

DOI: 10.7667/PSPC171191

基于数据挖掘和人机互动的电网调度早会系统

刘捷¹, 黄媛², 刘俊勇², 杨勇波³

(1. 国网四川省电力公司信息通信公司, 四川 成都 610041; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065;
3. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 电网调度早会是信息高度集成的聚集地, 是调度运行管理的中枢点, 也是调度自动化系统智能化的体现。构建了以数据挖掘为基础的调度早会系统, 该系统采用多维数据的分析技术, 自下而上通过数据融合以集约化的指标体系构建电网的可观性指标, 以信息定制的方式进行推送。此外, 采用人机互动的模式形成数据的驱动, 自上而下整合数据, 通过图模一体化的数据集成, 形成调度事件的全方位整合和全景展示。该系统在实际的省级调度中心的调度早会系统中投入使用, 解决了电网的可阅性以及焦点事件的信息集成等问题, 是电网调度信息智能应用的实例。

关键词: 电网调度自动化; 数据挖掘; 人机互动; 电网调度早会; 智能告警

Grid dispatching morning meeting system based on data mining and man-machine interaction

LIU Jie¹, HUANG Yuan², LIU Junyong², YANG Yongbo³

(1. State Grid Sichuan Electric Power Information and Communication Company, Chengdu 610041, China;
2. School of Electrical Engineering & Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
3. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: As the central part of power grid operational management, the dispatching morning system highly integrates the information and reflects the intelligence of dispatching automation system. Based on data mining and multidimensional data analysis technology, a dispatching morning system is proposed. Using data fusion, the observability index of power system are built from bottom to top with intensive index system and pushed in the way of information customization. Man-machine interactive mode is used to form the drive of data and integrate data from top to bottom. With graphic and model integration, the whole presentation for events of grid dispatching is showed comprehensively. As an intelligent application case of grid dispatching information, the dispatching morning system solves the problem of power grid observability and information integration in the application of provincial dispatching center.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51377111).

Key words: grid dispatching automation; data mining; man-machine interaction; power dispatching morning meeting; intelligent alarm

0 引言

随着智能电网的建设和发展, 中国的电网调度自动化系统已形成体系完整、监视范围广、防御能力强的控制系统^[1]。近年来伴随着计算机、互联网、物联网等技术的发展, 云计算的应用领域持续拓展, 对现有的调度自动化系统的应用升级等提供了基础, 为电网的精益化管理提供了技术支持。电网调度早

会系统是一个对电网运行态势进行宏观分析和对电网运行事件进行集中处理的信息汇聚地, 它需要整合电网一二次、外部的信息、图像和事件等, 按事件顺序进行梳理和凝聚, 它既有电网运行事件的分析, 也凝结了对电网的控制经验, 其作用的有效发挥依赖于电网调度信息采集控制系统的自动化和智能化程度。目前围绕它已经开展了一些相关研究。

文献[2]提出基于云技术理论的近期集散式和远期集中式的电网调度自动化系统构架, 解决数据信息沟通不畅、数据维护不一致性等问题。文献[3-4]

提出了一种主备系统模型数据快速校验的方案, 针对数据存储后的数据变化采用时间序列数据库进行存储与校验, 通过实际系统的实践提高了电网模型的精度。文献[5]提出针对电网调度自动化系统中存在着大量的图形展示文件、断面数据文件等, 采用轻量级分布式文件管理的方法, 通过冗余存储保证数据可靠存储, 采用基于日志的增量同步维持冗余节点之间数据的一致性, 利用同步锁解决文件同步过程中主备机切换可能导致数据不一致问题。文献[6]提出一种基于面向服务架构(SOA)的智能电网调度控制系统架构的解决方案, 通过对传统自适应代理模型进行优化, 设计了面向服务的服务监听型自适应代理模型, 解决了电力调度控制系统所面临的服务粒度规划、服务实体实现的问题。但针对调度早会所面临的智能化、定制化需求等尚未得到有效解决。

本文所提的电网调度早会系统集成现有的调度自动化系统、历史数据、外部信息, 政策管理等信息, 通过数据的融合, 提炼出电网运行状态的指标体系, 采用以指标促管理的方式进行宏观的掌控, 通过信息定制的方式, 按规定模式进行信息的推送。此外, 利用现有的智能化的人机交互模式, 触发焦点事件, 根据典型模式提取数据关联规则, 形成按时间序列发展、按电网接线方式、基于地理信息图的事件组织方式, 提出了一种新的电网可阅视角。

1 调度早会的需求分析

电网运营系统是一个反映电网运行能力及状态

的工作平台, 是电网公司精细化管理及社会责任体现的工具, 是领导战略与公司基层执行力的集中展示, 更是公司整体运营绩效的演示窗口。电网调度早会是电网运营系统的一个核心功能模块, 它是一个实时与历史相结合的综合功能模块。该模块将实现电网运营中的战略目标分解以及各类运行情况的组合、分解与聚类等功能。其具体功能如下:

1) 全方位, 多层次, 多角度揭示调度决策与执行效果的关系。

2) 调度目标与各因素之间的复杂关系。研究调度事件的前因后果关系。

3) 以特定调度目标的信息加工方式。以数据的关联、挖掘、融合等方式对历史和实时数据进行分析, 形成智能决策分析和事件响应回放。

4) 调度决策模式与人机之间的交互模式。

2 电网调度早会的信息集成平台

电网调度早会集成了大量的信息系统, 包括调度自动化系统、生产管理信息系统等形成生产决策信息, 这就需要有实时数据的获取, 历史数据时间段面的抽取、预测模式的仿真等。因此, 该系统需要进行数据集成、模型校验、数据抽取、数据加载等工作。现有的调度自动化系统以 IEC61970 规约对数据和电网模型进行了规范, 但是还需要接入 WMAS 系统以及其他的报表数据文件等^[7-10]。其信息集成的平台如图 1 所示。

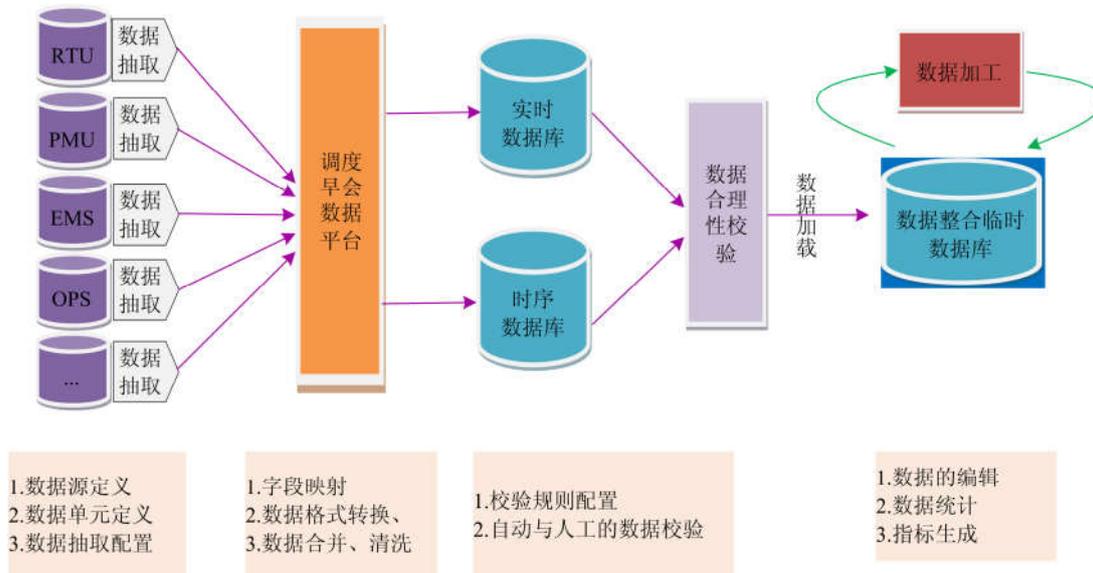


图 1 电网调度早会信息集成平台图

Fig. 1 Integration platform of the grid dispatching morning meeting

2.1 数据平台中的关联规则制定

调度早会的数据来源以 CIM/E 或 CIM/XML(扩展置标语音)^[11]和 CIM/SVG(可缩放矢量图形)格式表达电网模型,还有许多断面数据文件,事故追忆等报表类数据文件,这些文件结构变化较大,存储分散,因此在调度早会的数据平台中需制定相应的关联规则进行集成。对 SCADA/EMS 文件解析后保存在数据库中,对报表文件导入数据库中以大字段类型直接进行存储,然后通过采用统一命名集中管理,并进行合并处理。对接入数据平台的各类数据项通过建立多个关联映射表使其有机联系在一起。

此外,还需要完成数据格式的转换以及离散值数据与连续值数据之间的转换,数据值的分组分类,数据项之间的计算组合等操作。

2.2 多种数据库的共存模式

为解决调度早会中多时间尺度的场景需求,采用实时数据库与时间序列数据库联合存储的方式,处理不同时间颗粒度的调度数据信息。

实时数据库存放 SCADA 的实时采集数据,提供高速的本地访问接口、远方服务访问接口,具有数据定义、存储、验证、浏览、访问和复制等功能,支持数据关系描述和检索,对各种实时、在线类应用程序提供数据共享和交换手段^[12]。实时库中的模型数据来自商用库对应的检索视图。

时间序列数据库存放诸如 PMU、故障录波等时间序列数据,对其中的高频变化数据进行保存,具备对采集数据进行追忆的功能,可以全方位记录、保存电网事故状态,并能够真实、完整地反演事故过程。时序数据库需具备高速批量数据读写能力,能按照时间范围快速读写单点、多点数据。时间序列数据库采用压缩比为 50:1,因此支撑电网的宏观指标体系。

商用数据库提供对系统的基础支撑,负责各类系统数据的接入,具备足够的吞吐量满足数据规模的需求。负责数据的远程访问及数据安全的管理,实现数据的查询、备份等。

3 调度早会功能指标体系的构建

3.1 数据挖掘的体系结构

针对电网调度早会中包含结构化、半结构化、非结构化数据以及一些明显的业务对象特征数据,通过数据挖掘的方法完成多源数据的降维、清洗修正和索引之后,采用线性及非线性方法进行特征数据提取,获得电网调度数据的时空维度和关联规则的属性特征。采用数据挖掘的方法提取调度早会的多维指标体系,其结构框图如2图所示。其中关联、

分类、聚类等方法已在设备的状态监视、电网故障的特征提取、电网的安全评估、用户特征提取、负荷预测等方面得到广泛的应用^[13-14]。

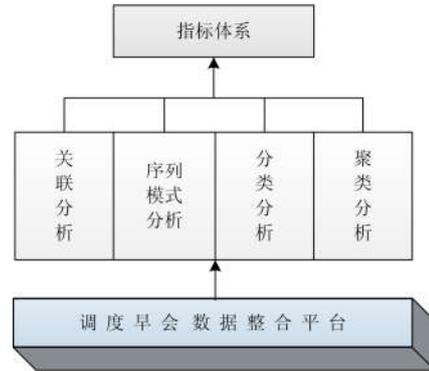


图2 数据挖掘的体系结构

Fig. 2 Architecture of data mining

序列模式挖掘是一种基于时间或者其他序列的经常发生的模式,在给定的序列数据库和最小支持度阈值的前提下,找出序列数据库中所有的序列模式^[15]。序列模式挖掘算法已用于诊断、预测、告警、交易等领域^[16]。时间序列定义为数轴上非负整数点上一系列数值 $A(i_a), i_a = 0, 1, \dots, T_a, \dots$ 。对于某一序列,若 T_a 为此序列长度,满足对于所有 $i_a > T_a, A(i_a) = 0$ 且当 $i_a = N_a$ 时, $A(i_a) \neq 0$ 。电力调度生产信息提供了精确的时间信息数据,利用时间序列模式挖掘方法可以按给定的挖掘多维指标的同比参数,也可按故障事件追溯时,以事故出现的始末时间,寻找事故重叠的窗口,形成事故的完整时间断面。

3.2 数据挖掘的算法及模型

基于调度早会数据整合平台的数据来挖掘电网运行模式、故障模式等,形成电网的运行事件、运行知识等,并进一步用指标方式进行表达。采用关联规则分析方法^[17],分析电网运行中各个事件之间的相互依存性和关联性。设 $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ 是调度早会数据的集合, D 为一个调度事件集合, T 是 I 的一个子集 ($T \subseteq I$), 其中 $D = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, 若 A, B 是 T 中的项或集且 $A \cap B = \emptyset$, 其关联规则的蕴含式用 $A \Rightarrow B$ 表示, A 为条件, B 为结论, 其关联强度用支持度 $S\%$ (Support)、置信度 $C\%$ (Confidence)、兴趣度 $I\%$ (Interest)表示, 定义如下:

$$S\% = S(A \Rightarrow B) = P(AB) = \frac{|\{T : A \cup B \subseteq T, T \in D\}|}{|D|}$$

$$C\% = C(A \Rightarrow B) = P(B | A) = \frac{|\{T : A \cup B \subseteq T, T \in D\}|}{|\{T : A \subseteq T, T \in D\}|}$$

$$I\% = I(A \Rightarrow B) = \frac{P(B|A)}{P(B)} = \frac{|\{T: A \cup B \subseteq T, T \in D\}|}{|\{T: A \subseteq T, T \in D\}| \cdot |\{T: B \subseteq T, T \in D\}|}$$

支持度和置信度用于表征关联规则的强弱, 在强关联规则下, 兴趣度大的为挖掘的目标。因此挖掘算法转换为以下问题: 1) 找出所有满足支持度 S 条件的频繁集; 2) 使用频繁集生成关联规则。

3.3 多维^[18]指标体系的构建

指标体系的建立为调度早会的宏观决策提供辅助决策, 通过高度浓缩的指标体系, 形成对电网运行态势的概括, 通过指标的横纵向对比考核, 追溯电网运行的薄弱环节, 促进运行管理水平的提高。由于调度早会覆盖电网调度业务的全过程, 主要从安全、可靠、经济、节能/环保、透明这五类指标进行分析, 如图3所示。

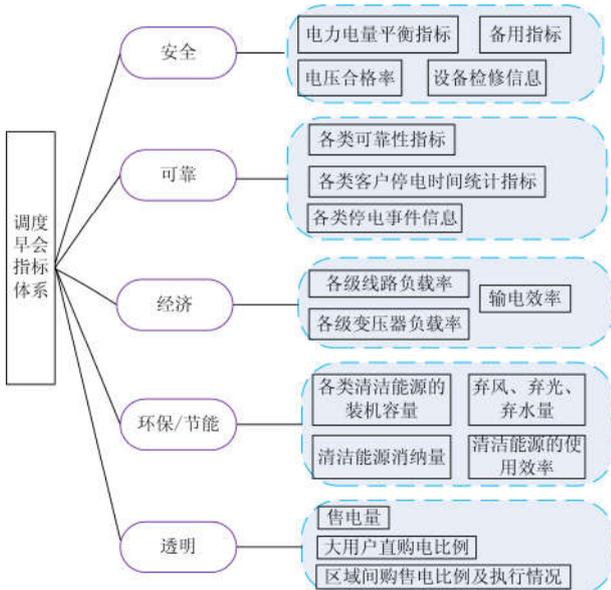


图3 调度早会指标体系

Fig. 3 Index system of grid morning meeting

按以上指标体系对数据进行梳理、拓展, 分别从时间、对象、业务、主题、管理5个维度对每一个电网调度运行指标进行分类与整合, 使庞杂、无序的调度运行信息系统化、有序化。采用文献[19]所示的信息定制方式进行推送。

4 基于人机交互的事件追踪及展示

人机交互(human-computer interaction)是指人与系统之间通过某种对话语言, 在一定的交互方式和技术支持下的信息交换过程^[20]。调度早会的人机

交互传递了各类角色使用该平台的个性化思想和组织数据方式, 提高了本系统的智能性。

4.1 人机交互模式

调度早会定义了用户界面的组成模型: 用户模型(概念性元素模型)、信息模型、任务模型、实体性元素模型(可视化表征模型)、对话模型。其中用户模型和实体性元素模型之间定义了一组映射关系模型。用户模型用 K_p 表示信息产品自身传达的显性知识, K_u 表示用户自身所包含的隐性知识, 分别表示为

$$K_p \subseteq \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\} \quad (1)$$

$$K_u \subseteq \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (2)$$

$$f: K_u \rightarrow K_p \quad (3)$$

式(1)中分别表示产品信息传达的知识要素, 式(2)中表示用户的自身隐性知识构成因素。在好的信息产品设计中, 存在着式(3)表明的映射关系, 即信息产品的显性知识与用户所包含的隐性知识的对应关系。信息产品的显性知识能够与用户的显性知识产生一对一或多对一的映射, 是实现人机互动的基础。电网调度早会的用户模型可以作为可视分析应用系统的设计模板, 结合模型驱动的方法, 能够自动生成交互式信息可视化系统。根据文献[18]提出的调度早会关注模式, 挖掘不同用户的角色需求, 确定各模式下的功能, 基于认知理论构建用户需求与系统展示方案的映射。

4.2 事件追踪与展示

完整的事件追踪需要从 SCADA 系统中调入开关的动作信息, 从变电站的智能告警系统中接收到告警条文信息, 通过对告警信息的解析, 得到告警的原因、时间、设备、事件、等级的相关信息。对由外部原因引起的相关信息, 结合外部信息系统进行综合分析, 得出由故障事件的分析结果, 如图4所示。此外稳态的数据分析、扰动识别信息、故障录波等信息结合和原始数据信息既有重叠的一部分, 也有一些综合分析的内容。因此, 在以 SCADA 为基础的电网模型上, 通过模型的效验, 将稳态的数据分析结果叠加上去, 按时间顺序, 以条文方式进行加载。利用3.2节所提的数据挖掘算法进行故障的诊断与分析。

5 实例

系统融入数据挖掘技术以及人机互动的理念, 通过对信息的高效组织, 对调度业务进行深度融合, 提取出反映电网运行的关键指标体系, 形成对电网的宏观态势分析。此外, 通过对多维信息的分层与

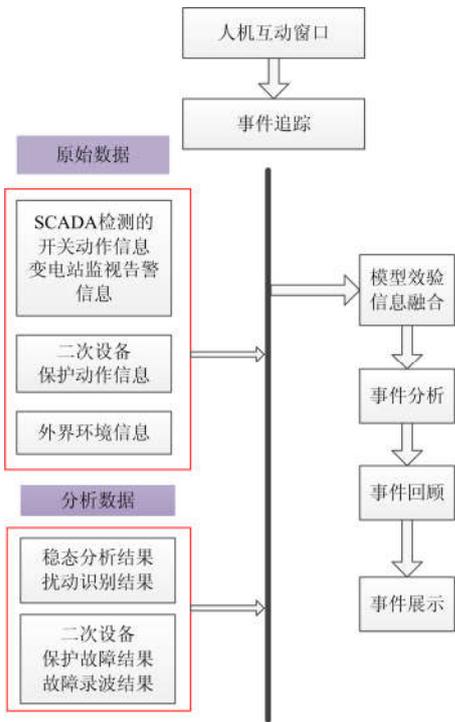


图 4 基于人机互动的事件追踪流程图

Fig. 4 Flow map of event trace based on man-machine interaction

分解，挖掘信息颗粒之间的关系，利用信息表达的动态效果将电网表达的 SVG 图形、地理图形、报表展示等有机结合起来，将事件按给定序列方式有机组合排列起来，结果“一目了然”且利用触摸屏“一触即得”。

电网日运行整体态势采用图 5 所示方式表达，以通用 GUI 组件构造画面^[21-22]，并能将无极缩放的电网潮流矢量图以及三位图形混合显示，利用画中画的方式嵌入地理接线图和主接线图。此外三维图形可以在屏幕中按需移动、改变大小及角度。



图 5 电网昨日运行情况的概览图

Fig. 5 Overview of yesterday operating aspect of grid

根据 2.1 节所提的指标体系进行考核，效果如图 6 所示。

利用地理接线图将发生事件的时间、设备运行状态，操作员的操作等都反映在上面，给出空间方位的定点。图 7 给出一种事故追溯的展示结果。



图 6 电网综合 KPI 指标体系

Fig. 6 Key performance indicator of power grid



图 7 事故追溯展示结果

Fig. 7 Tracing the event and visualization

6 结论

本文提出了一种基于数据挖掘和人机互动方式建立电网调度早会系统的方案，通过该系统的实施，构建了多种数据融合的数据集成平台，通过数据的清洗、加工、整理、融合，提炼出电网可阅性的多维指标体系。此外，通过人机互动，以焦点事件为线索，关联相关信息形成以时间为横轴的事件序列，促进了对电网薄弱环节的管理，能有效发挥调度早会的作用。

随着信息融合技术的发展，本文后续将继续细化各类指标，丰富指标体系。此外，利用人工智能技术进一步研究智能化的用户界面、交互方式，如多通道用户界面及自然交互技术、可触摸用户界面及手势交互技术、智能自适应用户界面及情境感知交互技术等，在电网调度早会中的应用。

参考文献

- [1] 辛耀中, 石俊杰, 周京阳, 等. 智能电网调度控制系统现状与技术展望[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 2-8.
XIN Yaozhong, SHI Junjie, ZHOU Jingyang, et al. Technology development trends of smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 2-8.
- [2] 单茂华, 姚建国, 杨胜春, 等. 新一代智能电网调度技术支持系统架构研究[J]. 南方电网技术, 2016, 10(6): 1-7.
SHAN Maohua, YAO Jianguo, YANG Shengchun, et al. Study on architecture of new generation of dispatching technical supporting system for smart grid[J]. Southern Power System Technology, 2016, 10(6): 1-7.
- [3] 赵家庆, 赵裕嘯, 丁宏恩, 等. 电网调度自动化主备系统间模型正确性校验技术方案[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(19): 139-144.
ZHAO Jiaqing, ZHAO Yuxiao, DING Hongen, et al. Technical scheme for the verification of grid models between the active and standby systems in power dispatching automation system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(19): 139-144.
- [4] 易强, 郭海龙, 万书鹏, 等. 调度自动化系统多网段资源定位技术的研究与实现[J]. 智慧电力, 2017, 45(12): 1-5.
YI Qiang, GUO Hailong, WAN Shupeng, et al. Research and implementation of multiple segments resource location technology used in dispatching automation system[J]. Smart Power, 2017, 45(12): 1-5.
- [5] 雷宝龙, 万书鹏, 陈鹏, 等. 轻量级分布式文件管理在调度自动化系统中的研究与应用[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(2): 147-151.
LEI Baolong, WAN Shupeng, CHEN Peng, et al. Research and application of lightweight file management strategy in power dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2): 147-151.
- [6] 毕艳冰, 蒋林, 王新军, 等. 面向服务的智能电网调度控制系统架构方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(2): 92-99.
BI Yanbing, JIANG Lin, WANG Xinjun, et al. Design and investigation on service-oriented architecture-based smart grid dispatching and control system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2): 92-99.
- [7] 赵家庆, 季胜鹏, 钱科军, 等. 基于事件驱动机制的电网事件快速捕捉方案[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 103-108.
ZHAO Jiaqing, JI Shengpeng, QIAN Kejun, et al. Detection of power system events based on event-driven mechanism[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(23): 103-108.
- [8] 张永刚, 庄卫金, 孙名扬, 等. 大运行模式下面向监控的分布式智能告警架构设计[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 148-153.
ZHANG Yonggang, ZHUANG Weijin, SUN Mingyang, et al. Architectural design of distributed intelligent alarm application for equipment monitoring in the "large operation" mode of state grid[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(22): 148-153.
- [9] 徐伟, 徐泰山, 胡昊明, 等. 适用于调度计划滚动更新的安全校核计算策略研究[J]. 陕西电力, 2017, 45(2): 10-14.
XU Wei, XU Taishan, HU Haoming, et al. Security check calculation strategy for rolling update scheduling plan[J]. Shaanxi electric Power, 2017, 45(2): 10-14.
- [10] 马丽叶, 贾彬, 卢志刚, 等. 基于静态安全性和实时供电能力的输电网安全等级研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 230-237.
MA Liye, JIA Bin, LU Zhigang, et al. Research on security classification of transmission network considering static security and real-time power supply capability[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6): 230-237.
- [11] 丁盛舟, 李永光, 杜鹏, 等. 基于CIM/E的电网调度系统数据质量优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(3): 129-134.
DING Shengzhou, LI Yongguang, DU Peng, et al. Data quality optimization method of power grid scheduling system based on CIM/E[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(3): 129-134.
- [12] 彭晖, 陶洪铸, 严亚勤, 等. 智能电网调度控制系统数据库管理技术[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 19-25.
PENG Hui, TAO Hongzhu, YAN Yaqin, et al. Database management technology for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 19-25.
- [13] LI Zhi, YE Lin, ZHAO Yongning, et al. Short-term wind power prediction based on extreme learning machine with error correction[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 9-16. DOI: 10.1186/s41601-016-0016-y.
- [14] 孙谦, 姚建刚, 金敏, 等. 基于特性矩阵分层分析的短期母线负荷预测[J]. 电工技术学报, 2013, 28(7): 226-233.
SUN Qian, YAO Jianguo, JIN Min, et al. Bad data

processing strategies for short-term bus load forecasting based on stratified analysis of characteristic matrix[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(7): 226-233.

[15] 范习辉, 张焰. 序列模式挖掘在电力系统警报信息处理中的应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(13): 49-52.
FAN Xihui, ZHANG Yan. Application of sequential pattern mining algorithm in alarm information processing of power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(13): 49-52.

[16] SRIKANT R, AGRAWAL R. Mining quantitative association rules in large relational tables[C] // Proceedings of 1996 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD'96), 1996, Montreal, Canada: 1-12.

[17] AGRAWAL R, IMIELINSKI T, SWAMI A. Mining association rules between sets of items in large databases[C] // International Conference on Management of Data, 1993, Washington DC, USA.

[18] 欧睿, 杨渝璐, 张琳. 多维分析技术在跨辖区一体化调度自动化系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(33): 149-154.
OU Rui, YANG Yulu, ZHANG Lin. Application of multi-dimensional analysis technology for power dispatching automation across jurisdictions integration[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(23): 149-154.

[19] 黄媛, 刘俊勇, 伍言. 电力调度信息的定制技术[J]. 现代电力, 2012, 29(3): 1-5.
HUANG Yuan, LIU Junyong, WU Yan. The customization technology of electric dispatching information service[J]. Modern Electric Power, 2012, 29(3): 1-5.

[20] 赵林, 赵家庆, 钱科军, 等. 调度自动化系统新型人机界面关键技术研究[J]. 电网技术, 2014, 38(11): 3913-3918.
ZHAO Lin, ZHAO Jiaqing, QIAN Kejun, et al. Research on key technology of new man-computer interface for dispatching automation system[J]. Power System Technology, 2014, 38(11): 3193-3198.

[21] 任磊, 杜一, 马帅, 等. 大数据可视分析综述[J]. 软件学报, 2014, 25(9): 1909-1936.
REN Lei, DU Yi, MA Shuai, et al. Visual analytics to-wards big data[J]. Journal of Software, 2014, 25(9): 1909-1936.

[22] 沈国辉, 孙丽卿, 游大宁, 等. 智能调度系统信息综合可视化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(13): 129-134.
SHEN Guohui, SUN Liqing, YOU Daning, et al. Intelligent dispatch system information comprehensive visualization method[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(13): 129-134.

收稿日期: 2017-08-09; 修回日期: 2018-01-17

作者简介:

刘捷(1973—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力信息通信管理; E-mail: liuj5755@sc.sgcc.com.cn

黄媛(1974—), 女, 通信作者, 博士, 副教授, 研究方向为新能源发电及接入问题、电力系统稳定与控制; E-mail: yuanhuang@scu.edu.cn

刘俊勇(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析及电力市场等。

(编辑 周金梅)