

一种基于图的电力数据可视分析方法

李文芳^{1,2}, 程鑫³, 路强^{2,3}

- (1. 国网安徽省电力有限公司合肥供电公司, 安徽 合肥 230022;
2. 合肥市电力大数据应用工程技术研究中心, 安徽 合肥 230031;
3. 合肥工业大学计算机与信息学院 VCC 研究室, 安徽 合肥 230601)

摘 要: 将可视化分析技术应用于电力系统可以有效地解决由电力系统发展带来的海量电力数据分析及显示等问题, 从而辅助电力部门进行决策。针对城市电力数据, 提出了一种基于图的电力数据可视分析方法。首先对城市供电数据进行预处理; 然后对城市供电网络进行建模; 最后根据可视化原则针对城市供电网络中的多种电力数据设计不同的可视化方法进行可视化与分析。根据合肥市某区域的电力数据的案例分析, 表明该方法可以有效地反映某一区域的电力系统运行状态和电力客户分布情况。

关 键 词: 电力数据; 可视分析; 图; 城市供电网络

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2019010124

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2019)01-0124-07

A Graph-Based Method for Visual Analysis of Power Data

LI Wen-fang^{1,2}, CHENG Xin³, LU Qiang^{2,3}

(1. State Grid Hefei Electric Power Supply Company, Hefei Anhui 230022, China;

2. Hefei Engineering Research Center of Electric Power Data Application, Hefei Anhui 230031, China;

3. VCC Division, School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230601, China)

Abstract: Applying visual analysis technology to the power system can effectively solve the massive power data analysis and display problems caused by the development of the power system, thereby assisting the power sector in making decisions. Based on the city power data, a graph-based power data visual analysis method is proposed. Firstly, the urban power supply data is preprocessed, then the urban power supply network is modeled. Finally, according to the visualization principle, different visualization methods are designed for the visualization and analysis of multiple power data in the urban power supply network. Based on the case study of power data in a certain area of Hefei City, it is shown that this method can effectively reflect the operating status of power systems and the distribution of power customers in a certain area.

Keywords: power data; visual analysis; graph; urban power supply network

随着现代电力系统规模不断扩大, 系统数据日益增多。进入大数据时代, 电力系统需要通过数据分析技术进行电网运行规律的探索。有关电力数据的研究已经取得了很大进展, 特别是可视化分析技

术应用于电力系统, 可以有效地解决电力系统发展带来的海量数据分析及显示等问题。

近年来将时空数据的可视化分析分为链接视图和集成视图 2 种方法。在链接视图中, 将数据的

收稿日期: 2018-07-03; 定稿日期: 2018-07-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(61472115); 安徽省自然科学基金项目(1708085MF158); 国家留学基金项目(201706695044)

第一作者: 李文芳(1971-), 女, 安徽合肥人, 学士, 高级经济师。主要研究方向为电力市场等。E-mail: fhook@126.com

空间属性映射在一个窗口中, 其他信息(如空间)映射在其他窗口中, 在用户分析时可以链接那些视图并发现可能的关联。在集成视图中, 可将地图和时空信息集于一个显示器中, 以便时空模式的发现。本文使用集成视图, 直接将信息堆叠在地图上或以三维的形式进行展示。

本文的目标是结合可视化技术从大量的电力线路及电力数据中选择感兴趣的部分, 并分析电力系统运行状态以及展示电力系统在不同时段内的运行状态。电力数据的空间分布性有助于分析人员对电网的整体运行状况做到直观了解。

1 相关工作

1.1 城市电力数据可视化

大量的可视化方式已被应用于电力数据研究中, 如曲线图、柱状图、条形图、扇形图和单线图^[1-5]。一些传统的可视化方法, 可用于电力数据结果分析; 地理信息可视化技术如等值线、地理数据视图等, 可用于数据的展示。能源管理系统(energy management system, EMS)和能源世界模拟器(power world simulator)是电力行业中广泛使用的两种可视化工具。

在城市电力系统中, 电力数据主要包括变电站、变电站覆盖电力线路和线路下连接的电力用户。GEGNER 等^[6]对变电站和供电线路进行可视化采用的是饼图、线路潮流图、热力图的方式; 文献[7]采用了散点图和折线图的方式对城市供电态势进行了可视化; LI 等^[8]采用了基于 OpenGL 的可视化方法对电力线路潮流进行可视化。

很多研究工作将图可视化方法应用到电力系统当中。文献[9]将地图可视分析技术分为 3 大类: 直接描述、总结和模式提取。地图的信息密度大, 且符合人们的认知习惯, 是展示基于空间分布数据的强大可视化工具。文献[10]回顾了卡通图的发展历程, 并对其现状做了全面的介绍。卡通图将统计信息与地理信息相结合, 地理区域的面积按照比例与人口、收入等统计数据相对应。本文基于地图可视化工作和图领域的知识, 面向电力数据进行可视化。

1.2 路线可视化方法

从可视化角度看, 电力线路与交通流量、轨迹信息等具有一定的相似性。文献[11]采用欧拉图的方法分析某地理网络中的人群流动并从手机数据

中提取出社交网络, 来说明网络流量的动态演化。

近几年来, 如何利用可视化技术对庞大而复杂的移动轨迹数据进行分析成为了该领域的研究热点。很多研究集中于稀疏交通轨迹数据的可视化分析, 如文献[12]提出了一种利用交通单元记录稀疏交通轨迹数据的可视化分析系统, 其数据包含了城市主要道路上几乎所有的移动车辆, 将节点和小区之间的链路抽象地看作边。为了避免视觉混乱, 只对满足一定流量的数据进行可视化。文献[13]提出一种称为路线缩放的可视化技术, 可以无缝地嵌入时空信息到地图中, 以实现时空数据的无遮挡可视化。该技术可以扩展到在地图上选定一特定路线, 通过整体道路网络变形来实现。

综上, 有关路线可视化方法的研究可分为 2 类: ①路线轮廓保持不变, 在道路上叠加可视化元素来表达某种数据; ②对路线轮廓进行变形, 嵌入一些图形元素来表达数据。本文主要采用第一种方法, 保持电力线路基本轮廓不变, 仅对电力线路做一些细微的改变, 如可对线路的颜色、宽度等进行可视化编码, 并在线路上叠加某种表达形式(扇形图、箭头、热点区域等)来显示电力数据。

2 电力数据处理

2.1 数据类型

由于电力数据涉密, 本文数据来自供电公司的 SG186 营销系统、PMS 系统、SCADA 系统的 16 个供电园区, 3 万多电力用户, 1 000 多专用用户。通过分析各系统数据之间的关联性, 了解工作日和非工作日电力系统的运行状态和用户的用电行为。

变电站数据主要来自 PMS 系统, 数据属性包括: 变电站名称、变电站主变及容量。通过和 SCADA 系统关联衍生属性有主变负载率、主变年重载天数、主变年最大持续重载天数、主变日重载次数等, 详见表 1。通过分析主变负载率可以统计出变电站的负载情况。

表 1 变电站属性表

属性	100 kV 1 号变电站	110 kV 2 号变电站
主变编号	1#	2#
主变容量(MW)	31.5	40.0
年最大载率(%)	0	29.58
年持续重载天数	0	0
年重载次数	0	0

其中,变电站负载率超过 80%的为重载,变电站年最大载率=主变年最大负荷/主变容量 $\times 100\%$ 。

供电线路数据来自 PMS 系统,数据属性包括:线路名称、额定电流、停电信息等,通过和 SCADA 系统关联衍生属性包含线路负载率、线路重载天数、线路日重载次数等。表 2 为供电线路部分属性数据表。

表 2 线路属性表

属性	100 kV 1 号变电站	110 kV 2 号变电站
	-16 开关	-04 开关
额定电流(A)	300	400
停电次数	31.5	40.0
年最大载率(%)	9.38	31.35
年持续重载天数	0	0
年重载次数	0	0

其中供电线路负载率超过 80%的为重载,线

路年最大载率=线路年最大电流/线路额定电流 $\times 100\%$ 。

一般数据中包括 3 种数据:

- (1) 遗失值。记录中没有测量到的数据域。
- (2) 非法值。记录中某些数据不符合规范或者为错误值。
- (3) 冗余值。记录中在某些数据域中存在完全相同或重复的值。

经过数据清洗和消除上述非法记录之后,大概可删除 3%的记录。同时在数据库中读取和写入数据时会执行校验操作,发生错误时会舍弃读取的值,并进行重新读取操作。执行其他操作时会与之前的数据做比较,将不一致的数据及操作记录写进日志文件中,方便以后进行对比分析。

2.2 方法描述

本文方法总体流程如图 1 所示。

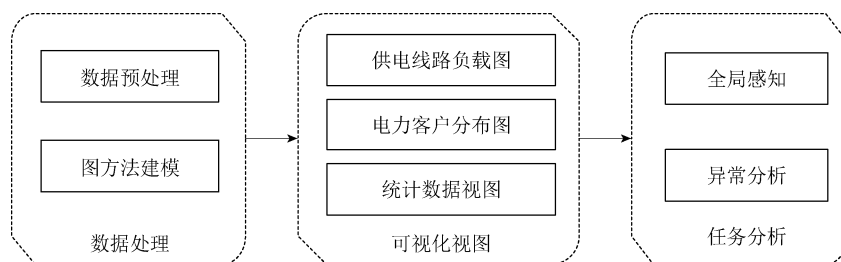


图 1 电力数据可视化方法流程

在数据处理时,需完成电力数据的读取、存储及预处理工作,并使用图的可视化方法对电力数据进行建模。其包括供电线路负载图、电力客户分布图和统计数据可视化视图,3 种视图分别从不同的方面反映电力系统运行状态和电力数据。任务分析包括全局感知和异常分析,用户可以对某区域的供电状况、客户分布情况和统计数据进行可视化,然后从中选择感兴趣的部分并识别出异常信息。

3 可视化设计

3.1 设计原则

本文从不同的方面展示电力系统的运行状态,如不同时段某一地区所有变电站的供电情况。通过展示选定的变电站所连接的供电线路的情况,结合其层次性对线路和用户进行可视化,可以了解变电站的电力输送和用户用电情况,对于选定的变电站供电线路中的异常情况进行分析和监测。

本文的设计原则如下:

(1) 概括化简。可视化设计应该直观、有效,便于用户识别感兴趣的部分。由于电力数据非常庞大,在视图中描述每一条电力数据是没有必要且不可行的,因此在其可视化之前需进行简化与抽象。也因为电力线路和图模型有一定的相似性,因此其可视化可以利用图模型进行建模。以合肥市电力线路网络为例,将其看作为一个无向图。可将其包含的一些变电站、开闭所以及电力线路看作无向图中的节点,供电路线等可以看作连接节点的边。图 2 为构造出的无向图,以模拟当前电力线路的状态。

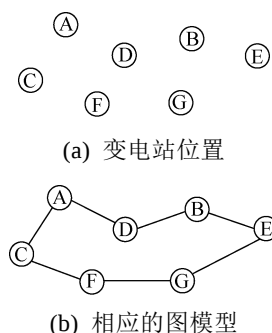


图 2 使用图来表达电力线路

(2) 供电线路信息表达。本文采用模拟城市电力线路的图模型方法, 在地理空间中进行交互式分析, 其前提是需正确保持电力线路的连通性。对于电力领域专家及用户来讲, 可视化结果能够正确地表达供电线路信息有意义且直观, 同时蕴含较多的电力信息。

在处理大量的城市电力线路以及电力数据时, 表达目标应该最优化地表达以下内容, 即可视化表达结果适宜进行其分析与探索, 不需要进行大量的二次操作及计算; 计算和渲染速度应该尽量的快, 足以进行交互式可视化分析。

(3) 多层次的可视化方法。为了便于进行多尺度的探索分析, 应遵循信息寻求规则。首先进行整体概述, 然后通过缩放和过滤等操作进行详细说明, 便于用户探索更多、更深层次的细节。允许用户交互性探索重要区域和不同时间段内整个电力线路或感兴趣区域的电力线路运行状态, 并有效地查询、选择和过滤是提供不同层次可视化结果之间的平滑过渡。

层次细节(levels of detail, LOD)模型是可视化领域中常用的模型。使用其进行可视化渲染时, 程序会根据物体模型的节点及显示环境中所处的位置和重要度, 决定物体的渲染程度, 降低非重要物体的可视化程度, 从而获得高效率的渲染速度与可视化结果。LOD 模型在不同的层次水平上对电力线路模拟图进行可视分析, 对不需要用户关心的区域降低其可视化程度, 以使用户发现电力线路模拟图中的细节信息并进行信息比较。

3.2 可视化设计

(1) 负载率可视化设计。负载率是电力系统的重要属性。供电线路可视化中主要关注供电线路及变电站的负载率情况。负载率为一个大于 0 的数值, 其数值表明电力设备处于不同的工作状态。当电力设备长期超负载率阈值工作时, 可能会出现异常。因此对负载率进行可视化, 成为了分析电力线路运行状态的关键。

使用颜色对数据进行编码是可视化领域中常用的方法。本文采用颜色映射关系对负载率进行编码, 其中, 红色代表负载率超过 80%, 黄色为 30%~80%之间, 绿色为低于 30%。

(2) 电力设备状态可视化。电力线路、变电站及其他电力设备的工作状态均需合理地进行表

述。电力线路存在停电、设备毁坏等异常现象, 如何对其进行可视化是研究的关键。借鉴其他设备中经常使用信号灯来表征运行状态, 若信号灯呈绿色表示设备工作正常, 而红色表示异常。而在电力负载图中使用灰色表示某电力线路处于停电状态。

(3) 统计数据可视化。为了更全面地对电力系统进行分析, 需要对电力线路和变电站在一段时间内的统计数据可视化, 是非常有意义的。统计数据包括: 变电站在一年内的重载天数、一天内的重载次数及某供电线路在一段时间内的负载率变化情况等。电力系统中的某些变化和某些数据具有周期性, 因此研究数据的周期性是非常必要的。环形图是进行周期性规律探索的一种非常好的可视化方式, 本文在基本的环形图上进行了改进, 以适合电力数据周期性规律的分析。

4 模拟效果评估

通过 3 个案例验证可视化模拟效果的有效性和实用性。本文软件采用 B/S 架构, 以 JSP 页面的形式展示, 其中可视化视图使用 D3.js 绘制。使用 Oracle 数据库存储电力数据, 并结合 Hadoop 云平台存储技术。

4.1 某区域供电情况分析

图 3 为 2017 年合肥某区域的供电情况。在电子地图的基础上, 结合电力系统的地理位置信息, 展示了变电站及下属供电线路负载情况, 并使用颜色对不同的负载率进行编码。年最大负载率小于 0.3 的为绿色; 超过 0.8 的为红色; 处于 0.3~0.8 之间的为黄色。图中共有 3 座变电站, 其中, 220 kV 级和 110 kV 2 座变电站处于高负载率的状态, 局部供电线路因负载较高呈现红色线路较多, 说明当前该区域的供电情况较为紧张。持续高负载可能导致某些电力故障的发生, 需要采取改进措施如给某电力线路加开关或将某电力设备连接到其他的线路上分担用电压力, 以保障电力系统的正常运转。

合肥另一区域的供电情况模拟效果如图 4 所示。图中显示该区域黄色和绿色线路较多, 说明该区域的供电状况良好, 不存在负载过高的现象。管理人员可以考虑将高负载率线路连接到该区域的线路下, 从而缓解高负载区域的供电压力。

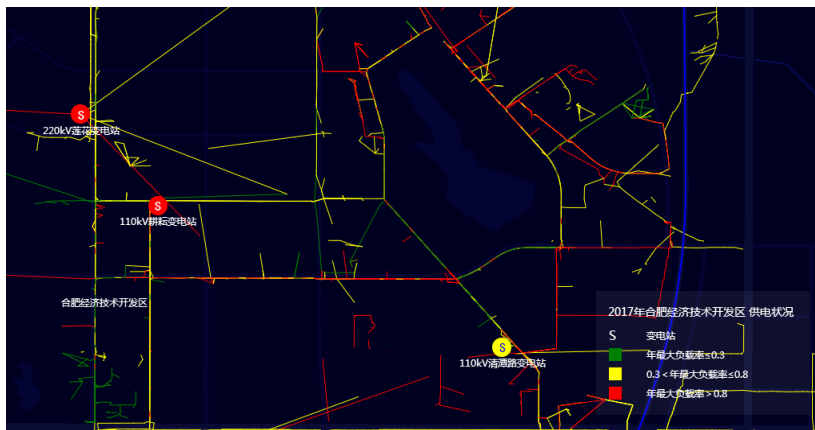


图3 合肥市某区供电情况

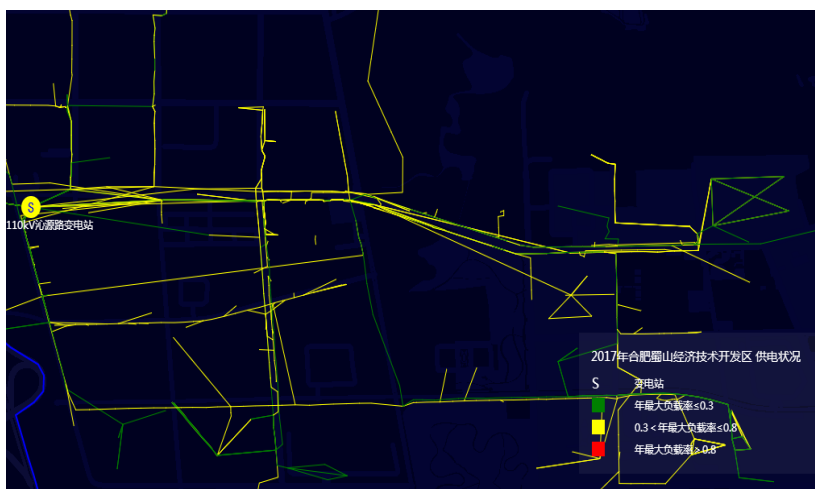


图4 合肥市某区供电情况

4.2 某区域客户分布情况

图5为合肥市某地区的客户分布渲染情况。图中电力客户分为3类,依次为容量新增客户、存量客户、分布式光伏客户。容量新增客户指的是最近向供电管理部门申请报装且申请流程还在进行中的高压客户;存量客户是已经申请并完成投产的高压客户;分布式光伏客户是拥有分布式光伏电源的客户。图中亮青色表示容量新增客户,黄色为存量客户,蓝色为分布式光伏。在电子地图的基础上,结合电力客户的地理位置信息,将电力客户分布情况绘制在地图上。图中使用圆形半径表征电力客户的运行容量情况,运行容量越大,圆形的半径就越大。其中较大的黄色圆圈表示的用户运行容量在10万千伏安以上;中等蓝色的圆圈表示用户运行容量为几千千伏安;最小的青色圆圈代表运行容量更小,管理人员可以点击圆圈查看具体的用电信息。图中右上角的黄圈显示某有限公司的合同容量较大,其运行状况影响着区域的供电稳定性,是管理人员重点关注的对象。

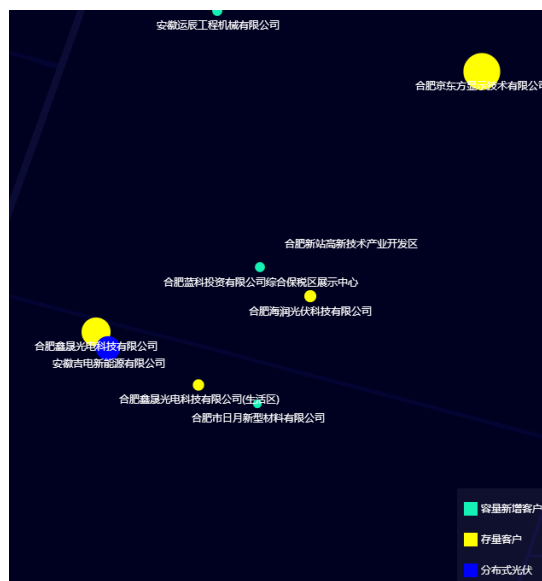


图5 某区域客户分布情况

4.3 某区域变电站的统计数据可视化

电力系统的统计数据非常重要且具有某种周期性。通过使用扇形图和环形图对合肥市某地

区的变电站负载情况进行可视化。本方法具有一定的可扩展性, 如可同时分析多个变电站在某天内的重载情况, 以及某个变电站在多天内的重载情况。

图 6 是变电站的负载情况。图中圆环的一周代表一天 24 h, 由内到外的圆环代表多个或一个变电站在一周内每天的负载情况。使用颜色对变电站负载率进行编码, 其中红色表示处于重载情况; 黄色为正常; 绿色为负载较低情况。其中, 图 6(a)从内到外的 7 个圆环为某变电站在一周内 7 天的负载变化情况; 图 6(b)从内到外的 3 个圆环代表 3 个变电站在某天内的负载情况。观察图 6(a)可知, 该变电站一周内高负载集中于早 8 点至晚 8 点, 属正常高峰用电时段。观察图 6(b)可知, 如果选一年中该区域负载率最大的一天, 可以发现由圈内到圈外第 1 个变电站重载的时刻较多, 且重载的影响大。第 3 个变电站一天内基本处于低负载状态, 对于年最大重载的影响较小。因此, 本方法用来分析电力数据中的周期性和变电站负载率对比是非常实用且有效的。

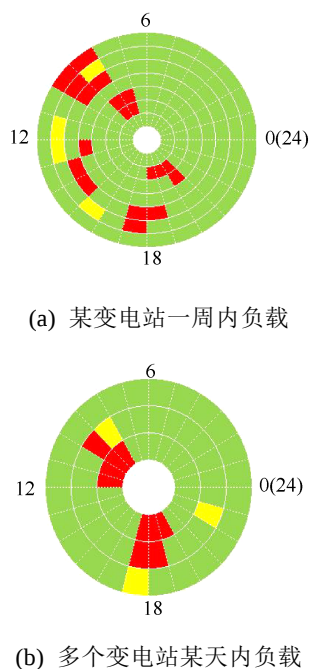


图 6 变电站负载情况

4.4 评估效果

可视化的目标不仅仅是供电信息的呈现, 也为用户提供了直观分析的手段。为了进一步验证本文可视分析方法的有效性和实用性, 特邀请了 5 位电力专家、5 位园区经理和 20 位具有电力系统背景的本科生和研究生参与了评估。首先进行简单的背景介绍和系统讲解, 并以合肥市园区电力数据为

输入, 分别给出反映该区总体供电态势的供电状况态势图、用户分布图以及变电站数据统计视图, 然后让用户自由探索 3 种视图, 并完成调查问卷上的问题。

本文使用 5 等级李克特量表进行评估, 请用户对 5 个问题进行满意度评分。其中 5 分表示非常满意, 4 分为满意, 3 分为中立, 2 分为不满意, 1 分表示非常不满意。问题描述如下:

问题 1: 视图是否整洁、美观;

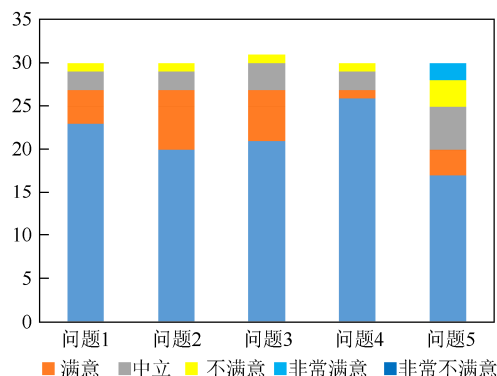
问题 2: 视图能否清晰地展现区域内的供电负载情况、用户分布情况以及数据统计情况;

问题 3: 视图是否有良好的交互性;

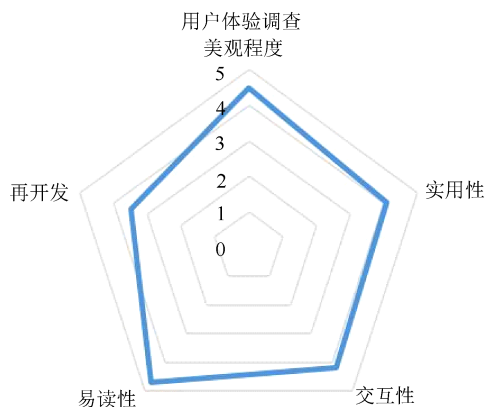
问题 4: 视图是否通俗易懂;

问题 5: 视图是否方便电力部门开发人员进行后续开发。

图 7 为 30 位参与者对 3 种视图的调查评分。结果显示, 大部分参与者对本文可视化视图结果的美观性、实用性和交互性表示满意, 对易读性表示非常满意, 对再开发性表示满意的人数也超过了半数。



(a) 调查问卷结果



(b) 满意度指标

图 7 用户体验调查

可见,本文可视化方法在实用性、易读性、交互性和实用性都取得了较好的评分,但在进行再开发时还具有一定的难度。

5 总结和展望

本文面向电力数据提出了一种基于图的电力数据可视化方法,帮助用户分析电力系统运行状态及电力客户分布情况。可视分析结果及用户评价进一步验证了本文可视分析方法的有效性和实用性。其优点表现为:

(1) 使用本文方法进行电力数据建模与可视化,可以在一定程度上减少计算复杂度,提高程序渲染效率。

(2) 针对供电线路中的某些交叉区域进行优化和重新调整,可以有效地减少视觉混乱现象,方便用户进行交互和探索操作。

本文方法存在的不足:

(1) 随着电力线路和关键电力系统设备数据的增加,建模及可视化所需的时间也随之增长,如何提高时间复杂度是未来的工作重点之一。

(2) 本文主要关注电力线路的负载率,未考虑更多的电力数据,如电压幅值、分布式电源等。

在后续研究将致力于城市电力数据的可视化,特别关注多角度、多方位、美观的城市电力数据可视分析方法。

参考文献

- [1] DRAPER G M, LIVNAT Y, RIESENFELD R F. A survey of radial methods for information visualization [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2009, 15(5): 759-776.
- [2] DU Y, MA C, WU C, et al. A visual analytics approach for station-based air quality data [J]. Sensors, 2017, 17(1): 30.
- [3] CHO M, KIM B, BAE H J, et al. Stroscope: Multi-scale visualization of irregularly measured time-series data [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2014, 20(5): 808-21.
- [4] SANFTMANN H, WEISKOPF D. 3D scatterplot navigation [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(11): 1969-1978.
- [5] 戚陆越, 吴升. 时间序列数据可视化研究综述[J]. 微型机与应用, 2015, 34(12): 7-10.
- [6] GEGNER K M, OVERBYE T J, SHETYE K S, et al. Visualization of power system wide-area, time varying information [C]//Power and Energy Conference at Illinois (PECI). New York: IEEE Press, 2016: 1-4.
- [7] DUTTA S, OVERBYE T J. Information processing and visualization of power system wide area time varying data [C]//Computational Intelligence Applications In Smart Grid (CIASG). New York: IEEE Press, 2013: 6-12.
- [8] LI B, LIU W Y, XING J, et al. The opengl-based visualization of power system flow and alarm [C]//Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). New York: IEEE Press, 2012: 1-4.
- [9] ANDRIENKO G L, ANDRIENKO N V, DYKES J, et al. Geovisualization of dynamics, movement and change: Key issues and developing approaches in visualization research [J]. Information Visualization, 2008, 7(3): 173-180.
- [10] NUSRAT S, KOBOUROV S. The state of the art in cartograms [J]. Computer Graphics Forum, 2016, 35(3): 619-642.
- [11] MA Y, LIN T, CAO Z, et al. Mobility viewer: An eulerian approach for studying urban crowd flow [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2016, 17(9): 2627-2636.
- [12] WANG Z, YE T, LU M, et al. Visual exploration of sparse traffic trajectory data [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2014, 20(12): 1813-1822.
- [13] SUN G, LIANG R, QU H, et al. Embedding spatio-temporal information into maps by route-zooming [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2017, 23(5): 1506-1519.