

# DaisyVA: 支持信息多面体可视分析的智能交互式可视化平台

杜 一<sup>1,3)</sup>, 任 磊<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>(中国科学院软件研究所人机交互北京市重点实验室 北京 100190)

<sup>2)</sup>(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院 北京 100191)

<sup>3)</sup>(中国科学院大学 北京 100049)

(leo.renlei@gmail.com)

**摘 要:** 针对目前缺乏有效地支持信息多面体可视分析的交互式信息可视化平台的问题, 提出并实现了一个面向最终用户的交互式可视化平台 DaisyVA. 首先建立了一个支持信息多面体可视分析界面模型 IMFA, 并定义了 IMFA 的多面体数据模型、可视表征模型和交互控制模型; 然后围绕 IMFA 设计了 DaisyVA 的体系架构, 讨论了基于模型的系统开发机制、核心模块与运行时框架机理, 以及 DaisyVA 组件库; 最后将 DaisyVA 应用于大型集团制造企业物流网络瓶颈的可视分析实例中. 实例分析结果表明, DaisyVA 能为多面体数据提供统一建模的支持和可扩展可视化算法库的支持、提供多种所需的交互技术并可灵活定制可视分析的交互任务、支持信息多面体间的内在语义关联分析, 以及能够为最终用户提供一种简单快速原型方法, 因此能够为信息多面体可视分析提供一种有效的支持.

**关键词:** 信息可视化; 可视分析; 人机交互; 界面模型; 信息多面体; 信息可视化工具箱

**中图法分类号:** TP391

## DaisyVA: an Intelligent Interactive Visualization Platform for Visual Analysis of Multi-facet Information

Du Yi<sup>1,3)</sup> and Ren Lei<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>(Beijing Key Laboratory of Human-Computer Interaction, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

<sup>2)</sup>(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191)

<sup>3)</sup>(University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** Visual analytics for multi-facet information has become a hot topic recently in research areas related to information visualization and human computer interaction. However, there are few interactive visualization platform and toolkit which can effectively support multi-facet analysis. To address this challenge, this paper presents DaisyVA, an intelligent interactive visualization platform. First, an interface model is established to describe interfaces for multi-facet analysis, which includes three sub-models: data model, visualization model, and control model. Second, the fundamental architecture and key techniques such as model-based prototype generation, runtime framework, and libraries are described. Finally, DaisyVA is applied to a visual analytics application of networked manufacturing enterprise. Experimental results show that DaisyVA is an effective platform to help end-users develop visual analytics applications for multi-facet information.

**Key words:** information visualization; visual analytics; human computer interaction; interface model; multi-facet information; information visualization toolkit

可视分析是信息可视化<sup>[1-2]</sup>、人机交互、认知心理学等研究领域的有机融合,是一种通过交互式可视化界面来辅助用户对复杂信息进行分析推理的科学与技术.信息多面体<sup>[3]</sup>的可视分析界面是当前可视分析中的热点研究领域.人们对于分析目标的定义往往是抽象而模糊的,通常需要对与目标关联的多方面信息进行协同综合分析来得出结论.例如,制造企业物流网络的瓶颈分析需要同时考虑网络节点的分布、订单、计划、执行等各方面信息.每一个与目标相关的信息称为信息侧面(facet),多个信息侧面之间具有内在的语义关联,如不同的术语在特定应用语境中可能具有相同语义.此类分析的过程所需要的是为信息多面体提供有效的可视化展现并为用户提供交互探索的工具,即支持信息多面体可视分析的交互式可视化平台,它需要满足如下可视分析的需求:1)支持信息多面体中常见抽象信息类型<sup>[4]</sup>的统一数据建模,并提供可扩展可视化算法库的支持;2)面向主要可视分析任务,如总览、缩放、过滤、详细查看、关联分析等,提供对动态过滤<sup>[5]</sup>、整体+详细、平移+缩放、焦点+上下文<sup>[6]</sup>等交互技术的支持;3)支持信息多面体的内在语义关联分析,提供基于本体的智能关联分析;4)支持最终用户的智能化快速原型开发.

国内外学者已经针对信息多面体可视分析领域开展了大量研究,但目前仍鲜有成果能够同时满足上述需求,因此难以为信息多面体可视分析提供强有力的支持.本文针对上述问题,提出并实现了一个有效地满足上述需求的支持信息多面体可视分析的交互式可视化平台 DaisyVA(daisy for visual analytics).首先提出一个支持信息多面体可视分析界面模型(interface for multi-facet analysis, IMFA);然后基于 IMFA 建立了 DaisyVA 的体系架构,并讨论了其中的关键技术. DaisyVA 已经在网络化制造企业的实际问题分析中获得成功应用,实例表明, DaisyVA 能够提供一种有效的解决方案.

## 1 相关工作

平台与工具箱的目的是简化系统设计与开发过程,伴随着各种信息可视化技术与交互技术的发展,研究者提出并实现了多个工具箱,如用于网络信息可视化的 Piccolo<sup>[7]</sup>、用于多维信息可视化的 Polaris<sup>[8]</sup>等.这些工具仅针对特定信息类型,难以形成支持多

种信息类型的平台.

旨在为信息可视化和可视分析提供平台的工具系统主要包括 InfoVis<sup>[9]</sup>, Prefuse<sup>[10]</sup>, ManyEyes<sup>[11]</sup>, PRISMA<sup>[12]</sup>, ComVis<sup>[13]</sup>, Daisy<sup>[14]</sup>、交互式可视组件决策分析环境<sup>[15]</sup>等,它们都用于快速、高效地构建信息可视化的领域应用. InfoVis 将各种可视化与交互技术封装为界面交互组件库,通过参数配置面板对可视化组件进行配置;但在创建新应用时灵活性不高,也没有提供对信息多面体多视图关联分析的支持. Prefuse 面向层次、网络型、多维型和时序等信息类型提供了统一数据模型,提供了 TreeMaps, Hyperbolic tree, Fisheye 等算法,并且支持 Shneiderman<sup>[4]</sup>提出的总览、缩放、过滤、详细查看等交互任务; Prefuse 提供了系统框架以及丰富的类库由用户来开发领域应用,但并未提供一个集成开发环境,也未对信息多面体多视图关联分析提供高层支持. ManyEyes 面向 Internet 用户,提供了一个用于快速构建简单可视化网页并可以进行讨论的网站;但由于 ManyEyes 主要面向 Internet 用户,因此构建的可视化应用都较为简单,缺乏灵活性与可扩展性,难以支持信息多面体等复杂的可视化分析任务. PRISMA 主要关注多视图关联分析,未能对多种可视化技术和交互技术提供灵活支持. ComVis 是一个支持信息多面体可视分析的快速原型开发平台,主要提供了对各种基于轴的可视化技术的支持,如面向多维信息的 Scatterplot、柱状图、折线图、Parallel Coordinates 等,同时通过建立数据模型间的关联关系提供了对数据与多视图之间的交互刷新的支持;但 ComVis 对层次、网络等信息可视化技术的支持不足,对多视图关联分析以外的其他交互技术的支持也不足. Daisy 工具箱能够基于界面模型自动生成交互式可视化系统,对常见信息类型的统一数据模型、多种可视化技术和交互技术的集成、主要信息可视化任务都提供了支持;但是由于界面模型中多种映射关系的编辑较为复杂,且生成的原型系统仍需要二次开发才能运行,因此仍对最终用户造成了一定负担. 交互式可视组件决策分析环境是一个用于支持用户决策分析活动过程的组件包,其将多种可视化技术和多通道交互技术进行参数化封装,通过参数配置面板来灵活构建可视分析界面;但该组件包主要应用于商业智能可视分析领域,以常规的饼图、折线图等简单可视化组件为主,未能对层次、网络、多维、时序等信息可视化技术提供统一支持.

## 2 IMFA

DaisyVA 基于 IMFA, 界面模型是对界面中各种元素特征的抽象形式化表达. 具体应用的界面模型实例由最终用户进行定义, 定义界面模型实例的过程即是表达个性化需求的过程. 然后, 由平台智能地根据界面模型来生成可运行的系统. IMFA 包括多面体数据模型、可视表征模型和交互控制模型 3 个部分.

多面体数据模型 *InfoFacetSet* 是信息侧面 *InfoFacet* 以及信息侧面间关联 *InfoFacetRelation* 的集合. 每个信息侧面 *InfoFacet* 是数据项集合 *DataItemSet* 和数据项关联集合 *DataItemRelationSet* 的集合, 即  $InfoFacet = \langle DataItemSet, DataItemRelationSet \rangle$ . 数据项 *DataItem* 定义为  $DataItem = \langle DIID, Attribute_1, Attribute_2, \dots, Attribute_n \rangle$ , 其中  $Attribute_i = \langle AttrName_i, MetaData_i \rangle$  是数据属性,  $MetaData_i$  是元数据类型, 包括 nominal, ordinal 和 quantitative. 数据项关联  $DataItemRelation = \langle SourceDIID, TargetDIID, Direction \rangle$ . 信息侧面间关联 *InfoFacetRelation* 由数据项属性作为桥梁建立内在关系,  $InfoFacetRelation = \langle SourceIFID, TargetIFID, KeyAttri, OntologySet, Direction \rangle$ , 其中, *SourceIFID* 和 *TargetIFID* 是具有关联的 2 个信息侧面 ID, 而 *KeyAttri* 是数据属性关联名称, *OntologySet* 是与 *KeyAttri* 具有相同语义的概念本体集合.

可视表征模型是视图的集合 *ViewContainerSet*, 其包括一组可视结构 *VisualStructure* 和视图关联集合 *ViewContainerRelation*.  $VisualStructure = \langle VSID, LayoutAlgorithm, SpatialSubstrate, GMM \rangle$ , 其中 *LayoutAlgorithm* 表示可视化算法,  $LayoutAlgorithm \in \{ TreeMaps, RadialGraph, ParallelCoordinates, ScatterPlot, DOITrees, 3DBarChart, \dots \}$ , *SpatialSubstrate* 是空间基, GMM 是图形元素映射 (graphical mark mapping). 视图 *ViewContainer* =  $\langle VCID, IFID, VSID \rangle$ , 定义了视图 VCID 中的信息侧面 IFID 和可视结构 VSID. *ViewContainerRelation* 是视图间的关联,  $ViewContainerRelation = \langle VCRID, SourceVCID, TargetVCID, KeyAttri \rangle$ .

交互控制模型包括 2 类: 直接操纵类任务控制集合 *DirectManipulationTaskControlSet*, 间接操纵类任务控制集合 *InDirectManipulationTaskControl-*

*Set*. 这 2 类交互控制集合由对应的交互控制 *DirectManipulationTaskControl* 和 *InDirectManipulationTaskControl* 组成.  $DirectManipulationTaskControl = \langle DirectManipulationTask, DirectManipulationEvent \rangle$ , 其中,  $DirectManipulationEvent \in \{ OnItemLeftClick, OnItemLeftDoubleClick, OnItemRightClick, OnItemRightDoubleClick, OnItemHover, OnItemLeftDragDrop, OnItemRightDragDrop, OnViewLeftClick, OnViewLeftDoubleClick, OnViewRightClick, OnViewRightDoubleClick, OnViewHover, OnViewLeftDragDrop, OnViewRightDragDrop, \dots \}$ ,  $DirectManipulationTask \in \{ OverviewMultipleViews, OverviewVisualization, Pan, Zoom, DetailTooltip, Brushing-and-LinkingCoordination, DrillDownCoordination, SemanticRelation, \dots \}$ .  $InDirectManipulationTaskControl = \langle DynamicQueryControl, KeywordSearchControl, FilterbyLegendsControl \rangle$ . 其中动态过滤条控制  $DynamicQueryControl = \langle DQCID, VCID, DIAttri, ValueRange \rangle$ , *DIAttri* 和 *ValueRange* 是数据属性和值域范围. 关键字搜索控制  $KeywordSearchControl = \langle KSCID, VCID, DIAttri \rangle$ . 图例过滤控制  $FilterbyLegendsControl = \langle FLCID, VCID, GraphicalMarkAttribute \rangle$ , 其中 *GraphicalMarkAttribute* 用于过滤图形标记的属性, 如颜色、形状、大小等.

## 3 DaisyVA

### 3.1 DaisyVA 体系架构与基于界面模型的系统开发机制

DaisyVA 体系架构如图 1 所示, 包括 3 个主要组成部分: DaisyVA 组件库、DaisyVA 开发流程与核心模块、DaisyVA 工具箱.

DaisyVA 组件库建立在 Java 图形框架之上, 提供用于各种数据结构、数据访问、可视表征结构、可视映射、图形渲染、交互事件控制的类库.

DaisyVA 核心模块用于支持基于界面模型的系统开发流程. IMFA 建模模块首先负责建立界面模型并生成 IMFA 描述文件; IMFA 描述文件库存储着各种个性化界面描述文件, 能够供更多可视分析应用复用; 领域本体库则根据不同应用领域的特点建立相应应用领域的本体库, 并随着应用的扩展不断扩大; 模型解析映射模块对 IMFA 描述文件进行翻译, 生成系统运行时的参数, 包括多面体数据、

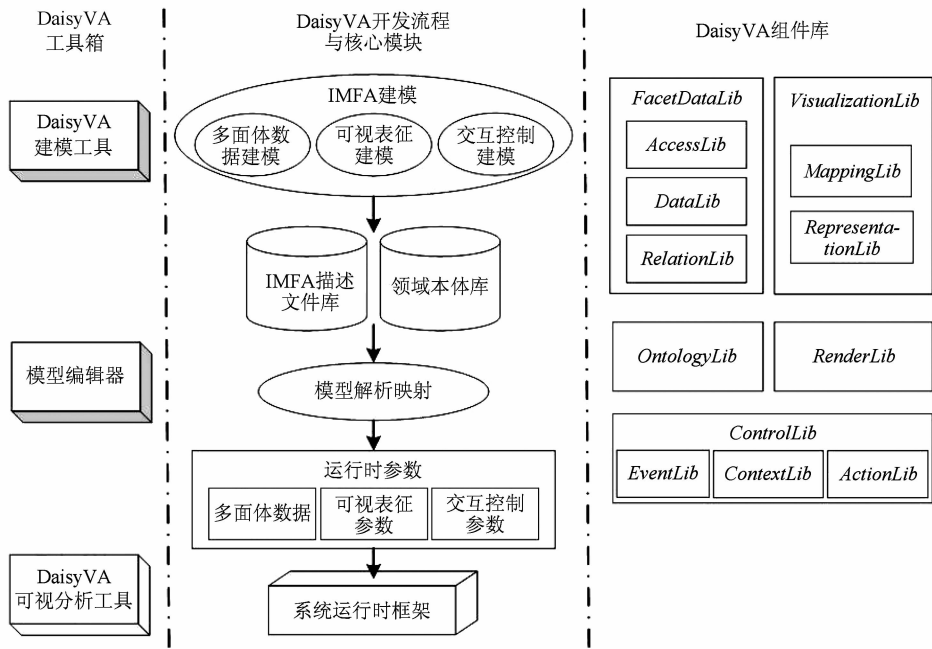


图 1 DaisyVA 体系架构

可视表征参数和交互控制参数;系统运行时框架控制着运行时系统的各种行为,包括数据访问机制、可视化展现、交互事件响应与处理等。

在 DaisyVA 核心模块的支撑下,DaisyVA 工具箱为最终用户提供设计和运行可视分析应用的工具. DaisyVA 建模工具是供用户定义和编辑 IMFA 模型实例的工具,该工具能够生成并管理界面模型描述文件库. 模型编辑器为最终用户提供了修改 IMFA 描述文件的工具. DaisyVA 可视分析器是供用户进行可视分析的系统运行时工具,根据 IMFA 翻译的运行时参数生成用于信息多面体可视分析的交互式可视化系统。

3.2 DaisyVA 系统运行时框架

DaisyVA 生成的可视分析系统的运行有赖于运行时框架的核心支撑作用. 如图 2 所示,DaisyVA 系统运行时框架包括 7 类数据处理模块和 5 类功能

处理模块. 7 类数据处理模块主要包括:交互上下文模块用于存储和管理用户与系统之间交互过程的关键性时空信息,如最近邻的用户操作序列等;间接操纵类和直接操纵类交互任务是针对可视表征进行的 2 类操作任务,在 IMFA 交互控制模型中已做定义;领域本体模块用于存储管理与应用系统相关的领域概念等语义信息;多面体数据模块为信息侧面、数据项、数据属性等提供数据结构;可视表征模块为视图、空间基、可视结构等提供数据结构;界面元素模块为图形界面中的显示元素提供数据结构. 5 类功能处理模块主要包括:交互事件接收模块、交互任务分类模块、多面体数据变换模块、可视表征变换模块和绘制输出模块。

DaisyVA 的实现建立在丰富的 DaisyVA 组件库基础之上. 这些库通过提供各类常用的组件大大简化具体应用的开发. 如图 1 中主要包括多面体数

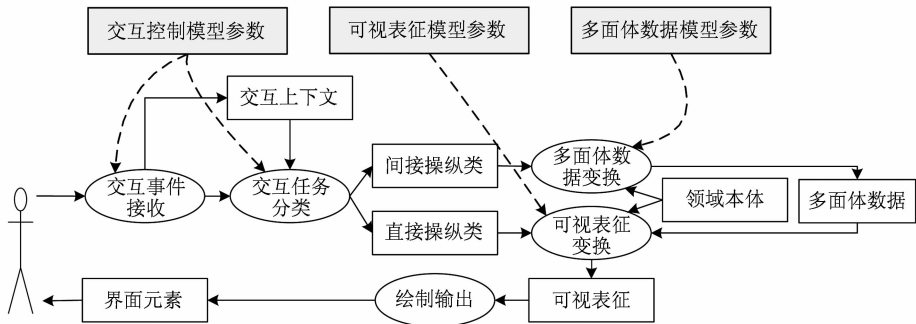


图 2 DaisyVA 运行时框架

据组件库 *FacetDataLib*、可视表征组件库 *VisualizationLib*、领域本体组件库 *OntologyLib*、图形绘制组件库 *RenderLib* 和交互控制组件库 *ControlLib* 5 类。其中, *FacetDataLib* 为信息多面体提供统一的数据结构, 并支持对于不同数据源的多面体数据的访问; *VisualizationLib* 为可视表征提供统一的数据结构, 并支持各种可视化映射的实现; *OntologyLib* 提供领域本体的数据结构, 并支持本体库的管理功能; *RenderLib* 用于简化界面中各种图形元素的绘制渲染; *ControlLib* 用于支持各种交互任务的简单、灵活定制, 提供经常采用的交互事件组件库, 并将常见的可视分析任务封装为组件库。

4 应用实例

DaisyVA 目前已经应用于大型集团制造企业

物流网络的瓶颈问题的信息多面体可视分析实例中, 表 1 所示为生产物流总监的部分需求。表 1 中有 4 个与这一分析问题相关的信息侧面, 分别是制造网络、订单任务、制造计划和执行情况; 数据属性、信息类型、可视化技术和可视分析的交互任务也在其中列出。可以看出, 该应用实例需要能够对多种信息类型(层次、网络、多维等)进行统一处理, 并提供多种典型可视化算法和交互技术的支持, 覆盖多样化的可视分析任务, 且需要为生产物流总监这一非专家用户提供简单、快速的系统开发工具; 由于集团企业下属各子公司信息化建设的不同步性和不规范性造成数据属性术语的混乱, 导致信息侧面之间的内在关联难以体现, 例如制造中心和制造单元的关系、订单号与合同号的关系、计划号与执行记录号的关系等。这些关联关系在多面体的协同分析中具有重要作用, 需要体现在可视分析界面中。

表 1 网络化制造企业可视分析应用实例的部分需求

信息侧面	数据属性	信息类型	可视化技术	交互任务
制造网络	制造中心, 总完工率, 地址, 总监, 预警状态	网络	DOI-Wave, Radial-Graph, Force Graph	总览、平移、缩放、动态过滤、关键词搜索、详细查看、节点关联刷新、多面体关联分析等
订单任务	订单号, 客户, 产品, 数量, 优先级, 制造单元	层次	DOITrees NestCircles	总览、平移、缩放、动态过滤、关键词搜索、详细查看、焦点+上下文、多面体关联分析等
制造计划	计划号, 合同号, 计划数量, 计划完成日期, 班组	层次	TreeMaps	总览、缩放、动态过滤、关键词搜索、详细查看、多面体关联分析等
执行情况	执行记录号, 任务编号, 产品名, 日期, 完工数量, 制造点, 是否超期, 质检等级	多维时序	Scatterplot, BarChart	总览、缩放、动态过滤、图例过滤、关键词搜索、详细查看、下钻、多面体关联分析等

本文使用 DaisyVA 工具箱构建上述应用。图 3 所示为 DaisyVA 可视分析工具根据定义的 IMFA 模型生成的信息多面体可视分析系统, 其中左侧面板中列出了各个具有关联的信息侧面, 用户可将其拖曳入右侧可视分析区中。图 3 a 所示为针对“制造网络”和“订单任务”进行分析的视图, 其中右上角视图是“订单任务”的 DOI-Trees 图, 其他 3 个分别以不

同的展现方式对“制造网络”进行分析, 包括 Force Graph, RadialGraph 和 DOI-Wave, 视图之间的红色连接表示信息侧面间的语义关联。生产物流总监首先识别“制造网络”中的瓶颈节点“瀛海中心”, 然后根据语义关联在“订单任务”中找到与瓶颈节点有关的订单, 图中以红色显示。进一步分析如图 3 b 所示, 将订货数量较多的订单“C810701”与“制造计划”

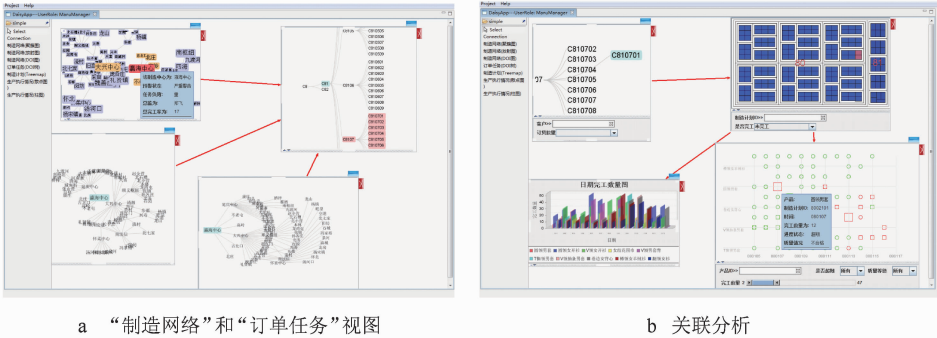


图 3 DaisyVA 可视分析工具生成的系统

TreeMaps 图做关联分析,在“C810701”的制造计划中发现仍未完工的子计划;再将“制造计划”与“执行情况”进行关联,“执行情况”分别以 Scatter-plot 和 BarChart 进行展示;在 Scatterplot 图中,可以通过关键字搜索框、动态过滤条、图例过滤框等进一步缩小具体的生产执行问题范围,通过动态过滤条对完工数量较少的任务进行过滤,并且通过颜色(表示“是否超期”)、大小(表示“质检等级”)进一步锁定了生产执行中的关键瓶颈因素。

由以上实例可以看出,对于非专家用户生产物流总监来说,DaisyVA 能够提供一种有效的快速原型方法,使其不需要参与复杂的程序开发工作;且 DaisyVA 能够有效地支持信息多面体可视分析所需的信息数据统一建模、多种可视化技术与交互技术的灵活定制,以及多种可视分析任务以及语义关联分析的实现。

## 5 结 论

本文针对信息多面体的可视分析问题,提出并实现了一个面向最终用户的交互式可视化平台 DaisyVA,并将其应用于大型集团制造企业物流网络的瓶颈问题的可视分析实例中,结果表明,DaisyVA 能够为信息多面体的可视分析提供一种有效的解决方案.我们下一步的工作是在 DaisyVA 中添加更多的可视化算法和交互技术组件,以支持更为全面且细致的可视分析过程。

## 参考文献 (References):

- [1] Ziemkiewicz C, Kosara R. The shaping of information by visual metaphors [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2008, 14 (6): 1269-1276
- [2] Chen C. Visualization viewpoints: top 10 unsolved information visualization problems [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2005, 25(4): 12-16
- [3] Thomas J J, Cook K A. Illuminating the path: the research and development agenda for visual analytics [M]. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2005: 1-20
- [4] Shneiderman B. The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations [C] //Proceedings of IEEE Symposium on Visual Languages. Los Alamitos: IEEE Computer Science Press, 1996: 336-343
- [5] Tanin E, Beigel R, Shneiderman B. Design and evaluation of incremental data structures and algorithms for dynamic query interfaces [C] //Proceedings of Information Visualization. Los Alamitos: IEEE Computer Science Press, 1997: 81-86
- [6] Cockburn A, Karlson A, Berderson B B. A review of overview+detail, zooming and focus+context interfaces [J]. ACM Computing Surveys, 2008, 41(1): Article No. 2
- [7] Bederson B B, Meyer J, Good L. Jazz: an extensible zoomable user interface graphics toolkit in Java [C] //Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York: ACM Press, 2000: 171-180
- [8] Stolte C, Tang D, Hanrahan P. Polaris: a system for query, analysis and visualization of multi-dimensional relational databases [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2002, 8(1): 52-65
- [9] Fekete J D. The InfoVis toolkit [C] //Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization. Washington D C: IEEE Computer Society Press, 2004: 167-174
- [10] Heer J, Card S K, Landy J A. Prefuse: a toolkit for interactive information visualization [C] //Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2005: 421-430
- [11] Viegas F B, Wattenberg M, van Ham F, *et al.* Many eyes: a site for visualization at internet scale [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(6): 1121-1128
- [12] Godinho P I A, Meiguins B S, Meiguins A S G, *et al.* PRISMA—a multidimensional information visualization tool using multiple coordinated views [C] //Proceedings of the 11th International Conference on Information Visualization. Washington D C: IEEE Computer Science Press, 2007: 23-32
- [13] Matkovic K, Freiler W, Gracanin D, *et al.* ComVis: a coordinated multiple views system for prototyping new visualization technology [C] //Proceedings of the 12th International Information Visualization. Washington D C: IEEE Computer Society Press, 2008: 215-220
- [14] Ren Lei, Wang Weixin, Zhou Mingjun, *et al.* A model driven development method for interactive information visualization [J]. Journal of Software, 2008, 19 (8): 1947-1964 (in Chinese)  
(任 磊, 王威信, 周明骏, 等. 一种模型驱动的交互式信息可视化开发方法[J]. 软件学报. 2008, 19(8): 1947-1964)
- [15] Teng Dongxing, Wang Zilu, Yang Haiyan, *et al.* Research on decision analysis system based on interactive visual components [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34 (3): 555-564 (in Chinese)  
(滕东兴, 王子璐, 杨海燕, 等. 基于交互式可视组件的分析决策环境研究[J]. 计算机学报, 2011, 34(3): 555-564)