

· 专论与综述 ·

基于分层推理架构的牵引变电站智能报警专家系统设计

李 鹏, 范三龙

(南京国电南自轨道交通工程有限公司, 江苏 南京 210032)

摘 要:针对当前牵引变电站监控系统在站域分析方面的不足,提出了一种基于分层推理架构的牵引变电站智能报警专家系统设计;阐述了该设计方案中的分层推理架构、离散事件比对、规则条件延时触发和返回、全景信息自动收集等关键技术环节;该设计方案在多个智能牵引变电站中的实际应用验证了其可行性和高效性。

关键词:分层推理;专家系统;智能告警;智能牵引变电站

中图分类号:TM63, TM76

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2015)05-0001-03

近年来,随着国内高速铁路及城市轨道交通领域的快速发展,牵引变电站自动化水平日益提高,运营管理部门正面临以下问题:(1)正常运行时,面对大量的各类运行信息,值班人员的监控任务较重,很容易遗漏重要告警信息;(2)一旦发生事故,动作事件及相关信息更多,值班人员眼花缭乱,很难抓住重点,从而影响事故的正确处置;(3)站内的自动化设备多、涵盖技术领域广,所需知识技能繁杂,单靠运行维护人员的自身学习,局限性大、时效性差,缺乏专家经验的及时辅助和指导。目前常规的牵引变电站监控系统在实时通信、信息采集和运行控制等方面已很成熟、完善,但在站域分析、辅助决策等功能方面却相对较弱,专业领域分析较多地关注于单一设备的在线监测^[1]等方面,显然不能很好地满足牵引变电站自动化系统的运行维护需要。为了更好地满足上述新要求,顺应当前牵引供电综合自动化系统由数字化向智能化发展趋势,提出了一种基于分层推理架构的智能报警专家系统设计方案,该智能报警专家系统可以作为高级应用与牵引变电站当地监控系统相集成,统一平台部署、一体化运行。

1 可编辑公式处理层与规则模式匹配层相结合的分层推理架构

智能报警专家系统由在线分析主程序、知识(规则)数据库及离线配置工具组成,其数据流程如图1所示。当牵引变电站监控系统采集的遥信、遥测等实时量和保护动作、装置告警等离散事件信息作为输入对象进入专家系统的输入对象队列后,一方面可经过智能告警模块的筛选,根据对象的属性和严重紧急程度,被划分为普通提示、检修、告警、事故与变位等类型信息,分别在系统报警界面上分视图、分间隔显示,可显著降低运行值班人员的工作强度^[2,3];另一方面,经由可编辑公式处理层处理,根据计算结果触发事实(中间)对象,后者可作为前提条件继续经由规则模式匹配层处

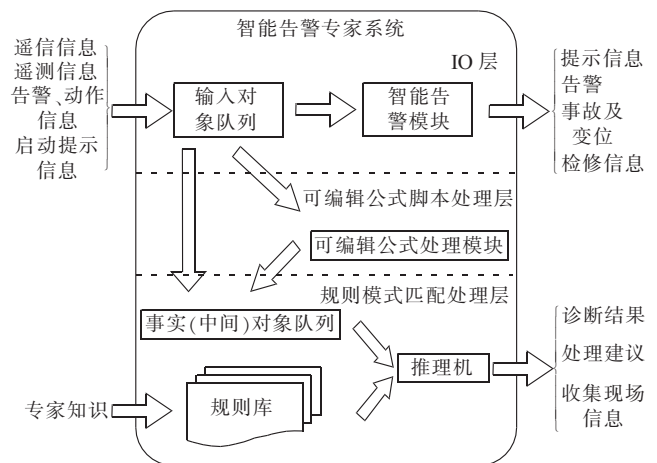


图1 数据流程

理,最终完成规则匹配、得出诊断结论。

可编辑公式处理层可通过编写公式脚本的方式灵活地支持对各种输入信息进行数值运算、逻辑运算和函数运算,允许组合、嵌套、条件选择及递归处理,如支持以下运算类型和处理:

- (1) 代数运算,包括加(+)、减(-)、乘(*)、除(/)、幂(^)、取绝对值(abs)、取反(neg)和开方(sqrt);
- (2) 按位运算,包括与(&)、或(|)、非(~);
- (3) 三角运算,包括 sin、cos、tg、ctg、acsin、accos、actg 和 acctg;
- (4) 逻辑运算,包括与(&&)、或(||)、非(!)、大于(>)、大于等于(\geq)、小于(<)、小于等于(\leq)、等于(=)、不等于(<>);
- (5) 括号(),优先级选择;
- (6) 关键字 if... then ...else..., 条件选择。

可编辑公式处理层具有极高执行效率,所有编辑好的公式脚本只需在专家系统启动时进行一次编译、校验并生成可执行的代码,不需要在每次公式计算时都进行语法检测;通过公式表、计算量表和计算量参数表等二维表的关联映射,每个公式脚本都可以应用于任意多项实际的运算处理,不需要由于运算对象的不同而重复定义;每次公式的运算结果即可直接触发事

实(中间)对象进入规则模式匹配层的处理,也可以作为中间结果参与下一个公式运算。

规则模式匹配层的推理引擎设计采用类 LEAPS (Lazy Evaluation Algorithm for Production Systems) 算法^[4]。通过将事实对象作为更新元素附加时间戳(timestamp)后压入元素堆栈缓存,以栈顶元素作为主导对象,匹配所有相关规则中的条件,若满足则激活该条规则,当所有的相关规则被匹配一遍后,将该元素从堆栈中弹出,并将堆栈中下一个元素选作主导对象继续执行上述匹配过程,如此循环直至元素堆栈为空。LEAPS 算法的最大优点是对规则元组的惰性计算,即仅当必要时才进行规则元组的实例化,这一改进显著地减少了规则前向推理引擎的时空复杂度,极大地提升了执行速度,优于规则匹配中常用的 Rete^[5]和 Treat^[6]算法。另外,规则模式匹配层对每个规则条件都可保存匹配过程中相关触发对象的初始状态信息和索引,当规则激活给出分析结论的同时,可迅速收集、记录相关的全景信息。

通过运用“分层”思想,各种复杂的推理逻辑均可划分为可通过公式脚本灵活表示的处理和需要标准规则模式匹配的处理两部分,分别进行推理,这样做的好处是层次明确、逻辑清晰、易于理解,也降低了推理引擎的实现复杂度。可编辑公式处理层与规则模式匹配层相结合的分层推理架构,为专家系统推理机制的扩展也提供了极大的灵活性和便捷性,如可通过编写公式脚本,依照不同的隶属度模型,给输入(中间)对象赋予相应的权值,并通过阈值(匹配度)判断规则是否满足生效,即可实现模糊规则推理^[7-9]。

2 带有效时限的离散事件动态比对方法

当牵引变电站供电网络发生事故或异常时,往往短时间内会出现多个连续的、存在内部关联性的事件或状态变化信号。准确识别、综合分析这些关联事件和信号,是正确诊断供电网络发生何种事故与异常的关键所在。而变电站监控系统采集的突发保护动作、装置告警、刀闸状态变化等离散事件信息很繁杂,其前后次序和时标往往不一致,为了实现前后关联事件的有效判断,该设计实现并提供了一种可灵活配置、带有效时限的离散事件动态比对方法:对具体的突发离散事件可按类型或点号预设对应的有效时限,从其发生时刻起开始计时,只有处在有效时限内的事件才参与规则的匹配分析,如图 2 所示,只要当规则条件对应的所有事件对象均在有效时限内,即出现规则的“有效时间窗”时,规则才匹配成功。

通过采用可灵活配置、带有效时限的离散事件动态比对方法,可以对单个或特定类型离散事件的时域

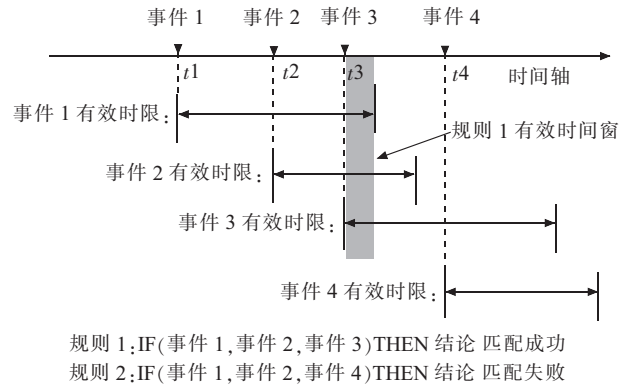


图 2 带有效时限的离散事件动态比对

有效性进行定制、精确处理,更有效地实现关联分析,既正确识别出有效事件和信号信息及时关联、匹配规则,又避免过时、无效事件和信号信息的干扰。

3 规则条件延时触发和延时返回机制

为了更好地处理牵引变电站监控系统在运行时采集的大量过程暂态信息,该设计实现并提供了规则条件的延时触发和延时返回处理机制:对代表过程暂态信息的每一个输入对象以及中间对象,均可配置为带有时限门槛的触发和复位处理方式,可根据推理逻辑的需要改变其时域特性来参与规则匹配;延时复位机制有助于对有用的过程暂态信息进行定性分析,而延时触发机制则可有效过滤掉过程暂态信息可能带来的不必要干扰。

下面以一个简单实例说明其运用和实用价值:变电站内一次断路器若发生弹簧储能故障将导致其控制回路断线进而严重影响运行操作^[10],对此一种有效的监视方法是,断路器合闸后会有“弹簧未储能”节点给出信号作为遥信上送监控系统,正常工况下断路器应在 20 s 以内储能成功,同时该节点信号也会自动复位,但如果储能异常或失败,则该节点信号会持续存在;针对此种情况,在该设计中可将“弹簧未储能”节点遥信作为输入对象,延时触发一个名为“弹簧储能故障或异常”的事实(中间)对象,时限门槛设为 20 s,并添加对应的规则处理;运行时,正常合闸过程中“弹簧未储能”信息不会出现在系统报警界面里干扰值班人员的判断,但当出现故障或异常(“弹簧未储能”节点信号持续超过 20 s)时,“弹簧储能故障或异常”事件及对应处理规则会立刻触发激活,第一时间在系统报警界面里显示并弹出,提醒值班人员注意和进行相应处理。

4 全景信息自动收集机制

在牵引变电站综合自动化系统的日常故障异常处理中,除了需要关注故障异常事件本身的参数信息以外,往往还需要收集事件反生前后的其他事件和状态

信息,甚至包括站内不同设备、不同间隔的状态信息,以利于整理故障分析报告和后续研究。该设计实现并提供了可配置的“事前”及“事后”相关全景信息的自动收集整理功能;对于进行故障异常分析的规则,除了规则结论中可通过格式化字符串形式来描述定性分析结果和专家处理建议之外,还可通过“规则关联处理表”配置规则被激活时需要收集的信息清单,包括相关信息类别(事故变位、操作变位、事件顺序记录、遥控、遥测越限、远程终端通信状态、装置告警、保护事件、保护报告等)以及所属装置\间隔的点号等,同时可指定关联收集的起始时限(事前)和截至时限(事后);当运行时规则匹配成功被激活后,专家系统在第一时间给出分析结果和建议的同时,会根据规则关联收集配置从输入对象列表中搜索从起始时限开始的相关信息条目,与规则分析结果一起,按时间的先后顺序汇总为一份统一清单列表文档,如在截至时限到来前还有新的相关信息出现,会陆续添加到该清单列表文档中,最后在专家系统指定的历史存档目录下保存为按“时标_事件名称.txt”命名的文档;如若触发规则的是保护装置动作事件,还将同时收集对应保护装置的定值整定、保护压板状态及对应的录波数据等一并保存。

5 工程应用

基于该设计方案的智能报警专家系统,作为智能牵引变电站综合自动化系统的重要组成部分,已成功地在广州铁路(集团)公司云溪变电所数字化项目、兰州铁路局兰州北变电所数字化项目和福州地铁一号线变电站项目等多个具体工程投入应用。

以云溪变电所数字化项目为例,通过遵守 IEC 61850 标准,采用面向对象建模技术,对牵引变电站涉及的设备与通信服务进行功能建模、数据建模,并满足应用开放互操作性要求;同时在站控层将智能告警专家系统与当地监控系统无缝集成、一体化部署运行,如图 3 所示。

除了智能筛选告警以外,该专家系统从站域分析角度已实现对保护误动、越级跳闸以及主变压器、断路器故障等关键问题的识别与监测,并提供了二次开发、自主升级接口和工具。从用户使用反馈上看,该智能报警专家系统确实有助于降低运行值班人员的工作强度,提升其工作成效。

6 结束语

文中所提出的智能报警专家系统设计方,通过采用可编辑公式处理层与规则模式匹配层相结合的分层推理架构、带有效时限的离散事件动态比对方法、规则条件延时触发和延时返回机制、全景信息自动收集

机制等关键技术,实现了对实时电量、状态信号、报警、事件等各类信息统一、综合处理,专家知识库能够灵活修改和扩充,通过专家系统的智能告警和实时在线分析,能更加准确、及时地辅助牵引变电站运行维护人员正确地判断事故和异常并处理,提升工作成效。同时可作为一项高级应用与既有的牵引变电站监控系统相集成,统一平台部署、一体化运行,具有处理实时性高、通用、适应性强,可灵活配置和扩展的优点。工程实践证明该设计方案是可行和高效的。当然应该看到,一个成功、优秀的专家系统,除具有灵活、高效的推理机制以外,还需要在其产品生命周期内不断对专家知识库进行更新、完善和丰富,不仅包括设备、系统厂家的专业知识,也应吸收相关设计院所的最新研究成果及用户的长期运行维护经验;此外,当今已进入大数据时代,面对牵引变电站综合自动化系统所采集的海量运行数据,运用大数据分析的方法和手段进行充分挖掘分析,也可以是变电站专家分析辅助系统进一步提升、研究的方向。

参考文献:

- [1] 高松,刘志刚,徐建芳,等.基于模型诊断和专家系统的牵引变压器故障诊断研究[J].铁道学报,2013,35(7):42-49.
- [2] 严胜.智能电网变电站集中监控告警专家处理系统的研究与应用[J].中国科技信息,2009(17):25-27.
- [3] 董勤伟.变电站集中监控告警信号在线处理专家系统[D].南京:东南大学,2006.
- [4] BATORY D. The LEAPS Algorithms[D]. Austin: The University of Texas, 1994.
- [5] FORGY C L. Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/many Object Pattern Match Problem[J]. Artificial Intelligence, 1982, 19(1): 17-37.
- [6] MIRANKER D P. TREAT: A Better Match Algorithm for AI Production Systems [C]//Proc. of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-87), American Association for Artificial Intelligence, 1987: 42-47.
- [7] 余国清,罗可.变电站智能告警专家系统的不确定性知识表示[J].软件工程师,2012,17(4):41-44.
- [8] 马项宇,范跃华.基于模糊理论的专家系统推理模型的设计与实现[J].西安工业学院学报,2003,23(1):51-56.
- [9] 袁洪芳,史天运,王信义.故障诊断专家系统中的模糊推理算法[J].北京理工大学学报,1999,19(6):701-704.
- [10] 陆琳.10 kV 开关手车控制回路断线原因分析及处理方法[J].江苏电机工程,2014,33(5):18-20.

作者简介:

李鹏(1977),男,贵州贵阳人,工程师,从事牵引变电站综合自动化监控系统、在线监测及支撑软件开发;
范三龙(1971),男,河南焦作人,高级工程师,从事牵引变电站综合自动化系统设计与研究。

- [13] 高广生. 气候变化与碳排放权分配[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(6): 301-305.
- [14] 郑立群. 中国各省区碳减排责任分摊——基于公平与效率权衡模型的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013(5): 1-6.
- [15] 孙根年, 李 静, 魏艳旭. 环境学习曲线与我国碳减排目标的地区分解[J]. 环境科学研究, 2011, 24(10): 1194-1202.
- [16] YI W J, ZOU L L, GUO J, et al. How can China Reach its CO₂ Intensity Reduction Targets by 2020 a Regional Allocation Based on Equity and Development [J]. Energy Policy, 2011 (39): 2407-2415.
- [17] 刘春兰, 蔡博峰, 陈操操, 等. 中国碳减排目标的地区分解方法研究述评[J]. 地理科学, 2013, 33(9): 1089-1096.

作者简介:

陈 勇(1975), 男, 江西遂州人, 高级工程师, 从事电力经济与管理
工作。

Regional Allocation Index System of Power Carbon Emission Right

CHEN Yong

(Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

Abstract: The regional allocation of power carbon emission right is to allocate the power carbon emission right to different administrative areas. In order to allocate the power carbon emission right fairly and reasonably, the index system for power carbon emission right should be established. Based on the literature review, the influence factors are found out. On this basis, a index system which includes 3 levels and 14 indexes is proposed. This index system considers the characteristics of China's power industry and administrative, which provides a theoretical support for the regional allocation of power carbon emission right.

Key words: carbon emission right of power industry; initial allocation; regional allocation; index system

(上接第 3 页)

An Intelligent Alarm Expert System Design for Traction Substation Based on Hierarchy Reasoning

LI Peng, FAN Sanlong

(Nanjing SAC Railway & Track Traffic Engineering Co. Ltd., Nanjing 210032, China)

Abstract: To improve the analysis ability of traction substation monitor system, an intelligent alarm expert system design for traction substation based on the hierarchy reasoning method is proposed. The key processes of the scheme, such as hierarchy reasoning, discrete event comparison, delay trigger and reset of rule condition, and automatic collection of panoramic information are illuminated. The proposed scheme is validated by the practical applications in several smart traction substations.

Key words: hierarchy reasoning; expert system; intelligent alarm; smart traction substation

下 期 要 目

- 大型厂矿局部电网振荡影响因素的研究与分析
- 弱送端的高压直流输电系统功率回降策略设计
- 应对区外来电比例提高的省内外电源协调运行机制
- 基于 NSGA-II 算法的配电网分布式电源选址定容

广 告 索 引

南京南瑞继保电气有限公司	封一	南京苏逸实业有限公司	(黑白)文前
远东电线电缆有限公司	封二	江苏省电力设计院	封三
南京南瑞继保电气有限公司	前插 1	南瑞科技股份有限公司	封四
《江苏电机工程》协办单位	前插 2、3		