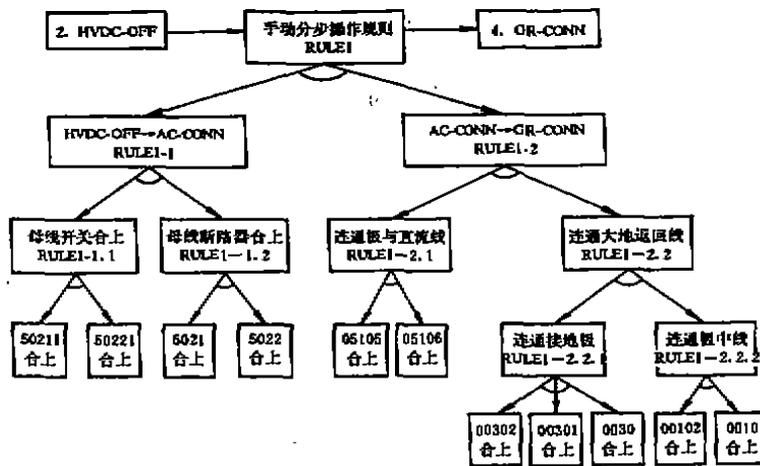


图 2 手动分步操作过程分级规则图

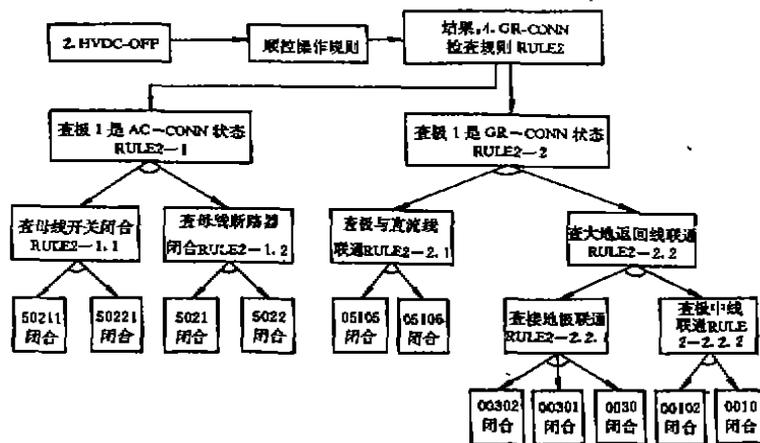


图 3 顺控操作过程分级规则图

下面再来分析一下基于产生式规则的推理过程。我们以在手动分步操作方式下 HVDC-OFF 到 GR-CONN 的转换操作过程为例。图4是其推理树。

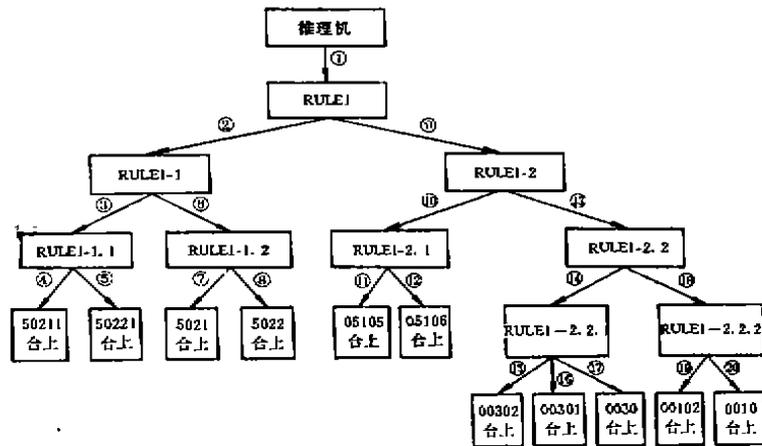


图4 基于产生式规则的推理树

注：有向线上的圆圈数字表示搜索步数(即搜索深度)。

由图4可知，推理搜索深度随规则层次和数目急剧增加。

鉴于高压直流输电系统状态转换操作过程的知识用产生式规则表示技术来表达存在着上述问题，我们把图1中两状态之间的直接转换操作过程定义为独立操作过程，其知识用逻辑表示技术来表示。两状态之间的间接转换操作过程可由相关独立操作过程的组合来实现，其知识用产生式规则表示。

逻辑表示技术表示知识的模式是定义关系逻辑谓词子句。表示独立状态转换操作过程的逻辑谓词子句定义如下：

$$St-exchg(PNAME, PSN, LSN, LLIST) \tag{1}$$

其中 PNAME 是极的名称；PSN、LSN 分别表示初始状态和目的状态的编号；LLIST 表示某极从 PSN 状态转换到 LSN 状态所需施行的一个操作链，它是一个包含操作部件、操作行为、部件状态、操作顺序等多种信息的复合表。下面是极1从2状态(HVDC-OFF)到3状态(AC-CONN)转换操作过程的逻辑谓词子句：

$$st-exchg(Pole-1, 2, 3, [[50211, 1], [50211, 1], [5021, 1], [5022, 1]]) \tag{2}$$

这个逻辑谓词子句表示了4条产生式规则的知识。它既可表示在两种操作方式下2状态到3状态转换操作过程的知识，又可表示2状态与3状态相互转换操作过程的知识。两种操作方式下使用这个逻辑谓词子句，是对表中部件特征值给予不同的解释。逆转换操作过程使用这个逻辑谓词子句，是在推理程序中将部件特征值变反，并对复合表作表尾到表头的处理即可。

从处理问题的过程级上，对知识作上述划分，并分别采用逻辑表示技术和产生式规则表示技术表达，就构造出组合型知识库结构。组合型知识库是由产生式规则库和逻辑谓词子句库组合而成。

组合型知识库结构有如下几点优良特性：

- 1) 能使知识库规模大幅度压缩，做到知识共享，知识库中包含尽可能少的冗余的信息。

(2)式表示的一个逻辑谓词子句,可表示4条产生式规则,从这一点讲,组合型知识库的规模相对于产生式知识库可被压缩到1/4程度。一个逻辑谓词子句既可以被两种操作方式使用,又可以被互逆操作过程使用,做到了知识共享,自然在知识库中就包含少的冗余信息。

2) 能使系统推理效率显著提高。因为系统推理搜索空间变为由独立操作过程组成的空间,独立操作过程知识是知识库中的单元,从而使搜索深度大为压缩。例如,图4所示的推理搜索过程可变为图5所示的推理搜索过程。

3) 可以实现知识库与推理程序分离。因为逻辑谓词子句是相互独立的,逻辑谓词子句表示的知识不仅可以建立成独立于推理程序的知识库,还可以建立成完全独立于系统的磁盘文件。这样能方便地扩充、修改知识库,并能克服在微机上开发大型专家系统受内存空间限制的困难。

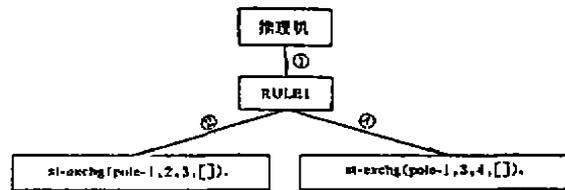


图5 组合型知识库结构的推理树

## 2 结 论

本文提出的组合型知识库结构,作者在研制高压直流输电系统操作票专家系统使用,与同类产生式电气操作专家系统比较能使系统具有良好的特性和效能,并能明显地节省计算机的时空开销。本文虽然是以高压直流输电系统操作过程知识为背景讨论组合型知识库结构,但电气操作具有许多共同特征,就其思想方法对整个电气操作具有普遍意义。

### 参 考 文 献

- 1 何华灿烂,人工智能导论.西安:西北工业大学出版社,1988
- 2 陈北乾,潘金贵,谢俊元.TURBO PROLOG 程序设计.南京:南京大学出版社,1990
- 3 岑文辉,吴琦琳.电力系统正常和事故操作的专家系统.电力系统自动化,1989,(3):15~18
- 4 Clancy. J. Viewing knowledge Base as Qualitative Models. IEEE Expert SYSTEM, 1989, 4(2):9~15