

基于内容重要性的 Storyline 可视化局部变形框架

朱相元¹⁾, 谭剑波^{1,2)}, 刘理¹⁾, 路强^{1)*}

¹⁾(合肥工业大学计算机与信息学院 合肥 230009)

²⁾(华东电子工程研究所国际合作部 合肥 230031)

(luqiang@hfut.edu.cn)

摘要: 针对 Storyline 可视化局部放大问题, 提出一种基于内容重要性的局部变形框架. 首先对可视化领域中局部变形技术进行对比和分析; 然后给出了 Storyline 可视化可视元素及其重要性计算方法, 并对重要性较大的实体元素进行放大显示, 在高斯函数的指导下对重要会话元素进行局部放大和过渡平滑处理, 根据不同位置的权重对线条进行重新定位; 最后以 Inception 交互会话数据为实验数据, 将该方法应用到 Storyline 可视化视图中. 实验结果表明, 文中方法能够在有限的显示空间中对 Storyline 可视化视图的整体结构和局部详细信息同时进行协调、友好的可视化.

关键词: Storyline 可视化; 内容重要性; 局部变形框架; 过渡平滑

中图法分类号: TP391

A Local Deformation Framework Based on the Significance of Content for Storyline Visualization

Zhu Xiangyuan¹⁾, Tan Jianbo^{1,2)}, Liu Li¹⁾, and Lu Qiang^{1)*}

¹⁾(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

²⁾(International Cooperation Department, East China Research Institute of Electronic Engineering, Hefei 230031)

Abstract: To solve the problem of partial enlargement of Storyline visualization view, a local deformation framework based upon the significance of content is proposed. The local deformation technologies widely used in the field of information visualization are compared and analyzed. Then the calculations for visual elements and their significance are described. And the entity elements with higher significance are enlarged. With the guidance of Gaussian function, the partial enlargement and smooth transition for the important inter-session elements are conducted. Lines are relocated according to the weight of their location. Finally, the method is applied to the Storyline visualization view using the experimental data of the movie Inception. Experimental results show that it is effective to coordinate the integral structure and partial detail information of Storyline visualization view.

Key words: Storyline visualization; the significance of content; local deformation framework; smooth transition

Storyline 可视化^[1-2]是一种沿着时间轴描述时序动态的社交互动的可视化方法. 该方法基于一条横向的时间轴, 按照时间的先后顺序将交互会话及相关人物的线性关系表示出来; 用一条线代表一个人物实体, 线段的开始和结束分别表示人物在电影

(或者项目开发过程)中的出现和消失, 线段之间的相互靠近和偏离分别表示相应人物之间交互会话的开始和结束. 这种可视化方法能够很好地展示电影(或项目开发过程)中人物之间的关系及随时间的变化. 但是, 随着可视化视图显示的时间步伐的不

收稿日期: 2014-05-07; 修回日期: 2014-07-14. 基金项目: 国家自然科学基金(61370167); 安徽省科技攻关项目(12010402108); 安徽省教育厅自然科学研究重大项目(KJ2013ZD02). 朱相元(1989—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为信息可视化; 谭剑波(1968—), 男, 硕士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为测控飞控技术、传感器应用; 刘理(1992—), 男, 在校学生; 路强(1978—), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, CCF 会员, 论文通讯作者, 主要研究方向为信息可视化、可视分析.

断增多,Storyline 可视化在有限的显示空间中显示整体视图时其细节信息显得很模糊甚至看不清楚.为了获取视图的局部细节信息,需要对视图进行放大和平移,这样部分视图将会超出显示空间,从而丢失了整体结构信息.时间步伐的数量越大,整体视图结构和局部详细信息之间的冲突就越严重.因此,如何在有限的显示空间中对视图整体结构和局部详细信息同时进行协调、友好的可视化^[3],是 Storyline 可视化方法亟待解决的一个难题,同时也是信息可视化研究领域的一个重要问题.

局部放大技术在很多领域都有应用,目前应用比较广泛的局部放大技术如 Focus+Context 可视化方法^[4-5],包括鱼眼视图^[6]、放大透镜^[7]和保形放大镜^[8]等方法.其中,鱼眼视图作为最为流行的方法,最早是由 Furnas^[9]提出的,其基本思想是把人们感兴趣的区域进行放大显示,而其他区域进行压缩,从而在有限的可视空间中呈现视图整体结构的同时又能清楚地显示局部详细信息.鱼眼视图优于放大透镜,整体信息和焦点信息间具有一定的过渡效果,能够得到很好的局部放大结果.但是,鱼眼视图在信息可视化方面的应用,尤其是表示层次信息可视化中局限于节点连接法形式的视图^[10];此外,其放大区域多为圆形或近似圆形,这样势必会引起过渡区域发生形变,对于有特定含义的边界线发生畸变一定会产生歧义,从而造成人们对可视化视图的误解.为了解决此类问题,研究者们针对特定的信息可视化视图提出了具有针对性的局部放大方法.例如对于流场可视化视图的局部放大,Tao 等^[4]提出一种基于 Focus+Context 的变形框架,首先用 Mesh 与可视化视图进行匹配,然后根据流线向量评估每个单元格的重要性,再经过单元格独立放大、相邻单元格平滑处理和基于流感知的平滑处理 3 个步骤对 Mesh 进行变形,另外在变形过程中添加线条反转约束和区域边缘约束 2 个约束,最后根据变形后的单元格对流线位置进行调整,从而对流线场的局部放大和过渡平滑达到了很好的效果.但是,Storyline 可视化视图中使用线条表示人物实体,线条平行向前推进表示交互会话,因此线条在视图中具有特定的意义.如果将鱼眼视图或 Tao 等提出的变形框架应用到 Storyline 可视化视图中,放大区域和平滑过渡区域的会话和线条会发生畸变,从而增加人们对视图的理解难度.

综上所述,现有的变形方法不能很好地适用 Storyline 可视化视图的局部放大要求.为了保持可

视元素在视图中的特殊含义,本文提出一种基于内容重要性的局部放大框架,利用高斯函数的分布性、局部性等特点,实现局部放大过程中对线条的惯性权重的非线性调整.实验结果表明,使用本文方法得到的 Storyline 可视化视图的局部放大,在很大程度上减少了因可视元素发生畸变而引起的歧义.

1 相关工作

Storyline 可视化是在 XKCD 的手绘插图“电影叙事”中首次出现的,漫画中由左至右分布的一条线代表电影中的一个人物角色,线的开始和结束分别表示人物在电影中的出现和消失,线与线相互靠近或偏离分别表示所代表的人物之间交互会话的开始和结束^[11].受到这一技术的启发,很多研究者对 Storyline 可视化进行了深入的研究和广泛的应用.Ogawa 等^[12]制定了 Storyline 自动布局的规则,使用弱组件聚类算法和贪婪算法首次实现了 Storyline 自动布局.Tanahashi 等^[13]使用 Ogawa 提出的遗传算法,同时引入交互会话的概念,通过会话初始布局、内部线调整、减少空白区域等步骤,得到了较好的 Storyline 自动布局效果.但是,由于遗传算法是人工智能算法,所以完成布局所消耗的时间相对比较长.Liu 等^[2]将布局优化分为离散优化和连续优化两部分,在算法时间复杂度和可视化视图上都达到了比较好的效果.本文在 Liu 等的 StoryFlow 工作的基础上,提出一种基于内容重要性的局部放大框架.

在信息可视化领域中应用最广泛的局部放大技术是 Focus+Context 技术,包括比较流行的鱼眼技术.基于鱼眼视图的放大思想,学者们对其进行研究和改进,得到了广泛应用.例如,任磊等^[3]针对海量层次信息可视化问题提出嵌套圆鱼眼视图的方法,并将其应用到具有海量文件的计算机文件系统可视化中,在相对小的显示空间内既能显示海量信息的整体视图又能突出局部焦点细节信息,具有较高的用户满意度;WaveLens^[13]把鱼眼视图的思想引入到网络搜索结果的可视化中,能够在相对小的屏幕空间内呈现很多个网页地址,对用户感兴趣的网址提供了较多的文本描述信息;Gutwin 等^[14]把鱼眼视图的思想进一步拓展,将其应用在由节点和边表示的图形中.综上,对于应用鱼眼技术的可视化视图,人们关注的可视元素大都用节点表示,元素的变形不会引起歧义,所以鱼眼视图在信息可视化方面的应用大都局限于节点连接法形式的视图.

本文主要是针对具有特定意义线条的 Storyline 可视化视图的局部放大. Tao 等^[4]针对流场可视化提出的变形框架与本文工作相近,该方法通过对与可视化视图匹配的 Mesh 进行变形,然后根据变形后的 Mesh 调整流线位置以达到局部放大的效果.

综上所述,从方法论角度,目前信息可视化领域中局部放大方法大都是基于 Focus+Context 技术,除了应用比较流行的鱼眼视图技术,还有针对特定的可视化视图设计的局部放大方法,如针对流场可视化视图的基于 Focus+Context 技术的变形框架;但是这些方法都不能很好地适用 Storyline 可视化视图的局部放大要求.本文根据 Storyline 可视化视图的局部放大要求,提出基于内容重要性的局部放大框架.

2 本文变形框架

为了实现 Storyline 可视化视图基于内容重要性的局部放大,首先需要确定 Storyline 可视化视图中要放大的可视元素及其重要性的计算方法;然后根据重要性对重要元素局部放大后,对与其相邻的过渡区域进行平滑处理,同时对非重要区域进行压缩,以确保局部放大的同时能够很好地保持可视化视图的整体结构信息.

2.1 可视元素及其重要性计算

Storyline 可视化视图中最重要 2 个可视元素为实体和会话,即视图中的线条和矩形.此外,考虑到人们对内容重要性判定的差异性,本文提供 2 种不同的方法来计算元素的重要性:1)根据可视元素的特点,通过用户评价的方法确定可视元素重要性的影响因素及其权重,然后自动计算可视元素的重要性;2)结合用户输入,手动决定用户感兴趣区域.本文提到的元素重要性主要包括实体元素重要性和交互会话元素重要性.

实体元素重要性 $S_e(E_i)$ 可以表示为

$$S_e(E_i) = \alpha \cdot \omega_i + \beta \cdot \rho_i + \gamma \cdot \chi_i \quad (1)$$

其中, $S_e(E_i) \in [0, 1]$; $N_v(i)$, $N_t(i)$ 和 $N_e(i)$ 分别表示与实体 E_i 相关联的交互会话个数、时间步伐个数和交互实体个数, ω_i , ρ_i , χ_i 表示它们的归一化权重因子,分别表示为

$$\omega_i = \frac{N_v(E_i)}{\max(N_v)},$$

$$\rho_i = \frac{N_t(E_i)}{\max(N_t)},$$

$$\chi_i = \frac{N_e(E_i)}{\max(N_e)}.$$

交互会话元素的重要性 $S_v(V_j)$ 可以表示为

$$S_v(V_j) = \begin{cases} \alpha \cdot n_t + \beta \cdot \sum_{i=1}^{n_e} S_e(E_i) + \gamma \cdot n_e, & n_e > 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $S_v(V_j) \in [1, 4]$, $S_v(V_j) > 1$ 表示交互会话 V_j 为重要会话; $S_e(E_i)$ 由式(1)求得; n_e , n_t 分别表示会话 V_j 所包含的实体元素的个数及其时间步伐的个数.然后对重要会话内部时间步伐的步幅进行等比例放大,以减少过渡区域评估过程中对相邻会话的影响范围.

由于人们对内容重要性判定的差异性,式(1)(2)中权重参数 α, β, γ 值是基于用户评价确定的,在重要性自动计算的过程中,结合用户评价可以很好地满足用户对可视元素的多样性需求.

2.2 局部放大与平滑过渡

2.2.1 实体元素放大

Storyline 可视化视图中实体元素由线条表示,故实体元素的放大主要是根据实体的重要性对代表实体的线条的宽度及其与相邻线条的间距进行放大调整,对该实体参与的交互会话进行标记显示;同时,降低其他非重要实体线条的透明度,突出显示重要性较高的实体.

为了减少实体元素放大过程中产生的拐点个数和偏移距离,假设会话 V_{left} , V_{right} 是相邻对齐的会话且有重要性较高的共享实体,那么在放大共享的重要实体之后,需要重新定义它们之间的偏离距离 $D_{shift} = D_{left} - D_{right}$; V_{left} 和 V_{right} 顶部对齐之后, V_{right} 向上或向下偏移 $|D_{shift}|$ 距离,偏离方向由 D_{shift} 的符号决定. D_{left} 和 D_{right} 分别表示从会话 V_{left} , V_{right} 顶部到重要共享实体元素之间的距离, D_{left} 的计算步骤如下,其中 $d(V_{left})$ 和 $\tau_w(V_{left})$ 分别表示 V_{left} 局部放大之前线条的间距和宽度. D_{right} 的计算过程与 D_{left} 相似.

```

Dleft := 0
Begin
  If (Se(Ei) > 1) Then
    Dleft += (Se(Ei) · a + 1) · d(Vleft)
  Else Dleft += d(Vleft)
  While i > 0 do
    Begin
      i --
      Dleft += Se(Ei) · τw(Vleft)
    End
  End

```

```

If  $S_e(E_i) > 1$  Then
     $D_{left} += (S_e(E_i) \cdot a + 1) \cdot d(V_{left})$ 
Else  $D_{left} += d(V_{left})$ 
End

```

End

2.2.2 会话元素放大处理

根据第 2.1 节求得会话元素的重要性,将重要会话独立放大后再对其相邻会话进行平滑处理,处理过程分为过渡区域的评估计算和过渡区域的重要性平滑 2 个步骤。

评估并确定过渡区域.为了确保重要性平滑过程中会话之间不会再次发生重叠,通常评估得到的过渡区域要大于重要性平滑区域.过渡区域的评估是根据重要会话对其他会话的影响计算过渡区域内的交互会话的重要性,本文考虑的重要性影响因素主要包括过渡区域内交互会话与重要会话之间的距离,以及它们在共享线的相关会话序列中的下标差值.根据影响过渡区域内交互会话 V_i 的重要会话的个数,本文分 2 种情况对 V_i 的重要性进行评估。

1) 如果会话 V_i 受到单个重要会话 V_j 的影响,那么 V_i 的重要性可以表示为

$$S_v(V_i) = \left[\sum_{m \in M(i,j)} (S_v(V_j) - \alpha \cdot |I_{m,j} - I_{m,i}| - \beta \cdot |t_s(i) - t_e(j)|) \right] / n_{ij} \quad (3)$$

其中,用式(2)计算 V_j 的重要性 $S_v(V_j)$, $M(i, j)$ 表示 V_i 和 V_j 共享线的集合; $I_{m,i}$ 则表示会话 V_i 在共享线 m 的相关会话序列中的编号;参数 α, β 平衡 2 个因素对重要性计算结果的影响, α, β 的值越大,过渡区域越小,本文实验中设置 $\alpha=0.4, \beta=0.5$ 。

2) 如果会话 V_i 受到多个重要会话 T 的影响,就要通过迭代过程计算会话 V_i 的重要性.某次迭代过程结束时得到的中间结果

$$F(i, t) = \begin{cases} F(i, t-1) \cdot \sqrt{a \cdot b} + S(T(t)) \cdot \sqrt{(1-a) \cdot (1-b)}, & 0 < t < n \\ S_v(V_i), & t = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, $F(i, t)$ 表示第 t 次迭代结束后会话 V_i 的重要性; n 为重要会话集 T 中会话个数; $S(T(t))$ 表示在重要会话 $T(t)$ 的独立影响下会话 V_i 的重要性值,由式(3)求得.重要会话与会话 V_i 之间距离越远,它对会话 V_i 的重要性影响越小;同样,重要会话的重要性值越大,它对会话 V_i 的重要性影响越大.式(4)中,参数 a 和 b 分别表示会话 V_i 与会话 $T(t)$ 和 $T(t-1)$ 之间距离的比值及重要性差值的比值.但是,2 个因素对会话 V_i 的影响又不是相互独立的。

$X_{mid}(V_i)$ 为会话 V_i 中间位置的横坐标,参数 a 和 b 分别表示为

$$a = \frac{|X_{mid}(V_i) - X_{mid}(T(t))|}{|X_{mid}(V_i) - X_{mid}(T(t))| + |X_{mid}(V_i) - X_{mid}(T(t-1))|},$$

$$b = \frac{S_v(T(t-1)) - S_v(V_i)}{(S_v(T(t-1)) - S_v(V_i)) + |S_v(T(t)) - S_v(V_i)|}.$$

2.2.3 变形函数

过渡区域确定后,根据该区域内的交互会话的重要性对会话内部的时间步伐的步幅进行等比例放大,以保证平滑处理过程中会话之间有足够的空间;然后对重要会话进行局部放大,对过渡区域内的会话进行平滑处理,主要是对会话内部线条权重(宽度)的调整,使得重要会话内部被放大的线条向左右两边具有惯性的平滑过渡.如果对线条的权重进行线性调整,那么中心点对重要性平滑区域内任何位置的重要性影响都是均匀的,线条权重的变化会失去惯性.此外,平滑区域的范围要适中,如果平滑区域太长,必然会弱化放大效果,同时也会引起其他非重要区域在很大程度上被压缩;如果平滑区域太短,平滑过渡就会变得很剧烈。

本文利用高斯函数的分布性、局部性等特点,实现了对线条惯性权重的非线性调整,从而达到较好的平滑过渡效果。

1) 高斯函数具有对称性,即中心点对 2 个方向上的平滑程度是相同的.由于变形前平滑处理的临界区域是无法确定的,也就无法确定哪个方向上需要更多的平滑,而高斯函数的对称性保证了平滑处理过程中不会偏向任何一方.此外,这一特性保证了局部放大之后视图的对称性。

2) 高斯函数是单值函数,表明线条的权重受到重要会话的影响是随着它与中心点的距离的增大而单调递减的.高斯函数的这一特性保证了平滑区域内部线条的惯性权重的非线性变化。

高斯函数的形式为 $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}}$, 如

图 1a 所示,均值 μ 决定正态曲线的中心位置, δ 决定正态曲线的陡峭程度, δ 越小曲线越陡峭.在本文实验中, $\mu = (x_1 + x_2) / 2$ 表示重要会话 V_0 的中心横坐标.如图 1a 所示, x_1, x_2 分别为 V_0 的起始坐标和终止坐标, x_{max}, x_{min} 分别为平滑区域的边界坐标,区域 A、区域 B 分别表示 V_0 内部区域和平滑过渡区域.为了更好地控制曲线的变化速率,本文为 V_0 设置了调整参数 $P(V_0)$, 曲线峰值 $f(\mu)$ 可表示为 $f(\mu) = S_v(V_0) / P(V_0)$. $P(V_0)$ 与会话 V_0 的重要性和时间步伐个数有关, $P(V_0)$ 越小, V_0 的平滑区域

范围越小. 对于任意 $x_0 \in [x_{\min}, x_{\max}]$, 且 x_0 位于会话内部, 那么 x_0 处线条的权重为

$$W(t_{x_0}) = P(V_0) \cdot f(x_0) = P(V_0) \cdot f(\mu) \cdot e^{-f(\mu) \cdot (x_0 - \mu)^2} = S_v(V_0) \cdot e^{-\frac{S_v(V_0)}{P(V_0)} \cdot (x_0 - \mu)^2} \quad (5)$$

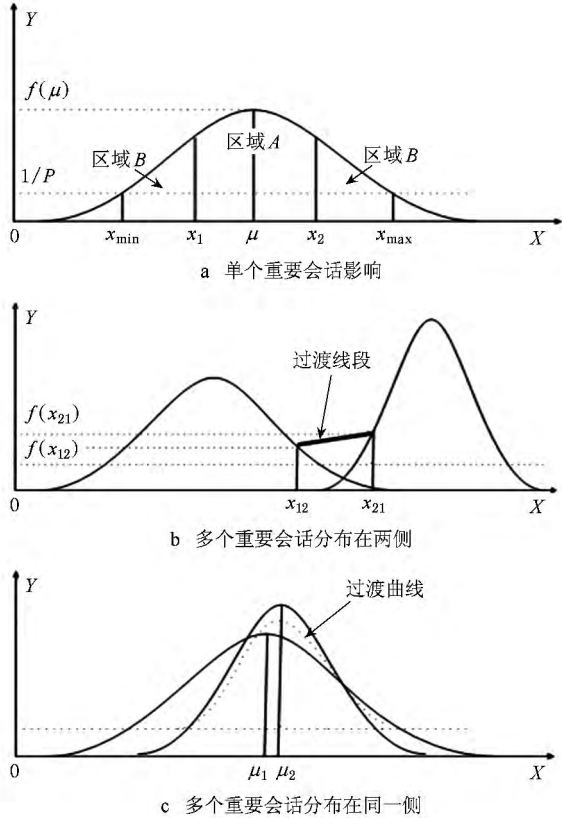


图 1 变形函数对放大和平滑的引导

如果会话 V_i 受到 2 个或 2 个以上重要会话的影响, 根据重要会话与会话 V_i 的位置关系, 本文分 2 种情况进行处理:

1) 影响 V_i 的重要会话集 K 都位于会话 V_i 的同一侧, 如图 1 c 所示, 对于 V_i 内部的任意位置 x_0 ($x_0 \in (X_{\text{left}}(V_i), X_{\text{right}}(V_i))$), 且 x_0 位于重要会话子集 H 的平滑区域内, 线条的权重为 H 中单个重要会话影响下的权重的均值. 此时, V_i 的变形函数为图 1 c 中的拟合得到的过渡曲线所对应的复合高斯函数

$$W(t_{x_0}) = \frac{\sum_{V_j \in K} S_v(V_j) \cdot e^{-\frac{S_v(V_j)}{P(V_j)} \cdot (x_0 - \mu_j)^2}}{n_k} \quad (6)$$

将式(5)代入式(6)即可求得在多个重要会话影响下高斯函数指导得到的 x_0 处线条的权重.

2) 影响 V_i 的重要会话 K 位于会话 V_i 的两侧, 如图 1 b 所示, 假设位于 V_i 两侧的 2 组重要会话为 K_l 和 K_r , 其中 x_{12} 和 x_{21} 表示 V_i 的起始位置和结

束位置的坐标, 而 $f(x_{12})$ 和 $f(x_{21})$ 分别表示在只受到 K_l 和 K_r 的影响下, V_i 开始位置和结束位置处的线条权重, 由式(3)求得. 对于任意位置 x_0 ($x_0 \in (X_{\text{left}}(V_i), X_{\text{right}}(V_i))$), 线条的权重 $W(t_{x_0})$ 由线性插值得得, 图 1 b 中过渡线段为线性插值得到的拟合曲线, 对 V_i 进行平滑过渡的引导.

2.3 线条重新定位

本文在对 Storyline 可视化视图局部放大的过程中, 将其分为重要区域、平滑过渡区域和非重要区域 3 类, 如图 1 a 所示, 区域 A 为重要区域, 区域 B 为平滑过渡区域.

第 2.2.3 节中, 在高斯函数的指导下, 通过过渡区域的评估和重要性平滑处理 2 个步骤, 得到重要区域和平滑过渡区域内的线条权重. 根据线条权重对线条的宽度和线条间距进行调整, 其中线条的宽度由其权重决定. 但是, 随着线条宽度的增大必然会引起线条之间的相互遮挡, 同时也会增加拐点个数和偏移距离. 本文通过调整会话内部和会话之间的线间距减少遮挡, 调整后的线间距

$$d'(V_i) = \alpha \cdot d(V_i) \cdot S_v(V_i), \quad \alpha \in (0, 1) \quad (7)$$

其中 $d(V_i)$ 为调整前的线间距.

根据权重对线条宽度及它们之间的间距进行调整后, 为了保证视图的对称性和减少会话之间线条的偏移距离, 本文在局部放大后交互会话对齐的过程中添加了最小偏移约束, 并将约束问题抽象为一个线性约束的二次规划问题. 目标函数为

$$\min \sum_{V_i \in V \cup V'} \sum_{V_j \in h(V_i)} \left[\sum_{m \in M(i,j)} (y_{i,m} - y_{j,m} + \frac{\omega(V_i) \cdot |S_v(V_i) - S_v(V_j)|}{2})^2 + \beta \cdot (Y_{\text{mid}}(V_i) - Y_{\text{mid}}(V_j))^2 \right],$$

其中 $h(V_i)$ 为与 V_i 有共享线的相邻的会话集合. 约束条件为

$$\text{s. t. } \begin{cases} S_v(V_i) > 1, \\ S_v(V_i) > S_v(V_j), \\ y_{i,m} \geq Y_{\text{top}}(V_i), \quad i \geq 0, j \geq 0. \\ y_{i,m} < y_{i,m+1}, \end{cases}$$

目标函数中, $y_{i,m}$ 表示会话 V_i 中线条 E_m 的纵坐标, n_e 表示会话 V_i 中线条的数量, 用式(7)求得 $d'(V_i)$, $Y_{\text{top}}(V_i)$ 和 $Y_{\text{mid}}(V_i)$ 分别表示会话 V_i 顶部和中间位置的纵坐标,

$$Y_{\text{mid}}(V_i) = Y_{\text{top}}(V_i) T_i + \frac{n_e \cdot \omega(V_i) \cdot S_v(V_i) + (n_e + 1) \cdot d'(V_i)}{2} \quad (8)$$

目标函数中的第一个表达式旨在惩罚重要性不等的 2 个会话之间共享线条的摆动距离造成的不必要的空白,而第 2 个表达式则激励这 2 个会话尽可能对称地对齐, β 是平衡因子,本文实验中其值取为 1.

重要区域和平滑过渡区域内部的交互会话的宽度调整是根据其重要性,通过改变该会话的起始时间步伐和结束时间步伐之间的步幅来实现的.平滑过渡区域内部的会话重要性是在过渡区域评估的过程中得到的,经过重要性平滑处理之后,该会话可能只有部分时间步伐位于平滑区域内;而对于该会话位于平滑区域外的时间步伐,之前所做的步幅调整则是没有必要的.因此,对于这些时间步伐的步幅需要进行再次调整,以减少对非重要区域的压缩程度.本文工作的主要目标是在有限的显示空间中对 Storyline 可视化视图的整体结构和局部详细信息同时进行协调、友好地可视化,所以在对视图进行局部放大处理后,为了保证视图显示区域较局部放大之前不会发生剧烈变化,本文会对非重要区域的时间步伐的步幅进行压缩调整.

2.4 交互设计

由于人们对内容重要性的判断存在很大的差异性,除了自动计算可视元素的重要性外,本文还搭建了一个简单的系统平台,通过交互方式实现用户手动调整感兴趣元素的重要性.对于重要性的调整,本文分 2 种情况进行处理:

1) 单元素的重要性调整

每次只对单个可视元素的重要性进行调整,用户可以在窗口右侧面板上选择要调整元素的相关信息,如交互会话所在场景及其编号;或者用鼠标框选出要调整的元素,然后对其重要性值进行调整,提交之后生成新的可视化视图.

2) 多元素的重要性调整

对多个元素的重要性值同时进行调整,用户将若干个目标元素选中之后逐个调整其重要性值,提交之后生成新的可视化视图.

此外,第 2.2.3 节中提到每个重要会话的参数 P

决定了该会话局部放大后平滑过渡区域的大小以及平滑过渡的急缓程度,用户可以通过调整 P 的值来调节其平滑过渡的速率,从而满足用户的多样性需求.

3 实验结果与分析

本文主要是针对 Storyline 可视化提出一种基于内容重要性的局部放大框架,对视图中的可视元素进行局部放大.我们使用 Tanahashi 等^[1] 提供的一个电影例子盗梦空间(Inception)的交互会话数据作为实验数据,在 Liu 等^[2] 的 StoryFlow 工作的基础上,应用本文提出的局部放大方法,以证明本文方法的有效性.

本文涉及到的可视元素主要包括交互会话和实体 2 类.1)在可视化视图对实体元素进行局部放大,第 2.1 节中本文依据实体元素在视图中出现的时间长度、参与交互会话的个数和与之进行会话的实体数量三大指标对实体元素的重要性进行计算.重要性越大,表示人们对该实体元素越感兴趣.2)通过调整代表重要性较大实体的线条的宽度及其与相邻线条之间的间距对该实体进行放大显示,同时调节其他非重要实体线条的透明度,以突显出重要实体.除了线条的调整,本文还对重要实体参与的交互会话进行显示,图 2 所示为实体元素局部放大的结果.在所有实体元素中,COBB 作为 Inception 的男主角,其重要性最大,在可视化视图中出现的时间步伐个数为 490 个,参与的交互会话个数为 62 个,与他进行交互会话的实体个数为 7 个.从图 2 中可以清楚地看到,COBB 在整个视图中与其他实体元素之间交互关系的发展情况,并能快速识别他所参与的交互会话.

对于交互会话元素的局部放大,本文使用高斯函数作为变形函数,在重要会话局部放大和平滑过渡的过程中引导线条宽度的变化,图 3 所示为对不同数量的交互会话同时进行局部放大的结果.

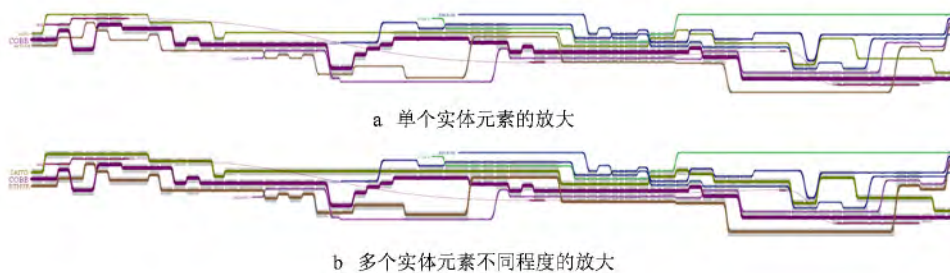


图 2 Storyline 可视化视图的实体元素的放大结果

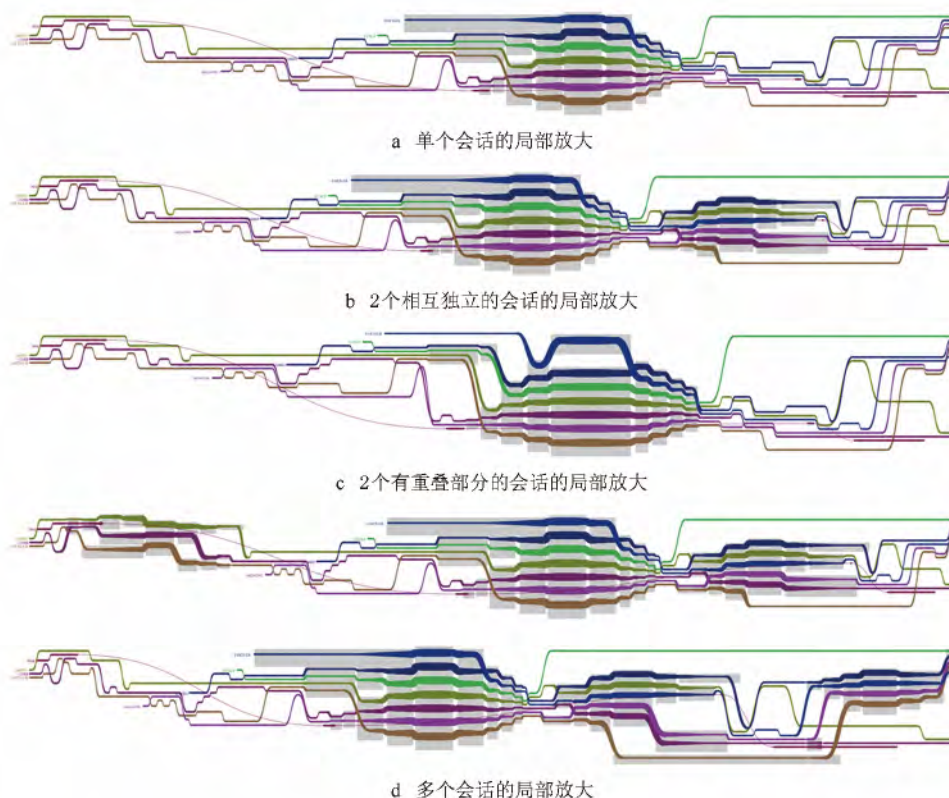


图 3 Storyline 可视化视图的交互会话元素的放大结果

本文利用高斯函数的分布性、局部性等特点,通过该函数对线条的惯性权重进行非线性调整.首先根据会话中实体元素的重要性及其数量对会话的重要性进行计算;然后对重要性较大的会话进行放大,通过过渡区域平滑、非重要区域压缩等处理,实现对交互会话元素的局部放大.根据式(2)中不同的权重参数 α, β, γ ,被放大的会话大都是自动计算得到的重要性值比较高而且用户认为是比较重要的会话.例如,图 3 中的会话 67, 77 和 107 是从一层梦境进入另一层梦境过渡区域的交互会话,而人们认为场景变化受关注度是比较高的,所以这些会话是比较重要的.图 3 a 所示为对单个会话元素 67 进行局部放大的结果,它的变形函数如图 1 a 所示;图 3 b 所示为对 2 个相互独立的交互会话进行不同程度的放大,两者的重要性过渡平滑区域没有重叠;图 3 c 所示为对 2 个有重叠时间步伐的会话同时进行局部放大,两者的过渡平滑区域有重叠部分,其变形函数曲线如图 1 c 所示;图 3 d 所示为对多个重要会话同时进行不同程度的局部放大.

4 实验评估

目前,人们对 Storyline 可视化的研究主要是对

其布局算法进行改进和优化,以达到更好的布局效果,而对于可视元素的定位、追踪和比较仅仅提供了一些简单的交互式操作.文献[1, 12]通过对指定线条进行高亮显示、文献[2]通过对指定线条进行矫直,从而实现对实体元素的定位和追踪,但是对于会话元素的定位和比较则没有有效的操作.本文方法通过对实体元素和会话元素进行局部放大,实现可视元素的定位、追踪和比较功能.

为了对本文方法进行评估,我们将本文方法生成的可视化视图与文献[2]中未进行放大处理的可视化视图进行了实验比较.本文随机挑选 15 位评估人员,其中包括 2 位可视化方向的老师,3 位从事可视化方向的项目技术人员,5 位信息可视化方向的学生和 5 位其他方向的学生.实验数据为 Inception 交互会话数据^[1],该数据包含 491 个时间步伐,116 个交互会话元素和 10 个实体元素.首先向评估人员介绍实验背景和数据,使他们对实验环境更加熟悉.然后让评估人员完成以下任务:

任务 1. 要求在可视化视图中查找指定的实体元素,并将其参与的交互会话进行标记.

任务 2. 要求在可视化视图中比较 2 个指定会话中的实体元素的变化.评估人员分别在 2 个可视化视图中完成这 2 个任务,评估人员对任务完成效

率的实验结果如表 1 所示. 最后,让每一位评估人员分别从视图的有效性、实用性、交互性和易用性 4 个评价指标的角度对 2 种可视化视图方式进行评分,评分范围为 1~10 分,对评估人员的评分的进行统计和分析,得出 2 种可视化视图的得分如表 2 所示.

表 1 任务完成时间记录表

	本文方法视图		文献[2]视图	
	平均时间/s	标准差	平均时间/s	标准差
任务 1	14.60	4.11	47.31	7.52
任务 2	42.60	5.46	87.83	14.15

表 2 2 种可视化视图评分统计表

评价指标	本文方法视图		文献[2]视图	
	平均分	标准差	平均分	标准差
有效性	8.5	1.060	6.7	1.496
实用性	7.5	1.187	5.0	1.414
交互性	7.3	1.163	5.1	1.163
易用性	7.1	0.699	6.0	1.414

由表 1 可以看出,评估人员在本文方法生成的可视化视图上完成 2 个任务的效率比文献[2]的视图具有明显的优势.在完成任务 1 的过程中,评估人员查找到指定实体元素之后,在进行该实体所参与会话的标记时,对于那些颜色与其他实体差异不是很明显的指定实体,由于没有较明显的聚焦点,在对其追踪的过程中很容易造成观察者视线的偏移,丢失目标线条,从而大大增加了评估人员的视觉负担和获取信息的时间.而本文方法通过调整指定实体的重要性,并对目标实体的线条进行放大显示,从而增大了目标实体线条的视觉突显,帮助评估人员快速完成线条定位及其参与会话的跟踪标记.同样,对于任务 2,要完成对指定的 2 个交互会话的人物关系进行比较.如果 2 个指定的会话中间有较大的间距,在文献[2]的视图上首先要花费大量的时间放大和拖动视图进行目标会话的定位,因为相似的会话会对观察者准确定位造成干扰.相比之下,在本文方法生成的视图上会话的定位则很容易实现.目标会话定位后对 2 个会话中人物关系进行比较,文献[2]的视图中由于目标会话和相邻会话之间没有明显的差异性,大大增加了 2 个会话之间人物关系的对比分析难度.而本文采用局部放大框架生成的可视化视图中,由于放大焦点区域的同时能够保持整体视图,观察者可以快速地在视图中转移焦点区域,所以本文方法产生的视图对于对比和分析人物关系具有较高的任务完成效率.由表 1 可以看出,在任务 2 的

过程中,观察者在文献[2]的视图上完成任务的时间具有很大的差异,因为查询并对比 2 个不同会话时需要高度地集中精力和良好的观察能力;而本文的局部放大的框架则降低了任务对评估人员能力的要求,说明本文方法具有很好的有效性.

由表 2 可以看出,本文方法生成的视图在有效性、实用性、交互性等评估指标上具有很高的用户满意度;但评估人员建议设计并实现更多样化的交互方法,以满足不同用户多样化的交互需求,以及考虑其他可视元素的局部放大.所以,本文方法仍然需要进行进一步改进和完善.

考虑到个体之间的差异性,本文分别从个体数据的角度对个体完成任务的效率和个体从 4 个评价指标对 2 种可视化视图评分的均值进行统计和分析.图 4,5 分别表示评估人员个体在完成 2 个任务效率的差异性和他们对 2 种视图在 4 个评价指标方面平均得分的差异性,其中 $\{U_1, \dots, U_{15}\}$ 代表参与评价的评估人员.由图 4 可以看出,个体在文献[2]的可视化视图上完成任务 1 的差异性较在本文生成的可视化视图上大,据统计是因为个体在文献[2]的视图上对指定实体元素参与会话进行标记时焦点很容易丢失,从而造成完成时间超过平均时间.

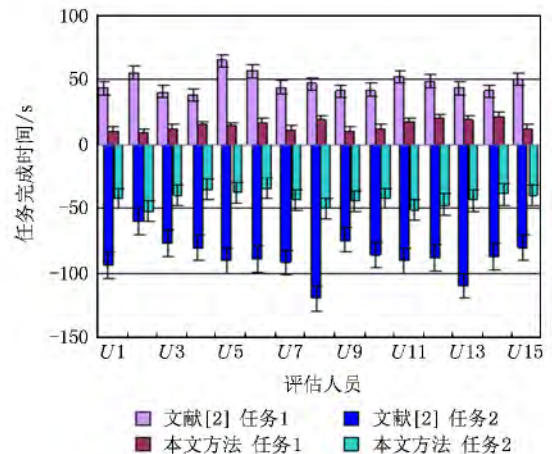


图 4 任务完成时间的个体差异对比

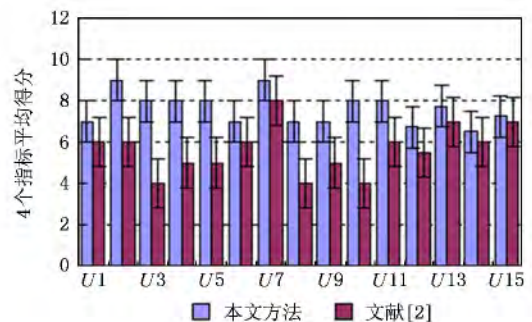


图 5 各个指标平均得分的个体差异对比

相对于其他的 Focus+Context 局部变形方法, 本文方法能够更好地适用于 Storyline 可视化视图的局部放大. 鱼眼视图作为最流行的方法, 优于放大透镜及保形放大镜等其他方法, 在视图整体信息和局部详细信息之间具有一定的过渡效果; 但是, 其在信息可视化方面的应用, 尤其是在层次信息可视化视图中很大程度上局限于节点连接法的视图. Storyline 可视化方法使用线条表示人物实体, 线条的间距、水平推进等信息在视图中具有重要的含义. 如果将鱼眼视图或其他 Focus+Context 方法应用到 Storyline 可视化视图中, 放大区域和过渡区域之间的线条和会话会在一定程度上发生畸变, 从而造成人们对视图的误解. 通过对比和分析可以看出, 针对 Storyline 可视化视图, 本文方法比其他 Focus+Context 方法具有更好的优越性.

5 结论与展望

随着可视时间步伐的不断增多, 在有限的显示空间区域内, Storyline 可视化视图整体结构和局部详细信息之间的冲突越来越严重. 本文针对 Storyline 可视化如何在有限的显示空间中对视图整体结构和局部详细信息同时进行协调、友好地可视化问题, 提出一种基于内容重要性的局部放大框架. 首先确定 Storyline 可视化视图中要进行局部放大的可视元素及其重要性计算方法, 其中涉及到的可视元素包括实体元素和会话元素 2 类; 然后对重要性较大的实体元素进行放大显示, 利用高斯函数的分布性、局部性等特点, 指导重要会话元素进行局部放大和平滑过渡处理, 实现局部放大过程中对线条的惯性权重的非线性调整, 再根据不同位置的权重对线条进行重新定位; 最后, 以 Inception 交互会话数据为实验数据, 将该方法应用到 Storyline 可视化视图中. 实验结果表明, 本文方法能够在有限的显示空间中对 Storyline 可视化视图的整体结构和局部 ([1] Tanahashi Y, Ma K L. Design considerations for optimizing storyline visualizations [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(12): 2679-2688

参考文献 (References):

[1] Tanahashi Y, Ma K L. Design considerations for optimizing storyline visualizations [J]. IEEE Transactions on Visualization

- and Computer Graphics, 2012, 18(12): 2679-2688
- [2] Liu S X, Wu Y C, Wei E X, *et al.* Storyflow: tracking the evolution of stories [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2013, 19(12): 2436-2445
- [3] Ren Lei, Wang Weixin, Teng Dongxin, *et al.* Fisheye view for visualization of large tree by packing nested circles [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(3): 298-303 (in Chinese)
(任 磊, 王威信, 滕东兴, 等. 面向海量层次信息可视化的嵌套圆鱼眼视图[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008, 20(3): 298-303)
- [4] Tao J, Wang C L, Shene C K, *et al.* A deformation framework for focus plus context flow visualization [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2014, 20(1): 42-55
- [5] Wu Y C, Liu X T, Liu S X, *et al.* ViSizer: a visualization resizing framework [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2013, 19(2): 278-290
- [6] Gansner E R, Koren Y, North S C. Topological fisheye views for visualizing large graphs [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2005, 11(4): 457-468
- [7] Wang L J, Zhao Y, Mueller K, *et al.* The magic volume lens: an interactive focus plus context technique for volume rendering [C] // Proceedings of IEEE Visualization 2005 Conference. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2005: 367-374
- [8] Zhao X, Zeng W, Gu X F D, *et al.* Conformal magnifier: a focus plus context technique with local shape preservation [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(11): 1928-1941
- [9] Furnas G W. Generalized fisheye views [C] // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 1986: 16-23
- [10] Darling E, Recktenwald K, Kalghatgi N, *et al.* Effects of fisheye on visualizing connections between nodes [C] // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2005: 1328-1330
- [11] Munroe R. Xkcd # 657: movie narrative charts [OL]. [2014-05-07]. <http://xkcd.com/657>
- [12] Ogawa M, Ma K L. Software evolution storylines [C] // Proceedings of the 5th International Symposium on Software Visualization. New York: ACM Press, 2010: 35-41
- [13] Paek T, Dumais S T, Logan R. WaveLens: a new view onto internet search results [C] // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2004: 727-734
- [14] Gutwin C, Greenberg S. Improving focus targeting in interactive fisheye views [C] // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM Press, 2002: 267-274