第 42 卷　第 6 期　2018 年 3 月 25 日
DOI：10.7500/AEPS20170914006
电力系统自动化
Automation of Electric Power Systems
Vol.42 No.6 Mar.25，2018

调度自动化系统多视图人机交互界面设计

赵　林[1,2]，张令涛[1,2]，王　赞[1,2]，田国辉[1,2]，张　亮[1,2]
（1. 南瑞集团（国网电力科学研究院）有限公司，江苏省南京市 211106；
2. 北京科东电力控制系统有限责任公司，北京市 100192）

摘要：设计了调度自动化系统的多视图人机交互界面。首先，提出了组件化的多视图界面图形化开发平台，该平台扩展了电网图元可视化方式，实现用户界面控件的编辑和标准化存储，可以按照需求图形化开发和编辑多视图界面；然后提出了一种基于脚本的画面信息传递机制和可视化效果动态改变机制，将画面文件和数据源定义进行分离，可视化图元可以通过脚本动态获取数据，也可以通过脚本动态切换显示效果。另外，通过扩展 CIM/G 规范实现了多视图界面的多级调度远程调阅和共享。最后，研究了多视图界面支持可视分析的人机交互方式，开发了基于关键字的关联分析和基于事件的深度搜索两种人机交互方式，支撑调度人员的分析和决策过程。

关键词：调度自动化系统；多视图；人机交互界面；可视分析；脚本；可视化

0　引言

随着数据挖掘和关联分析技术在智能电网的各种高级应用中的逐步应用，各个应用在围绕某一主题对电网数据进行分析时，分析的结果往往不再是单一数据，而是围绕主题、相互关联的多个信息侧面组成的信息多面体（multi-facet）[1-2]，调度自动化系统中的单视图窗口不能支撑信息多面体的可视化展示。如何通过可视化技术将信息多面体呈现于一个窗口中，改善调控人员对主题可视化信息的认知，是调度自动化系统一直在研究的课题。

多视图关联协调展示技术是一种支持多画面关联分析的人机交互界面生成技术，主要应用于多属性数据集分析数据间的显式和隐式关系[3-6]。过去几年中研发人员尝试将多画面关联分析技术应用于调度自动化系统中，研究出多视图人机交互界面展示方式，主要应用在综合智能告警功能上[7]。智能告警系统通过运用专家系统、人工神经网络以及遗传算法等对常用故障原因进行分析，然后构建出常用故障诊断模型，诊断分析的数据涵盖稳态数据、动态数据以及暂态数据[8]，通过多视图界面进行可视化展示。界面不仅需要上下级调控中心的远程浏览，还需要同级调控中心的横向共享。但在多视图界面使用的过程中，存在以下几个问题妨碍了多视图界面的推广使用。

1）多视图界面需要通过定制编程实现，开发周期长，无法根据调控人员的需求实现细粒度定制。

2）多视图界面支持简单的点击响应，不支持复杂可视分析的人机交互方式。

3）多视图界面与开发程序深度耦合，调控人员无法对画面进行修改和二次开发，用户自主性太弱，限制了多视图界面的适用范围。

4）多视图界面既包含符合 CIM/G 规范的图形，也包含不在 CIM/G 规范的各种用户界面（UI）控件，无法实现多级调控中心远程调阅和多级共享。

针对以上情况，文献[9]研究了电力系统的可视化方法库并探讨了多种人机交互方式，但可缩放矢量图形（SVG）并非电网通用的图形。文献[10]研究了利用多种可视化方式展现对象的时间或空间发展演变过程，从而发现对象的发展态势，但并未探讨图形共享以及可视分析的人机交互方式。文献[11-12]研究了调控系统人机界面的可视化技术。

鉴于此，本文研究了标准化的多视图人机交互界面的设计和开发，提出了一种基于脚本的消息传递机制，将图元与数据源定义进行分离，支持了多视图界面动态获取数据源和可视效果动态变化，便于图元的二次开发。开发了基于 CIM/G 标准的可视化方法库，结合多视图图形编辑平台，实现了多视图界面细粒度快速按需定制。通过扩展现有的 CIM/G 规范，实现了多视图界面在各级调度自动化系统

收稿日期：2017-09-14；修回日期：2017-11-16。
上网日期：2018-01-31。
国家重点研发计划资助项目（2017YFB0902600）。

中的无差别浏览和多级共享。最后，研究了支持可视化分析的人机交互方式，减少调度人员的认知负担辅助调度人员进行决策。

1　设计目标

根据智能电网调控一体化运行的需求，电网模型、数据和图形实现了标准化的一体共享[13]，因此，标准化的多视图人机交互界面的设计必须满足智能电网一体化的要求，在设计开发、人机交互以及图形共享方面要实现以下目标。

1）界面布局可以自由组合，多种图形样式协同展示。当前调度自动化系统中只能通过程序定制多视图界面，开发周期过长而且复用程度较低。为了支持各级调度能够快速开发多视图界面，需要提供开发多视图界面的图形编辑工具，实现画面布局的自由组合，并且需要封装多种复杂可视化图元进行调用，图形编辑工具能够根据数据的特点调用相应的可视化图元进行展示，实现多视图界面的细粒度快速定制。

2）双向交互的图元消息传递机制。多视图界面中的图元不应仅仅是电网数据的单向可视化展示，更应该能够接收调控人员的输入信息，实现信息的双向交互。可视化图元能够通过服务总线访问数据和发送信息，调控人员能够通过操控图元输入交互信息，从而操控数据对象，也能够根据调控人员的需求改变可视化的展示效果。另外，为了实现多视图之间的联动，支持多个视图之间传递消息进行互动。

3）多级调度共享，实现远程浏览。智能电网图形维护和共享方案基于“源端维护，全局共享”原则，采用分布式一体化建模技术，实现了电网图形各级调控中心基于 CIM/G 标准文件共享[14]。多视图界面扩展了现有调度自动化系统的可视化手段，既包含标准中的电力设备图元，也包括各种不在标准中的图形控件（UI 控件）。为了支持多视图界面在多级调控中心的在线实时远程浏览以及横向共享功能，需要扩展现有的电网图形标准，实现多视图界面的标准化存储和共享。

4）支持图形分析的人机交互方式。现有调度自动化系统的人机交互界面注重电网数据的可视表达，而忽视了对分析流程的支持。人机交互界面只支持简单的点击响应交互操作，在一定程度上提高了调控人员信息调阅的效率，但对于决策层的支持不足。支持可视分析的多视图界面需要在人机展示层具备数据挖掘和分析能力，通过不断的人机交互，实现渐进式分析推理，并将分析过程以易于认知的方式进行可视化展示，减轻调控人员的认知负担。

2　总体框架

多视图人机交互界面开发平台基于开放服务网关规范（open service gateway initiative，OSGi）[15]，各个组件（bundle）通过插入式结构实现了组件的物理级别隔离，彻底隔离了各个组件之间的耦合关系，每个组件能够在平台运行过程中被安装、升级或者移除。平台依托于 Java 语言，底层框架主要利用 Java FX，Java Swing，JOGL 以及 Java2D/3D 等技术来实现，总体架构如图 1 所示，其中 SCADA 表示数据采集与监控，AGC 表示自动发电控制，DAS 表示配电自动化系统，WAMS 表示广域测量系统。

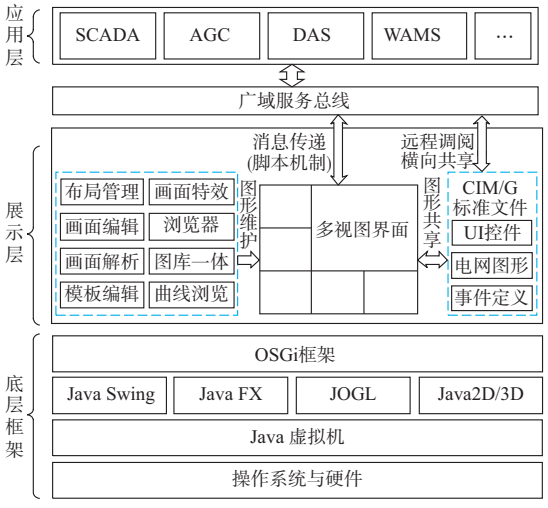

图 1　多视图开发平台架构

Fig.1　Architecture of multi-view developing platform

展示层通过图形化的布局编辑器和画面编辑器定制多视图的人机交互界面，画面的布局以及支持的可视化方式可以自由定制和选择，也可以根据需求的变化进行二次开发。多视图开发平台完全遵循 IEC 61970 标准，界面中的基本图形、图元、UI 控件、数据源的定义及响应事件都可以通过 CIM/G 规范进行描述。画面中展示内容及操作事件均可以依照规范进行定制。标准化的共享方式能够实现多视图界面在各级调控中心的远程浏览和在线共享，也支持调控中心各个应用之间的信息融合和图形共享。

多视图界面利用脚本通过广域服务总线与应用层进行双向交互通信，将界面中图元和控件等可视化图元的数据定义接口和可视化效果接口进行封装，可以通过脚本进行调用，切换图元的数据源或变换可视化的展示效果，同时支持可视分析的人机交互方式。

3　关键技术

3.1　图形化编辑多视图界面

多视图人机交互界面通过多种可视化展现方式组合展示某主题的关联数据，目前界面不支持图形化的定制有两个原因，第一是因为支持图形化编辑的可视化图元样式较少，不足以支持异构数据的图形化展示；第二个原因是未提供一个图形化编辑工具可以实现画面布局定制和图元组件的关联。

因此，首先将厂站图、潮流图、地理图等调度自动化系统使用的图元封装为图形展示组件，提供图形化编辑的支持，并且不同类型的图形展示组件提供不同的接口，从而实现可视化效果的变换；然后将饼图、棒图、曲线、表格、树等 UI 控件封装为自定义组件，可以通过脚本语言对自定义组件进行事件定义、数据源绑定以及可视化效果的变换等操作。

在实现常用图元组件图形化操作的封装的基础上，开发了多视图界面的图形化编辑工具，能够实现界面的布局编辑和图元的关联。多视图人机交互界面具体的构建过程如图 2 所示。

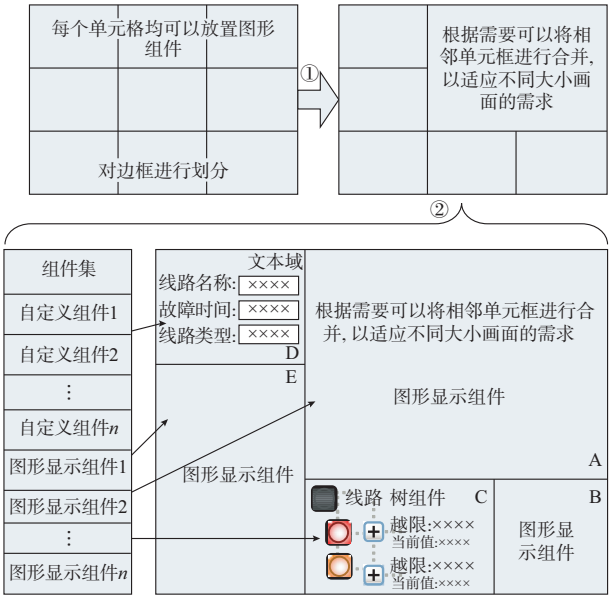

图 2　多视图人机界面构建过程

Fig.2　Construction process of human-machine interface with multiple views

如图 2 所示，多视图人机交互界面的构建过程分为两个步骤，第一步如图 2 中的①所示，通过工具提供的布局管理器编辑界面的布局，实现界面的灵活定制。完成多视图界面布局的定制后，再将子窗口与图元组件进行绑定，如图 2 中的②所示，A，B，C 等子窗口可以通过鼠标拖拽组件集中的自定义组件或图形显示组件进行绑定，可以根据数据的特点选择相应的组件进行展示，选定展示组件之后，通过编写脚本文件实现设定数据源和可视化展示的效果。画面编辑工具为开发多视图人机交互界面提供了一种简便的方式，能够按照需求快速开发人机交互界面，多种图形样式可以自由组合，通过脚本文件可以直接与数据总线和消息总线进行交互。

3.2　脚本语言消息传递机制

当前调度自动化系统中的多视图界面在接收数据后进行可视化展示，数据源和可视化效果均是通过程序解析和定制，在当前机制下，如果更改数据源定义或者改变可视化效果只能通过程序重新定制这种“重量级”方法实现，开发周期长。而多视图界面在交互展示过程中，需要实时读取信息并生成可视化界面，图元的数据源需要动态定义。因此，为了实现多视图人机界面的“轻量化”二次开发，本文提出了一种基于脚本语言的消息传递机制，将展示画面与消息传递进行分离，支持通过脚本定义图元的数据来源以及可视化效果的动态改变，脚本中可调用的封装接口如图 3 所示。

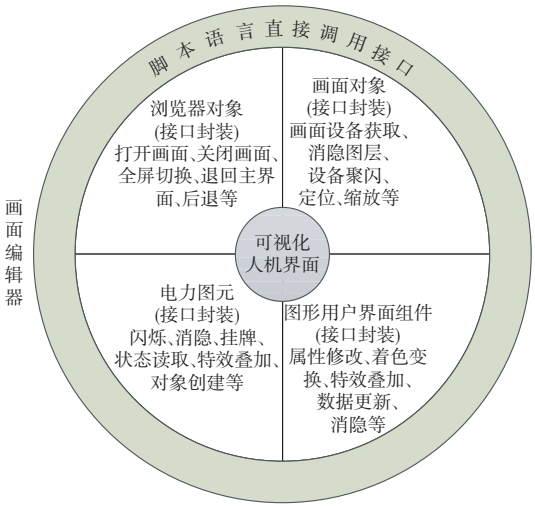

图 3　多视图人机界面接口封装图

Fig.3　Interface encapsulation of human-machine interface with multiple views

为提高多视图人机交互界面脚本语言的通用性，界面支持的脚本语言符合 ECMAScript (European computer manufacturers association script)规范[16]，可以采用符合上述规范的语言如 JavaScript 等进行开发。脚本语言中不仅可以直接调用封装的功能函数，而且支持逻辑判断、流程控制、数学运算以及赋值等操作。如图 3 所示，封装的接口包括可视化效果的更改，还包括与数据总线、消息总线的交互，图中列出的图元和控件支持脚本调用的接口，在画面编辑器中可以直接通过脚本进行调用。

3.3　多画面图形共享和远程浏览

调度自动化系统规范了电网图形的标准化表示方式，利用类似于可扩展标记语言（XML）标签的方式描述图形与公共信息模型（common information model，CIM）之间的关联关系，通过图元定义统一外观样式，通过图元引用与电网模型建立关联关系，实现电力设备信息和电力图形数据的高效存取和不同应用之间电力图形数据的交互。但多视图界面丰富了可视化效果，界面中不仅包含符合标准的电网图形，同时也包含 UI 控件、脚本、布局文件等 CIM/G 规范中未定义的可视化方式，因此，调度自动化系统中目前应用的多视图界面未实现本地/异地无差别浏览和横向共享，为了实现多视图界面的共享，需要扩展现有的 CIM/G 规范。

扩展规范统一了多视图界面中的可视化 UI 控件标签，通过组件定义和事件定义规范控件的存储。控件定义定制控件的外观样式，包括外观尺寸、着色机制、显示文本以及动态显示风格等；与电网图形不同的是 UI 控件需要定义交互事件，比如控件的鼠标点击响应事件或柱状图的数据源定义等。多视图人机交互界面开发了基于脚本语言的交互事件传递，控件通过脚本既可以与消息总线交互信息，又可以操作多视图画面中的各个图元，实现多个图元之间的联动展示。比如在多视图界面中包含一个按钮控件，点击按钮的响应事件为子视图打开指定的厂站图，那么对应 UI 控件和响应事件的 CIM/G 文件见附录 A 图 A1。

多视图的布局文件描述各个子窗口与可视化图形的一一对应关系，并可通过脚本动态加载画面。如利用多视图平台开发了包含 3 个视图的人机交互界面，用于综合显示线路告警信息，第一个视图显示告警信息，另外两个视图显示该告警线路的首末端厂站图，所有视图都是由告警信息中的参数动态指定，对应的画面布局的 CIM/G 文件见附录 A 图 A2。

经过扩展的 CIM/G 规范涵盖了多视图界面的所有可视化图元、UI 控件以及布局文件等，实现了多视图界面的本地/异地无差别浏览和多级调度共享。

3.4　支持可视分析的人机交互方式

现有的调度自动化系统中的多视图界面主要是利用先验知识或专家系统推理出的基于某个特定目的多个关联视图的单向展示，只支持简单的消息传递，比如设备的开合等。这种交互方式并未发挥调控人员的优势，调控人员的优势在于逻辑推理，而调控系统的优势在于数据存储和数据处理。因此，本文提出了支持可视分析的人机交互方式，可以在多视图界面中通过脚本进行关联分析和深度的数据挖掘，支撑调度人员的分析和决策过程。本文主要开发两种交互方式支持可视分析。

1）基于关键字的关联搜索

多视图界面可以通过脚本对关注的关键字进行多维关联搜索，关键字可以是量测值，也可以是关系库或实时库的一个字段，同时支持多个关键字进行组合搜索，可视化展现的方式可以通过表格、曲线、柱状图或饼图展示搜索结果。比如在多视图界面中展示某条线路潮流越限，可以在越限画面上通过脚本搜索在该调度下达到和超出限值 95% 的所有线路信息，通过图表进行可视化展示。关联搜索可以拓宽调度人员的感知范畴，能从大量的数据中搜索出有用的信息，减少调度人员的认知负担。

2）基于事件的深度挖掘搜索

因电网规模日益增大，结构也越来越复杂，对于某些报警事件如果处置不当有可能会引起较大范围的连锁反应，造成较大损失。鉴于此，多视图界面提供了基于事件的深度挖掘搜索，包括报警事件所能影响的供电范围，估算所能造成的损失，以及追溯该事件相关的历史数据，辅助定位事故的原因。搜索结果通过潮流图或表格等可视化方式进行展现。深度搜索功能能够辅助调控人员在逐步的人机交互过程中，深入分析和定位事件的原因，辅助调控人员进行决策。

4　效果展示

利用本文提出的多视图开发方案，课题组已经完成了多视图人机交互平台的开发。平台能够实现多视图界面的图形化编辑，利用脚本进行事件传递和可视化效果的定制，实现柱状图数据源定义和可视化效果的定制，定制画面见附录 B 图 B1。

为了验证开发平台的有效性，利用本文提出的方法开发了线路越限的综合智能告警画面。利用多视图开发平台编辑了多视图界面，开发完成的多视图界面在实际运行时的显示效果见附录 B 图 B2，而且该画面实现了基于 CIM/G 文件的远程调阅，展示效果和本地调阅相同，实现了本地/异地无差别浏览。

调度人员在查看多视图智能告警画面时，界面支持通过画面进一步的搜索，搜索结果通过可视化画面进行展示，从而辅助调度人员做进一步的分析。比如在潮流图中通过脚本搜索该条线路某时间段的历史潮流值，搜索结果利用曲线图进行展现，展现效果见附录 B 图 B3。通过显示结果可以直观地观测

到此线路的历史潮流值的变化趋势。

在评估线路越限有可能造成的损失的过程中，可以在越限画面上通过脚本搜索该条线路的供电范围，分析当前越限线路的影响范围，搜索结果在多视图界面中的潮流图中用黄色标示出，红色箭头表明潮流的流动方向，展示效果见附录B图B4。

5　结语

本文研究了调度自动化系统的多视图人机交互界面的设计与开发。首先研究了多视图界面的图形化开发平台，平台封装了厂站图、潮流图等电网画面组件和常用的UI可视化控件，通过图形化开发平台可以按照需求开发和编辑多视图界面，增加了调控人员的自主性；然后，研究了基于脚本的画面信息传递机制和可视化效果动态改变机制，将画面文件和数据源定义进行分离，可视化图元可以通过脚本动态获取数据以及与服务总线进行信息交互，也可以通过脚本动态切换显示效果。另外，通过扩展CIM/G规范实现了多视图界面的本地/异地无差别浏览和共享。最后，研究了多视图界面支持可视分析的人机交互方式，开发了基于关键字的关联分析和基于事件的深度搜索两种人机交互方式，支撑调度人员的分析和决策过程。

本文提出的多视图开发平台已经完成了开发，目前正在某省调测试使用，测试效果良好，下一步准备进行推广应用。

附录见本刊网络版（http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx）。

参考文献

[1] 杜一，任磊.DaisyVA：支持信息多面体可视分析的智能交互式可视化平台[J].计算机辅助设计与图形学学报，2013，25(8)：1177-1182.
DU Yi，REN Lei. DaisyVA：an intelligent interactive visualization platform for visual analysis of multi-facet information[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics，2013，25(8)：1177-1182.

[2] 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 towards big data[J]. Journal of Software，2014，25(9)：1909-1936.

[3] WIDJAJA I，RUSSO P，PETTIT C，et al. Modeling coordinated multiple views of heterogeneous data cubes for urban visual analytics[J]. International Journal of Digital Earth，2015，8(7)：558-578.

[4] 赵颖，王权，黄叶子，等.多视图合作的网络流量时序数据可视分析[J].软件学报，2016，27(5)：1188-1198.
ZHAO Ying，WANG Quan，HUANG Yezi，et al. Collaborative visual analytics for network traffic time-series data with multiple views[J]. Journal of Software，2016，27(5)：1188-1198.

[5] ZHAO J，COLLINS C，CHEVALIER F，et al. Interactive exploration of implicit and explicit relations in facet datasets[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics，2013，19(12)：2080-2089.

[6] 陈谊，蔡进峰，石耀斌，等.基于平行坐标的多视图协同可视分析方法[J].系统仿真学报，2013，25(1)：81-86.
CHEN Yi，CAI Jinfeng，SHI Yaobin，et al. Coordinated visual analytics method based on multiple views with parallel coordinates[J]. Journal of System Simulation，2013，25(1)：81-86.

[7] 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 & Control，2014，42(13)：129-134.

[8] 闪鑫，戴则梅，张哲，等.智能电网调度控制系统综合智能告警研究及应用[J].电力系统自动化，2015，39(1)：65-72. DOI：10.7500/AEPS20140930016.
SHAN Xin，DAI Zemei，ZHANG Zhe，et al. Research on and application of integrated smart alarm based on smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems，2015，39(1)：65-72. DOI：10.7500/AEPS20140930016.

[9] 赖晓文，陈启鑫，夏清，等.基于SVG技术的电力系统可视化平台集成与方法库开发[J].电力系统自动化，2012，36(16)：76-81.
LAI Xiaowen，CHEN Qixin，XIA Qing，et al. Development of power system visualization platform and methods library based on SVG technology[J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(16)：76-81.

[10] 章坚民，陈昊，陈建，等.智能电网态势图建模及态势感知可视化的概念设计[J].电力系统自动化，2014，38(9)：168-176.DOI：10.7500/AEPS20130909002.
ZHANG Jianmin，CHEN Hao，CHEN Jian，et al. Smart grid situation awareness diagram modeling and conceptual design of situation awareness visualization[J]. Automation of Electric Power Systems，2014，38(9)：168-176. DOI：10.7500/AEPS20130909002.

[11] 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)：3193-3198.
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.

[12] 赵林，王丽丽，刘艳，等.电网实时监控可视化技术研究与分析[J].电网技术，2014，38(2)：538-543.
ZHAO Lin，WANG Lili，LIU Yan，et al. Research and analysis on visualization technology for power grid real-time monitoring[J]. Power System Technology，2014，38(2)：538-543.

[13] 李伟，辛耀中，沈国辉，等.基于CIM/G的电网图形维护与共享方案[J].电力系统自动化，2015，39(1)：42-47.DOI：10.7500/AEPS20141009022.
LI Wei，XIN Yaozhong，SHEN Guohui，et al. Scheme of power grid graphics maintenance and sharing based on CIM/G [J]. Automation of Electric Power Systems，2015，39(1)：42-47. DOI：10.7500/AEPS20141009022.

[14] Energy management system application program interface (EMS-API): Part 556　CIM-based graphic program exchange format (CIM/G): IEC 61970-556[S]. 2014.

[15] 周恒俊，曹培，张金江，等.面向高级量测体系的分布式对等互联 OSGi 平台[J].电力系统自动化，2011，35(11)：71-76.
ZHOU Hengjun, CAO Pei, ZHANG Jinjiang, et al. Advanced metering infrastructure using distributed P2P model based on OSGi platforms[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(11): 71-76.

[16] ECMA. ECMAScript language specification: ECMA-262[S]. 2015.

赵　林(1976—)，男，教授级高级工程师，主要研究方向：电网调度自动化等。E-mail：zhaolin@sgepri.sgcc.com.cn

张令涛(1979—)，男，通信作者，博士，工程师，主要研究方向：电网调度自动化、人机交互平台。E-mail：zhangingao@163.com

王　赞(1966—)，男，高级工程师，主要研究方向：电网调度自动化。E-mail：wangzan@sgepri.sgcc.com.cn

（编辑　蔡静雯）

Design of Human-Machine Interaction Interface with Multiple Views for Dispatching Automation System

ZHAO Lin[1,2], *ZHANG Lingtao*[1,2], *WANG Zan*[1,2], *TIAN Guohui*[1,2], *ZHANG Liang*[1,2]

(1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China;
2. Beijing Kedong Power Control System Co. Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract: A human-machine interactive interface with multiple views for the dispatching automation system is designed. Firstly, a modular graphical development platform for multiple views is developed, which expands the graphic tools of the grid entities and achieves the edition and standardized storage of user interface (UI) visual components. The platform can develop and edit the interface with multiple views according to the demand. Then a script-based picture information transfer mechanism and a dynamic change mechanism of visual components are proposed, which separate the interface file and the data source definition. The visual elements in the interface can dynamically obtain data through the script, and visual effects can also be dynamically switched through the script. In addition, the interface with multiple views achieves remote viewing and sharing among multi-level dispatching centers by extending CIM/G specification. Finally, the visual analytics of human-machine interaction is studied, and two kinds of human-machine interaction mode based on keyword correlation analysis and event-based depth search are developed to support the analysis and decision-making process of dispatchers.

This work is supported by National Key R&D Program of China (No. 2017YFB0902600).

Key words: dispatching automation system; multiple views; human-machine interaction interface; visual analytics; script; visualization