

基于 D5000 平台的调控操作与防误一体化系统

李功新^{1,2}, 周文俊¹, 林静怀², 江修波³

(1. 武汉大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 国网福建省电力有限公司, 福建 福州 350000;
3. 福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要: 对可拓理论在电力调控操作与防误领域的应用进行研究, 建立电力调控操作与防误本体知识库, 提出基于菱形思维模型的智能操作票推演技术, 使用发布/订阅机制完全共享调控系统的模型、图形、数据, 采用智能拓扑分析方法实现全网多层次的防误校核服务, 基于 D5000 平台构建调控与防误一体化智能操作管理系统。所构建的系统可适应接线类型改变、电网扩容以及运行方式的变化, 防误效率高。

关键词: 调控一体化; D5000 平台; 可拓理论; 菱形思维模型; 拓扑防误

中图分类号: TM 734

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.07.029

0 引言

在国网“大运行”、“大检修”体系建设背景下, 为满足变电站远方遥控操作进一步深化的要求, 调控中心在满足原有无人值班/集中监控技术条件的基础上, 要求进一步提升相关的技术支撑能力, 构建调控与防误一体化智能操作管理系统, 系统应具备完善的远方遥控防误闭锁功能, 满足远方遥控操作到冷备用状态的防误要求。按照“大运行”、“大检修”体系建设要求, 调控中心需完成设备冷备用操作功能, 需建设智能化的调度指令票、监控操作票及主子站防误功能模块。

综上, 调控操作与防误一体化系统在现有调控中心 D5000 系统 I 区基础平台上, 应用 D5000 基础平台的消息/服务总线机制、一体化图库模机制扩展相关软件功能, 实现调度指令票生成与管理、遥控操作票生成与管理、电网及设备数据辨识、安全校核以及外围系统接口等模块的研究与开发, 具有重要的研究意义以及工程实用价值。

基于 D5000 平台的一体化设计具有如下优势:

a. 完全共享 D5000 基础平台的模型、图形、数据断面, 实现图形、模型、数据的源端维护, 确保信息的一致性;

b. 实现 D5000 调控操作、智能防误应用、调度员潮流计算的闭环联动, 满足调控应用横向集成的要求;

c. 实现调度指令票与监控操作票的一体化设计及拟票、下令、遥控操作的流程化和一体化管理。

为适应“大运行”、“大检修”体系深度磨合提升的要求, 充分发挥 D5000 系统平台一体化的优势, 调控操作与防误一体化系统集成变电站集中监控应用、智能操作票应用、智能防误应用, 实现一/二次设

备远方操作一体化、调度指令票与监控操作票一体化、远方操作与防误校核一体化的全过程闭环管理。本文以其中的一体化智能操作票应用以及智能防误应用为主要对象, 研究菱形思维模型的智能操作票推演技术及全网防误校核中的智能拓扑分析算法。

目前, 国内学者对智能操作票和防误校核应用进行了一些研究, 典型的有: 基于操作任务规则树的概念实现自动开票, 将设备操作约束表示成逻辑表达式^[1]; 采用分类分层的思想对操作规则进行描述, 并研究自动推理成票机制以及潮流计算与分析等静态安全校核技术^[2]; 基于调度自动化系统平台开发具备强大图形功能的操作票管理系统, 通过与 EMS/SCADA 系统的接口实现实时开票功能^[3]; 在电网调度操作票系统中引入网络重构的思想, 根据操作任务推理生成专家语言描述的操作任务序列, 再根据指令转换知识库进行调度指令推理^[4]; 利用网络拓扑算法, 对变电站一次设备的带电态、停电态与接地态进行实时计算, 基于三态拓扑模型及算法来实现设备的防误操作判断^[5]; 基于集控型防误操作系统提出的智能防误一体化操作票系统, 采用微拓扑方法实现智能防误校核^[6]; 文献^[7-10]主要针对智能拓扑防误的算法及其具体实现进行分析。以上研究基本实现了操作票自动生成和拓扑防误校核功能, 但不能普遍适用于各地电网接线模式和运行规则的变化, 且维护工作量较大。

可拓学理论是我国学者蔡文等于 20 世纪 80 年代初创立的以物元和可拓集合为理论基础, 研究事物的可拓性以及变换的规律与方法, 用以解决现实世界中复杂、矛盾问题的学科。可拓学采用形式化的工具, 以质变和量变互变的观点来描述问题, 并从定性和定量角度研究解决矛盾问题的规律和方法。可拓理论以基元(物元、事元和关系元)^[11]作为表示信息(简称信息元)和知识的逻辑细胞, 在各领域得到了广泛的应用, 如智能算法^[12]、变压器本体绝缘状态

评估^[13]、电能质量综合评估^[14]以及化工园区应急能力评价^[15]等。目前只有少量文献体现可拓学理论在电力系统的应用,且尚没有可拓学理论在电力调控领域的智能成票系统的应用研究。

本文以调控操作与防误一体化系统中的智能操作票以及智能防误为主要研究对象,首次研究了可拓理论在电力调控操作领域的应用,建立电力调控操作与防误本体知识库,提出了基于菱形思维模型的智能操作票推演技术,并研究了智能拓扑防误校核实现方法。与传统的使用规则模版配置或程序推理方法实现的操作票技术相比,使用可拓推演技术可以解决不同地区、不同应用下的电网调度操作票的多样性和差异性,具有较强的普适性。

1 一体化平台的总体框架

智能调控操作与防误一体化系统(以下简称一体化系统)面向电网应用系统的调度操作,提供智能化的拟票操作和防误规则判断。D5000 平台应用组件化技术对接口的内部实现细节进行封装,对外提供开放的标准接口。本文的一体化系统基于 D5000 平台,以 IEC61970 标准 CIM 数据以及电网图形描述规范(G 语言)文件为基础,实现调控、操作票以及防误应用之间的图模一体化功能;其完全共享调控技术支持系统的 SCADA 数据、模型及图形,基于一体化电网的一次和二次模型,融合操作防误模型,实现软件资源的合理配置和高效利用,提升系统安全性和可靠性。此外,在主子站防误通信领域,目前尚未颁布通用的通信协议规范。本文的一体化系统基于 IEC104 规约扩展制定了防误主子站通信规范,调度端与各子站间采用统一的规约进行防误数据交互,实现了防误规则的源端维护,减少了维护工作量。一体化系统的总体框架如图 1 所示。

图 1 中,核心层是 D5000 基础平台,它包含数据管理(实时库、实时图形、关系数据库)、消息总线、服务总线 3 个层次。系统通过服务总线提供基础服务、公共服务、数据采集与交换服务以及调控防误服务等功能;在平台内部,各服务接口通过消息总线读取/发送实时数据、图模数据等,并进行信息传输与交换。基础平台采用面向服务的软件体系架构(SOA),能较好地满足系统集成和应用不断发展的需要。

SOA 的核心是服务,服务主要通过消息的传递进行交互。构建服务的关键步骤是通过适配器将现有应用功能封装实现为服务,并基于标准流程将应用系统挂载在 D5000 系统平台服务总线上,从而实现软件资产的重用^[16]。具体应用中,一体化系统采用 CIM 及其消息机制。IEC61970 标准规范了企业电网应用的多种分布式组件,可用于构建一体化平台的接口参考模型(IRM)^[17-18]。一体化系统使用 IRM 对业务功能进行详细的划分,派生出业务子功能对应的抽象组件,针对业务逻辑进行服务粒度的划分。

实现 SOA 的技术有 Corba、基于简单对象访问协议(SOAP)的 Web Service 等。在基于 D5000 平台的一体化系统中,采用可适应通信环境(ACE)及基于 ACE 实现的对象请求代理(TAO)作为 Corba 的实现平台。ACE/TAO 是基于 Corba 标准的中间件平台,具有跨操作系统、跨编程语言及跨硬件平台的特性。

2 一体化调控操作关键技术

2.1 基于物元可拓的智能推演

目前国内的智能操作票大多基于专家系统推理来实现,基本分为任务推理型、模块推理型、拓扑推理型 3 种。随着技术的深入、现场应用的成熟和用户需求的增加,智能指令/操作票系统面临着更多复杂矛盾的问题。本文首次对可拓理论在智能操作票领域的应用进行研究,提出了基于菱形思维模型的智能操作票推演技术,实现了操作票的智能推理。

知识基元是可拓知识库最基本的逻辑细胞,可拓理论采用物元、事元以及关系元来描述一般逻辑与规律。

电力知识基元可表示为:

$$R = (\text{实例对象}, \text{特征类型}, \text{特征值}) = (N, c, u)$$

其中, c 和 u 构成有序二元组 $M = (c, u)$,表示物 N 的一个特征。例如: $R = (1 \text{ 号线路}, \text{目标运行方式}, \text{旁路替代})$ 表示一个知识基元。由物 N 及多个特征 $M_i = (c_i, u_i)$ 构成的物元称为多维物元。物是随时间 t 变化的,其动态物元 $R(t) = (N(t), c, u(t))$ 。

实例对象 N 是一个广义的概念,可以是面向对象语言中任意类化的具体对象实例,可以是物、事、关

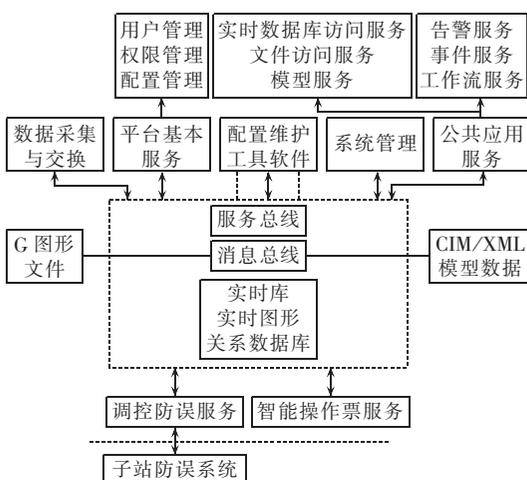


图 1 一体化平台的总体框架

Fig.1 Overall framework of integrated platform

系等;特征类型指各类概念的名称表示,概念的名称在知识库系统中是可交互的、共用的;特征值是某特征类型中的值空间中的某个值。

一般而言,事物拥有多个特征,如事物 N 用 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 及其量值 u_1, u_2, \dots, u_n 描述,则物元可表示为:

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & u_1 \\ & c_2 & u_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & u_n \end{bmatrix} = [N \ C \ U] \quad (1)$$

本文基于可拓物元理论和菱形思维模型,采用发散-收敛法实现智能成票的规则推演机制。物元可拓的发散分析表述了事物向外拓展的可能性,以基元中任意 1 个或 2 个要素为中心向外拓展,获取同物(或事、关系)同征、同征同值、同物(或事、关系)同值可拓线, $A-B$ 表示由 A 拓展出 B 。

根据“一对象多征”的发散性,从一个基元出发,拓展出多个同对象基元,且同对象基元集一定是非空集合,即:

$$B = (O, c, v) - | \{ (O, c_1, v_1), (O, c_2, v_2), \dots, (O, c_n, v_n) \} \quad (2)$$

同时,从一个基元出发,可以拓展出多个同对象同值的基元,即:

$$B = (O, c, v) - | \{ (O, c_1, v), (O, c_2, v), \dots, (O, c_n, v) \} \quad (3)$$

根据“一征多对象”的发散性,从一个基元出发,拓展出多个同征基元,且同征基元集一定非空,即:

$$B = (O, c, v) - | \{ (O_1, c, v), (O_2, c, v), \dots, (O_n, c, v) \} \quad (4)$$

除此之外,从一个基元可以拓展出多个同对象、同特征的基元,或者说,在不同的参数下,同一对象关于同一特征的取值可以有多个,即:

$$B(t) = (O(t), c, v(t)) - | \{ (O(t_1), c, v_1(t_1)), (O(t_2), c, v_2(t_2)), \dots, (O(t_n), c, v_n(t_n)) \} \quad (5)$$

本文研究的系统智能操作票应用建立在基于可拓原理的电力领域知识库之上,其建模方法如图 2 所示。

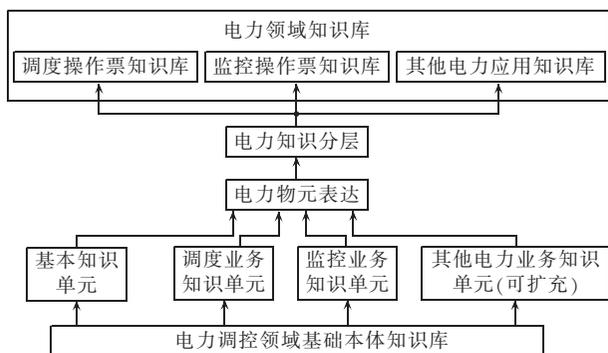


图 2 电力领域知识库结构

Fig.2 Structure of knowledge base structure for electric power field

电力本体知识概念的建立主要包含以下几个部分。

a. 概念类:容器类型、设备类型、设备状态类型、设备量测类型、设备信号类型、操作类型、术语类型、拓扑状态类型、运行方式类型、关系类型、功能类型、指令类型、任务类型、告警类型、步骤类型等。

b. 各概念之间关系:子类关系、成员关系、功能相符关系、功能相似关系、前导与后继关系。

c. 各实例静态属性:名称、别名、简称、设备类型等。

d. 各实例动态属性:运行状态、拓扑状态、运行方式等。

e. 实例与实例间关系:包含、包含于、运行于、被操作、连接于、连通于、具有属性等。

f. 基础函数库:各类查询函数、判别函数、排序函数、处理函数、输出函数等。

电力调控领域知识库在基础本体知识库基础之上,结合相关的业务知识单元,如调度业务单元、监控业务单元等,通过系统可形成特有的知识基元表达,并进行相应的组合,形成所需的组合知识单元,为各业务应用提供知识服务和逻辑推理服务。基于可拓原理的智能成票技术根据人类惯用的思维模式,将问题的理解与求解过程以物元形式表示为多级菱形推演过程,如图 3 所示。

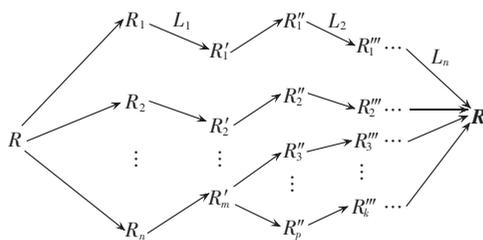


图 3 多级菱形思维模型

Fig.3 Multi-level rhombus-thinking model

图 3 中, $n > m, p > m, p > k$, R 为目标物元,上述模型中 $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ 为进行发散思维的方案物元集。

结合具体问题的需要以及条件,根据物元的可拓方法进行发散,在此基础上,利用发散树、分合链、相关网、共轭对或综合其中若干方法进行发散,通过可拓物元的置换、扩缩、分解、增删变换进行过滤选择。收敛的过程为:

$$\{R''_1, R''_2, \dots, R''_p\} \rightarrow \{R'''_1, R'''_2, \dots, R'''_k\} \quad (6)$$

在智能成票过程中,采用菱形思维模型,首先根据操作任务中的可拓性发散出多个相关设备的多种操作组合,调度员设置了设备的相关方式后,系统将自动对相关方式进行筛选,比如线路开关当前为检修状态,调度员设置开关的目标状态为运行,则将在系统内部自动筛选掉转冷备用、转检修的操作;筛选后,如果仍存在不确定因素,则再通过交互方式进行筛选,如双母开关由冷备用转为热备用时,需要选择

目的母线等,最终求解得到满意的智能成票结果。

以福建电网厦泉 I 路运行转检修为例,泉州变侧为带出线刀闸 3/2 接线方式,开关 5021、5022 均处于运行状态;厦门变侧为无出线刀闸 3/2 接线方式,开关 5041、5042 均处于运行状态。

操作目的:电网厦泉 I 路转检修,开关 5021、5022 恢复运行。

基于可拓物元理论,采用菱形思维模型的智能成票推演过程如图 4 所示。

实际操作中,选择设备和操作任务后,系统将自动筛选出与该操作任务相关的操作设备,并发散出对应的操作过程。厦泉 I 路的泉州变侧带有线刀,所以其操作目标有转运行、转热备用、转冷备用和转检修 4 项;厦门变侧不带线刀,其操作目标将进行过滤,目标结果为转冷备用和转检修 2 项。

在设定相关的操作目标后,选择线路操作侧顺序,系统将根据操作目标对操作过程进行过滤,并得到准确的操作票分项信息。

采用可拓物元理论和菱形思维模型,智能操作票应用能适应接线类型改变、电网扩容以及运行方式的变化,同时具备解决成票规则、调度规程的变化以及新问题的可拓展能力。

2.2 防误校验算法分析

防误应用的主要功能是为调控应用以及 OMS (位于安全三区)等提供各种调度操作防误模型的逻辑判断。拓扑防误较多地使用路径搜索算法来实现各类防误判断规则。如当双母线路开关由 I 母运行转至 II 母运行时,应判断 II 母隔离开关两侧是否等电位(可以转换成 I 母隔离刀闸与 II 母隔离刀闸之间是否存在无阻抗环路来判断);当合上分段(或母联)开关时,应判断是否会形成电磁合环;当并列运行的

一台变压器停电时,应判断另一台变压器是否会过载等。

防误应用通过 D5000 服务总线获取调控系统的 CIM 数据,应用拓扑防误方法来实现防误服务。智能拓扑防误使用的典型算法有设备支路的最短路径搜索算法以及环路搜索算法,后者是重点。防误应用提供基于消息驱动的 ChangeRunModel 服务;消息载荷的内容含有断路器的 CimID、初始运行状态(在 I 母运行)、目标运行状态(在 II 母运行)。

在 ChangeRunModel 服务的实现中,环路搜索算法是关键。本文提出的简单无向图环路搜索算法能计算出经过给定顶点的所有环路,且效率较高。实现过程采用以下 4 个数组:visited 表示访问过的节点;passed 表示已访问过的边;path 中存储当前路径上的节点序列;next 中存储当前路径上每个节点的下一条邻接支路(使用 P 表示)^[19]。具体算例及实现流程如图 5、6 所示。

如图 5(a)所示的电网运行方式下,合上分段开关 K 后会形成多个环路,如图 5(b)所示。

在系统中,防误服务程序可给出图 5 中的 2 个

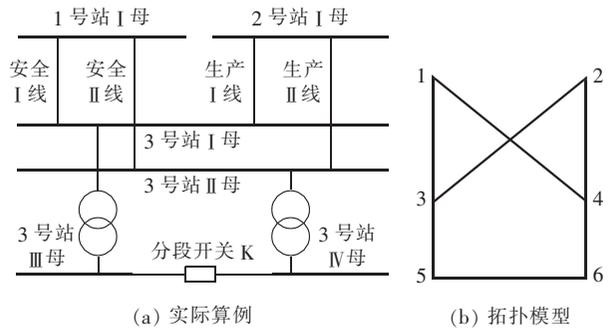


图 5 电网运行方式及其拓扑模型

Fig.5 Power grid operation mode and corresponding topological model

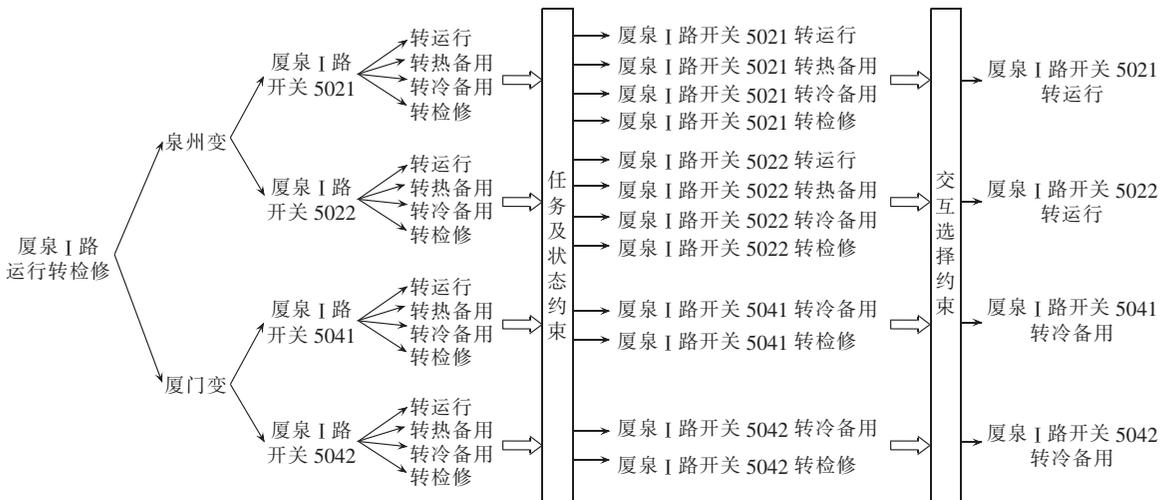


图 4 智能成票过程

Fig.4 Intelligent generation of operation orders

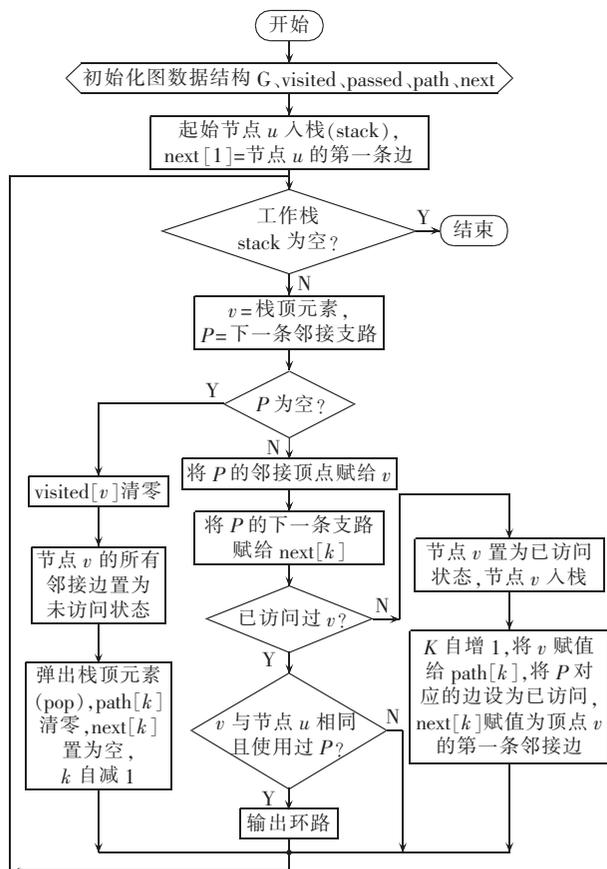


图6 拓扑环路搜索

Fig.6 Loop topology search

电磁合环和1个线路合环,搜索结果如下:电磁合环1为5-6-4-2-3-5;电磁合环2为5-6-4-1-3-5;线路合环为1-3-2-4-1。

3 结论

在电网“大运行”、“大检修”模式下,本文基于D5000平台提出了调控与防误一体化集中式平台建设方案,研究了采用SOA的实施方法;对调控操作及防误应用统一建模,使用消息发布/订阅机制共享图模和数据;研究了基于可拓物理论点和菱形思维模型的智能操作票推演技术、智能拓扑防误校核技术,实现了调控、防误及操作全过程的一体化,能较好地满足系统集成和应用不断发展的需要。本文所研究的系统已通过福建电网的联调测试,进入试运行阶段。现场运行结果证明,本文的调控操作与防误一体化集中式平台运行可靠、维护简单,其研究成果具有理论研究意义以及实际工程应用价值。

参考文献:

[1] 林济铿,李振斌,覃岭,等. 基于任务规则树实现厂站自动开操作票[J]. 电力系统自动化,2007,31(2):82-87.
LIN Jikeng, LI Zhenbin, QIN Ling, et al. An automatic sequence switching system for substation/plant based on rule tree of

operation task[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(2):82-87.

- [2] 王艳,杨以涵. 具有校验功能的地区调度操作票专家系统的研制[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(21):95-98,151.
WANG Yan, YANG Yihan. Development on regional dispatching order-sheet expert system with self-check function[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(21):95-98,151.
- [3] 徐俊杰,许先锋,杜红卫,等. 电网智能操作票管理系统[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):98-101.
XU Junjie, XU Xianfeng, DU Hongwei, et al. Intelligent operation order management system of power network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11):98-101.
- [4] 林晓庆,任建文,张丙合,等. 基于网络重构的电网智能调度操作票系统开发研究[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(7):143-155.
LIN Xiaqing, REN Jianwen, ZHANG Binghe, et al. An intelligent dispatching operation-tickets system in electric power system based on network reconfiguration[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(7):143-155.
- [5] 任建文,江贤康,崔悦. 基于通用电网框架模型的电力系统图形自动绘制实现[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(7):138-142.
REN Jianwen, JIANG Xiankang, CUI Yue. Automatic generation of power system diagram based on general framework model[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(7):138-142.
- [6] 周邺飞,梁锋,许祖锋. 基于三态拓扑计算的变电站防误操作研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(18):146-149.
ZHOU Yefei, LIANG Feng, XU Zufeng. Research on the mal-operation prevention in substation based on the three-states topological algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(18):146-149.
- [7] 谷文旗,莫杰,贺燕英. 集控型防误操作系统方案设计[J]. 电力自动化设备,2010,30(7):127-130.
GU Wenqi, MO Jie, HE Yanying. Design of anti-misoperation system for centralized control station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(7):127-130.
- [8] 江贤康,任建文,崔悦. 地区电网智能防误一体化操作票系统的设计与实现[J]. 电力科学与工程,2011,27(3):13-17.
JIANG Xiankang, REN Jianwen, CUI Yue. Design and implementation of intelligent anti-misoperation integrated operation order system for regional power grid[J]. Electric Power Science and Engineering, 2011, 27(3):13-17.
- [9] 蒋宏图,袁越,程伟. 智能变电站站控层在线防误的设计与实现[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):147-151.
JIANG Hongtu, YUAN Yue, CHENG Wei. Design and implementation of online misoperation prevention for station control layer of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8):147-151.
- [10] 倪鹏,马晓春,余建明,等. 调控一体化中综合智能防误校核方法的研究[J]. 中国电力,2012,45(7):16-19.
NI Peng, MA Xiaochun, YU Jianming, et al. Research on integrated intelligent check method for avoiding misoperation in integrated dispatching and control systems[J]. Electric Power, 2012, 45(7):16-19.
- [11] 蔡文,杨春燕. 可拓集与可拓数据挖掘[M]. 北京:科学出版社,2008:6.
- [12] WANG Menghui, TSENG Yifeng, CHEN Hungcheng. A novel clustering algorithm based on the extension theory and genetic algorithm[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(4):8269-8276.
- [13] 廖瑞金,张懿议,黄飞龙,等. 基于可拓分析法的电力变压器本体绝缘状态评估[J]. 高电压技术,2012,38(3):521-526.

- LIAO Ruijin,ZHANG Yiyi,HUANG Feilong,et al. Power transformer condition assessment strategy using matter element analysis[J]. High Voltage Engineering,2012,38(3):521-526.
- [14] 李如琦,苏浩益. 基于可拓云理论的电能质量综合评估模型[J]. 电力系统自动化,2012,36(1):66-70.
- LI Ruqi,SU Haoyi. A synthetic power quality evaluation model based on extension cloud theory[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(1):66-70.
- [15] 潘科,许开立. 区间可拓法在化工园区应急能力评价中的应用[J]. 东北大学学报:自然科学版,2012,33(9):1344-1348.
- PAN Ke,XU Kaili. Application of the interval extension method for the assessment of emergency response capability[J]. Journal of Northeastern University:Natural Science,2012,33(9):1344-1348.
- [16] HUANG Xiaoqing,JIANG Hao,XIA Anbang. SOA-based integration of electric utility in open electric market[C]//DRPT2008. Nanjing, China:IEEE:2245-2250.
- [17] IEC. IEC61970-301 EMS-API-part301:Common Information Model (CIM) base[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2009.
- [18] IEC. IEC61970-501 EMS-API-part501:Common Information Model Resource Description Framework(CIM RDF) Schema[S]. Geneva,

Switzerland:IEC,2006.

- [19] CORMEN T H,LEISENSON C E,RIVEST R L. Introduction to algorithms[M]. 3rd ed. Cambridge,USA:The MIT Press,2009:603-610.

作者简介:



李功新

李功新(1964-),男,福建福州人,高级工程师,副教授,博士研究生,主要从事电力系统自动化、电力设备在线监测、设备绝缘诊断等方面的研究工作;

周文俊(1959-),男,湖北汉川人,教授,博士研究生导师,博士,主要从事高电压绝缘与测试技术、微电子设备防雷接地技术等方面的研究工作;

林静怀(1971-),男,福建莆田人,高级工程师,硕士,主要从事电网调度工作;

江修波(1960-),男,福建福州人,教授,主要从事电力系统运行、电力变压器绝缘老化测试等方面的研究工作(E-mail:1102517160@qq.com)。

Integrated dispatch control and anti-misoperation system based on D5000 platform

LI Gongxin^{1,2},ZHOU Wenjun¹,LIN Jinghui²,JIANG Xiubo³

(1. College of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Fujian Electric Power Company, Fuzhou 350000, China;

3. College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: The application of extension theory in the domain of electric power dispatch control and anti-misoperation is studied. The essential knowledge base of dispatch control and anti-misoperation is developed and the intelligent deduction technology based on rhombus-thinking model is proposed for the generation of operation orders. The publish/subscribe mechanism is adopted to completely share the models, graphics and data of dispatch control system and the intelligent topology analysis is applied to realize the multi-layer check service of misoperation prevention. An integrated dispatch control and anti-misoperation system is developed based on D5000 platform, which, with higher anti-misoperation efficiency, adapts to the line connection type change, power grid capacity expansion and operation mode change.

Key words: dispatch control integration; D5000 platform; extension theory; rhombus-thinking model; topological anti-misoperation

(上接第 167 页 continued from page 167)

Data authentication based on frequency watermarking for smart grid

CHEN Sheng¹,HUANG Qian²,ZHANG Yu³

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 211102, China; 2. Jiangsu Taizhou Electric Power Company,

Taizhou 225300, China; 3. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: According to the features of smart grid communication network, it is proposed to apply the grid frequency information in the authentication of real-time interactive data to enhance data security. The frequency watermarking of real-time grid frequency monitoring network is modeled and then embedded in the transmitting data by the fractional Fourier transform. The received data are authenticated according to the embedded frequency watermarking for secure data communication. Because the energy of embedded information is distributed in traditional time-frequency domain, the security is high. Simulations and experiments demonstrate that the watermarking embedding algorithm based on the fractional Fourier transform has higher security and resistibility to regular noise attack, low-pass filtering attack and down-sampling attack.

Key words: smart grid; frequency; watermarking; authentication; Fourier transforms; security of data