

# 仿真培训中的操作票专家系统研究与应用

符飞虎, 杨 峰, 董朝霞

(华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

**摘 要:**介绍一种应用于仿真培训的操作票系统。除了智能自动开票的功能之外,还引入了培训和考核功能。利用仿真变电站的半实物仿真环境,引入了在线培训的培训方法,允许学员对仿真设备进行实物操作,可以大大提高培训效果,具有重大的现实意义。

**关键词:**电网调度员培训仿真系统;专家系统;运行监控和数据采集系统

**中图分类号:**TP182

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2006)10-0223-03

## Research and Application of Intelligent Expert System for Generating Operation Order in Simulation and Training

FU Fei-hu, YANG Feng, DONG Zhao-xia

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Introduced a kind of operation tickets expert system in simulation and training. The system can automatically produce operation tickets and includes the function of training and testing. Making use of the half-realism simulative environment of substations, the system imports online training methods, and allows the student operate the simulative equipments. As thus, the effect of training can be enhanced enormously.

**Key words:** dispatcher training simulator system; expert system; SCADA

### 0 引 言

在电力系统的运行中,需要频繁地进行倒闸操作来改变系统的运行方式。由于变电站接线方式复杂,一次二次设备繁多,人工编写的操作票难免出现错误。借助计算机有专家系统来开操作票,不但可以大大减轻运行人员的繁重负担,而且可以免由于操作票错误带来的操作事故。操作票专家系统利用人工智能理论,通过推理控制来自动生成操作票。对于仿真变电站的操作票系统,除了具有自动开票的功能之外,还引入了培训和考核功能。利用仿真变电站的半实物仿真环境,引入了在线培训的培训方法,允许学员对仿真设备进行实物操作,可以大大提高培训效果,具有重大的现实意义。

本系统是DTS中的一个核心模块,采用VC6.0及Oracle 8为开发工具。学员在操作界面选择操作对象和操作任务后自动生成相应的操作票,并可在半实物的环境下操作设备,形成操作序列,完成考核。

### 1 总体设计

#### 1.1 变电站操作票培训的功能

变电站操作票培训由教员机和学员机两部分组成,其中教员机由开操作票、仿真操作、图形维护和系统维护4个功能模块组成;学员机由开操作票、仿真操作和考核培训3个功能模块组成。

1)开操作票部分用于操作票的管理。用户可直接在电气一次主接线图上选择操作任务,系统能根据任务和输入的运行方式生成相应的操作票。生成的操作票可以进行编辑、修改和保存。还可以按要求的格式打印输出。

2)仿真操作部分使用户能够对生成的操作票在接线图上进行模拟操作。用户首先确定操作任务,然后可以对该操作任务在计算机模拟的接线图上对变电站的一次和二次设备进行仿真操作。

3)图形维护部分用于对接线图的修改和更新。用户可以根据实际需要对接线图上的间隔和设备进行添加、修改和删除等工作。

4)系统维护功能主要包括:保护配置设置、操作任务设置、任务目标态设置、运行方式设置、操作术语管理、试卷管理、学员档案管理、成绩管理等等。用户利用系统维护功能可以方便地完成对变电站有关设备、考核以及操作等方面的管理工作。

5)考核培训部分用于对学员开操作票和仿真操作的

收稿日期:2006-01-04

**作者简介:**符飞虎(1980-),男,河南安阳人,硕士研究生,研究方向为人工智能在电力系统中的应用;董朝霞,博士,教授,主要从事电力系统计算机监控仿真、复杂大系统建模与仿真等教学与研究。

考核工作。学员首先从试题库中选取试题,并根据试题的要求进行一、二次设备图形开票,系统根据学员的操作情况给出成绩并建档。

## 1.2 软件结构

本系统采用模块化的思想进行设计(如图 1 所示),由知识库、数据库、推理机、图形编辑器、实时数据采集与通信、自动生成操作票、在线培训以及人机接口等模块构成,各个模块既相互独立又相互联系。人机接口美观友好,使用方便,可以实现各功能模块的调用。

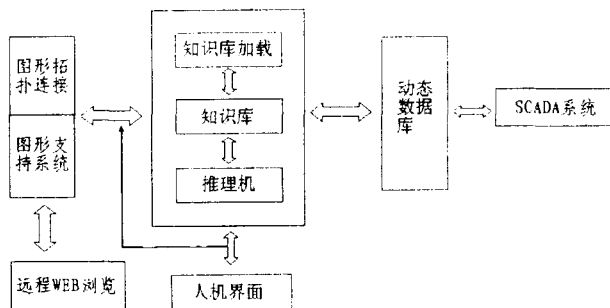


图 1 操作票专家系统

## 2 程序描述

### 2.1 知识库

系统采用树状结构对所用知识进行分类,操作知识分为变压器知识、母线知识和线路知识,对这些知识可根据不同的电压等级,操作类型等进行进一步分类。知识对象包括设备拓扑连接库、一次设备名称库、二次设备名称库、操作票语言库、操作规则库;操作单元对象包括线路停复役操作、线路倒排操作、旁路开关代换操作及保护的投退操作等。专家系统中的知识不再是针对具体的电气设备,而是针对不同种类的电气设备。文中采用面向对象的技术<sup>[1]</sup>,首先定义一个变电站类 Station,然后根据站的所属设备类型从站类派生出变压器类 Transformer,母线类 Bus,线路类 line,开关类 Breaker,刀闸类 Switch,根据各设备的类型,再从各设备类定义子类,例如可以从 Breaker 派生线路开关类 LineBreaker,旁路开关类 PLineBreaker,变压器开关类 TransformerBreaker 等。

#### 2.1.1 静态数据库

静态数据库包括以下几种:

(1)一次设备状态库<sup>[2]</sup>:存储一次设备的状态信息包含了在变电所里各种操作中可能涉及到的所有一次设备的有关信息。

(2)二次设备知识库:存储保护类型、保护运行方式等信息。包含常规意义理解的变电所二次设备。此外,二次设备库中还包括二次设备的初始状态和与相关一次设备的所属关系描述。

(3)图形坐标库:存储一次设备在屏幕显示时的坐标数据,每项由设备类型、编号、X 坐标和 Y 坐标 4 个单元组成。

(4)操作目标选择库:每一操作单元对象对应一个操

作目标选择库,每项由操作单元代码(对应菜单命令)、起始和目标状态代码、操作任务(用于列表框显示)所组成。

(5)操作票结果库:存储推理结果,即存储操作内容所需要的具体操作步骤,每项由大操作步骤号、小操作步骤号和具体操作内容组成。

(6)设备连接知识库:存储各操作单元对象的有关设备连接信息,即拓扑连接库。

#### 2.1.2 规则库

规则库中存放着有关倒闸操作的一次设备操作规则和配合一次操作的二次装置的启停规则,为了提高推理机查询速度,变压器、线路、母线规则分区存放。500kV, 220kV, 110kV, 10kV 规则分区存放,规则引导机构根据用户输入信息,选择推理机搜索规则的进入点。规则库用来存放专家系统运行过程中对每一个模块都有指令意义的规则。一般由“若……,则……”等一系列规则组成。如:“若要拉开运行状态隔离开关 n,又没有拉开与此隔离开关相关的断路器操作,则属误操作”。如果条件表达式的值是真,则执行动作序列。动作序列是当相应的事件发生并且条件满足时应做的一系列预定的动作,也可以进一步引发另一个事件。如:反防、防误操作检测模块知识表示本专家系统主要采用产生式规则进行知识表示<sup>[3]</sup>,产生式规则由条件(前提事实)和结论组成,其基本形式为:

IF(条件) THEN(结论)则控制级规则表示为:

RULE1: IF(操作设备是线路)

THEN(推理转向线路子目标知识模块)

RULE2: IF(操作设备是变压器)

THEN(推理转向变压器子目标知识模块)

### 2.2 推理机

专家系统自动生成操作票的依据有反映一、二次设备的物理拓扑连接图、操作规则库等数据库和基于路径搜索算法的通用推理机模型。在自动生成操作票时,先选择好停、送电方式和操作对象,然后根据操作任务的要求,选择相应的功能参数,经确认后,系统推理机自动进行如下推理:

- (1)响应人机接口的操作任务;
- (2)向 DTS 发信,告知刷新数据库;
- (3)检查操作任务的合法性,形成有效的问题求解空间;
- (4)搜索查询知识库和数据库,形成正确的操作序列;
- (5)对操作序列中涉及的设备,告知数据库管理模块修改其状态;
- (6)显示或打印生成操作票;
- (7)对所开操作票进行归档管理。

### 2.3 知识库加载

知识库加载模块<sup>[4]</sup>为知识库的规则添加输入模块,它为运行人员提供了一个能根据变电站扩展以及二次设备和保护添加进行知识增加和修改的输入接口。知识库能

根据实际运行需要来加载新的专家知识,形成新的规则,从而保证了该软件的可扩展性。

## 2.4 图形

图形自动形成模块形成变电站的主接线图和相关的数据库。本系统采用分层作图的思想,将电网图形编辑(如图 2 所示)分为底图编辑、元件标注、电网图合成等步骤。底图编辑时,可以很方便地通过菜单或工具栏的按钮绘制电力系统中的各种元件,用来完成对电气主接线图的绘制和修改。同时也可直接在主接线图上运用鼠标操作命令,如鼠标点在“线”上,点击右键,则弹出“线路停电,线路恢复送电”等菜单。点击菜单后,自动生成一级合法的操作票。在图形模块中,其基本原理就是“参数化”和“面向对象”,即把主接线系统中的开关、刀闸、母线等图形元件归类作为对象,每一个对象一一对应于一个数据结构(或称为属性),分别存储于图形数据库中。经过对电网图的分析,在屏幕上合理安排图形元件的位置,绘制出底图;底图被确认后再对各种图形元件进行标注。这样将绘制操作与相关设备信息处理分步进行,使整个编辑过程层次清晰,从而大大加快了图形编辑的速度。

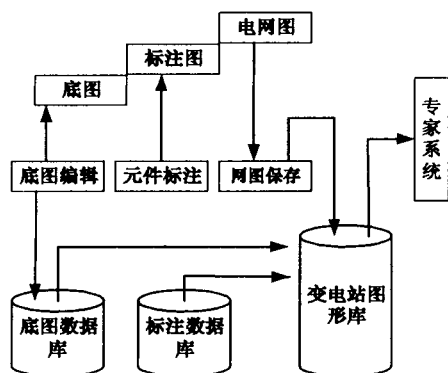


图 2 电网图形编辑系统

①底图编辑。底图编辑采用 Windows GDI 提供的应用程序可调用的多种服务,利用 GDI 基本元素:画笔、画刷。Brush 属性用于设置图形或背景的填充颜色或填充图案;Pen 属性用于指定画布在绘制直线或轮廓时使用的画笔种类。利用 MFC 提供的方法绘制各种图形,编制开关、刀闸、变压器、母线等函数,在绘图屏幕上把代表各种元件的图形符号,用点击按钮的方法将图形符号绘出变电站一次接线图,不同电压等级母线用不同的颜色区分。

②元件标注。绘出底图后,对底图中的图形符号进行标注,确定各图形符号所代表的具体设备,将标注过的图形符号位置连同它所代表的设备信息保存在磁盘上形成标注数据库。

③网图保存。形成每一个变电站单独独立的图形库,便于专家系统调用时快速查找。

底图数据库、标注数据库分别对以上底图、标注的不同数据进行存储。

## 2.5 动态数据库

动态数据库模块是用于记录搜索树、动态事实的目标

主体。它由两部分组成:记事本与事实库。记事本:记录动态推理机的当前目标;事实库:用于记录所被匹配后调用规则的动态事实。

## 2.6 SCADA 系统接口

获取 SCADA 实时信息对数据库进行刷新。

## 3 防误操作

为保证推理机控制的推理系统形成的操作票正确无误。可以利用操作逻辑函数<sup>[5]</sup>对系统形成的操作票进行验证。其主要原理是:根据系统开出来的操作票由计算机模拟操作一遍,用操作逻辑函数判断是否有错误操作项,从而实现对操作票正确性的校验。

操作逻辑函数有以下几个特点:

- 1)可以较为方便地描述电气设备操作的规则,特别是“五防”原则;
- 2)能方便地进行防误操作监视;
- 3)可对操作票的正确性进行验证;
- 4)这种知识表示独立于推理机,因而提高了推理速度。

假设现在开列了一张如下内容的操作票:断开 A;拉开 B;拉开 D。初态  $A=1, B=1, D=1$ , 计算机将自动按上面操作票顺序进行模拟操作,模拟操作过程与运行人员的操作相同。如图 3 所示。

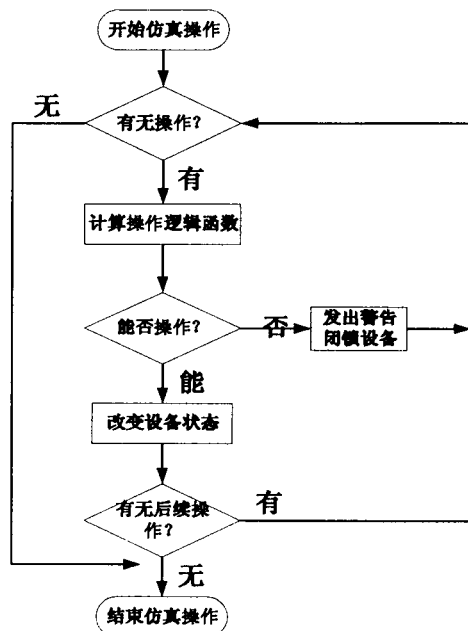


图 3 防误操作流程

第一步:断开 A。首先系统启动防误操作监视程序计算  $F(A)$  的值,  $F(A) = 1$ 。说明没有违反操作规则, A 可以断开。计算机将自动断开 A, 并将 A 的值由“1”改为“0”。

第二步:拉开 B。与第一步相同, 计算  $F(B)$  的值,  $F(B) = 1$ 。

(下转第 229 页)

内容可以用切分点检索算法、视频结构化算法有效地表示。视频检索过程如下:

(1)根据运动和视觉信息将一段视频分为视频序列,在此基础上构造高层的语义结构,如场景等,同时在镜头内找到若干个关键帧来代表镜头的视觉内容;

(2)在视频结构化的基础上,提取各关键帧的观察特征以及运行参数和像机参数,并存入视觉数据库中;

(3)由用户构造查寻,系统基于数据库中的特征处理查寻并将结果反馈给用户<sup>[9]</sup>。目前常用的视频查寻方式是关键字查寻和示例查寻,前者是指用户输入若干个查寻主题,如导演、影片名等,要求找出相关视频,处理这种查寻是通过查找全局数据库中的注释来实现的;后者是根据用户提交的视频例子,在视频特征库支持下,定义一个相似度模型,然后计算特征向量距离来实现视频检索。

### 3.5 媒体检索技术

多媒体检索的对象涵盖了文本、图像、视频、音频等信息。一般来说,检索文本信息采用的是比较先进的全文检索技术。在检索过程中,中文分词问题是全文检索的关键技术,把按词典进行的最大匹配、逆向最大词组匹配、最佳匹配法、基于神经网络和专家系统的分词方法、基于统计和频度等方法运用于全文检索,效果不甚理想。智能化检索将进一步推动全文检索技术的发展。对图像信息可以按颜色、形状、纹理及在图像中的位置查找对象。

## 4 数字图书馆建设的意义、存在问题及展望

数字图书馆是一个应用前景非常广阔的研究领域,特别是对于教育,数字图书馆将成为非常重要的教育设施,由国家出面组织建设数字图书馆的意义很大。首先,数字图书馆是一个国家的数字文化平台,包括图书馆、博物馆、档案馆、大学、政府部门提供的各种文化资源。第二,数字图书馆还应该是一个国家数字教育平台,成为网上业余教育中心、在职教育中心,甚至趣味教育中心等。第三,数字图书馆也是一个国家数字资源中心,包括卫星、遥感、地理、地质、测绘、气象、海洋等科学技术数据和人口、经济等统计数据。

基于内容的多媒体检索是一个新兴的研究领域,在国

内外仍处于研究、探索阶段,因此在基于内容的检索领域中仍然存在许多问题。这些问题主要包括多媒体特征的描述和特征的自动提取、多媒体的同步技术、匹配和结构的选择问题,以及按多相似性特征为基础的索引、查询和检索等。作为一个新兴的研究领域,同时由于其检索对象和范围的多样性,基于内容的多媒体检索还要解决多种检索手段相结合的问题,以提高检索效率。此外,更好地理解检索内容以及使检索性能更接近人类视觉的特征,也是未来研究中需要解决的问题。

中国目前正加大力度投资 3 亿元建立首都数字图书馆和建设中国数字图书馆。数字方舟信息公司已同中国数字图书馆签订了合作协议,并与首都图书馆商讨进一步合作的意向。建立数字图书馆需要大量的资金投入,也需要有较高的信息管理素质的专业人才。因此,在中国建立数字图书馆还需要一个漫长的过程,但随着网络信息的发展和经济实力的不断增强,数据图书馆技术的应用在中国将会有特别广泛的市场。

### 参考文献:

- [1] 王彩霞,万 君.数字图书馆的发展及其相关技术[J].信息技术,2002(9):23-25.
- [2] 孙 坦.论数字图书馆与传统图书馆的关系[J].大学图书馆学报,2001(2):27-30.
- [3] 汤珊红.数字图书馆的发展动态及相关问题研究[J].图书情报知识,2000(1):13-15.
- [4] 盛小平.数字图书馆的信息检索技术.业务知识讲座[J].图书馆理论与实践,2001(3):22-25.
- [5] 邹 涛.文本信息检索技术[J].计算机科学,1999(9):31-34.
- [6] 齐向华.文本信息检索模型[J].晋图学刊,1998(3):16-19.
- [7] 李国辉.几种典型的基于内容检索系统[N].计算机世界,1998-05-18.
- [8] 薛 锋.基于内容的音乐检索[J].大学图书馆学报,1999(4):25-27.
- [9] 周立柱,邢春晓.数字图书馆技术研究与应用[J].中国计算机用户,1999(49):31-33.

(上接第 225 页)

第三步:拉开  $D$ 。 $F(D) = 1$ 。故可以拉开  $D$ ,计算机拉开  $D$  并将 [StatusCode] 的值由“1”改为“0”。经上述模拟操作,验证该操作票是正确的。

## 4 结 论

本系统和 SCADA 系统相连接,应用于 DTS 仿真培训功能中,形成操作票,进行调度员考核,具有重大意义和实际效果。该系统于 2004 年底在河南南阳供电局投运,大大提高了仿真培训的效率和操作票生成的准确性。目前,该系统运行正常,满足培训需求。

### 参考文献:

- [1] 彭云建,申群太.于面向对象编程技术的调度操作票专家系统[J].中南工业大学学报,2002,33(3):313-316.
- [2] 胡海涛,孙宏斌,张伯明,等.变电站操作票专家系统的研究与应用[J].电力自动化设备,2002,22(8):42-45.
- [3] Giarratano J, Riley G. 专家系统原理与编程[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 李晓明,戴承伟,王 平,等.无人值守变电站操作票专家系统[J].中国电力,2001,24(增刊):60-62.
- [5] 刘 蔚,杨宛辉.操作逻辑函数在操作票专家系统中的应用[J].电力系统及其自动化学报,1999,11(4):39-43.