

专家系统在馈线自动化系统中的应用

王东宁,汪俊峰,孟宪伟

(思达高科配网技术公司,河南 郑州 450001)

摘要: 专家系统利用专家在馈线自动化系统中的知识较好地解决了常规程序在进行馈线自动化故障判断、故障隔离与非故障区段恢复供电中数学计算模型复杂、数据计算量大、计算时间长、负荷转代约束目标多等缺点。该方法具有一定的应用价值。

关键词: 专家系统; 馈线自动化; 故障判断; 故障隔离; 恢复供电

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)09-0043-04

1 引言

传统的馈线自动化中故障判断、故障隔离与非故障区段恢复供电采用的方式是基于图与树的数据结构和相关搜索算法的常规程序设计方法。该方法虽然在已有的数学模型基础上解决故障判断与隔离和非故障段上游区恢复供电较为合适,但在非故障段下游区恢复供电时需要在多种约束条件的基础上作大量的分析计算,对计算出的负荷转代方案按照评价目标排序,提示操作人员,操作人员根据经验判断再作出较为合适的负荷转代方案。

该方法存在一些缺点,如多约束目标往往包含:负荷节点电压约束,馈线容量约束,网络损耗约束等,对不同的配电网架结构约束目标往往不同,而且相同的配电网架结构不同的时间约束目标也可能不同,所以很难找到一个合适的评价方法对负荷转代方案作出评价。做出评价方案的排序,仍然需要操作人员根据经验做出判断选择合适的负荷转代方案。另外在常规的计算方法中也存在计算数据量大,计算时间长,这也增加了恢复供电的时间,影响电力企业的经济效益。

从以上可以看出常规的馈线自动化计算方法存在一定的局限。本文提出基于实时数据平台与专家系统结合,利用专家系统的知识与规则的约束,通过实时系统采集的状态信息与故障信息数据做馈线自动化的触发判据,自动生成故障隔离与恢复供电方案,减少操作人员的干预,提高供电的可靠性。

2 专家系统简介

专家系统就是一种在相关的知识领域内具有专家水平解题能力的智能程序系统^[3],它能运用领域内专家多年积累的经验与专门知识,模拟人类专家

的思维过程,求解需要专家才能解决的困难问题。

专家系统与常规的计算机程序之间的不同主要表现为:常规的计算机程序是对数据结构以及作用于数据结构的确定性算法的表述,即:常规程序 = 数据结构 + 算法;而专家系统是通过运用知识进行推理,力求在问题的领域内推导出满意的解答^[2],即:专家系统 = 知识 + 推理。

典型的专家系统的组成要素如图1所示。

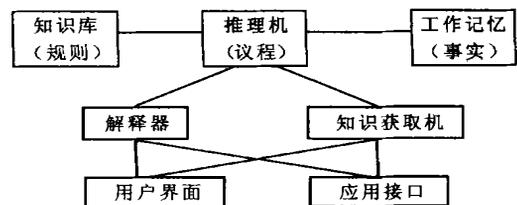


图1 专家系统的结构

Fig. 1 Structure of expert system

在基于规则的系统,知识库包含以规则形式编码的解决问题的领域知识,规则是表示知识的常用形式,它包括:

(1) 用户界面(应用程序接口)

单独的专家系统需要用户与专家系统之间通讯,在本系统中专家系统需要获得实时系统的实时数据知识,所以提供与实时系统的接口。

(2) 解释机

解释系统的推理并返回给用户。

(3) 推理机

通过决定哪些规则满足事实和目标,并授予规则的优先级,然后执行最高优先级规则来进行推理。

(4) 议程

由推理机建立的一个规则优先级表,这些规则需要匹配事实与目标。

(5) 知识获取机

在通过用户界面或应用接口传递系统知识与规则时,需要为用户建立一个自动输入方法,以代替知识工程师去编码知识^[2]。

拥有知识是专家系统区别于其他计算机软件系统的重要标志,知识质量和数量是决定专家系统性能的关键因素,知识获取是一个与领域专家、专家系统建造者与专家系统自身都密切相关的复杂问题。知识获取的任务就是为专家系统获取知识,建立起健全、完善、有效的知识库,以满足求解领域问题的需要。所以它需要做以下的工作:知识的抽取,知识的转换,知识的输入与知识的检测^[1]。如图 2 所示。



图 2 知识获取的过程

Fig. 2 Process of knowledge Acquisition

3 系统实现

馈线自动化专家系统中知识的获取包括:调度专家在该领域内的经验知识与基于实时系统中的实时数据知识(如当前开关是否变位,是否存在过流与失压信息)。专家领域内的知识可以通过知识的输入环境将知识数据录入到知识库中,对于实时数据知识需要实时系统接口,自动获得实时系统传递的实时信息数据。

下面以在 SD - 2000 配电自动化系统中实现的一个简单的手拉手环网为例(如图 3),阐述如何基于专家系统实现馈线自动化。对于复杂的多电源配电网,原理同简单环网相同。

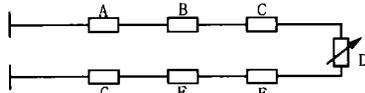


图 3 简单的环网

Fig. 3 Simple looped network

图中 A、G 为出线开关, B、C、D、E、F 为分段开关,网络结构的开环点可以根据网络的运行状态确定。

实现馈线自动化的具体步骤如下:

(1) 描述网络开关的拓扑结构,定义开关状态与故障的模板结构

网络拓扑是馈线自动化常规程序判断的依据,同时也是馈线自动化专家系统知识库中描述网络结构的依据,但前者是通过数据结构来描述拓扑的,而专家系统是通过知识来描述网络拓扑的。

在本例中网络拓扑结构的知识表述为:建立自定义事实。采用 CLIPS 的描述语言如下:

```

(defacts initial - state
  (stack1 A B C D E F G)
  (stack2 G F E D C B A)
  (phase initialize))
  
```

根据两个出线开关建立两个堆栈队列,描述配电网的拓扑结构作为专家系统的初始化事实知识,同时定义初始状态。

开关故障信息的模板结构作为知识规范化的方式,限制其槽的结构与槽的名称。描述如下:

```

(deftemplate switchstatus
  (slot name) (slot status))
  
```

(2) 确定配电网络运行的开环点

配电网络的运行特点为:闭环结构,开环运行,所以开环点的判断是馈线自动化专家系统的基础知识。在离线编辑状态无法确定网络的开环点,所以需要在在线运行状态中根据开关的实时状态信息数据确定。SD - 2000 配电自动化系统中实时数据平台将网络中各个开关的状态信息通过数据访问接口将实时开关的状态信息以数据知识的形式传递到馈线自动化专家系统中。专家系统根据传递的知识与规则库中的规则匹配,通过推理机的判断决定环网的开环运行点。此步骤的规则称为初始化规则,流程如图 4 所示。

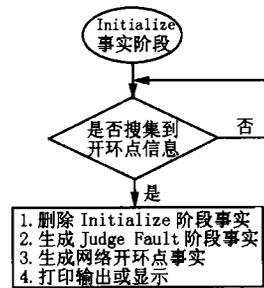


图 4 初始化规则图

Fig. 4 Rule of initialize

初始化规则描述语言如下:

```

(defrule initialize
  ? phase1 < - (phase initialize)
  =>
  (retract ? phase1)
  (assert (phase Judge. Fault))
  (bind ? response (read))
  (printout t 开环点信息 crlf)
  (assert (switchstatus (name (? response))
  
```

(status off)))

以上规则中存在的一些基本的语法知识可参见文献[2]。

(3) 根据故障开关知识进行故障定位与故障隔离的判断

初始化规则将环网开环点确定后以知识的形式存储在事实列表中,同时通过产生(phase Judge. Fault)事实转移到判断故障阶段,故障判断规则通过搜集过流开关信息的事实等待触发。所以当配电网网络出现故障时,SD-2000实时数据采集系统(SCADA)将开关的故障信息以规定的事实结构形式传递到馈线自动化专家系统,专家系统采用模式匹配方式将事实与规则的前件匹配,从而触发故障判断规则。将判断的结果打印或显示在规定的窗口上。故障定位与隔离的判断规则的流程如图5所示。

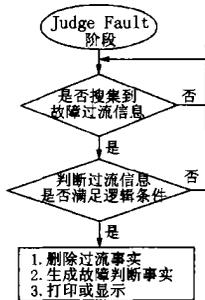


图5 故障判断规则图

Fig.5 Rule of fault judgement

故障判断规则描述如下:

```
(defrule JudgeFault
  ? phase1 <- (phase Judge. Fault)
  ? infor <- (overcurrent S ? switch)
  (or (and(stack1 S ? switch ? switch1 S ?)
    (stack1 S ?? switch2 ? switch1 S ?))
    (and(stack2 S ? switch ? switch1 S ?)
    (stack2 S ?? switch2 ? switch1 S ?)))
  =>
  (retract ? infor)
  (assert(FaultDuan ? switch2 ? switch1))
  (printout t 故障发生在 ? switch2 与 ?
switch1 之间 crlf))
```

(4) 进行非故障区段的恢复供电

专家系统在故障定位结束后,将产生故障区段事实,该事实将自动触发故障恢复规则,由于对不同的故障区域存在不同的上游与下游非故障区域,将启动不同的恢复供电规则,这里包含正常的恢复供电规则、无上游区的恢复供电规则、无下游区的恢复

供电规则。这三种不同的故障恢复规则只存在一个规则被触发,同时将判断的信息打印或输出到指定窗口中。规则如图6所示。

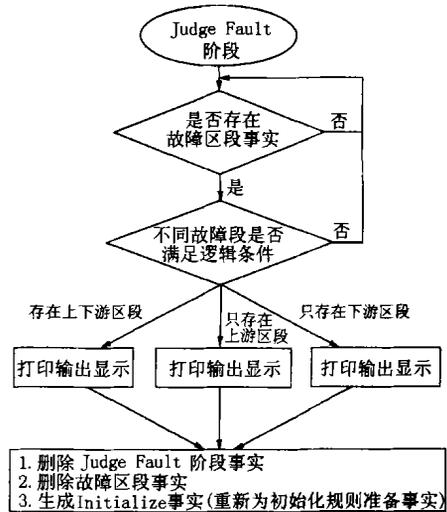


图6 故障恢复规则图

Fig.6 Rule of fault recovery

描述如下:

正常的恢复供电规则

(defrule FaultRecover

```
(FaultDuan S ? switch) (FaultDuan ? switch3
? switch4)
(or(and(stack1 S ? S ? switch S ?) (stack1 ?
switch1 S ?? switch2))
(and (stack2 S ? S ? switch S ?) (stack2 ?
switch1 S ?? switch2)))
(not (stack1 ? switch3 S ?))
(not (stack1 S ?? switch4))
(not (stack2 ? switch3 S ?))
(not (stack2 S ?? switch4))
=>
(printout t 上游区恢复供电方案为:将 ?
switch1 闭合 crlf 下游区的负荷转供方案为:将 ?
switch2 闭合 crlf))
```

无上游区的恢复供电规则

(defrule NoneUpRiver

```
(FaultDuan S ? switch) (FaultDuan ? switch3
? switch4)
(or (stack1 ? switch3 S ?) (stack2 ? switch3
S ?))
(or(and(stack1 S ? S ? switch S ?) (stack1 ?
switch1 S ?? switch2)))
```

```

    (and (stack2 S ? S ? switch S ?) (stack2 ?
switch1 S ? ? switch2)))
    = >
    (printout t 无上游区 crlf)
    (assert (qu NoneUpRiver))
    (assert (switch1 ? switch2))
    (printout t 下游区的负荷转供方案为:将
? switch2 闭合 crlf))
    无下游区的恢复供电规则
    (defrule NoneDownRiver
      (FaultDuan S ? switch) (FaultDuan ? switch3
? switch4)
      (stack1 S ? ? switch4)
      (or (and (stack1 S ? S ? switch S ?) (stack1 ?
switch1 S ? ? switch2))
        (and (stack2 S ? S ? switch S ?) (stack2 ?
switch1 S ? ? switch2)))
      = >
      (printout t 无下游区 crlf)
      (assert (qu NoneDownRiver))
      (assert (switch2 ? switch2))
      ; (printout t 上游区恢复供电方案为:将 ?
switch1 闭合 crlf))

```

以上可以看出一共 5 个规则就可以实现简单手拉手环网的馈线自动化,下面针对配电馈线自动化的故障点,上述的规则如何运行进行举例。

假设初始状态中开环点为 D 开关,在确定配电网运行的开环点规则 (defrule initialize) 将直接接触,将开环点事实产生 ((name D) (status off))。同时产生判断故障事实 (phase Judge. Fault),为故障判断触发提供条件,将初始化事实 (phase initialize) 删除,并打印输出。

当线路上 B、C 开关之间出现故障,则线路产生故障的过流信息,开关 A、B 过流,应用程序将生成过流事实 (overcurrent A、B)。故障判断事实 (defrule JudgeFault) 触发,根据规则中前件的逻辑条件,最终输出判断结果“故障发生在 B 与 C 之间”,生成 (FaultDuan B、C) 事实,同时删除过流事实 (overcurrent A、B)。

下一步将根据事实条件触发非故障区域恢复供

电规则,对 B、C 之间产生故障的存在上游与下游区域,所以 (defrule FaultRecover) 规则将触发,根据前件中的逻辑判断则后件输出为“上游区恢复供电方案为:将 A 闭合;下游区的负荷转供方案为:将 D 闭合”。对于故障区域中不存在上游或下游区域的将分别触发 (defrule NoneUpRiver) 与 (defrule NoneDownRiver) 规则。

对于复杂的供电网络,需要知识工程师与电力调度专家详细讨论,确定对于不同故障点的故障隔离与恢复供电方案,同时知识工程师将方案知识化,录入专家系统知识库。

馈线自动化专家系统在实现馈线自动化的判断的方法上与常规程序相比存在其优点:故障判断、恢复供电迅速,恢复方案准确,无需操作人员干预等。所以基于人工智能的专家系统在馈线自动化具有一定的应用价值。

4 系统设计的软件环境

专家系统平台采用 C++ 实现,支持 WINDOWS 与 UNIX 跨平台环境,系统开放性好,提供与各种外部应用的接口,同时提供命令语言的扩充方法。专家系统外壳提供丰富的编辑与调试手段,使二次开发容易、方便。专家系统运行环境采用紧凑的内核模式,运行速度快,系统开销小。

参考文献:

- [1] 杨以函,唐国庆. 专家系统及其在电力系统中的应用 [M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [2] Joseph Garratano, Gary riley, 著. 刘星成,汤庸,译. 专家系统原理与编程 [M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 王永庆. 人工智能原理与方法 [M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.

收稿日期: 2001-11-20

作者简介:

王东宁(1972 -),男,硕士研究生,从事电网控制软件研究、设计工作。

汪俊峰(1977 -),男,从事电网控制软件研究、设计工作。

孟宪伟(1965 -),男,从事电网控制软件研究、设计工作。

Application of expert system in feeder automation system

WANG Dong-ning, WANG Jun-feng, MENG Xian-wei

(Star Hi-tech Distribution Network Technology Company, Zhengzhou 450001, China)

(下转第 52 页)

的不足。

CLIPS 已在世界范围内得到了广泛的应用。采用 CLIPS 做为本专家系统项目的核心推理模块,保证了本系统将具有领先的逻辑计算能力。

当系统一次方式发生变化时,可以直接调用系统的主接线图和厂站接线图,并在图形上直接改变一次系统的运行方式,如可将母联开关断开,按实际情况投、停发电机和变压器,可以改变变压器的接地方式以及对一个半开关接线方式的厂站进行模拟实际状态的操作等。并能模拟各种故障,进行计算,根据计算结果,校验保护的定值,提出保护的调整方案。并可利用知识库、数据库、短路电流仿真计算程序、保护整定计算程序进行综合分析、逻辑推理后,并提出对策,制定相应继电保护运行管理措施。

推理机还能在某一级保护拒动,或者开关拒动、失灵保护动作或不动作情况下分析相邻开关保护的動作情况。

推理机和专家系统的其它功能模块相对独立。用户可以对知识库、数据库等进行编辑、修改和添加等操作,而不需对推理机做任何修改。

3 结语

本专家系统将输入模块、网络拓扑绘图、数据库管理系统、知识库、推理机、整定计算、短路计算、报表输出八大模块集成在一起,为用户提供一个功能完善的解决方案。

(1) 可视性

本专家系统以网络拓扑绘图模块为主要的用户界面。用户无需记忆大量的操作命令,只需在其熟

悉的网络接线图上,进行数据录入、修改、查询,进行短路计算,整定计算,启动推理机进行推理计算。通过计算的可视化,可以大大缩短用户学习时间,提高工作效率,避免由于大量命令行交互带来的操作错误。

(2) 智能性

通过建立规则库和专家经验库,可以将系统的逻辑推理功能和 PSS/E 的原有数值计算功能紧密地结合到一起,从而大大地提高决策的智能性以及计算的有效性。

(3) 安全性

用户分别具有不同级别的使用权限,相应地对系统具有不同的控制能力。

(4) 适应性

根据用户需要,本系统可以运行于 Windows NT 平台。

(5) 开放性

程序为用户提供一个开放的平台,不论是整定计算原则的变更或整定书格式的变化,还是数据库的充实和更新,都可由用户在应用过程中不断积累修改,程序均能适应并统一管理。

收稿日期: 2001-12-05

作者简介:

聂宇本(1969-),女,工程硕士,高级工程师,研究方向为专家系统在继电保护生产管理中的应用。

高翔(1962-),男,高级工程师。

张沛超(1970-),硕士,讲师,研究方向为人工智能在电力系统中的应用。

Development about expert system of daily performance management for relay protection

NIE Yu-ben¹, GAO Xiang², ZHANG Pei-chao¹

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 2. East China Power Dispatching Control Center, Shanghai 200002, China)

Abstract: According to performance management experiences of relay protection in Huadong electric network for many years, the authors put forward preliminary opinion about expert system based on existing setting and management process application.

Key words: relay protection; management; expert system

(上接第 46 页)

Abstract: This paper expresses the author's opinion on the expert system's application at the Feeder Automation system. By using the expert's special knowledge at this field, the expert system avoids some of the common program's flaw, such as the the maths model's too complicated, data computing amount too heavy, computing time too long and too many load conversion restrict objects during fault judgement, fault separation, and nonfault region's power supply recovery. This method is of some application value.

Key words: expert system; feeder automation; fault judgement; fault separation; recovery of power supply