

面向对象的变电站操作票专家系统

胡耀垓¹, 张晓星², 陶劲松³, 金卓睿²

(1. 武汉大学电子信息学院, 湖北 武汉 430079; 2. 重庆大学高电压与电工新技术
教育部重点实验室, 重庆 400044; 3. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 阐述了面向对象的变电站操作票专家系统, 给出了系统组成, 并叙述各部分功能。该系统可以根据用户要求, 依据拓扑关系自动生成变电站主接线图, 操作逻辑关系存储于数据库中, 可自动生成操作票。

关键词: 面向对象; 主接线图; 操作票; 模拟操作

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)21-0045-03

0 概述

电力系统的安全运行直接关系到国民经济的发展, 写操作票是变电运行中一项重要的基本工作, 正确编写操作票是保证电力系统安全运行的一种重要手段^[1]。利用计算机来代替手工书写操作票, 如果利用传统的方法来编写计算机程序, 开列倒闸操作票软件则显得工作量十分庞大。如何充分利用操作票中经验性强的特点, 利用专家系统理论对知识进行不断总结, 形成基于知识的推理控制模型, 来开发操作票自动生成软件系统, 是当前的发展方向^[2]。目前国内外的科研人员也开发了不少此类软件^[3,4,5], 取得了很多经验。但仍存在以下不足: 通用性不强, 仅仅应用于1个变电站, 而不能同时面对多个变电站, 从而不能综合整个系统的运行状态; 操作和维护复杂, 往往需要专门的维护人员。开发出一套操作简便、通用性强、具有智能性的操作票自动生成系统乃当务之急。

本文首先从建立主接线拓扑结构图入手, 结合面向变电运行设备的认知模型及多层产生式专家知识库, 利用在线拓扑分析算法确定操作路径, 并进行推理, 开发了面向对象的变电站操作票专家系统。该系统由三部分组成: 可视化的主接线图构建子系统、智能化的操作票自动生成专家子系统及模拟操作子系统, 具有主接线图构建灵活、智能化的自动生成操作票等特点。

1 可视化的面向对象的电网主接线拓扑图构建子系统

电气主接线图和二次设备图是重要的可视化人机交互界面。它一方面是运行人员开操作票和进行模拟操作的主要界面, 同时又反映了该变电站的设

备配置和网络结构关系等信息。因此对变电站电气主接线图和二次设备图的绘制和修改实质上是对变电站的设备配置和网络结构等知识的创建与修改。因此在变电站模拟操作专家系统中开发合理、方便的图形管理系统具有重要意义。目前已有绘图系统多数只限于绘图工作, 难以满足变电站仿真培训系统的需要。为此, 我们开发了主接线拓扑结构图构建系统, 可实现对主接线图的构建、管理和维护。

1.1 主接线拓扑结构图及其节点数据结构

如图1所示, 主接线拓扑结构图为一有向图。

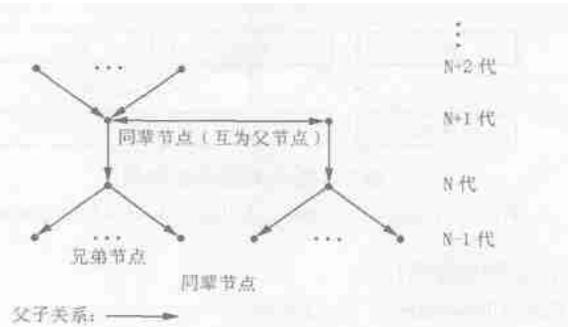


图1 主接线拓扑结构图

Fig. 1 Topological structure of main connection

主接线图构建模块是用户绘制一次接线图的重要工具。单个节点即为一个基本操作单元, 如: 主接线图中除导线外的各种变压器、开关、刀闸、阻波器及母线等设备。

节点辈份(代) N 由下至上递增, 最低层辈份最低, 记为第1代, 记为 $N=1$;

两节点存在单向父子关系, 则父辈比子辈的 N 值大1;

两节点彼此互为父节点, 定义此2节点 N 值相等;

具有相同 N 值的节点称为同辈节点; 同辈节点

包括兄弟节点(有相同父节点的节点)、互为父节点和一般同辈节点。

1 节点可能存在多个父节点(一般不超过 5 个)、多个子节点(一般不超过 20 个)以及各种类型的同辈节点(一般不超过 5 个)等任意复杂关系中。

操作类之间的关系体现出电网操作的不同层次,比如对于面向电网调度的操作票生成系统,主要侧重于对厂站类、线路类的研究和操作;而对于面向变电站倒闸操作的操作票生成系统,主要侧重对设备类的研究和操作,包括一次设备和二次设备。进一步细化设备类、一次设备类和二次设备类,可以发现同一类中的某些类似的设备在操作中一方面存在着共性,同时也存在特性差别,体现出定义操作类之间存在的继承性关系。比如,在一次设备中有开关、闸刀、地线等设备,以闸刀为例,还可细分为线路闸刀、母线闸刀、接地闸刀。对于接地闸刀,还可细分为开关母线侧接地闸刀、开关线路侧接地闸刀和线路接地闸刀。即每一种子操作类都可以找到其对应的上一级操作类,即父类。图 2 给出了操作类继承性的一个示例:

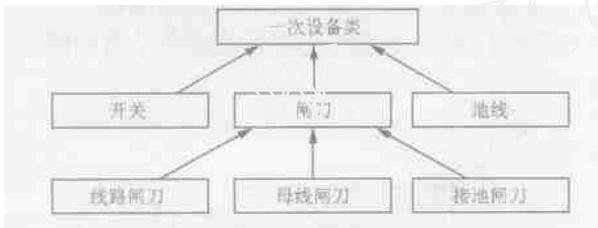


图 2 操作类继承性举例

Fig. 2 Cases of operational class inheritable character

节点数据结构为:

```
Class CBaseNode // 设备基类
{
protected:
bool m-bFlag// 节点状态值,0/1:开关类设备的开/关状态;连线类(母线等)带电与否
int m-iGeneration; // 辈分
int m-iSumofParents;// 父节点个数
int m-iSumofSons; // 子节点个数
CBaseNode *m-pParentNode[10]; // 存放父节点指针的数组
CBaseNode *m-pSonNode[30]; // 存放子节点指针的数组
...
};
```

主要设备类如下:

```
Class CLinkLine public:CBaseNode // 母线类基类
{
protected:
int m-iVoltage;// 母线电压值
...
};
```

```
Class CSwitch public:CBaseNode // 开关类基类
{
protected:
int m-iIDofType;// 设备类型 ID
string m-strCode; // 设备编号
...
};
```

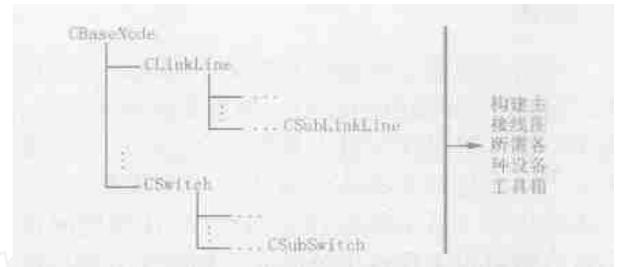


图 3 类的继承关系和设备工具箱设计原理

Fig. 3 Class inheritable character and toll kit design principle

1.2 主接线拓扑图构建子系统

主接线拓扑结构图中的节点对应元件类模块中的元件,即变电站的相应一、二次设备,如:断路器、隔离开关、压板等。对这些元件采用面向对象的技术,用元件类的形式(例如:断路器类,隔离开关类等)实现对元件知识的描述。具体描述时用元件类的属性来描述元件的参数,用元件类的方法来描述对元件的操作。并提供了各种设备工具箱(Tool-Box),使主接线图的构建、调整工作简单、直观、灵活、快捷。这是本系统的特色之一。

主接线图的构建过程中,根据元件的属性和参数等信息,系统即自动形成变电站的网络拓扑结构关系,或所有设备之间的相互连接关系。

开发的可视化的主接线图构建子系统具有以下特点:

- 1) 可以简单方便地绘制和修改典型一次间隔、典型二次设备图和电气主接线图;
- 2) 可以根据主接线图和二次设备图建立、修改和维护变电站的设备库以及网络拓扑结构等信息;
- 3) 可以对生成的主接线图和二次设备图进行仿真操作。

2 智能化的操作票自动生成子系统

智能化的操作票生成子系统采用“一次接线图”+“规则库”+“常用词汇”+“人工参与”的设计思想。操作票专家系统的知识是用于描述现场倒闸操作所需的专门知识,在本系统中,以操作规则的具体形式表现出来。规则库包括用户规则库、约定规则库、常用词汇库等。知识表达方式一方面要全面地表达倒闸操作的现场领域知识,还要考虑便于知识的推理应用。因此采取多重产生式的系统知识表达方式,其基本表达方式为:

IF(操作对象的状态,操作任务) THEN (操作结论)

此表达式表示,能够得到操作结论的前提是当操作对象的状态和操作任务匹配成立。操作结论可以是一组或一个设备满足操作任务的目标态的信息。从信息处理的角度可以理解为初始信息(操作对象)经过操作任务的处理过程,若能够匹配,则能够得到一组目标态的设备信息,即操作结论。可以参见以下示例(举例规则中,设备状态的“0”和“1”分别表示设备处在“断开”和“合上”位置,如“开关=0”表示“开关处在断开位置”):

规则 1:IF(线路,开关检修) THEN(开关=0)。

规则 2:IF(线路,开关检修) THEN(线路闸刀=0,副母闸刀=0,正母闸刀=0,旁路闸刀=0)。

规则 3:IF(线路,开关检修) THEN(开关母线侧接地闸刀=1,开关线路侧接地闸刀=1)。

以上 3 条规则是适用于线路开关检修这个操作任务的一次设备操作规则,可以看出在规则的建立过程中保留着操作类中延续下来的特性。其中规则 1 面向第一代子类开关类设备的规则;规则 2 面向第二代子类线路闸刀和母线闸刀的规则;规则 3 是面向第二代子类接地闸刀的规则。

在进行推理的时候,推理机对系统内专家知识进行搜索、匹配,若同时有多条知识满足要求,即出现冲突时,还要进行裁决,之后就是触发最后选择的知识并加以应用。因为操作类概念的引入,使得规则中面向父类对象的规则可以直接应用于属于子类的所有设备。而针对子类对象间的不同之处,可以用建立的针对子类的操作规则来描述,这样就不会有知识被重复表述。具体的推理实现步骤如下:

1) 确定操作任务,生成操作路径;

2) 在已生成操作路径内,按照一次设备专家知识进行推理,生成一个一次设备的有序排列;

3) 按照二次设备专家知识确定要操作的二次设备以及目标态;同时,按照状态描述规则确定有关状态描述内容;

4) 结合二次设备专家知识和状态描述规则中的票面位置属性,确定每一步应该插入一次设备序列中的位置;

5) 生成包括一次、二次设备以及检查项的操作序列;

6) 从操作语言库中提取相关设备及对应状态的票面描述语言,将操作序列“翻译”为票面语言,打印并存储。

对设备进行模拟操作时,系统将自动判断操作的合法性并作出合理的建议操作及生成模拟操作记录,以生成倒闸操作票,系统的运行状态也会实时以形象的可视化方式描述和存档。

3 结论

本文介绍了面向对象的变电站操作票专家系统,该系统结合了专家系统和拓扑结构的优点,可自动生成变电站主接线图和操作票,系统界面简单易学,适合各级电力网络的应用。系统目前应用在县级供电部门,效果良好。

参考文献:

- [1] Shunichi I, Shoshuke M, Eiji K. Human Oriented Operation Guide for Substations[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1994, (2): 1104-1109.
- [2] 刘玉兰,王建元,宋人杰,等(LIU Yulan, WANG Jianyuan, SONG Renjie, et al). 变电站电气倒闸操作模拟仿真培训系统(The Training Simulation System for Electrical Switching Operation)[J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1996, 20(1): 44-46.
- [3] 戚宇林,段东兴(QI Yulin, DUAN Dongxing). 基于 Intranet 的工作票自动生成与管理系统的研究(Auto-produced and Management System for Work Projects Based on Intranet)[J]. 华北电力大学学报(Journal of North China Electric Power University), 2002, 29(1): 52-54.
- [4] Frank P. Using Simulations to Provide Safety and Operations Training in the Electric Power Industry[J]. Proceedings of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 1999, 2: 986-988.
- [5] Los Arcos J L, Vicedo J, et al. PDA: A Training Application to Electrical Substation Operation[J]. Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, 1999, 2: 1058-1060.

(下转第 55 页 continued on page 55)

大难度的。

4 主要技术参数

采用该技术策略实现的 FA 的主要性能参数如下:

故障隔离时间: < 6 s;

非故障区域恢复供电: 6 ~ 45 s;

反映正确率: > 99.5 %。

5 结论

采用该技术策略实现的 FA 已投入现场运行,经测试性能良好,用户反映满意。实践证明本 FA 方案分析周全、设计合理、技术实用。实施配电自动化系统是一个复杂的系统工程,涉及的技术及范围较广,尤其是 FA 更是重中之重,其技术探索还在不断深入和提高中。特别强调,通信及终端装置的可靠性是保证 FA 正常实现的前提。关于如何保证网

络拓扑关系正确而有效地实现 FA 的真正自动化(无需人工干预),以及在配电网中如何保证单相接地选线功能的准确实用还是一个需要长期探讨的问题。

参考文献:

- [1] 高传善(GAO Chuanshan). 配电自动化系统(Automation of Power Distribution System) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing: China Machine Press), 2000.

收稿日期: 2004-08-19

作者简介:

黄保江(1968 -) ,男,工程师,长期从事电力系统自动化技术及运行管理工作; E-mail: yanchengdl @hndl. sina. net

叶继明(1971 -) ,男,工程师,长期从事电力系统自动化软件产品的研究与开发;

胡前南(1972 -) ,男,工程师,长期从事电力系统自动化通信产品的研究与开发。

Analyzing a practical technique strategy to realize feeder automation of distribution power system

HUANG Bao-jiang¹, YE Ji-ming², HU Qian-nan²

(1. Henan Yancheng Electric Power Bureau, Luohe 460001, China; 2. Henan Winboth Electric Co., Ltd, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Feeder automation (FA) is one of main functions of distribution power system automation, so it's very important to implement an integrated and applicable technical strategy. Based on distribution automation, layered distributive system, and network topology, this paper puts forward the realization principle and technical design of FA and emphasizes its product implementation. The FA realized by this technical strategy has already been put into field operation. Engineering application verifies that the proposed strategy is comprehensively analysed, reasonably designed, and effectively operated.

Key words: DA; FA; layered distributive system; network topology

(上接第 47 页 continued from page 47)

收稿日期: 2004-02-24; 修回日期: 2004-04-20

作者简介:

胡耀垓(1972 -) ,男,讲师,从事人工智能、图像处理和模式识别的研究; E-mail: Farawayhu @sina. com

张晓星(1972 -) ,男,讲师,从事高电压与绝缘技术和电气设备在线监测的研究。E-mail: mikezxx @tom. com

An object oriented simulated operation expert system of substation

HU Yao-gai¹, ZHANG Xiao-xing², TAO Jir-song³, JIN Zhuo-rui²

(1. College of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of High Voltage and Electrical New Technology of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 3. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper provides an object-oriented substation simulated operation expert system with its architecture and functions. The system can carry out substation main connection diagram automatically according to topological relation accommodated with user's demand. The logical relations are stored in database. Operating ticket can be automatically made.

Key words: object-oriented; main connection diagram; operating ticket; simulated operation