

## 基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统\*

滕东兴<sup>1+</sup>, 汪恭正<sup>1,2</sup>, 熊金泉<sup>3</sup>, 王宏安<sup>1</sup>, 戴国忠<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 软件研究所 人机交互技术与智能信息处理实验室,北京 100190)

<sup>2</sup>(中国科学院 研究生院,北京 100049)

<sup>3</sup>(江西教育学院,江西 南昌 330029)

### Visual Analytic System Based on Interaction History On-Line Tracking Mechanism

TENG Dong-Xing<sup>1+</sup>, WANG Gong-Zheng<sup>1,2</sup>, XIONG Jin-Quan<sup>3</sup>, WANG Hong-An<sup>1</sup>, DAI Guo-Zhong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Intelligence Engineering Laboratory, Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

<sup>2</sup>(Graduate University, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>3</sup>(Jiangxi Education University, Nanchang 330029, China)

+ Corresponding author: E-mail: dongxing@iscas.ac.cn

**Teng DX, Wang GZ, Xiong JQ, Wang HA, Dai GZ. Visual analytic system based on interaction history on-line tracking mechanism. Journal of Software, 2010,21(Suppl.):51-59. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/10006.htm>**

**Abstract:** Existing visual analytic systems have deficiency in supporting the iterative process of analytic reasoning, which bring heavy memory burden to users. To solve these problems, this paper studies and designs a visual analytic system based on interaction history on-line tracking mechanism. Firstly this paper analyses the interactive task model, secondly studies the interaction history on-line tracking mechanism of the system. Thirdly the paper studies the action predicting method based on interaction history, and then put forward the visual metaphor self-adapting layout mechanism. Finally, it gives the application instance of the system and the experiment evaluation. The result of the evaluation experiment demonstrates that the system can provide natural and effective support for the process of analytic reasoning.

**Key words:** visual analysis; analytic reasoning; interaction history

**摘要:** 当前可视分析系统对分析推理的迭代过程支持不足,从而给用户带来较大的操作负担和记忆负担.针对这个问题,研究和设计了基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统.首先分析了可视分析过程中的交互任务模型,然后研究了可视分析系统中的交互历史在线跟踪机制,研究了基于交互历史的动作预测方法,接着提出了可视组件自适应布局机制,最后给出了系统的应用实例和评估.系统实例和评估表明,该系统能对用户的分析推理过程提供自然、高效的支持.

**关键词:** 可视分析;分析推理;交互历史

可视分析通过交互式可视化界面辅助用户进行分析推理,它已成为近年来的研究热点领域<sup>[1]</sup>.可视分析将

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60703078 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2007AA04Z113 (国家高技术研究发展计划(863)); the Science and Technology Project of Beijing of China under Grant No.Z09010400460902 (北京市科技计划)

Received 2009-07-15; Accepted 2010-07-09

交互技术和可视隐喻引入到具体领域的分析工具中,增强了人们对信息的认知洞察能力.当前有很多的可视分析系统,如 Polaris<sup>[2]</sup>,Jigsaw<sup>[3]</sup>,Many Eyes<sup>[4]</sup>,Daisy<sup>[5]</sup>等,它们利用 OverView+Detail、动态过滤等交互技术在数据空间中进行探索,能够很好地借助可视隐喻来增强人们对特定数据的认知,然而它们普遍存在对人的分析推理过程支持不足的问题.Johnson-Laird 和 Byrne 将分析推理归结为这样的过程:(1) 模型构造;(2) 修改完善;(3) 证伪,这个过程是不断迭代的,直至得到正确的推理结论<sup>[6]</sup>.一个符合认知心理学的可视分析系统,应该对分析推理 3 个阶段提供支持.当前可视分析系统对第 1 个阶段有很好的支持,而对于分析推理第 2 和第 3 阶段的支持不足,这具体体现在以下 5 个方面:

- 1) 用户难以记住分析推理过程中繁多的中间结论,中间假设等知识,从而导致用户的记忆负担.
- 2) 用户难以记住分析推理过程中的所有知识以及知识之间的关联,从而难以有效组织知识以用于进一步的推理,进而导致用户的认知过载.
- 3) 用户难以回溯到先前的分析状态,从而难以进行假设验证、修改完善、综合分析等迭代分析.
- 4) 用户难以重用先前配置的分析环境或者先前的分析过程,从而导致用户的操作负担.
- 5) 用户难以同他人交流、评估分析过程和结论.

针对当前可视分析系统对分析推理过程支持不足的问题,本文研究和设计了基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统,从而对分析推理过程的 3 个阶段都提供了支持.系统的交互历史在线跟踪机制能自动记录分析过程中每个系统状态和用户所执行的动作,并通过树形可视化界面为用户提供在系统的历史分析状态间的导航功能,以辅助用户的迭代分析和分析过程重用,树形可视化界面上的结点历史知识编辑功能让用户在每个分析状态可以即时地编辑、保存和查看自己获取的信息,从而减轻用户的记忆负担.系统为用户提供了基于动作预测方法的可视分析界面重用、自适应布局等自适应界面支持,从而减轻用户分析过程中的操作负担.

本文首先研究可视分析中用户的交互任务模型,其次介绍可视分析系统的交互历史在线跟踪机制,接着介绍系统中的关键技术:基于交互历史的交互动作预测方法和可视组件自适应布局方法.最后给出了系统应用实例和实验评估.

## 1 以用户为中心的交互任务模型

在可视分析过程中,交互技术是人与可视信息之间的桥梁,它辅助人们在数据空间中进行探索,让人们可以调整参数、改变映射维度、查看细节等,从而有效地帮助人们分析推理.本文从易于被用户理解和易于被计算机区分捕捉的角度出发,提出以用户为中心的可视分析的交互任务模型.我们将交互任务分为五大类:图元操作、数值操作、视图操作、内容操作、过程操作,详细分类如图 1 所示.

图元操作:用户的基本的界面操作任务,用户通过它将图元调整到合适的位置和大小,以便于识别和进一步的分析.图元操作包括平移、缩放、选定、旋转.

数值操作:用户对当前呈现的原始的可视数据进行的进一步的数学或统计学加工操作.数值操作包括了计算和值、差值、平均值、极值、方差、增幅、比率、概率等.

视图操作:将相同的可视数据映射到不同的可视视图的交互操作,让用户多层次、多角度地分析数据.视图操作包括了过滤、排序、总体布局、上探、下钻、重置,其中过滤是指用户通过图元属性如颜色、形状等在原有视图中滤去不关注图元的操作,上探是用户查看当前关注的当前高抽象层次的视图的操作,下钻为用户查看当前关注的可视数据低抽象层次的细节信息视图的操作.

内容操作:用户在分析的过程中对数据添加附加信息和利用附加信息的操作.内容操作包括标记、注释和搜索,其中,标记指用户为图元或可视组件添加划线、强调色等书签的操作.

过程操作:支持用户分析推理过程的操作,包括了回溯,过程重用和过程预测.其中,回溯指用户为了验证假设、回顾或修改中间结论、综合分析而将系统返回到先前的某个分析状态的操作.过程重用指用户为了重用已有分析过程而采取的从某个分析结点开始新的分析的操作.过程预测是用户采用了系统预测的交互动作从而让系统智能地为其配置分析环境的操作,它让用户能重用分析环境.

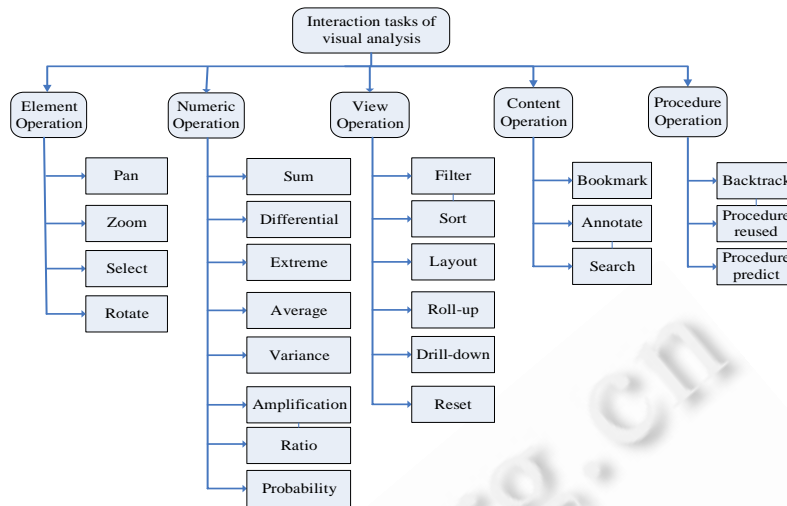


Fig.1 Interaction task classification model of visual analysis

图 1 可视分析的交互任务分类模型

## 2 可视分析系统中的交互历史在线跟踪机制

可视分析系统中交互历史在线跟踪机制自动捕捉用户的交互分析动作,记录下该动作以及该动作所对应的系统状态,然后将交互历史展示给用户,允许用户进行撤销、重做等状态导航操作,允许用户记录和修改某个状态下的发现和中间模式.下面我就介绍交互历史在线跟踪机制的 3 个组成部分:基于状态的交互历史模型、交互历史的可视化形式和用户对交互历史的交互操作.

### 2.1 基于系统状态的交互历史模型

交互历史模型有分为 3 类:(1) 基于状态的交互历史模型;(2) 基于动作的交互历史模型;(3) 基于状态和动作的混合交互历史模型<sup>[7]</sup>.本文的可视分析系统的交互历史模型是基于状态的,通过记录系统当前的关键状态参数从而保存当前的系统状态.本系统中,系统状态的关键参数有五大类:视图参数、可视数据源参数、可视属性参数、状态注释参数和上下文参数.下面我们依次给出系统状态及其五大类关键参数的详细定义.

**定义 1.** 系统状态定义为: $System=(GCP,VDSP,VPP,SCP,CP)$ ,其中: $GCP$  为视图参数, $VDSP$  为可视数据源参数, $VPP$  为可视属性参数, $SCP$  为状态注释参数, $CP$  为上下文参数.

**定义 2.** 视图参数  $GCP$  定义为: $GCP=(IsDisplay,x,y,width,height)$ ,其中  $IsDisplay$  为可视组件是否显示, $x$  为可视组件  $x$  坐标, $y$  为可视组件的  $y$  坐标, $width$  为可视组件的宽度, $height$  为可视组件的高度.

**定义 3.** 可视数据源参数  $VDSP$  定义为: $VDSP=(type,ip,port,name,user,pwd,sql)$ ,其中: $type$  为数据库类型, $ip$  数据库地址, $name$  为数据库名称, $user$  为用户名, $pwd$  为密码, $sql$  为可视数据对应的  $sql$  语句.

**定义 4.** 可视属性参数  $VPP$  定义为: $VPP=(dimension,color,shape)$ ,其中: $dimension$  为可视组件的维度与数据属性的映射, $color$  为图元颜色与数据属性的映射, $shape$  为图元形状与数据属性的映射.

**定义 5.** 状态注释参数  $SCP$  定义为: $SCP=(mark,text,audio)$ ,其中: $mark$  为对状态的标注, $text$  为文本注释, $audio$  为语音旁白.

**定义 6.** 上下文参数  $CP$  定义为: $CP=(type,name,des,time)$ ,其中: $type$  为动作类型, $name$  为动作名称, $des$  为动作描述, $time$  为动作发生的时间.

### 2.2 交互历史模型可视化

我们采用树形结构组织交互历史模型,任何一个自树根至结点的路径就是一个用户的所执行的有序的动作序列.交互历史模型使用水平树来可视化表示,图 2 为示意图.树的结点表示一个历史状态,结点之间的边表示

用户所执行的交互动作,结点的形状标识动作的类型,结点的颜色标识结点的状态,如是否为当前状态,是否为预测结点等.为保证不同的分支不重合,我们采用了“右重的平行—垂直算法”<sup>[8]</sup>布局.

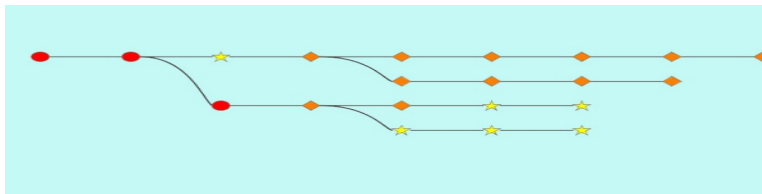


Fig.2 Horizontal tree of visualization interaction history model

图2 可视化交互历史模型的水平树

### 2.3 用户与交互历史的交互操作

系统支持 3 类与交互历史的操作,以帮助用户使用交互历史.(1) 导航,这是最基本的功能,用户通过点击状态结点可以恢复到相应状态,实现状态导航.(2) 注释,用户可以为某个状态结点添加文字和语音注释.用户分析的过程中,会有很多的洞察结论和假设.系统提供了的文本注释和语音旁白的注释操作,让用户可以即时的记录自己的洞察结论、观点和假设.(3) 搜索与过滤,用户通过状态结点的属性或注释来搜索和过滤历史状态.当交互历史累积到一定规模时,基于状态结点的属性和注释的搜索与过滤操作,是用户快速找到感兴趣的历史分析状态的方式.

## 3 关键技术研究

在用户分析的过程中,通过利用交互历史在线跟踪机制所记录的用户动作序列,对用户将要执行的动作进行预测,从而为用户提供自适应支持,如推荐相应的类似的布局、系统分析状态和系统配置环境等,可以大大提高用户的分析效率.在可视分析系统中,当可视组件规模变大时,由于空间的有限性,这时对可视组件提供自然高效的布局方式,能显著减少用户的平移、缩放的工作量.

### 3.1 基于交互历史的动作预测方法

预测用户将要执行的动作,我们必须基于用户在过去的一段时间内与系统的交互历史.通过对用户历史交互动作序列的研究,建立用户的动作模式,然后使用用户动作模式对用户的未来的行为动作进行预测.

#### 3.1.1 构建用户动作模式

为了预测用户将要执行的动作,用户会选取当前用户的长度为  $m$  的动作序列  $S1$ ,然后到用户模式中搜索,找出长度为  $m+1$  的动作序列  $S2$ ,其前  $m$  长度的动作子序列与  $S1$  完全匹配,则  $S2$  的第  $m+1$  个动作为用户可能执行的动作.系统会设定一个最大相关性动作序列长度  $M$ ,由于  $m$  的值可以为 1 至  $M$  范围内的任意值,因此我们用能很好的描述不同长度的动作序列的 Trie 树来描述动作模式.在 Trie 树中,一个结点表示一个动作,根结点除外,根结点表示序列的开始,从树根到结点的路径表示一个动作序列,每个结点使用一个数值属性记录树根到该结点的动作序列在历史交互动作序列中出现的次数.图 3 是以动作序列 {ABCAB} 为例所构建 Trie 树.

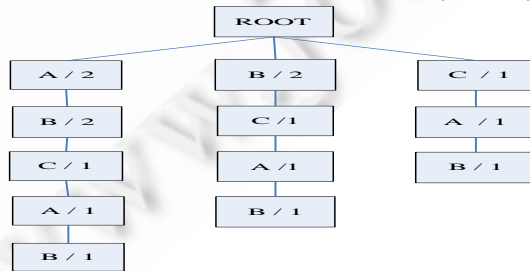


Fig.3 Trie tree built by series {ABCAB}

图3 序列{ABCAB}构建的 Trie 树

为将新增的一个序列添加到 Trie 树中,首先检查 Trie 树是否已存在该序列,如果存在,则将该序列对应的结点的序列计数增加 1,否则添加一个新的结点,计数为 1.构建描述用户动作模式的 Trie 算法通过线性扫描一次历史交互动作序列,逐次将扫描到的动作之前 1 到  $M$  长度的动作序列(包含该动作)添加到 Trie 树中.具体算法如下:

输入:用户当前的历史交互动作序列;

输出:Trie 树描述的用户动作模式.

算法过程:

Step 1: 置 Trie 为空,只有一个根结点,置当前动作编号  $j=0$ ;

Step 2: 依次取出包含  $j$  为结尾的长度  $m$  从 1 到  $M$  的动作  $j$  之前的动作序列(注  $j-m+1>0$ ) $S$ ,自根结点向下搜索动作序列  $S$ ,若  $S$  存在,转向 Step3,否则转向 Step4;

Step 3: 将动作序列  $S$  对应的 Trie 结点的序列计数  $count=count+1$ ;转向 Step5;

Step 4: 添加对应动作序列  $S$  的新结点,其序列计数  $count=1$ ;

Step 5: 当前动作编号  $j=j+1$ ;转向 Step2.

### 3.1.2 用户动作预测方法

构建了用户动作模式后,就可以对用户将要执行的动作进行预测.预测用户下一步的动作的方法有多种,例如,可以找出一个最大可能性动作,也可以给出多个备选;可以对不同长度的预测序列给与不同权重,综合计算最终的概率.本文采用多层递进过滤法得到若干备选预测动作.多层递进过滤法首先通过长度为 1 的当前动作序列在 Triaed 树中匹配,得到初始预测动作集,然后依次增加当前动作序列的长度,进行匹配筛选,直至预测动作集中动作数小于等于 3 时,算法结束.具体算法如下:

输入:Triaed 树,当前交互动作序列;

输出:交互动作预测集.

算法过程:

Step 1: 取长度  $L$  为 1 的当前交互动作序列  $S$ ,使用此序列以字典树的查找方式在 Triaed 树查找,得到交互动作初始预测集  $C$ ;

Step 2: 如果集合  $C$  大小  $num$  小于等于 3,转向 Step5,否则转向 Step3;

Step 3: 当前交互动作序列长度  $L=L+1$ ;依次取出预测集  $C$  中交互动作  $D_i$ ,置在长度为  $L$  的当前交互动作序列后,形成新的长度为  $L+1$  的动作序列  $S_i$ ,在 Triaed 树在查找,记录下  $S_i$  对应的计数  $N_i$ ;

Step 4: 对所有  $N_i(1 \leq i < num)$  排序,将计数最小的 3 个  $N_i$  对应交互动作从  $C$  中滤去;

Step 5: 最后的预测动作集  $C$  中的交互动作即为预测的交互动作.

## 3.2 可视组件自适应布局机制

可视组件自适应布局机制通过 RadialGraph<sup>[6]</sup>的嵌套环方式来表示可视组件的与聚焦组件的层次关系,又结合了 Focus+context<sup>[9]</sup>交互技术的思想,将用户关注的重要度高的组件放大突出显示,不关注的组件缩小显示,图 4 为布局的示意图,从而在有限的空间里即有效展示可视组件间的关系,又让用户可以在关注的可视组件上进行可视分析.我们从当前聚焦可视组件出发开始 BFS 遍历,形成以聚焦结点为根的 BFS 生成树结构,聚焦可视组件放到布局空间的中央,其他可视结点按照在 BFS 树中所处的深度自内至外依次放到相应层次的嵌套圆环上.布局算法包含 3 部分:首先确定嵌套圆环的环直径以及环所在的极径;然后确定可视组件的大小;最后确定可视组件所处的位置.

我们在 RadialGrap 的基础上引入了 Focus+Context 的思想,当前聚焦的可视组件的关注程度高,而其他可视组件的关注程度随着与聚焦结点关系层次数的增加而依次降低,所以嵌套环的直径自内至外,依次减小.第  $k$  层嵌套环的直径  $D_k$  为

$$D_i = \begin{cases} (R_s - R_0)/2 + \frac{(R_s - R_0)}{2^{\pi L}}, & i = 1 \\ (R_s - R_0)/2^i, & i > 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\pi L$ 为BFS生成树的深度, $R_s$ 为布局空间的极径, $R_0$ 为聚焦组件所预定义的极径.

第 $k$ 层嵌套环的极径 $R_k$ 为

$$R_k = R_0 + \sum_{i=1}^k D_i + D_k/2 \quad (2)$$

其中, $D_k$ 为 $k$ 层嵌套环直径, $R_0$ 为聚焦结点所预定义的极径.

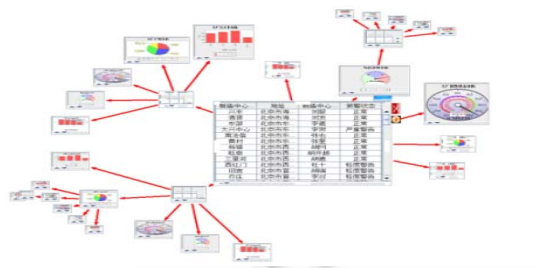


Fig.4 Layout of visual component

图4 可视组件布局图

为保证不同嵌套环的可视组件不相互重叠,我们规定每个嵌套环上的最大可视组件的左上与右下顶点分别在该嵌套环的外环与内环上,因此可视组件的对角线长度等于所处嵌套环的直径.所以第 $i$ 层嵌套环上可视组件的边长 $L_i$ 为

$$L_i = \sqrt{D_i \times D_i/2} \quad (3)$$

如果同一嵌套环上的可视组件较多而导致组件重叠时,则将环上的空间按照角度平均分配给其上的所有可视组件.

可视组件的在相应环上的角度位置是由其所分配的扇区所决定<sup>[6]</sup>.所有可视组件都会按照其边长除以所处嵌套环的极径而计算得到弧度,而可视组件最终分配的扇区弧度为其按大小比例分配的扇区弧度与其子树所分配的扇区弧度中的较大者.我们将所有可视组件都放在它所分配的扇区的中间,组件 $k$ 所分配的扇区的起始角度 $StartAng_k$ 为

$$StartAng_k = \sum_{p=1}^{j-1} AngAllo_p + StartAng_i \quad (4)$$

其中, $StartAng_k$ 为可视组件 $k$ 的父组件 $i$ 所分配扇区的起始角度, $AngAllo_p$ 为兄弟组件中排序在 $k$ 之前可视组件所分配的扇区的角度, $j$ 为可视组件 $k$ 在兄弟组件中的编号.

可视组件 $k$ 的极角 $\theta_k$ 为

$$\theta_k = StartAng_k + AngAllo_k/2 \quad (5)$$

做一个从极坐标系到笛卡尔坐标系的坐标变换,就可以得到可视组件的位置.组件 $k$ 在布局空间的位置 $x$ 坐标 $XPos_k$ 为

$$XPos_k = \frac{SpaceLength}{2} + R_k \cos \theta_k \quad (6)$$

其中, $SpaceLength$ 为布局空间边长.

组件 $k$ 在布局空间的位置 $y$ 坐标 $YPos_k$ .

$$YPos_k = \frac{SpaceLength}{2} - R_k \sin \theta_k \quad (7)$$

最后,因为我们假定布局空间为正方形空间,如果实际的布局空间为普通矩形,则需要做一个从正方形空间

到矩形空间的映射,可视组件大小、位置根据实际布局空间的宽高比做适当调整.

#### 4 系统实例和实验评估

本文基于以上的研究构建了一个基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统,系统包含两个基本界面:(1) 设计界面:设计人员在这个界面中执行配置数据源、选择可视形态、配置可视属性等任务,生成可视组件模型;(2) 运行界面:终端用户在这个界面上运行设计人员为其准备的可视组件模型,使用系统中交互技术、布局算法工具、交互历史工具和动作预测工具来进行分析推理.系统被初步应用在北京某纺织制造企业的生产监控管理和订单管理上,为生产管理和订单管理提供决策依据.图 5 为系统应用实例的运行界面截图.系统通过将交互历史在线跟踪机制有机结合在可视分析之中,为用户的分析推理过程提供支持.

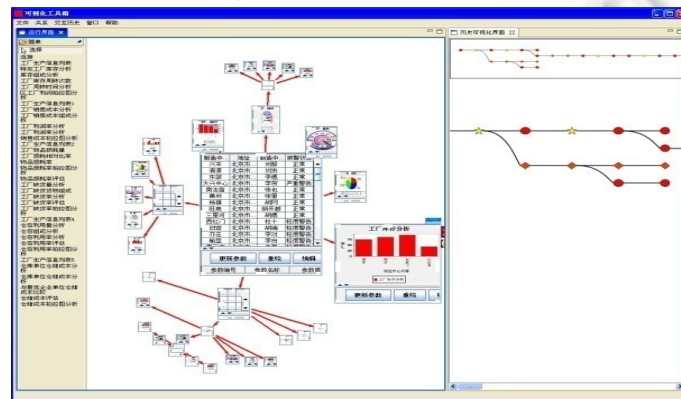


Fig.5 Application example

图 5 系统实例图

为了对系统进行评估,我们对基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统(以下简称 BHVA)与可视分析系统 Daisy<sup>[5]</sup>进行实验比较.我们邀请了 6 为被试者,其中 2 位为北京某纺织制造企业的职员,4 位为计算机应用技术专业的研究生.实验分析案例为对北京某纺织制造企业的新订单进行分析,根据企业当前已有订单计划、(织布、印染、成衣)车间产能、瓶颈设备等因素,综合确认是否接受该新订单,如果接受,则合理地安排其生产计划.实验的过程设计如下:首先给 1 个小时让被试者熟悉 BHVA,Daisy,并让企业职员协助其他被试者熟悉订单分析相关数据和流程;然后给所有被试者下达同一新订单分析任务,让他们分别使用 Daisy 和 BHVA 完成任务.任务完成效率的实验结果记录见表 1.最后对每一位被试者进行问卷调查,问卷包括 5 个评估维度,评分范围为 1 分~5 分,通过 6 份“用户满意度评估问卷”,它们的得分比较见表 2.

Table 1 Experiment results

表 1 实验结果记录

System	Average time/Min	Error
Daisy	42.8	8.32
BHVA	31.7	5.70

Table 2 Evaluation results

表 2 可用性评估结果

System	Learnability	Ability of reducing the burden of memory	Operability	Analysis efficiency	Reliability
Daisy	4.21	1.57	3.42	3.55	4.76
BHVA	3.87	4.38	4.34	4.22	4.82

由表 1 可见,对于订单可视分析任务,BHVA 在总体的分析效率上比 Daisy 具有明显优势.据用户反馈显示,BHVA 的交互历史导航功能,让用户能快速进行迭代分析,节约了大量的重新配置分析环境的时间.由表 2 可见,BHVA 在易学性上稍逊于 Daisy,用户反馈显示,BHVA 中操作功能比 Daisy 复杂,学习成本稍高;BHVA 在可靠

性上没有明显优势,BHVA 与 Dasiy 系统稳定性及分析结果可靠性都较好;BHVA 在减轻记忆负担、易操作性和总体分析效率上有明显优势.据用户反馈显示,BHVA 的即时注释及搜索过滤功能,让用户无需记住所有的分析获取的结论和假设等中间模式,也使其很容易将回顾、验证和综合中间模式;BHVA 提供的自适应布局以及基于动作预测的分析环境重用等操作,让用户大大减少了操作次数;BHVA 提供的交互历史导航功能,让用户能进行快速的迭代分析和重用分析过程,很大程度地节约了用户的分析时间,提高分析效率.另外,据用户的负面反馈显示,交互历史模型可视化界面占用了部分分析界面空间,需要常常调整其界面大小,对用户的分析有一定影响;某些涉及车间海量数据的可视仪表盘刷新速度较慢.这说明系统需要对交互历史模型可视化界面如何更自然的融合到系统分析界面的问题做进一步的研究,也需要对数据量很大时的数据库查询访问作一些优化处理,从而提高用户体验.

## 5 结论

本文针对当前可视分析系统对分析推理过程支持不足的问题,设计和实现了基于交互历史在线跟踪机制的可视分析系统.系统采用的交互历史在线跟踪机制,让用户可以在历史状态之间进行导航,从而有效支持用户迭代式的分析推理;让用户可以在某个历史状态添加自己的发现假设等中间模式,从而减轻用户的记忆负担.接着我们研究了交互历史利用技术,以为可视分析过程提供智能性的支持.本文提出了基于交互历史的可视组件自适应布局方法,可以减轻布局的操作负担,提高用户在分析可视组件较多的复杂问题时的效率.本文研究了基于交互历史的用户动作预测方法,并基于此方法给出了可视分析状态推荐的应用,可以帮助用户给予减少用户为准备分析环境的工作量,加快用户分析速度.针对可视分析面对海量数据时访问速度较慢的问题,我们研究了基于交互历史的数据查询机制,加快数据访问速度.最后,我们实现了该系统,给出了系统实例,实例表明系统能自然、高效的辅助用户进行分析推理.下一步,我们将进一步丰富可视组件库和相应交互技术;进一步优化动作预测方法和增强动作预测的应用效果;进一步改进交互历史模型可视化界面,让其更自然融合与分析界面.

## References:

- [1] Thomas JJ, Cook KA. Illuminating the Path: The Research and Development Agenda for Visual Analytics. National Visualization and Analytics Ctr., 2005. [http://nvac.pnl.gov/docs/RD\\_Agenda\\_VisualAnalytics.pdf](http://nvac.pnl.gov/docs/RD_Agenda_VisualAnalytics.pdf)
- [2] Stolte C, Tang D, Hanrahan P. Query, analysis, and visualization of hierarchically structured data using Polaris. In: Zaiiane OR, Goebel R, eds. Proc. of the 8th ACM SIGKDD Int'l Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM Press, 2002. 112-122.
- [3] Viegas FB, Wattenberg M, Ham FV, Kriss J, McKeon M. Many eyes: A site for visualization at Internet scale. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 2007,13(6):1121-1128.
- [4] Stasko J, Görg C, Liu Z. Jigsaw: Supporting investigative analysis through interactive visualization. Information Visualization, 2008,7:118-132.
- [5] Ren L. Research on interaction techniques in information visualization [Ph.D. Thesis]. Beijing: Graduate University, the Chinese Academy of Sciences, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [6] Yee KP, Fisher D. Animated exploration of dynamic graphs with radial layout. In: Andrews K, Roth S, Wong PC, eds. Proc. of the IEEE Symp. on Information Visualization. IEEE Computer Society, 2001. 43-50.
- [7] Shrinivasan YB, Wijk JJ. Supporting the analytical reasoning process in information visualization. In: Czerwinski M, Lund A, Tan D, eds. Proc. of the 26th Annual SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2008. 1237-1246.
- [8] Tollis IG, Battista GD, Eades P, Tamassia R. Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, 1998.
- [9] Herman I, Melancon G, Marshall MS. Graph visualization and navigation in information visualization: A survey. IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, 2000,6(1):24-43.



附中文参考文献:

- [5] 任磊.信息可视化中的交互技术研究[博士学位论文].北京:中国科学院研究生院,2009.



滕东兴(1973—),男,山东青岛人,博士,副研究员,主要研究领域为人机交互技术,虚拟现实技术,计算机辅助设计.



王宏安(1963—),男,研究员,博士生导师,主要研究领域为实时智能,用户界面.



汪恭正(1987—),男,硕士生,主要研究领域为信息可视化,人机交互技术.



戴国忠(1944—),男,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为人机交互,计算机图形学.



熊金泉(1963—),男,教授,主要研究领域为计算机应用技术.

www.jos.org.cn

www.jos.org.cn