

基于Rete算法的操作票专家系统研究

文/国网甘肃省电力公司 贺洲强

文/国网甘肃省电力公司兰州供电公司 孔晨华 张建军 罗 萍 杨 康 齐建东

利用专家系统技术实现操作票的自动生成系统，在对电力系统特性做出充足分析后，将Rete算法应用加入到推理机制的研究中，设计出了一个表达方式更为简便、知识内容更为详实的知识库，通过研究构成操作票专家系统的知识库与推理机，最终完善了专家系统的设计，为电网操作票的研究带来新的方式方法。

操作票制度具有防止变电站电气系统误操作和加强生产管理的重要作用，在实际生产过程中若能保证其可靠有效的实施，将能持续不断地保障电力系统的安全运行。现如今，随着电力行业的不断更新迭代，传统的开票执行方式已不能胜任实际的生产过程。而随着电力调度系统越来越受到人们的重视，加之人们对电力需求的不断增加，电力调度系统的压力也在不断增加。与此同时，人工智能在电力系统中得到越来越多的应用，电力系统的安全性、运行能力以及可靠性都得到了显著的改善。为此，要想提高电力系统调度的自动化能力，以缓解系统调度的压力，应当采用人工智能技术改善传统操作票制度。

当前已有大量研究人员对其展开研究，本文基于Rete算法对操作票的专家系统展开分析研究。Rete算法是一种基于前向规则的快速匹配算法，该算法可以通过牺牲部分内存来保存和充分利用匹配过程中的信息，进而提高匹配效率。Rete算法共有8种节点：根节点、类型节点、左输入适配节点、Alpha节点、连接节点、Eval节点、非节点以及终端节点。结合上述问题，本文通过对电网操作票的自动生成系统展开研究，提出了新的系统基本模型框架，并对专家系统进行了重新设计。最终通过实际运行验证了基于Rete算法的推理机操作票系统的

准确性与高效性。

人工智能在调度中的应用

通过引入人工智能技术，可以使得我国的电力调度系统更好地解决复杂的非线性问题以及工程计算难题，以改进原先系统中大多数的不确定元素。与此同时，通过分析自身的性能数据进而进行状态微调，还可以进一步完成语音操作的功能。

1. 专家系统

输出系统的基本结构如图1所示，它是在现有事实基础上产生的一个庞大的综合控制知识库。专家系统的原理是将原先已有的经验、知识内容以及信息结合起来并完善信息库，同时采用模拟网络专家的研究分析，最终分析出人工智能中存在的问题，并在此基础上做出决策。以此便可提高专家系统的效率，进一步获得更加全面的专业知识，提高其可靠性和实用性。

2. 可视化技术应用

电力调度的数据量以及信息量在电网不断革新中与日俱增，这就导致了其系统的自动化难度的显著提升，使得故障处理的难度与压力直线上升。因此，在海量的信息中，调度员需要花费大量的时间和精力去寻找准确的信息，这给电力调度系统的故

障检修带来了很大的麻烦。基于此,本文提出可视化技术来提高操作员工的效率,帮助其进行分析调查,从而提高故障发现的准确度。可视化技术采用图片代替数据的方式将信息以二维和三维的形式显示出来。这使得调度运行人员能够将故障遏制在萌芽阶段并采取相应的措施,此方法可以增大电力系统调度时故障的排除率,确保稳定可靠地执行电力系统的调度。

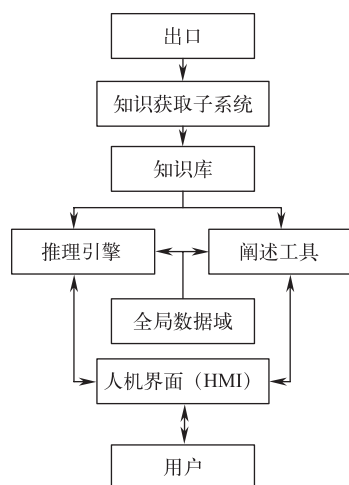


图1 输出系统的基本结构

3. 人工神经网络

人工神经网络是指在电网中运用人工智能的方式模仿人类神经系统的信息处理方式和传输过程,以达到高效传输信息以及提高处理分析效率的技术,该技术在当前的电力系统调度中具有广泛的应用。人工神经网络的运用能实现调度系统中的数据与信息并行处理、在线学习以及联想回忆方式。此种方法具有容错性强且高速诊断故障的优点,能够有效保障电力系统的正常可靠运行。

设计方案

1. 总体设计框架

总体设计框架如图2所示,该框架由员工操作票模块、数据模块、专家系统模块以及知识管理模块四个部分组成。整个网络的智能处理和计算能力体现在网络层的使能控制层、应用层的智能处理层、感知层的网关层和平台层的大数据智能分析四个层次。其中,作为整个调度系统的核心部分的专家系统模块,主要的作用是负责票证的逻辑推理。数据模块将系统的数据操作逻辑进行封装,同时与其他

模块并行使用并与数据库进行交互。操作票模块主要完成操作任务的设置、检查和分解的任务,配合专家系统完成开票流程。此外,知识管理模块负责对专家系统知识库的更新,如新知识的修改。

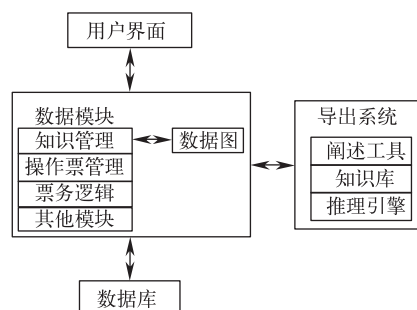


图2 操作票专家系统总体设计框架

除此之外,操作票的分类包括以下几种:历史票据、无效票据以及典型票据。其管理模块可实现对系统操作票内容的修改、查询、导出导入和定时清扫。

2. 人工神经网络设计

知识库是用来存储解决对应领域问题所需的专家经验或知识数据库,同时也是专家知识系统的基本。专家系统是为了解决其所对应的专业领域问题的专家经验与知识的存储。专家系统知识库的优劣很大程度取决于其所存储的知识质量、知识数目以及其所能解决问题的专业能力。获取知识的方式主要有以下三种:自动获取知识、半自动获取知识以及手动获取知识。

1) 自动知识获取:自动知识获取也可称为机器学习。其系统可直接与相关专家进行对接而无须知识工程师的介入。该方法可以将会话自动变为知识库中已有的知识逻辑,同时也可以采用系统实际运行的方式得出新的知识,并不断进行修正,将知识库进行深入的完善与进化。

2) 半自动知识获取:此种方式可将相关内容进行获取并存入系统,进而使得相关专家能够从中获取相应知识,之后便可将相应知识对应地记入知识库中,完善并发展。

3) 手工获取知识:采用此种方法需由对应的知识工程师引出相应疑问,相关专家结合上述问题进行解答,之后,知识工程师再将其解答统一收集出来,并将其处理成一定形式的知识库。

本文采用的是上述方式中的半自动方式获取对

应知识。

3. 专家系统知识库

专家系统知识库是为了存储为对应领域专家提供专业知识的内容库。通常将知识以三种形式进行展示：框架、生产以及语义网络内容。生产在专家系统中更常用。产生规则的一般形式是：如果进行预设，就采取行动或得出结果，在前提条件均能适用于实际情况时，则进行相应的动作并得出相应结果。

本文将电网内所有故障内容采用树状结构的方式体现。由于存在多种故障，因此其可构成多种不同的故障树，进而组成故障森林。而对于数据库，本文的二叉树应用了双链表的数据存储方式，并将整个树游历了一遍之后进而实现对专家系统的知识库构成。

4. 总体框架设计

在该专家系统中，系统根据调度员输入的当前线路故障情况，利用知识库中的知识，根据推理策略生成操作单。

其基本思想是：调度程序输入一个行程事件。推理引擎对已知信息采用深度优先搜索算法，迭代匹配知识库中的规则，最终生成操作票，并记录其故障诊断流程。

5. 阐述工具

阐述工具在分析所给的数据后，解释并显示推理的过程以及结论。该系统的说明工具包括有形区域、过程区域和结论区域三部分。在有形领域，本文按照事件发生的顺序进行事件的列写，并按照其对应的属性进行类别划分，切换可分为两种类型：操作态到热备用状态和热备用状态到冷备用状态。在过程区中，本文将知识的规则按照先前推断进程中使用过的内容进行排序。最终可在结论区得到所需要的结论。

算法设计与操作票实现

1. Rete算法设计

匹配、检索、矛盾决策以及响应是专家系统推理规则的四大重要组成部分。以往的推理原则有正向与反向两种方式，而本文所采用的方式是在Rete算法的基础上，通过正向推理原则进行研究，以实现所需操作票的生成。

本文所需的Rete算法形成的原则所对应的是其相应的网络，此种网络能够对电网之中流通的数据进行分析过滤。其所匹配的数据自网络的根节点开始一点点的减少至网络的终节点，最后即可完成匹配过程。

本文所述的Rete算法一共有四种类型的节点：Alpha节点、Beta节点、根节点以及指定类别节点。其中，Alpha节点主要用于相同对象类别中的规则约束；Beta节点可实现网络中不同类别对象属性之间的相连；根节点作为所有对象迈入网络的起始点，本身是一个虚拟的节点；类型节点将所有有形对象的类型进行存储，并将其输入到本文所使用的Rete算法之中。

下面以断路器从热运行到冷备用的处理过程为例进行Rete算法的说明。将给到的任务分为两个子任务进行处理：第一个是从运行态到热备用状态（01），第二个是从热备用（01）态到冷备用态（12）。其主要原则如下：

- 1) 当处理的任务是使得断路器由运行态转变成热备用态时，则将断路器a断开。
- 2) 当处理的任务是使得断路器的状态从热备用转变为冷备用态时，则断开断路器b。
- 3) 当处理的任务是使得空气开关从热备用态转变为冷备用态且将对侧线开关b断开时，则断开其母线侧的开关c。

根据以上规则，本文构建了具有完整原则匹配的相应网络图，具体如图3所示。图3中，节点由 $A_i(i=1,2,\dots,5)$ 以及 $B_j(j=1,2,3,4)$ 进行表示，原则由 $R_k(k=1,2,3)$ 进行表示。当问题浮现，进入本文制定的Rete算法后，通过指定的类型节点便可形成上述提到的Alpha节点。之后便是通过 A_1 和 A_2 进行结合以形成 B_1 节点， B_1 节点又与 R_1 机型结合将 R_1 表示出来，在 R_1 结束后，原先的任务（12）得以进入Rete网络产生 A_5 ， A_5 继续与 A_2 和 A_3 结合产生 B_3 ， B_3 节点又与 R_2 结合将 R_2 表示出来，结束之后， B_3 又与 A_4 结合产生 B_4 ，最后 B_4 与 R_3 结合将 R_3 表示出来。

2. 操作票的功能实现

本文以模块化的方式将专家系统嵌入到操作票生成系统中。用户界面完成操作任务设置、验证和分解后，结账模块将专家知识系统调出，并使得操作任务成为启动式事件一并写入知识实时库之中。

然后与Rete中网络的具体事件进行匹配检索，进而进行原则运算，将具体步骤融入到知识实时库之中，最终输出结果。

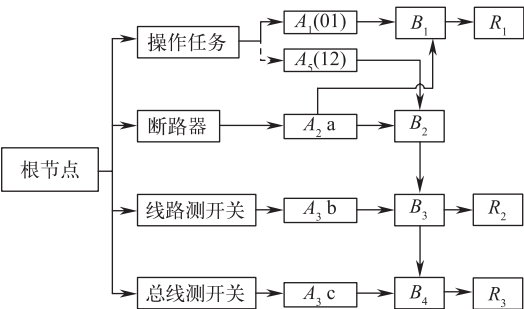


图3 Rete算法网络图

结束语

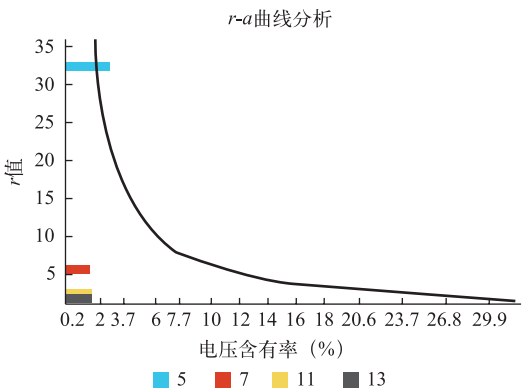
针对电力调度系统压力中的传统操作票不能胜任实际生产的问题，本文基于人工智能中专家系统的应用采用Rete算法，研究设计出了一个表达方式更为简便、知识内容更为详实的知识库，并通过研

究构成操作票专家系统的知识库与推理机，完善了专家系统的设计，为电网操作票的研究带来新的方式方法，得到的主要结论有以下几点：

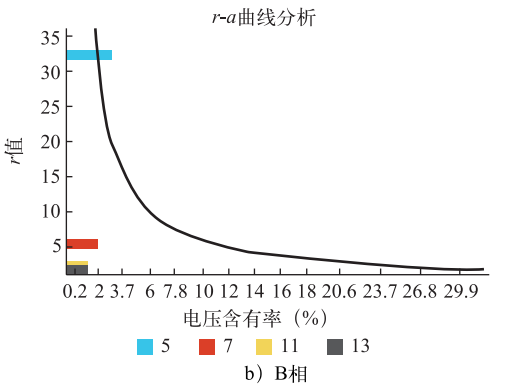
- 1) 通过将人工智能融入到电力调度系统中，可以巧妙地采用专家系统、可视化技术以及人工神经网络技术将海量的信息进行更有效率的处理，提高电力调度故障排除效率，保证电力调度系统稳定运行。
- 2) 通过将专家系统应用到电网调度运行单后，本文采用模块化的方式将交换机运行单专家系统设计出来，此设计方案能使各个模块之间协同完成操作票的自动生成，具有高效可靠的优点。
- 3) 由于模块化的方法令此操作逻辑具有良好的可移植性能，基于此，本文所展示的算法不仅能应用在操作票上，更能为其他智能系统的开发与拓展提供真实可靠的逻辑处理，在保证安全无误的同时，将设计成本大幅度削减，有利于日后系统的开发设计。EA

(收稿日期：2021-10-29)

(上接第60页)



a) A相



b) B相

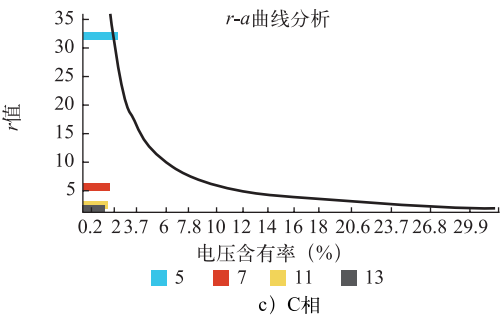


图7 谐波危害容限预警结果

结束语

尽管电能质量监测数据存在信息丢失现象，但该数据仍然是目前电力系统最全面的监测数据类型之一，就电能质量环境与在该环境下运行的电气设备而言，无论是发（供）电设备还是用电设备，其潜在故障信息与所承载的电气环境之间有着不可分割的必然联系，基于电能质量监测数据开展电气设备运行预警具有广阔的前景，文章所列举的电容器预警应用进一步表明了电能质量监测数据的应用价值。EA

(收稿日期：2021-12-27)