

8-14-2020

## Data Visualization and Interactive System Facing Educational Practice

Jinpei Qiang

*State Key Laboratory of Virtual Reality Technology, Beihang University, Beijing 100191, China;*

Dai Song

*State Key Laboratory of Virtual Reality Technology, Beihang University, Beijing 100191, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Data Visualization and Interactive System Facing Educational Practice

### Abstract

**Abstract:** The data-driven visualization interactive system was implemented. *According to the data visualization models, five modules were designed, which were the input module, visualization template module, visual editing module and output module. It was implemented by calling the D3, jQuery and other JavaScript library and binding the events with browser DOM. The visualization system was applied to educational practice in different disciplines which realized the evaluation of data visualization technology.* Practice shows that the platform can not only meet education demand of cross-disciplinary but also simulate students' interest in learning through visualization and interactive technology.

### Keywords

Data Visualization, Educational Practice, Interactive System, Chart Visualization

### Recommended Citation

Qiang Jinpei, Dai Song. Data Visualization and Interactive System Facing Educational Practice[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2101-2108.

# 面向教学的数据可视化图表交互系统研究

强津培, 戴松

(北京航空航天大学虚拟现实国家重点实验室, 北京 100191)

**摘要:** 实现了数据驱动的数据可视化交互系统。根据数据可视化模型, 设计了数据输入、可视化模板选择、可视化编辑、模型编辑、保存输出等模块, 通过调用 D3、Highcharts、jQuery 等 JavaScript 封装库与浏览器 DocumentObjectModel 事件进行绑定实现。将可视化平台运用到不同学科的教学实例, 实现对数据可视化技术的评价。实践表明, 本平台不仅能够满足跨学科的教学平台功能, 能够通过可视化技术和交互技术, 激发学生的学习兴趣。

**关键词:** 数据可视化; 教学应用; 交互系统; 可视化图表

中图分类号: TP312 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 09-2101-08

## Data Visualization and Interactive System Facing Educational Practice

Qiang Jinpei, Dai Song

(State Key Laboratory of Virtual Reality Technology, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** The data-driven visualization interactive system was implemented. According to the data visualization models, five modules were designed, which were the input module, visualization template module, visual editing module and output module. It was implemented by calling the D3, jQuery and other JavaScript library and binding the events with browser DOM. The visualization system was applied to educational practice in different disciplines which realized the evaluation of data visualization technology. Practice shows that the platform can not only meet education demand of cross-disciplinary but also simulate students' interest in learning through visualization and interactive technology.

**Key words:** Data Visualization; Educational Practice; Interactive System; Chart Visualization

## 引言

在当今大数据飞速发展的时代, 信息可视化 (Information Visualization) 研究复杂的大数据的视觉呈现。通过更为直观的视觉呈现, 可以达到对于复杂数据内在属性的观察、发现的作用。也可以通过对于数据的预处理, 将数据转化为更加容易发现属性的方式, 并且对应科学的可视化方法, 就可以得到良好的了解数据性质的目的。在教学的过程

中加入信息可视化技术, 不仅使学生对可视化技术前沿产生兴趣, 更能够运用丰富的表现力使教学形式更加多样。由于信息可视化为跨学科研究领域, 因此将信息可视化运用于教学平台, 能够扩展教学用途, 使平台运用于不同学科, 如数学、金融学、社会学等。通过完整简单的交互方式, 学生和教师都能够参与到课堂中, 不仅满足课堂教学目的, 更能够引入研究内容的展示, 使学生在课本之外接触到最前沿的研究内容。

有效的可视化分析需要适当的可视化设计与用户交互以及图形算法相结合。近年来, 数据可视化技术对各种数据均有较为丰富的研究成果, 例如对于时间序列、分类数据、面板数据和截面数据。



收稿日期: 2015-06-14 修回日期: 2015-07-13;  
基金项目: 国家 863 计划(2015AA016403), 北京航空航天大学研究生教育与发展研究基金(基金号);  
作者简介: 强津培(1989-), 女, 天津, 硕士, 研究方向为计算机视觉及可视化技术; 戴松(1991-), 男, 湖北, 硕士, 研究方向为计算机视觉及可视化技术。

<http://www.china-simulation.com>

• 2101 •

当数据较多又非常复杂的情况下，数据可视化需要有效的交互技术进行辅助，对可视化界面进行操作，来完成对于可视化技术的完整表达。单独的交互技术并不能完全满足对数据进行分析的目的。因此，算法支持(如机器学习、图像分析算法)等则在交互系统中是必不可少的。在数据可视化分析中，三个方面相互统一互相支持：可视化表达(Visual Representation)，用户交互(User Interaction)和算法分析(Algorithmic Analysis)。只有通过以上三个方面的研究和开发，才能完整的对可视化技术进行全面了解。

### 1 国内外研究现状

基本的数据可视化平台需求在 Keim 的 Visual Analytics Mantra 中加以阐述：基本分析需要展现关键的区域，然后根据需求深入分析细节。基于各种数据分析方法，出现了多种数据可视化交互平台。由多伦多大学的 Jian Zhao 等人在 2011 年开发的专门面向时间序列的可实现并发导航的可视化研究平台 KronoMiner<sup>[1]</sup>，如图 1 所示，通过变换坐标轴来对数据的周期性进行观察的功能。对于此系统，研究者强调了其对数据分析的能力，并且强调了交互是通过用户的操作进行反馈。

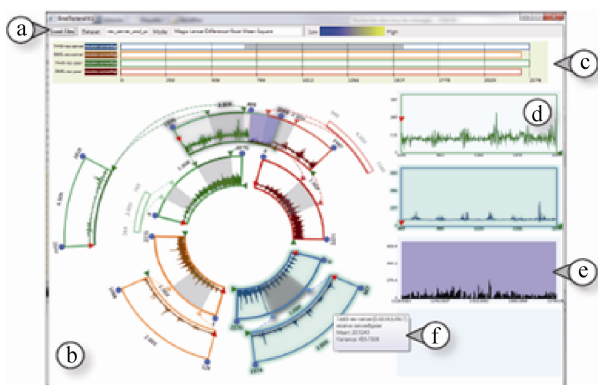


图 1 基于并行导航的数据可视化分析平台 KronoMiner

同样是由多伦多大学的 Jian Zhao 等人在 2011 年设计实现的专门面向实现序列的探索型数据可视化平台 ChronoLenses 加入了对数据分析的过程<sup>[2]</sup>，如图 2 所示，将输入的数据可以做简单的推导、求

方差、剔除明显的离群点等运算。在这一过程中，输入的时间序列转化为新的经过运算的时间序列，并且允许用户进行不同的函数和参数的输入。该平台将对数据的运算进行实时的展示，并且将可视化分析和用户的需求紧密结合，实现了能够适应多种学科研究需求的分析工具。



图 2 探索型可视化编辑环境 ChronoLenses

由斯坦福大学和华盛顿大学在 2014 年共同开发的 Lyra 可视化交互设计环境<sup>[3]</sup>，如图 3 所示运用了自定义的可视化方法将数据和可视化元素进行关联，使得对于可视化的创建不依赖于代码。对于交互对象，该平台定义了可拖拽的标志点，通过将标志点与交互数据的属性进行绑定，以实现可视化的目的。标志点可以进行移动、旋转和缩放等操作，相对位置可以通过与其他的可视化对象相关联来确定。另外，平台也定义了可交互的数据处理通道，可以可视化的进行数据操作和布局计算。Lyra 被证实能够应用于多领域的研究中如统计学、天文学和地理学等。

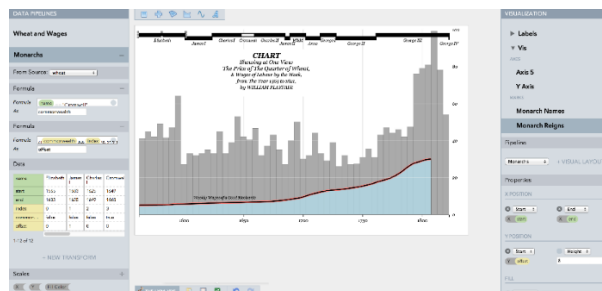


图 3 Lyra 可视化交互设计环境界面

基于信息可视化研究的交互平台需要在表现形式、用户交互体验以及算法支持等方面进行研究, 根据各个不同部分的需求进行设计, 从而达到对数据以及算法的可视化体验。但是从各个研究方面来看, 某一个平台并不能完整完成各种交互形式, 而且主要应用为基于数据的科学研究中。倘若将不同的交互方式相结合, 运用多样化的可视化表现形式, 并且将其运用到教学实践中, 可以提高学生的兴趣, 使学生迅速领略可视化前沿技术的概况, 并且对于多学科教学辅助有着很好的促进作用。

## 2 系统结构

我们基于算法动画可视化平台<sup>[6]</sup>的基础之上, 结合数据可视化前沿, 进一步整理开发了基本几何

形状的动画开发库、常用图表的数据可视化开发库和基于图的数据可视化分析开发库。系统结构如图 4 所示, 通过对 JavaScript 封装库的调用, 将绘图库和不同的 Web 交互绑定, 将不同的交互方式统一集成与统一界面, 从而达到用户可以用包括拖拽、编码和数据驱动等任意的交互方式对动画进行制作和绘制。在可视化平台之上开发可以面向教学应用的教学辅助网站, 运用最新的 Bootstrap 风格框架, 为学生提供了一个简洁美观的交流平台。学生可是实时对自己创建的作品进行发布, 同学之间可以对作业进行评论或者分享, 老师可以在平台之上进行作业发布和作业收集, 并且能够对作业进行评分。教学辅助能够使教学应用更加合理有效, 取得更好的教学效果<sup>[7]</sup>。

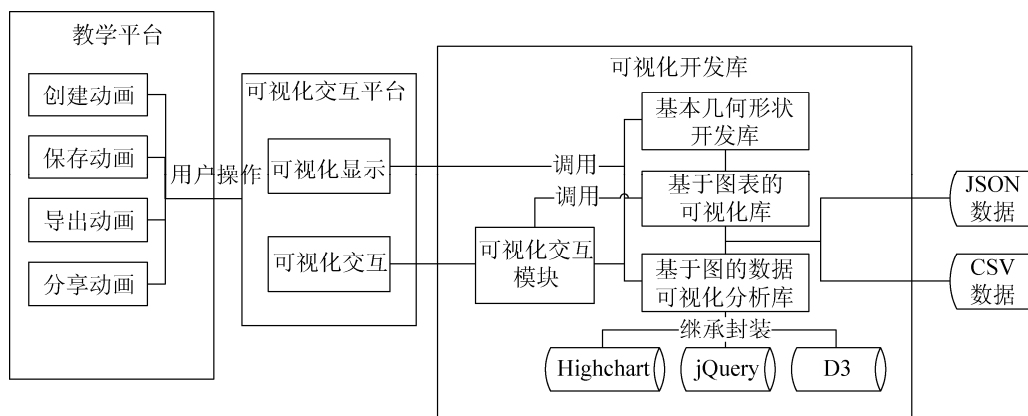


图 4 可视化交互系统结构

## 3 基于简单图表的可视化开发库

对于可视化图表的绘制, 我们需要调用 JavaScript 底层开发库, 将开发库的图形绘制功能进行封装实现, 得到基于简单图表的可视化开发库, 以供用户交互时可以直接调用绘制, 根据交互的需求, 封装绘图库 D3、Highcharts 和 jQuery。

D3 是 2011 年斯坦福大学设计开发的数据驱动的可视化开发库, 该库的思路是将数据和 Web 上的绘图标准如 HTML、SVG 和 CSS 进行绑定, 使得通过 DOM 控制可以批量的产生和数据性质有关的绘图元素。Highcharts 是优秀的图表绘制开发库,

它封装了图表绘制的所需的元素, 如基础图表、图题、副标题、标签、图例等。另外 Highcharts 提供不同种类的图表的绘制方法, 如直线图、曲线图、饼图、条形图、柱形图等。但是 Highcharts 中的图表绘制中的参数过于庞大, 很多参数在交互平台中没有交互使用价值, 因此我们要对 Highcharts 绘图库进行封装。底层图表开发库的封装类图如图 5 所示, 将图表中的原始绘图类作为父类, 封装其常用的输入参数作为对象属性。分别封装 8 种不同的绘图类继承自原始图表, 如图 6 所示, 分别为直线图、曲线图、面积图、饼图、柱形图、散点图、条形图、极坐标图。

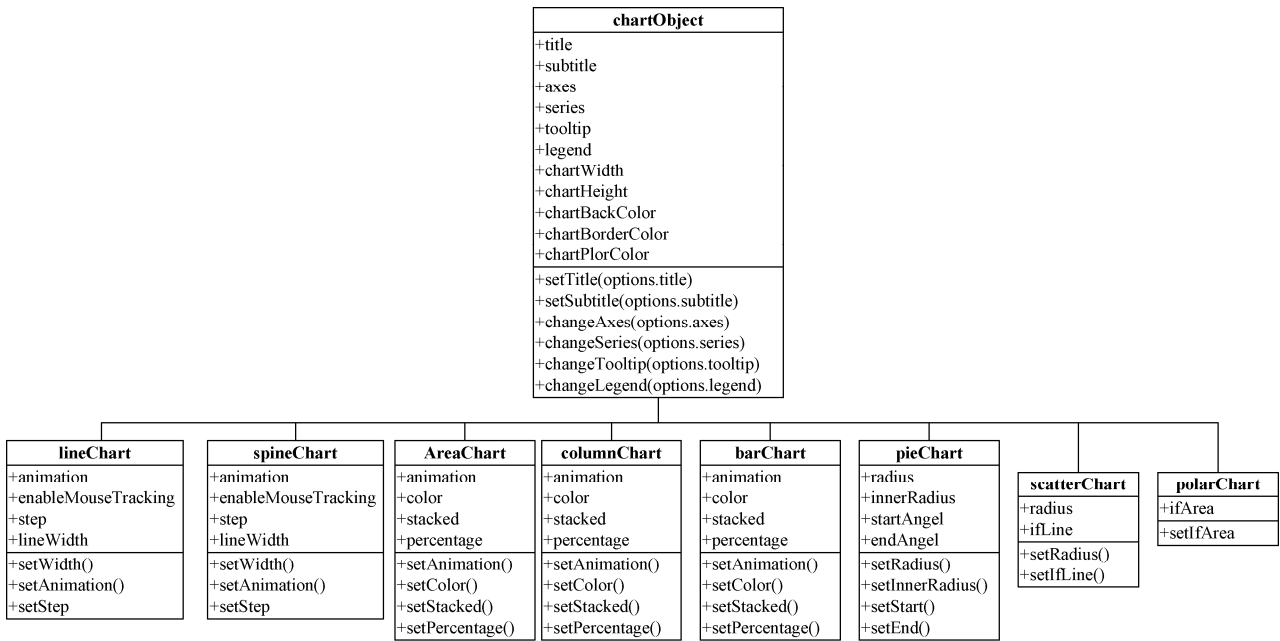


图 5 图表类封装结构



图 6 可视化图表封装类实例

#### 4 基于图的数据可视化分析开发库

基于图的数据可视化分析开发库开发过程中，由于开发量巨大，因此用了较为流行的 JavaScript 库进行开发，将各个可视化对象依赖底层库进行开发，使各个库函数各司其职，保证对与常用的交互、数据驱动、事件监听等功能的可靠的调用。

对于设计的基于图的数据可视化分析开发库，目的是将复杂数据结构进行基于算法的可视化表达。主要依赖的是数据驱动的 D3 开发库。D3 具备对于前沿数据可视化表达的 layout 开发类。基于 D3 的 layout 开发类，封装五类基于图的数据可视化分析开发库，分别是弦图、流状图、引力图、树图和矩阵图(见图 7)。在调用 D3 完成基于图的数据可视化开发库时，需要将数据赋予 D3 的绘制对象中，并且设计可视化绘图类所实现的大小、颜色、布局以及标注等等，为了能够更好的控制 DOM 窗口，因此调用了如 jQuery 等底层类库。将设计好的 D3 绘图类进行封装，仅将数据输入、大小和绘制对象暴露在外，从而方便用户交互时只需进行上传数据及点击可视化模板即可完成基于图的可视化分析。

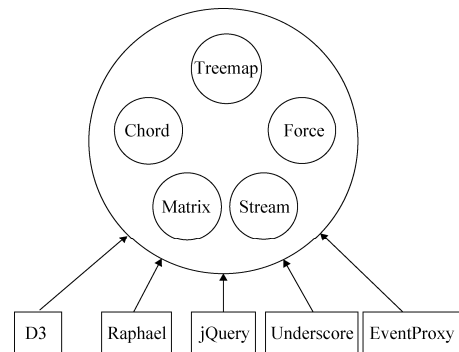


图 7 基于图的数据可视化类依赖关系



如图 8 所示, 对于原始图表 Chart 父类的创建依然采用简单图表类中创建 Chart 的方法, 将绘图区域的各个部分的性质进行设定。而对于每个可视化设计都继承了 Chart 中的性质。从而对对象进行了层次性的封装。对于子类, 除了继承 Chart 的属性和方法, 还由各自的属性和方法构造对象。对于各个子类, 由于采用固定的交互模式, 因此构造函数仅考虑被渲染的 DOM 节点、图表宽、高、输入数据和绘制控制几个属性。Treemap 为树图封装类, 树图通过矩形的结构表示树的结构, 矩形的面积代表树节点的属性。树图通过 squared tree 算法进行设计, 目的是将所有的矩形更加接近正方形, 即长宽比更小。Stream 图使用渐变的颜色绘制不同类别的数据随时间变化的趋势。流状图最著名的是“时间河流”流转图, 随时间变化趋势看出数据的变化。Stream 图需要将类别进行排序, 并且用渐变的色彩进行绘制。Force 引力图用类似物理中万有引力模型, 用质点间的距离代表数据不同类别之间的关系, 用质点的大小代表数据类别的性质。弦图 Chord 将圆形的边按照类别分成大小不等的几个部分, 用圆形中的弦的宽度代表不同类别数据之间的关系, 而圆形弧的长度代表某个节点的性质。矩阵图用颜色矩阵的形式表示不同类别之间的关系, 通过聚类算法可以将性质相似的类别进行重新排列, 通过可视化的手段观察出数据之间的关系。

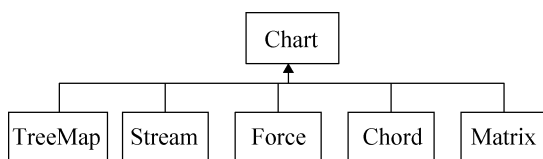


图 8 基于图的数据可视化类图

## 5 数据可视化平台系统设计

基于数据驱动的可视化模型, 我们分析用户对于数据的获取可视化信息的过程, 将数据可视化平台分成五个模块: 分别是数据输入模块、可视化模板选择模块、可视化交互编辑模块、数据模型模块、输入输出模块。

### 5.1 数据驱动的可视化交互模型

对于数据驱动可视化的模型, 如图 9 所示。数据驱动可视化模型由德国的 Konstanz 大学的 Keim 等人在 2008 年提出。首先由用户输入需要可视化的数据, 数据编程可视化图表或可视化布局结构需要完成数据和可视化界面布局元素之间的映射关系。对输入的数据交互平台可以设定数据模型对数据进行变换, 数据模型需要是在以数据为基础的学科中的常用计算, 如气象学、天文学和经济学等。用模型输出的数据再次进行可视化映射, 可以观察到数据变换前后的不同。对于已经完成可视化的数据, 可以通过用户交互对可视化进行实时更新。在可视化展示时, 用户可以观察到比原始数据更多的信息, 通过对信息的提炼再次更新数据达到循环。这样最大化了可视化的功能, 对研究和教学实践都有很重要的作用。

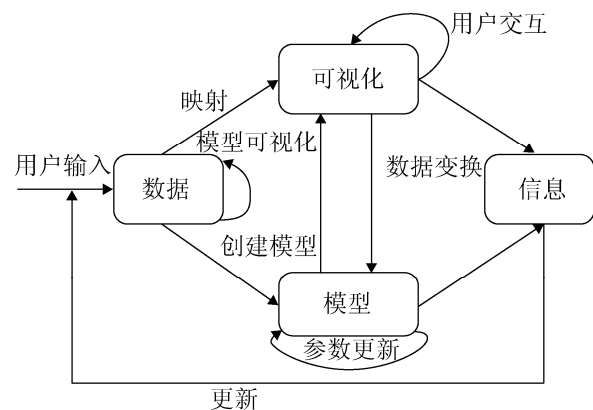


图 9 数据驱动可视化交互模型示意图

### 5.2 数据可视化平台模块设计

基于数据驱动的可视化交互根据数据驱动模型分成 5 个模块, 分别是数据输入模块、可视化模板模块、可视化编辑模块、数据模型模块和输出模块。根据不同的模块, 数据驱动的可视化交互分成 5 个步骤。具体数据可视化流程如图 10 所示。

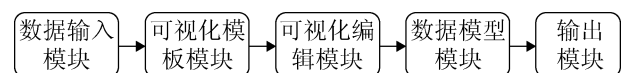


图 10 数据可视化流程图

数据输入模块, 由于 Highcharts 定义的数据输入为 JSON 格式, 封装的基础绘图库的输入格式也是 JSON 格式。但是大多数数据库提供的数据是 EXCEL 可支持的 csv(逗号分割文档)格式, 因此需要将逗号分隔的矩阵数据形式的数据转换成 JSON 对象。csv 格式转 JSON 伪代码如下:

伪代码:

```

1 Lines=Read every line of the 'csv' file
2 WHILE( lineNo!=END)
3     Items= Read every words for line
4     WHILE( ItemNo!=END)
5         IF (lineNo==1 && ItemNo==1)
6             Identify the data type;
7         END IF
8     ELSE IF( lineNo==1 && ItemNo>1)
9         Push the line categories;
10    END IF
11    ELSE IF (lineNo>1 && ItemNo==1)
12        Push the name of each line
13    END IF
14    ELSE
15        Push the data of each series;
16    END ELSE
17    END WHILE
18 END WHILE
19 Create new Chart(options);

```

可视化模板模块对 8 种封装的可视化基本图表进行了扩展, 并且调用 Highcharts 的 3D 库进行图表中列的扩充。将设置好的模板属性进行封装, 并且调用函数和鼠标的点击事件进行绑定, 在用户点击对应可视化模板的时候, 出发鼠标绑定的绘图函数, 绘图函数在绘制区域进行图形重绘, 从而得到与模板相一致的可视化形式。

可视化编辑模块将图表的各个属性进行细化编辑, 如图 11 所示, 在编辑界面设计实现表单, 用户的每个操作都将捕获关于图表的细节属性参

数, 在输入区域有所改变时, 表单捕获改变值并且将输入值赋予对应 JSON 对象中, 重新调用绘图函数用改变的参数进行图表重绘。在配置的属性中分成了八个编辑类, 分别是题目、整体、外观、轴、数据、标注、图例和导出。

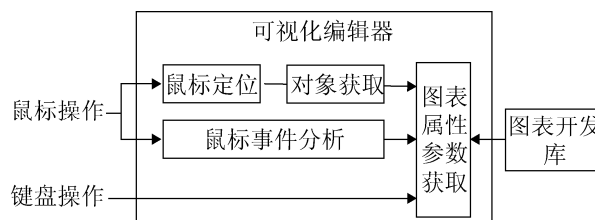


图 11 可视化编辑模块流程图

数据模型模块专门针对时间序列数据, 即第一列数据为时间数据, 第二列数据为对应的随时间变化的值。平台仅支持单个时间序列数据的操作。利用模型按钮对第一步输入数据进行基于时间的变换, 将变换后的数据重新赋值图表的 API 完成对于图表的重绘。通过调研常用一元时间序列的模型, 选取了一阶差分、二阶差分、取均值和去离群点的四种模型操作。这些模型可以用于对时间序列为研究对象的领域, 包括天文学、金融学和气象学等。通过模型对于数据的变换, 用户可以对输入前后的数据相比较提取有用信息, 这些较为简单的模型是更多复杂模型的基础, 因此选用一元时间序列模型作为基础, 以扩展更多的模型。

输出模块采用 Highcharts 的 exporting 模块进行实现。在 HTML 编程中需要引用 Highcharts 的 exporting 标准库, 对库函数进行调用。Exporting 库可以完成将图表转化为四种格式: 分别为 PNG、JPEG、PDF 和 SVG。另外, 在图表的右上角也有 exporting 类绘制的保存按钮, 在最终输出界面将保存按钮隐藏, 最终生成可以应用的图表格式。

### 5.3 数据可视化平台界面设计

在完成数据可视化模块之后, 需要进行可视化平台的前台界面设计, 如图 12 所示。界面分成两个部分: 分别是用户交互区和图表绘制区。整个



Web 界面采用当今流行的 Bootstrap 栅格布局。将页面分成 12 个栅格列, 并且将 12 个上恶劣放入一个 container 箱子中。在设计中, 用户交互区占用左边 4 个栅格, 绘图区占用右边的 8 个栅格列。将

用户交互区用 Bootstrap 的 Tab 组件分成 5 个页面, 通过导航标签进行选择, 对应数据可视化功能的 5 个模块, 按照顺序进行分步骤的可视化图表的交互编辑。

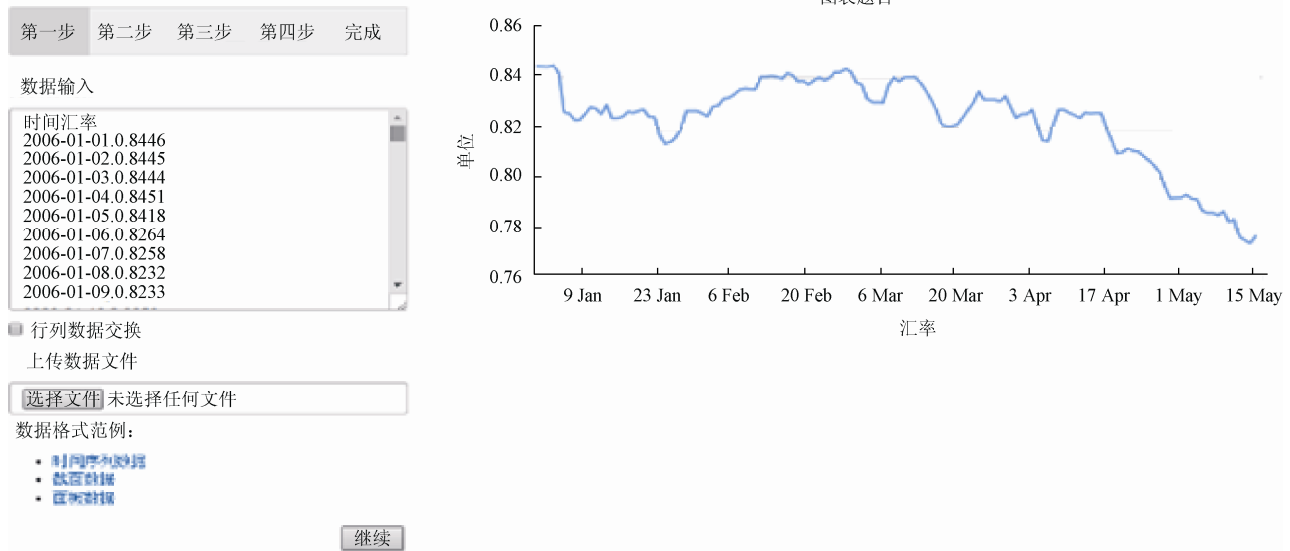


图 12 可交互可视化系统界面设计

## 6 在教学中的应用及实验

在教学应用实践中, 图表可视化发挥了较大的作用, 利用基本图形的动画可视化模板以及图表的可视化模板, 输入相应的数据, 做出展示数据可视化的应用作品。对于教学辅助网页的设计, 根据需求主要包括客户端应用程序和服务端两部分, 客户端程序在研发的可视化交互系统的基础上设计并实现符合教学需要的应用程序, 服务器端主要对客户端应用程序传来的数据进行处理, 在教学应用部分将从功能结构设计和数据库表结构分别进行实现。

在教学应用实践中, 图表可视化发挥了较大的作用, 利用基本图形的动画可视化模板以及图表的可视化模板, 输入相应的数据, 做出展示数据可视化的应用作品。图 13 为直线图可视化作品展示, 展示中有九幅可视化作品, 分别展示了三类不同的图表, 直线图、面积图及柱状图。第一幅作品用基本的直线图绘制了 4 个不同地区的月平均温度, 分别是东京、纽约、柏林和伦敦。第二幅作品绘制的

是美元兑欧元的汇率, 时间范围是 2006 年到 2008 年, 从 2006 年开始到 2008 年 3 月, 美元兑欧元的汇率持续下跌, 又在 2008 年 10 月到 2009 年 1 月之间突然上涨, 可以看出这段时间内金融危机对汇率的直接影响。第二幅作品是对某网站的某天的点击量进行绘制, 蓝色线条代表此网站全部的点击量, 黑色线条代表网站某个功能每天的天计量。第三幅作品是气温随高度变化而变化的示意图, 纵轴为高度变化, 横轴是温度变化, 通过曲线可以看出, 地面和海拔 50 km 处气温较高。第四幅作品绘制美国和苏联核武器储量, 可以看出在 1980 年以前, 美国的核武器储备比苏联更多。苏联到 1985 年核武器储备一直在持续上涨, 至今仍比美国的核武器储备跟多。第五幅、第六幅作品是用堆栈图和堆栈百分比图表现了各大洲的人口增长情况, 亚洲在世界人口中占比最大。第七幅作品是月度平均降水量图, 描述的是世界各地四个城市东京、纽约、伦敦和柏林的全年平均降水量, 其中东京降水量明显高于其他地区, 纽约其次。第八、第九幅作品是用堆

栈柱状图和负值柱状图描述 3 个人对于水果的消费量。通过可视化实例可以看出, 可视化平台为数据可视化创造了条件, 也为算法可视化提供了一种可视化支持。

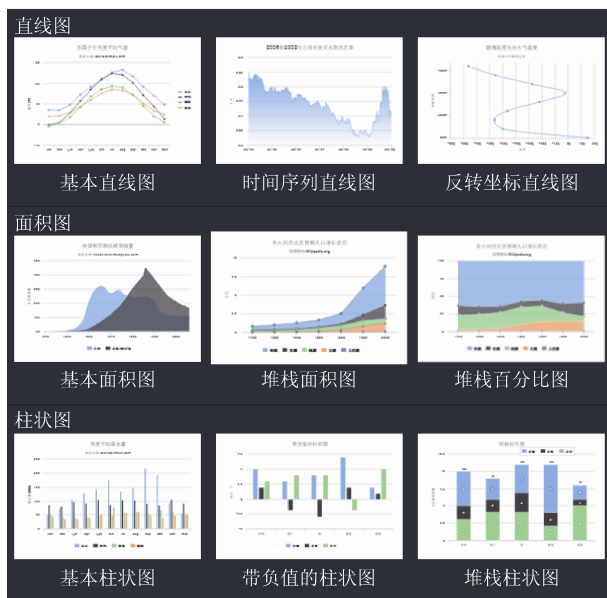


图 13 可视化编辑作品教学实践及展示

## 7 结论

本文通过调研数据可视化交互平台的国内外现状, 设计实现了数据可视化交互平台。利用已有数据驱动库 D3 以及图表绘制库 Highcharts 进行封装, 将需要参与编辑的接口封装为 API。用 DOM 控制将鼠标事件、键盘事件与图标库进行绑定, 通

过调用图标库进行图表绘制。利用 Bootstrap 栅格结构设计实现了平台界面。事实证明, 数据可视化平台可以满足多学科的研究及教学的应用目的, 为教学实践提供了一种新的便捷的可视化交互途径。

## 参考文献:

- [1] Zhao J, Chevalier F, Balakrishnan R. Kronominer: using multi-foci navigation for the visual exploration of time-series data[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2011: 1737-1746.
- [2] Zhao J, Chevalier F, Pietriga E, et al. Exploratory analysis of time-series with chronolenses[J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on (S1077-2626), 2011, 17(12): 2422-2431.
- [3] Satyanarayan A, Heer J. Lyra: An interactive visualization design environment [J]. Computer Graphics Forum (S1467-8659), 2014, 33(3): 351-360.
- [4] Bostock M, Heer J. Protovis: A graphical toolkit for visualization [J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on (S1077-2626), 2009, 15(6): 1121-1128.
- [5] Bostock M, Ogievetsky V, Heer J. D<sup>3</sup> data-driven documents [J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on (S1077-2626), 2011, 17(12): 2301-2309.
- [6] 戴松, 许冉, 周忠. 基于 HTML5 的算法动画可视化平台 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25(10): 2436-2443, 2448.
- [7] 周忠, 强津培, 戴松. 算法可视化的计算机辅助教学平台设计与实践 [J]. 计算机教育, 2014, 16: 81-84, 92.