

继电保护专家系统中知识的面向对象表示法

张沛超, 胡炎, 郁惟镛

(上海交通大学电气工程系, 上海 200240)

摘要: 比较了几种常用知识表示方法的优缺点, 论述了面向对象知识表示法是非常适合于电力系统的先进的知识表示法, 提出了一种将知识库和推理机相分离的新型面向对象知识表示法。结合一个实际的继电保护运行管理专家系统的研究开发, 全面说明了该表示法中封装、继承、多态、消息发送、规则推理等技术的应用。

关键词: 面向对象; 知识表示; 专家系统; 继电保护

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2001)02-0016-04

1 引言

知识表示是专家系统中最活跃、最重要的研究课题之一。一个专家系统的成功与否和它采取的知识表示方法能否充分表达和使用该领域知识有着直接的关系。在实际应用中, 应根据具体领域特点作相应的选择。

近年来, 国内专家系统在电力系统中的应用方面作了大量的研究工作, 并开发成功了许多系统。在这些系统中, 采用的知识表示方法主要有三种: (1) 产生式规则; (2) 框架, 如文献^[1~4]; (3) 面向对象方法, 如文献^[5~8]。

规则表示法的主要优点是简单、明了, 比较符合人类的逻辑思维规律, 容易理解, 易于表达。其主要缺点在于, 它不是一种结构化的知识表示方法。当被单独使用时, 难以实现对信息的封装, 难以表达事物之间各种复杂的关系。对于复杂的系统, 这种表示方法显得简单。

框架表示法可看作是面向对象表示法的先驱。其最大的特点在于提供了对信息的封装能力, 是一种结构化的表示方法。电力系统的领域知识中不可避免地要涉及大量物理设备, 设备的特性可以通过其属性(如额定功率、电压等级)和操作(如投运、停运)来刻画。框架表示法的封装能力对于这类知识的表述是非常重要的。另外, 框架结构也能表示继承关系和关联关系。这些关系在电力系统中是大量存在的, 其本身就是电力系统领域知识的重要组成部分。例如: 三卷变压器和变压器是继承关系; 线路和开关是关联关系。框架结构作为一种结构化较好的知识表示方法, 目前在电力系统专家系统中被广泛采用。

面向对象知识表示法是最有发展前途的知识表示法。和框架相比, 它不但支持封装、继承、关联, 而

且支持消息发送、多态等高级特性。而两者更深层的区别则在于软件方法学方面。面向对象知识表示本质是强调从客观世界中固有的事物出发来构造系统; 强调系统中的对象以及对象之间的关系能够如实反映客观世界中固有事物及其关系。因此它是一种最结构化的知识表示方法。

面向对象表示法作为一种新型知识表示法, 在具体实现上尚未成熟, 相应的开发工具也较少。作者认为, 目前可有两种实现方案: (一) 在已有的面向对象编程语言的基础上, 增加推理功能; (二) 在已有的产生式系统基础上, 增加面向对象特性。在文献^[5~8]所报道的系统中, 都采用方案一。这样做的优点是可以借用该语言自身的面向对象机制及开发工具, 并可以实现和数值计算的有机结合。但它有如下缺点: (1) 知识系统中的类和对象直接借用编程语言中的类和对象实现, 规则也借用编程语言的有关数据结构实现, 使得知识库在物理上已经不存在了。修改知识库, 就必需修改源代码, 系统的可扩充性大为降低。(2) 推理机制分布于类中, 推理机在物理上也不存在了。这样推理机难以集中维护, 推理机也得不到共享。

专家系统(无论采用何种知识表示方式) 一个重要的优点是知识库和推理机在物理上单独存在, 相互分离。因此, 作者认为方案二更值得推荐。

本文全面阐述了基于方案二、全面地支持封装、继承、消息发送、多态等技术的面向对象知识表示方法。在我们开发的继电保护日常运行管理专家系统中, 该知识表示方法得到了成功的应用。

2 面向对象的知识表示

2.1 类层次结构

为进行知识的面向对象表示, 首先应确定类层次结构。根据电力系统实际运行情况及本专家系统

的具体要求,确定了图 1 所示类层次。

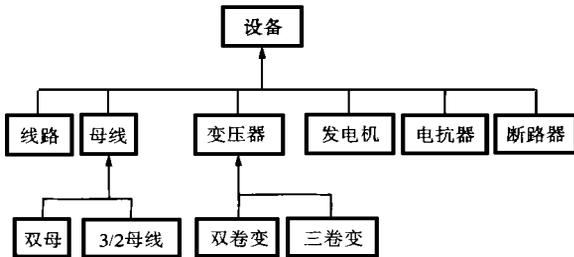


图 1 类层次图

2.2 实现封装(encapsulation)

封装是面向对象方法的一个基本原则。描述对象状态的属性和刻划对象行为的方法被封装到一个模块中从而构成一个闭包。在面向对象的知识表示中,属性用槽(slot)表示,方法用消息句柄(message - handler)表示。例如,设备类定义为:

```

CLASS 设备
  (slot 名称
   (类型 字符串))
  (slot 电压等级
   (类型 符号)
   (允许值 500 220 110)
   (缺省值 500)
   (访问权 读))
  (slot 操作前状态
   (类型 符号)
   (允许值 运行 停用 热备用 冷备用)
   (缺省值 运行))
  (slot 操作后状态
   (类型 符号)
   (允许值 运行 停用 热备用 冷备用)
   (缺省值 停用))
  (slot 推理进程
   (类型 符号)
   (允许值 未开始 进行中 结束)
   (缺省值 未开始))
  . . . . . (message - handler 打印)
    
```

通过封装,可以对各个槽进行值域限定。例如,在设备类中,定义[电压等级]为符号型,且只可取500kV,220kV,110kV。另外,还可以控制对各个槽的访问权限。例如,设备的电压等级在推理过程中是不可修改的,因此设置其[访问权]为只[读]。这样,就可在知识表示这一环节上防止一些错误的发生。

在面向对象系统中,方法的调用以及属性的存取都是通过消息发送实现的。在上述设备类定义中封装了[打印]方法。该方法用以实现推理结果的输出。以下语句调用对象obj的[打印]方法:

SEND obj 打印

与其它表示方法相比,面向对象的知识表示方法通过封装,提供了对现实世界实体的全面的、一目了然的描述;每个类定义构成一个独立的数据结构单元,具有很强的模块性;提供了对对象的丰富的控制手段。这些特性对于大型专家系统的开发都是非常关键的。

2.3 实现继承(inheritance)

继承是面向对象技术中提高代码重用性、可靠性的重要手段。正确地利用继承原则,可避免对父类和子类之间共同特征的重复描述;同时,通过继承可以清晰地表达每一项共同特征所适应的概念范围。因此,可使知识表示更为简练和清晰。在知识库中,用IS - A表示继承关系。以线路类为例:

```

CLASS 线路 IS - A 设备
  (multi - slot 断路器 (类型 字符串))
  (slot 保护对策 (类型 字符串))
  (slot 重合闸对策 (类型 字符串))
  (slot 稳措回路对策 (类型 字符串))
  (message - handler 打印
   (print 保护对策)
   (print 重合闸对策)
   (print 稳措回路对策))
  . . . . .
    
```

2.4 实现多态(polymorphism)

多态在面向对象知识表示技术中是一种高级功能。它可使同名方法在各个子类中具有不同的语义。在上面的类定义中实际上已经使用了多态:在设备类和线路类中都定义了[打印]方法。这是容易理解的,因为对于不同设备,当运行方式变更后,其相应的对策种类是各不相同的,因而其推理结果的打印方法也各不相同。从设备类派生的各个子类(如线路、母线、断路器等)都必须重新实现自己的[打印]方法。

多态的威力主要体现在,它可以实现所谓的“一个接口,多种方法”。假设需要打印出所有设备的继电保护对策,只需如下一条规则即可实现:

```

规则名: 打印保护对策
IF (当前阶段 打印) AND
  (OBJECT (?obj of 设备
   (推理进程 结束))
THEN
  (SEND ?obj 打印)
    
```

应从两方面理解上述规则:一方面,由设备类派生的所有子类都共享该同一规则;另一方面,由于多

态特性,对于满足匹配条件的每一个对象,系统会在推理过程中动态识别其实际类型(如线路、母线等)并调用对应的方法。换句话说,对于不同类的对象,系统会自动调用不同的[打印]方法。

利用多态机制,可以保证顶层规则的高度简洁性和可靠性,并使整个系统呈现高度的灵活性和可扩展性。在保证接口一致的前提下,开发人员可独立开发各个子类。当子类的方法需要修改时,或者需要从设备类派生新的子类时,顶层的规则都不需改变。在大型专家系统的开发中,恰当地使用多态机制,可以大大地提高开发效率,降低维护难度。

2.5 结合规则进行推理

上述类定义和启发式规则都共同存放于知识库中。类的实例可出现在规则的前件或后件中,以参与推理过程。以下为一条线路停运规则:

```

规则名: 线路停运-1
IF (当前阶段 推理) AND
   (操作对象 线路) AND
// 存在一个满足匹配条件的线路对象? line
   (OBJECT (? line of 线路
            (操作前状态 运行)
            (操作后状态 停用)
            (名称 ? name)
            (断路器 ? break)))
THEN
// 通过消息发送,将推理结果填入对应槽中
(SEND ? line PUT- 保护对策“退出”+ ? name + “两侧
线路保护、过电压保护、远跳装置”)
(SEND ? line PUT- 重合闸对策“退出”+ ? break + “开
关的断路器保护(失灵、三相不一致保护)和重合闸”)
(SEND ? line PUT- 稳措回路对策“退出”+ ? name +
“线路保护起动稳措回路”)

```

3 应用实例

本文提出的面向对象的知识表示方法已被应用于某网调继电保护日常运行管理专家系统中。电力系统运行方式变化、设备检修、新设备投运等等,都会引起保护配置和定值的相应改变。本专家系统能够根据电网结构、运行规程、专家经验等进行决策,帮助运行人员制订保护对策。

该系统运行于中文 Windows 95 平台。系统中包含 18 个类定义,42 条规则,可以处理近 30 类方式变更操作。所有的类定义和规则都以纯文本文件格式存储于单独的知识库中。推理机用 C++ 开发,其模式匹配算法基于著名的 RETE 算法^[9]。整个推理

机以 DLL 形式存在,并可以和外部数值计算程序无缝集成^[10]。以下为一推理实例。

接线方式如图 2 所示。方式变更为:

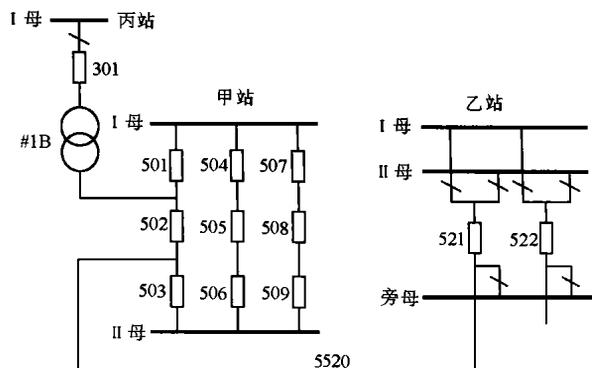


图 2 示例网络

5520 线停电
开关 501、502、503、521 停电
甲站 I 母停电
联变 # 1B 停电

推理结果为:

退出 5520 线两侧线路保护、过电压保护、远方跳闸装置。
退出 # 1B 联变保护及联变过负荷。
退出甲站 I 母的母差保护。
退出 301、501、504、507 开关的断路器保护(失灵、三相不一致保护)。
退出 502、503、521 开关的断路器保护(失灵、三相不一致保护)和重合闸。
退出甲乙线线路保护起动稳措回路。
退出 # 1B 联变保护及联变过负荷起动稳措回路。
退出甲站 I 母母线保护起动稳措回路。

经运行人员检验,上述推理结果正确无误。

4 结论

(1) 和其它方法相比,面向对象的知识表示方式是切合电力系统特点的知识表示方式。它提供了知识的深层表示能力,可以大大地提高软件开发效率,提高系统可靠性和可维护性;

(2) 和其它面向对象知识表示方法相比,本文的知识表示方法具有以下显著优点: 实现了知识库和推理机的相互分离,大大提高了专家系统的灵活性可扩充性; 在产生式系统的基础上实现面向

对象特性,减少了与传统系统在知识库设计上的差异,以往的规则编制经验可得到更好利用。

(3) 结合开发实例,全面阐述了面向对象知识表示中封装、继承、消息发送、多态、推理等特性的实现,对研究面向对象知识表示的同行具有参考价值。

参考文献:

- [1] 朱永利,盛四清,等.一种新的电网自动接线分析方法.华北电力大学学报,1998,25(3):1~7.
- [2] 翟学明,谢萍,等.电网调度操作票专家系统中的知识表示方法.华北电力大学学报,1998,25(3):98~102.
- [3] 段振国,高曙,等.电网结构知识表示方法研究与管理软件开发.中国电力,1998,32(2):34~37.
- [4] 张学军,王建新.用于电网结构知识表示的框架网络法.电网技术,1998,22(8):18~19.
- [5] 刘青,彭晓兰,等.面向对象的电力系统专家系统设计.电力系统自动化,1997,21(5):33~36.
- [6] 谢萍,王翠茹,等.电网故障诊断知识的面向对象表示法.中国电力,1997,30(2):41~43.

- [7] 陶维青,鲍道良,等.面向对象的发电厂网络开关操作票专家系统.电力系统自动化,1997,21(12):65~67.
- [8] 尤钟晓,卢章辉,等.面向对象的电力系统调度操作专家系统.电力自动化设备,1999,19(1):28~31.
- [9] Forgy C L, Shepard S J, Rete: A Fast Match Algorithm. AI Expert, 1987.
- [10] 张沛超,郁惟镛,等.基于开放结构的网调继电保护日常运行管理专家系统的研究.电网技术,1998,22(12):24~26,30.
- [11] 邵维忠,杨芙清.面向对象的系统分析.北京:清华大学出版社,1998,12.

收稿日期: 2000-06-17

基金项目: 上海市教育委员会重点学科项目;上海交通大学青年基金资助项目。

作者简介: 张沛超(1970-),男,硕士,讲师,主要从事专家系统在电力系统中的应用研究; 胡炎,男,硕士,研究方向为专家系统在继电保护中的应用; 郁惟镛(1940-),男,教授,博士生导师,现从事电力系统及其自动化的教学和科研工作。

The object-oriented knowledge representation paradigm in protection expert system

ZHANG Pei-chao, HU Yan, YU Wei-yong

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Some common used knowledge representation paradigms are compared and why object-oriented knowledge representation(OOKR) is the advanced paradigm is discussed in this paper which is suitable for power system. A new OOKR paradigm with the characteristic of separating knowledge base from inference engine is introduced. Detailed examples from a real protection expert system are given to demonstrate the techniques like encapsulation, inheritance, polymorphism, message-sending and rule-inference in the preferred paradigm.

Key words: object-oriented; knowledge representation; expert system; protective relay

(上接第 15 页)

收稿日期: 2000-05-25; 改回日期: 2000-09-27

作者简介: 苏建设(1972-),男,博士研究生,从事电力系统

安全稳定分析和无功补偿方面的研究; 周佃民(1974-),男,博士研究生,从事电力系统经济调度及电力市场方面的研究; 廖培金(1946-),男,副教授,从事电力系统运行与控制、人工智能在电力系统中的应用等方面的教学和研究。

Power systems transient stability prediction by using fuzzy neural network based on GPS synchronized measurements

SU Jian-she¹, LIAO Pei-jin², ZHOU Dian-min²

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper presents a transient stability prediction method in which a fuzzy neural network can, on the basis of GPS synchronized generator angles, predict whether the power systems is stable or not after large disturbances. This approach has fully exploited the advantages of fuzzy logic and neural network, i. e., integrating the expert's experience, learning from the sample set, extracting automatically the fuzzy rules and optimizing the membership functions, etc. Therefore, it has high accuracy of pattern recognition and function approximation. The simulation indicates the validity of the proposed method of transient stability prediction.

Key words: power systems; GPS; prediction; transient stability; fuzzy neural network