

新型智能电网调度操作票自动生成与管理系统

周 明¹, 林静怀², 杨桂钟², 任建文¹, 李庚银¹

(1. 华北电力大学电气工程学院, 河北省保定市 071003; 2. 福建电力调度通信中心, 福建省福州市 350003)

摘要: 针对现有调度操作票自动生成系统大多为离线的单一智能体系统, 在智能化、安全校核、流程化审核执行等方面需要提高的现状, 提出建立操作规则模板及用户可维护机制解决操作规则描述、学习及推理的通用化问题, 并提出利用多智能体系统, 开发和实现了与 SCADA 系统共享实时数据、与调度管理信息系统集成的集自动开票、手工开票、模拟预演、流程化审核、执行与管理等多种实用功能于一体以及用户可维护的新型智能化电网调度操作票系统。研究成果已经在某省电网投入使用, 实践证明能大大提高电网调度操作的智能性和安全性, 并且在通用性和用户可维护性方面显出优势。

关键词: 调度操作票; 多智能体系统; 模拟演示; 流程化管理

中图分类号: TM732

0 引言

电网设备的运行、操作和事故处理是电网调度的重要职责, 倒闸操作是完成这些工作的手段, 如何彻底杜绝误操作已成为电网调度日常工作中一个重要而棘手的问题。正确无误的操作票是防止误操作的根本。电网调度操作票是在考虑系统运行方式、保护配合、安全操作规则等要求下, 保证设备运行方式的正确改变而制定的严格操作步骤。开写调度操作票是一项经验性很强的工作, 难以建立精确的数学模型, 需要熟练的专业知识和运行经验才能解决。目前, 电力系统正经历着市场化改革, 系统运行方式更加复杂多变, 设备大多运行在接近安全极限的水平下, 设备的倒闸操作更加频繁, 开写正确操作票的复杂程度、频繁程度以及误操作带来的损失都较以往增大了。调度操作票自动生成系统对减轻调度员拟票的压力、提高调度操作水平具有十分重要的意义。

目前现场运用的调度操作票系统能够对一些典型的操作票进行推理自动形成, 但对于复杂的操作任务大多为“以机代笔”, 或是对典型历史票进行修改。虽已有大量研究力图解决这个难题^[1~6], 但由于调度规则的多样性和易变性, 使操作票自动生成的推理与实现受到较大制约, 关于操作规则的描述、识别和学习仍然是解决操作票系统智能性的一个重要课题。另外, 确保操作的安全性是调度操作票的根本。安全校核是过去调度操作票系统较少考虑的, 其原因是没有与实时运行的电网监控系统连接,

是离线运行的, 没有结合实时运行状态进行安全校核分析。现有的调度操作票系统大多是单一运行的, 随着电力系统的发展, 其功能的局限性随之显现, 例如未能与实时 SCADA 系统融合, 使安全校核难以实现, 以及不能实现网络流程化执行与管理等。

本文重点研究操作规则的描述与识别问题, 提出建立用户可配制的动态模板方案解决操作规则的描述与学习, 并研究在此基础上的通用推理机制; 研究调度操作票的安全校核, 通过调用电网的实时运行状态进行安全校核, 确保自动生成的操作票的正确性; 提出利用多智能体系统 (MAS——multi-agent system) 开发和实现与 SCADA 系统共享实时数据, 并与调度管理信息系统 (DMIS) 集成的新型智能化电网调度操作票自动生成与管理系统, 该系统集自动开票、手工开票、模拟预演、流程化审核、执行与管理等多种实用功能于一体, 并具有良好的用户可维护性。

1 系统总体结构

近年来, 分布式人工智能技术的研究已经取得了较大的进展, 尤其是 MAS 已成为目前研究的热点。MAS 在兼顾单智能体系统优点的同时, 重点解决功能独立的智能体之间通过协商、协调和协作, 完成复杂的控制任务或解决复杂的问题。将 MAS 应用到解决电网调度操作票的自身及与 SCADA 系统和 DMIS 之间的协作问题, 可以充分发挥协作的潜力与优势。图 1 是基于多智能体的电网调度操作票系统整体功能框图。图中, SCADA 系统和 DMIS 是为某省开发时已具备的功能, 其他均为新开发功能。系统协调模块负责采用 MAS 解决操作票智能

体与 SCADA 和 DMIS 之间的协作。操作票系统从 SCADA 系统接收电网运行实时数据,为操作票安全校核提供可信的数据依据。操作票系统是一个分布式网络系统,分布在调度中心的主控室和相关部门,为调度员提供智能化的拟票、审核、管理环境。一张操作票生成并经过审核后,通过 DMIS 向有关厂站发布执行这张操作票。操作票生成模块包括自动开票、智能化手工开票、图形模拟演示和流程化审核管理等功能。

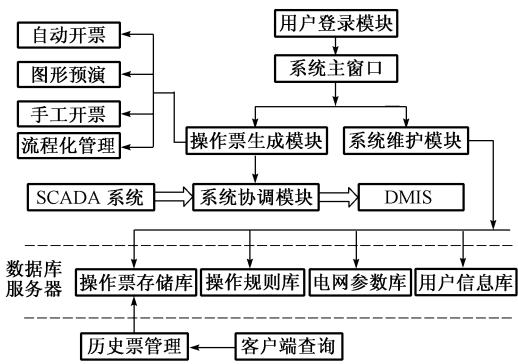


图 1 基于多智能体的调度操作票系统整体功能框图
Fig. 1 Overall framework of MAS based dispatching operation order automation system

2 操作规则的动态模板设计与实现

一张操作票是针对特定设备和特定操作任务、根据电网安全操作规程、按照规范的操作术语描述顺序倒换有关设备运行状态的操作指令集。因此,可以认为操作票是由操作对象、操作任务、操作规则

和操作术语 4 个要素组成。其中:操作对象包括调度所辖的所有一次、二次设备,例如母线、联络线路、开关、保护等;操作任务包括保证电网安全运行的所有运行维护操作,例如 XX 线路由运行转检修等,不同操作对象的操作任务也不同;为了调度操作的准确和规范,各地相应制定了调度术语规范,操作术语即是对此规范的描述,各地也不一致;操作规则是确保电网安全运行的根本策略,指导操作顺序的制定,需要与实时的电气设备运行状况和电网接线方式、保护密切配合。

正是由于操作规则的重要性和特殊性,以及电网调度操作的综合性,使得既不能用数学模型来描述,又不适宜直接用开关控制逻辑^[1]描述。有的研究用句法识别^[2]和认知模型^[4]实现操作规则的描述,但研究合理的调度操作规则表述方法仍是操作票推理和用户可维护、甚至操作票可用性的关键问题,也是一直制约操作票自动生成系统推广使用的主要因素。

本文提出动态操作规则模板思想,通过建立分类分层的操作规则模板,与不同类设备的操作规则相对应,同时研究基于规则模板的通用的匹配推理机制和操作规则模板的用户专家指导学习机制,以解决操作票的自适应性和用户可维护性,实现操作票的通用性。

操作规则模板按设备类型分为母线、开关、变压器、线路、保护和重合闸 6 类,每类又按总操作任务、接线形式、子操作任务、相关设备、初始状态、目标状态进一步划分。以母线类为例说明分层模板的设计,如图 2 所示。

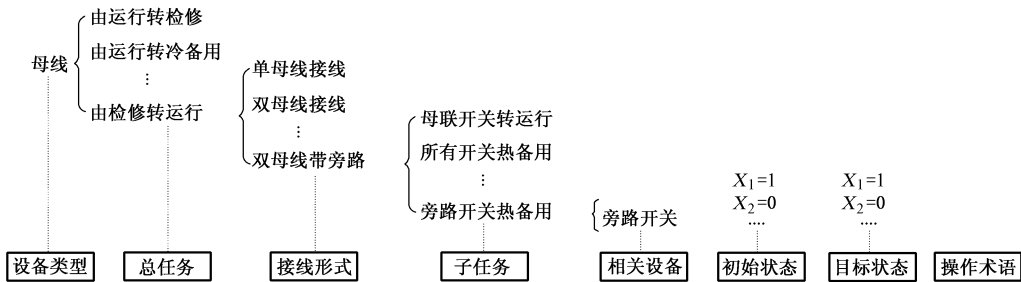


图 2 母线类的分层操作规则模板结构
Fig. 2 Layered structure of Bus class operating rule template

设计了直观易懂的操作规则配制平台,用户可以根据电网的特点定制规则模板,并形成规则库供具体设备配制时引用。开发了基于规则模板的推理机制,推理过程是一个从“用户选择设备+操作任务→拓扑分析+安全校核→匹配操作规则模板库→推理控制→术语翻译→生成操作票”的匹配过程。系统提供了在接线图上选择设备、指定操作任务的功能,程序根据选定的设备进行安全校核和拓扑分析,

寻找相关接线形式和设备,查询操作规则库,采用数据驱动的前向推理机制,循环利用操作规则进行推理,逐步匹配形成操作序列,然后通过操作术语翻译成一张符合现场要求的操作票。

无论是单项操作任务还是复合操作任务,都能用规则模板动态形成相应的规则库,而且动态操作规则模板技术易于实现规则的修改、完善以及操作票的推理和自动生成,并能解决操作票系统的通用

化问题,提高了它的生命力。

3 安全校核

计算机代替人拟写操作票不仅为了提高出票效率,还应该提高出票的正确性。如果操作票系统离线运行,将不能客观科学地根据电气设备的实时运行状态严把安全校核关。要让计算机自动生成一张正确的操作票,不仅需要遵守正确的操作规则,同时要给它以正确的数据基础。这个数据基础必须正确反映系统最新的运行状态,而 SCADA 系统实时地反映了电力系统各种电气设备的运行状态。本文利用 MAS 的协调与协作机制解决操作票系统与 SCADA 系统之间的集成,在充分发挥各个智能体功能的基础上,通过任务分解、协调控制实现了操作票系统与 SCADA 系统的通信和功能扩充。操作票系统根据需要从 SCADA 系统中读取所需的实时数据,结合规则模板底层设置的相关设备的初始状态与目标状态,比较规则规定的初始状态与实时状态是否一致,进行拓扑分析和安全校核,形成符合要求的操作步骤,或者提示安全校核不合格的设备。

考虑到有连续开几张操作票的情况,系统设置了在线、离线和开票 3 种状态。当系统处于在线状态时,接线图上显示的是实时运行状态,开关、刀闸都不能操作;当从在线切换到离线状态时,图形上保留了在线时设备的状态,但允许人工修改设置设备状态,作为拟写操作票的指定状态,同样在此状态下生成操作票时进行安全校核;在离线状态下,系统还能实现操作步骤的图上预演,直观检查操作票的正确与否。

4 通用性和用户可维护性实现

操作票系统通用化的难点是操作规则的表示及与之紧密结合的推理过程。以往的方法往往试图穷举各种可能的操作任务,并设计成对应的程序模块,然后提供定制的选择界面,用户在给定的操作任务列表中选择操作任务,程序转入对应的程序模块,生成操作票。这种实现方式往往是针对某一具体单位开发的,在一定时间内能够发挥作用,但推广到其他地方则需要开发人员做大量工作,因为各地操作规则、任务类别、操作术语有所不同,这种程序模块化实现方式根本上难以保证通用性。

本系统建立了可定制的操作规则模板,将操作规则用操作任务、操作对象、接线方式、相关操作、初始状态、目标状态、操作术语等可视化地以符号逻辑的形式表示,并且该规则库允许现场专家修改增加,包括增加新的操作任务、配置新的操作规则模板。操作票的推理就是针对具体设备和操作任务利用操作规则进行匹配的过程。操作规则库和操作术语库

都提供了用户维护平台。另外,采用开放式 Oracle 数据库以及现场 SCADA 系统相同的图形界面和规范化的设备命名规则,用户可以方便地添加新设备,并为其配制操作规则,保证了系统的用户可维护性和通用性。

5 系统实现及应用

基于 MAS、动态操作规则模板思想,采用 Visual C++ 6.0、Delphi 6.0 和 Oracle9i 数据库开发实现了满足电网调度操作需要的智能化操作票自动生成与管理系统。该系统采用面向对象编程技术、最新的图形技术、分布式数据库技术和通信技术,集自动开票、手工开票、模拟操作和培训、与实时 SCADA 系统通信、与 DMIS 集成等多种功能于一体。同时,在系统设计和开发实现过程中一直贯穿用户可维护的思想。采用“所见即所得”开发方法,设计真实反映电网运行状态的实时全图形化开票环境。为了避免运行人员长期使用自动开票系统可能出现的有关运行知识的疏忽,开发模拟操作和操作培训环境。实现了一个能够实时在线的开票系统,从 SCADA 系统接收实时数据,为开票提供真实正确的数据基础。经过网络化的开票和审核流程后,操作票与 DMIS 集成,实现全网内的流程化执行管理。本系统已经成功应用于某省电网。

6 结语

本文提出了将多智能体系统应用于电网调度操作票系统的开发与实现,研究了操作票系统与 SCADA 系统、DMIS 之间的协调和协作。提出了动态模板方案解决操作规则的表示、学习及通用化推理问题。开发并实现了与 SCADA 系统共享实时数据的集自动开票、手工开票、模拟预演、流程化审核、执行、管理等多种实用功能于一体以及用户可维护的新型智能化电网调度操作票自动生成和管理系统。应用表明,该系统能够大大提高开票的智能性和正确率,而且动态模板设计和用户可配制操作规则的实现证明了系统具有很好的通用性及生命力。

参加本文研究及开发工作的还有华北电力大学硕士研究生范利国、刘强、郭碧媛、陈之栩、吴发力等,特此致谢。

参考文献

- 1 周 明,任建文,杨以涵(Zhou Ming, Ren Jianwen, Yang Yihan). 开关控制逻辑在操作票自动生成系统中的应用(Application of the Switch Control Logic to the Automatically Generated Operation Order System). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),1997,17(8):31~34
- 2 吴 岷,张晓莉,杨光正(Wu Min, Zhang Xiaoli, Yang Guangzheng). 基于句法模式识别的电网调度命令专家系统

- (Power Network Dispatching Command Expert System Based on the Syntactic Pattern Recognition Method). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1998, 22(4): 36~39
- 3 宋宏坤 (Song Hongkun). 电网调度操作票管理专家系统及应用 (Expert System for Electric Power Network Operation Order Management). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1999, 23(19): 58~59
- 4 汤磊, 张伯明, 孙宏斌, 等 (Tang Lei, Zhang Boming, Sun Hongbin, et al). 电网操作票专家系统中的通用认知模型 (General Cognitive Models of Power Network in Operating Command Expert System). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(22): 6~8
- 5 彭云建, 申群太 (Peng Yunjian, Shen Quntai). 基于面向对象编程技术的调度操作票专家系统 (Operation Scheduling Expert System for Transmission-net of Electric Power Based on Database and Object Oriented Program Technic). 中南工业大学学报 (自然科学版) (Journal of Central South University of Technology (Natural Science)), 2002, 33(3): 313~316
- 6 Nagata T, Nakayama H, Utatani M, et al. A Multi-agent Approach to Power System Normal State Operations. In: Proceedings of IEEE PES Summer Meeting, Vol 3. Piscataway (NJ): IEEE, 2002. 1582~1586
-
- 周明 (1967—), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为电力市场、电网调度自动化等. E-mail: zhouming@ncepu.edu.cn
- 林静怀 (1971—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电网调度工作. E-mail: linjinghuai@163.com
- 杨桂钟 (1965—), 男, 工程师, 调度处副处长, 主要从事电网调度管理工作。

NEW-TYPE INTELLIGENT DISPATCHING OPERATION ORDER SYSTEM

Zhou Ming¹, Lin Jinghuai², Yang Guizhong², Ren Jianwen¹, Li Gengyin¹

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

(2. Fujian Electric Power Dispatching and Telecommunication Center, Fuzhou 350003, China)

Abstract: In view of the necessity for further improvement of the existing dispatching operation order system (DOOS) with respect to the off-line individual agent, lack of intelligence, lack of security verification and serialized examination and approval, this paper proposes a novel approach by setting up the operation rules template and user maintainable mechanism to solve the description and learning of operation rules and realize general reasoning. A multi-agent-system-based approach to incorporating SCADA with DOOS to provide real-time information to the security analysis of DOOS, and with dispatching management information system (DMIS) to complete switching on the Intranet is presented. A novel intelligent DOOS has been developed and implemented in a provincial electric network dispatching center with the automatic and intelligent manual generating switching orders, switching simulation, serialized examination and approval, and execution and management integrated into an organic whole and capable of user maintenance. It has been proved in practice that the system developed has dramatically improved the intelligence and security of dispatching operation and is remarkable in terms of universality and user maintainability.

Key words: dispatching operation order; multi-agent system; switching simulation; orderly management