

# 面向对象的继电保护日常运行操作专家系统的运用

王威<sup>1</sup>, 张沛超<sup>1</sup>, 郁惟镛<sup>1</sup>, 聂宇本<sup>2</sup>, 高翔<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学电力学院, 上海 200240; 2. 华东电力调度局, 上海 200002)

**摘要:** 将专家系统和传统程序设计软件 Visual C++ 结合, 利用面向对象的方法完成继电保护日常操作辅助决策。该系统具有良好的开放性, 利用专家系统的知识库使操作原则独立存在, 使程序大大简化, 并加强了程序的可读性、移植性和灵活性。

**关键词:** 专家系统; CLIPS; 面向对象; 拓扑分析

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2001)09-0023-04

## 1 引言

继电保护在电力系统中起着重要的作用。当系统运行方式发生变化时, 继电保护人员需要进行保护投退方案的确定和保护定值的计算工作。由于电力系统的结构、投退方案的确定、运行方式等受诸多因素的影响而经常发生变化, 因此确定保护方案是一项极为复杂的工作。方案好坏的判断, 不仅需要整个系统水平上加以考虑, 而且十分依赖保护工程师的经验, 根据具体应用及时调整。加速运行及管理知识更新, 改进继电保护运行管理手段, 成为当务之急。

每个调度局都根据各自的网络结构和设备的特点, 总结了各自的保护投切和修改规则, 这些规则也同时在根据设备和网络结构的变更而改变。运行人员掌握这些规则是十分重要的, 但是同时也是烦杂的, 经常需要去查阅规则。专家系统正是基于规则的推理工具, 非常适合作这样的推理匹配工作。因此, 将专家系统引入操作推理的应用, 必将大大改善调度员处理问题的速度与准确性。将根据各个设备和网络结构的特点而总结出的操作规则, 以知识库的形式告知专家系统, 专家系统就可以根据用户给出的操作信息, 给出应该执行的规则。

最重要的是, 操作规则可以作为知识库而单独存在, 调度人员可以方便地根据规则的变更来修改知识库, 这样, 免去了烦杂的记忆, 大大提高了调度工作效率, 同时该专家系统也可以作为模拟系统对操作员进行培训, 根据操作给出应执行的规则, 使操作员在模拟操作中掌握正确的操作规则。

为此, 由上海交通大学和华东电力调度局合作, 共同研制网调继电保护日常运行管理专家系统, 旨在总结系统运行方式变化和故障时, 保护的投退方案经验, 将其与 NASA 的专家系统工具 CLIPS 相结

合, 完成保护投退方案的自动确定。同时, 对操作的合理性进行验证并给出操作建议。

## 2 日常操作管理专家系统总体结构

本系统根据网络拓扑分析及知识库中的规则给出相应的操作措施指导。整个系统包括数据管理模块, 专家系统模块, 程序控制模块, 界面模块。程序结构如图 1 所示。

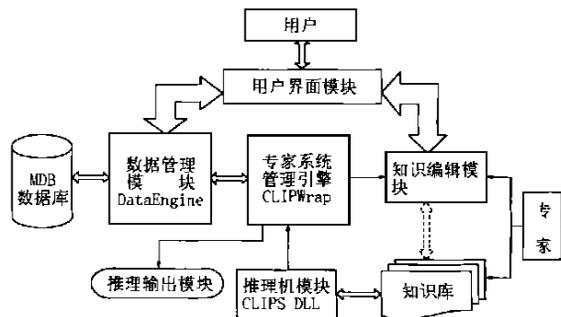


图 1 日常运行专家系统结构图

主程序中的数据管理模块、用户界面模块、知识编辑模块和推理输出模块使用 Visual C++ 6.0 来编制, Visual C++ 6.0 是非常强大的 Windows 程序开发工具, 其 MFC (Microsoft Foundation Class) 可以使开发运行 Windows 系统下的程序更加便利, 同时 Visual C++ 的编译器可以使编译后的程序达到最佳的性能。

数据管理模块负责所有网络元件的数据管理, 包括存储、检索、删除、增加、查找等。数据利用 Microsoft Access 97 数据库存储, 程序利用 DAO (Data Access Object) 数据库数据引擎, 该引擎的优点是速度快, 其 Jet Engine 最适于 Access 数据库, 它提供更快的记录查询检索, 记录定位, 记录间滚动, 并且支持在多用户的情况下, 保持数据的实时性。CDataEngine 类将调用 DAO 数据引擎维护数据存储

的 Access 数据库,该类负责内存数据链表与数据库之间的数据通信,并完成实时操作中元件数据对象的检索、添加、修改和删除。除了在工程装载和保存时,CDataEngine 和数据库通信外,程序在运行过程中所有的操作都是 CDataEngine 在操作内存数据链表,大大加快了程序的运行速度。

推理机使用了美国航空航天局的专家系统工具 CLIPS 6.0,为了模块化和使用的方便,采用了 Mark Tomlinson 根据 CLIPS 6.0 编制的动态库 CLIPS.DLL,该动态库倒出了所有的 CLIPS 6.0 中的函数,并且免费提供使用,使用动态库,使程序更加模块化。为了使该动态库更方便地在 Visual C++ 开发环境中开发面向对象的 Win32 程序,修改并采用了 Mark Tomlinson 为该动态库编制的 CCLIPSWrap 包装类,该类在程序中对该动态库采用静态调用,同时将 CLIPS 设计为一个面向对象的类,大大方便了对 CLIPS 的嵌入使用,也更加符合面向对象的程序设计要求。

### 3 面向对象的知识表示

知识表示是专家系统的关键,一个专家系统的建造成功与否和所采取的知识表示方法能否充分表达和使用该领域知识有直接关系。目前已经开发和正在应用的专家系统绝大多数采用基于产生式规则的知识表示模式,其最大缺点在于缺乏信息的封装、信息的结构化表示和可重用性,缺乏对知识的深层表示能力,缺乏对客观世界实体间结构和功能的表示,从而使专家系统开发人员普遍感到知识表示困难,系统实现复杂程度高、开发周期长。

面向对象技术是开发大型系统的利器。在系统分析阶段,由于“对象”是现实世界中具体事物和概念的抽象,使得开发人员和用户彼此容易沟通;在系统设计和实现阶段,通过封装、继承、多态等手段,可以大大降低系统实现复杂度,提高代码的可重用性、可靠性及可维护性,从而加速了问题求解过程。因此,通过采用面向对象技术,可以使现实问题空间和求解空间得以统一。CLIPS 6.0 提供的 COOL (CLIPS Object-Oriented Language) 支持面向对象的知识表示和知识操作,在此我们充分利用面向对象的知识表示方法和特点来表示知识,使知识表示更直观、更简洁,同时也更方便地与面向对象的主程序进行数据通信。如图 2 所示,充分利用面向对象技术中的继承可以使得设备元件对象知识的表示层次和面向对象的主程序中的元件数据对象表示完全对应。

在面向对象的知识表示中,属性用槽(slot)表

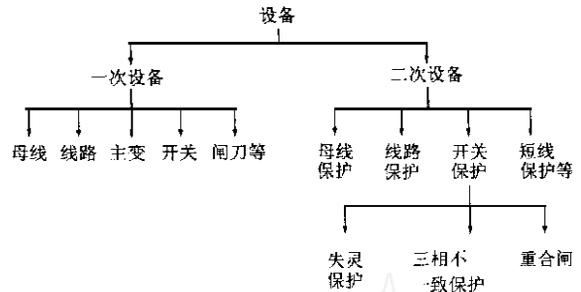


图 2 知识库类层次图

示,方法用消息句柄(message-handler)表示。通过封装,可以实现知识的结构化表示、槽值取值限定、缺省值设定以及存取控制等特性,而这些特性在其它知识表示方法中则难以实现。

```

(DEFCLASS 二次设备 IS-A 设备
  (role concrete)
  (slot 屏号
    (类型 字符)
    (访问权 初始化、读))
  (slot 所属厂站
    (类型 字符)
    (访问权 初始化、读))
  (slot 状态
    (类型 符号)
    (允许值 运行 停运 检修)
    (缺省值 运行)
    (访问权 读写))
(DEFCLASS 一次设备 IS-A 设备
  (role concrete)
  (slot 节点
    (类型 字符)
    (访问权 初始化、读))
  (slot 所属厂站
    (类型 字符)
    (访问权 初始化、读))
  (slot 状态
    (类型 符号)
    (允许值 投入 退出 改信号 检修)
    (缺省值 投入)
    (访问权 读写))
  
```

上述对两种设备对象的类声明,充分展现了面向对象的知识表示的强大功能,这里展示了继承和多态,同时通过封装对进行属性(slot)设置。可以看到,CLIPS 的类封装基本具备了传统的面向对象的程序设计中的所有必要的属性设置,可以方便地设置属性的类型、属性的访问权限、继承关系、属性的缺省值和取值范围等。同时,CLIPS 还提供了许多

上面例子中没有列出的面向对象的程序设计特点,例如:属性的 Storage 值可以指定该属性值是存储在实例中还是所有实例公用,这就相当于 C++ 语言中的类成员变量是否为 Static;属性的 Visibility 值指定该属性是 Private 还是 Public,这相当于 C++ 语言中的 Public、Private 成员说明。

面向对象的知识表示方法大大简化了处理知识的工作,使知识表示的分类更加清晰,对象更加明确,大大降低系统实现的复杂度。

#### 4 CLIPS 所带来的强大便捷的网络拓扑分析功能

电力网络的拓扑分析,就是根据开关和闸刀的状态,迅速地进行逻辑判断,形成各相元件的子系统。在继电保护日常操作的分析中,大量的规则都是与网络拓扑关系相关的,在本专家系统知识库规则中也可以看到,大量的规则都是在确定了一定的拓扑关系后得出的结论。因此,拓扑分析对于我们的操作管理专家系统非常重要。非专家系统拓扑分析的方法是靠主程序在数据堆栈中进行逻辑搜索判断,形成元件的连接关系,这样的方法需要大量的程序编制,而且搜索的方法大大影响拓扑分析的速度,更重要的这种拓扑分析是根据所需的相连子系统而进行的,所以一旦对拓扑分析的要求有所变更,则必须要修改源程序代码。将 CLIPS 运用到拓扑分析的领域,带来了全新的理念。

CLIPS 作为一种基于规则的推理系统,很擅长根据规则来匹配实例,得出结果。在此,拓扑分析的要求将作为规则存储于知识库中,真正的拓扑分析完全由 CLIPS 的推理机根据知识库中的规则来完成。例如:规则“线路两套主保护全停,与其相连母线的主保护应正常投用。”就可以用一条规则完成。

```
(defrule MAIN : :220line-rule-2
  (seconddevice stop (m. device ? name) (m. str-
Zone ? zone) (m. strStation ? station1))
  (object (is a LINE)
    (m. strName ? linename)
    (m. bStatus on)
    (m. strFromNode ? fromnode)
    (m. strToNode ? tonode)
    (m. nVoltage220)
    (m. strStation1 ? station1)
    (m. strStation2 ? station2))
  (object (is-a LINE- PROTECTION)
```

```
(m. strName ? name)
(m. strKind "主保护 ")
(m. bStatus on)
(m. nNO ? NO1)
(m. strLine ? linename)
(m. strStation ? station1))
(object (is-a LINE- PROTECTION)
  (m. strName ? name2)
  (m. strKind "主保护 ")
  (m. bStatus off)
  (m. nNO ? NO2 &~ ? NO1)
  (m. strLine ? linename)
  (m. strStation ? station3))
? instance <- (object (is-a LINE- PROTECTION)
  (m. strName ? lineprotectname)
  (m. strKind "后备保护 ")
  (m. bStatus on)
  (m. strLine ? linename)
  (m. strStation ? station4))
(or (object (is-a BUS)
  (m. strName ? busname)
  (m. strNode ? fromnode)
  (m. nVoltage 220)
  (m. bStatus on)
  (m. strStation ? station1))
  (object (is-a BUS)
  (m. strName ? busname)
  (m. strNode ? tonode)
  (m. nVoltage 220)
  (m. bStatus on)
  (m. strStation ? station2)))
=>
(printout wdisplay "由于 "? linename " 两套主保护全
停,与其相连的母线 "? busname " 的主保护应正常投
用。"crlf))
这条规则表明,当停掉一套线路主保护时,找到
该条线路,并判断是否该线路的两套主保护都停了,
如果是,则找出相连的母线,提示用户该母线的主保
护应正常投用。规则清晰易懂,而且将所有的拓扑
分析匹配均交给 CLIPS 的推理机来完成,这就可以
省去编写代码来进行拓扑分析。如果要自己在代码
中进行拓扑分析,则上面的一条规则就要在内存元
件数据数组中进行大量的搜索匹配,非常繁琐。而
且,用 CLIPS 来完成拓扑分析,主程序也根本不用写
```

任何代码来控制拓扑分析,完全由 CLIPS 的推理机来自动触发,主程序只要把系统元件实例输入 CLIPS,CLIPS 的推理机就会开始按规则匹配,准确而快速,而开发者唯一要做的仅仅是将要分析的拓扑情况用 CLIPS 的规则表示,并装入专家系统的推理机,然后就可以充分利用推理机来完成接下来的工作了。

通过比较用专家系统推理机和传统的编程方法来完成拓扑分析,可以充分体会到利用专家系统所带来的便捷和高效,它完全将逻辑拓扑分析功能从程序中单独分离,由 CLIPS 来完成,大大降低了主程序编制的工作量。

## 5 开放的操作规则库

专家系统程序将所有的继电保护日常操作规则都总结成知识库的规则,将其存储在知识库文件中,独立存在于主程序之外。主程序就相当于一个推理引擎,它装入知识库的内容,然后根据电力网络元件数据信息生成 CLIPS 系统中的元件实例,进行的所有元件操作,主程序都以生成专家系统事实的形式告知专家系统,当选择推理后,推理机迅速将所有的实例和事实与规则进行匹配,输出推理结果。

其实,真正的内容是知识库中的内容,而主程序只是一个框架,为内容服务。将内容单独存放在知识库文件中,大大方便了内容的更新。传统的拓扑分析在主程序中实现,如果对拓扑分析的要求发生变化,则必须对源程序进行修改,而这在程序发布之后是十分困难的。对于一个操作管理专家系统,因为电力网络结构和设备在不断地变化,规则也会相应变化,所以对规则的修改将是程序今后维护的主要工作。专家系统完全使这个工作开放,对内容的修改只要单独编辑知识库文本文件即可完成,充分体现了系统的开放性。当专家系统程序移植到一个全新的电力网络中去的时候,对主程序可能不用作任何修改,单单修改知识库就可达到新的要求,这大

大增强了我们日常操作专家系统的移植性。专家系统的引入,使得继电保护日常操作系统可以成为一个通用的系统。

## 6 结论

通过将专家系统与传统的编程工具结合,我们实现了一种更开放、更简洁的继电保护日常运行操作专家系统。本系统具有以下特点:

1) 在专家系统中利用面向对象的知识表示方法,使得知识表示更直观、清晰和方便,也使得专家系统和面向对象的程序设计工具更方便、快捷地相结合。

2) 利用专家系统规则完成拓扑分析,拓扑分析逻辑更加简单、清晰,大大简化了程序编制中的逻辑处理,使得整个程序更加简洁,功能模块划分更加明确。

3) 操作规则知识库相对独立于主程序,使得整定原则的修改大大简化,从而使系统更加开放,更易于修改和移植。

## 参考文献:

- [1] 吴鹤龄. 专家系统工具 CLIPS 及其应用. 北京理工大学出版社, 1992. 10.
- [2] Joseph Garratano, Gary Riley 著, 印签等译. 专家系统原理与编程. 中国机械工业出版社, 2000.
- [3] 张沛超, 郁惟镛, 张德泉, 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, (12).

收稿日期: 2001-02-26

作者简介: 王威(1975-), 男, 硕士, 研究方向为专家系统在电力系统中的应用; 张沛超(1970-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用; 郁惟镛(1940-), 男, 教授, 博导, 研究方向为人工智能在继电保护及变电站综合自动化中的应用。

## Application of object-oriented expert system in relaying protection routine

WANG Wei<sup>1</sup>, ZHANG Pei-chao<sup>1</sup>, YU Wei-yong<sup>1</sup>, NIE Yu-ben<sup>2</sup>, GAO Xiang<sup>2</sup>

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240; 2. Huadong Power Dispatch Bureau, Shanghai 200002, China)

**Abstract:** Using Expert System tool CLIPS and traditional developing tool Visual C++ ,we develop a relaying protection routine expert system. Applying the object-oriented method and independent knowledge base well ,we make the system easy to read ,modify and replant ,and the software become more simple and exoteric.

**Key words:** expert system; CLIPS; object-orient; topology analysis