

# 面向评论文本数据的旭日图可视化

易小群 李天瑞 陈超

(西南交通大学信息科学与技术学院 成都 611756) (西南交通大学人工智能研究院 成都 611756)  
(西南交通大学综合交通大数据国家工程实验室 成都 611756)

**摘要** 旭日图是一种现代饼图,它超越传统的饼图和环图,不仅能表达数据的占比问题,更能表达清晰的层级和归属关系,以父子层次结构来显示数据的构成情况。使用传统的旭日图对文本数据进行可视化时,不能全面地展示实体关系和情感偏向,而且旭日图层数越多,信息的可读性就越低。针对以上问题,对传统的旭日图进行了改进。首先,设计同级相邻圆弧的交叠,展示文本中实体的关系。然后,将旭日图与柱形图相结合,展示评论文本的感情偏向,柱形图体现为圆弧的涂色宽度,表示对于某方面评论的满意度。最后,对数据进行优化重排,包括:1)基于整体的考虑,将凸出部分放在邻接位置以节省空间;2)对局部的数据优化进行重排,使得最外层的节点尽可能高低错落,以提高稀疏性,便于观察。实验结果表明:改进的旭日图能够更全面、清晰地对评论文本进行可视化,为用户提供更灵活、个性化的可视化展示。

**关键词** 可视化,旭日图,情感偏向,数据重排,交互

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/jsjcx.190100087

## Sunburst Visualization for Comment Text Data

YI Xiao-qun LI Tian-rui CHEN Chao

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

(Institute of Artificial Intelligence, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

(National Engineering Laboratory of Integrated Transportation Big Data Application Technology,  
Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract** Sunburst is a kind of modern pie chart. It goes beyond the traditional pie chart and ring chart. It can not only express the proportion of data, but also express the clear hierarchy and attribution relationship, and display the data composition with the hierarchical structure of father and son. When Sunburst is used to visualize text data, it can not fully display the entity relationship and emotional bias. In addition, the more hierarchies of the Sunburst is involved, the lower readability of the information will be. In view of the above problems, this paper proposed the following improvements to the traditional Sunburst. Firstly, the overlapping of the same level adjacent arc is designed to show the relation of the entity in the text. Secondly, the combination of Sunburst and histogram is put forward to show the emotional bias of the comment text. The color width of the arc in histogram chart expresses the satisfaction of the comment on a certain aspect. Thirdly, the data are rearranged optimally, including that for the overall consideration, the protruding part is placed in the adjacent position to save space, and the local data is optimized and rearranged to make the outermost nodes as high and low as possible, so as to improve the sparsity and facilitate observation. The experimental results show that the improved Sunburst can provide more comprehensive and clear visualization of comment text, and provide more flexible and personalized visualization display for users.

**Keywords** Visualization, Sunburst, Emotive tendency, Data rearrangement, Interaction

## 1 引言

互联网时代,数据的爆炸式增长推动了数据分析的发展,数据可视化作为分析数据、清晰传达和沟通数据的有效手段,在医疗、商业、政治等方面得到了广泛的应用。可视化分析就

是利用计算机的自动化分析能力,结合人的信息认知力,更加充分地探索和挖掘数据背后的信息、知识和智慧,以便于更好地理解信息<sup>[1]</sup>。层次数据结构是以记录类型为节点的有向“树”或“森林”,针对层次结构数据的展示方式较多,如树状图、打包图和分区图等。

到稿日期:2019-01-09 返修日期:2019-04-20 本文受国家自然科学基金(61573292)资助。

易小群(1993-),女,硕士生,CCF会员,主要研究方向为数据可视化;李天瑞(1969-),男,教授,博士生导师,CCF杰出会员,主要研究方向为数据挖掘与知识发现、云计算与大数据、粒计算与粗糙集,E-mail:trli@swjtu.edu.cn(通信作者);陈超(1993-),男,硕士生,主要研究方向为数据可视化。

旭日图最初起源于 TreeMap<sup>[2]</sup>,它结合了径向设计(类似于甜甜圈或饼图)和层,以显示对整体的相对贡献。旭日图是一种现代饼图,它超越传统的饼图和环图,不仅能表达数据的占比问题,更能表达清晰的层级和归属关系,以父子层次结构来显示数据的构成情况。旭日图中,离圆点越近,级别就越高,相邻两层中是内层包含外层的关系。早期的例子是可视化文件系统中存储的数据量,其中每个环都是一个子目录<sup>[3]</sup>。

社交媒体的兴起使得情感分析得到了迅猛的发展,对评论文本进行分析可以挖掘用户对某个产品、服务或者组织等的态度,使得用户、商家和组织者对提供的服务等有了全面的认识,从而得到更好的发展空间。评论文本分析已经在很多方面得到应用,如商业、医疗、政治上的民意调查等。在对文本的内在关系进行可视化时,实体关系是一个主要的切入点。旭日图不仅可以直观地呈现命名实体间的关系,还能根据其在分区中的占比体现语料中的词频信息。但是,旭日图不能很好地展示两个同层级的实体之间的关系,也无法兼顾文本中的感情倾向。在旭日图中采用的是径向布局,随着节点深度的增加,视觉上的可分辨率会降低,从而难以准确、直接地找到节点的父节点。针对上述问题,本文对旭日图进行了改进:1)在同层级实体关系方面,设计分区的交叠来体现相似度;2)在情感倾向方面,将柱形图和旭日图相结合,用柱形的值体现用户打分;3)在视觉差方面,对数据进行重排,用没有子节点的节点来间隔有子节点的节点,以降低视觉误差,便于观察。

## 2 相关工作

旭日图于 1991 年被提出。2000 年,Stasko 等<sup>[4]</sup>验证了旭日图对层次结构的展示是有效且清晰的,而现实生活中的层次结构数据也是非常常见的。很多研究者都将旭日图与自己相关的领域进行结合,对旭日图提出新的见解与设计,使得旭日图得到了进一步的优化和改进。Médoc 等<sup>[5]</sup>提出了旭日图与热力图的结合展示来分析大型文本语料库,方便分析型记者进行探索。Zhu 等<sup>[6]</sup>提出了一种新的展示方法 Path-Rings,用于生物学家探索和解释生物路径,其中将旭日图与弦图相结合来将反应的代谢途径和信号途径整合到一个单一的复合图形可视化中,并使用颜色突出显示受输入数据影响的基因和通路。Senathirajah 等<sup>[7]</sup>将旭日图用于医学上的数据展示,将选项卡的切换转化为旭日图中的路径直接展示,并将旭日图的直接径向信息用于商业门诊系统的导航,使得用户不用逐层去尝试,直接能看到所需业务的相关流程,既简单直接,提高了准确度,又节省了时间。Chen 等<sup>[8]</sup>在研究农药残留时,对旭日图提出了一种基于层次聚类的具有有序节点的关联层次数据的可视化分析方法;在后续的工作中又针对食品安全等领域对数据空间分布和关联关系分析的需求,提出了一种基于热图和放射环的关联层次数据可视化方法——SunMap(Sunburst+Map)。该方法主要包含 3 方面的内容:1)针对具有地理信息的热力型数据,采用地图展示数据的区域分布;2)用旭日图可视化具有层次结构的数据;3)使用热力图填补旭日图中间的空白部分,并用直线将两个图中有关联的部分进行连接。针对关联较多时线条繁交叉而不利于观看的问题,通过设置过渡点,用三次 Bézier 曲线取代直线,有效地减少了视觉混乱;在图中加入矩阵热图来展示数据细节,

采用数据选择、矩阵热图和 SunMap 多视图联动等交互手段对关联层次数据进行了可视化分析<sup>[9]</sup>。

## 3 Sunburst 的改进设计

本节主要介绍改进的 Sunburst 的设计方案。3.1 节给出了同级实体关系的可视化设计;3.2 节详细介绍了旭日图与柱形图的结合,以展示评论文本中某方面的满意度;3.3 节描述为了提高旭日图的视觉清晰度所做的数据重排优化工作;3.4 节介绍了系统的交互设计。

### 3.1 同层级实体关系的展示

旭日图是一种圆环镶嵌图,每一个圆环代表了同一级别的比例数据,离圆点越近的圆环级别越高,最内层的圆表示层次结构的顶级<sup>[2]</sup>。在展示数据时,同一级别的数据只能表示占比,不能展示同级别数据之间的关系。在用旭日图来展示文本数据时,某些情况下不仅需要展示词汇的出现频次比例,还需要展示不同实体之间的关联性,而传统的旭日图不能满足这个需求。

由于实验数据是从某网站爬取的酒店评论文本,在实体的关系分析中除了分析实体之间的归属关系外,还需要分析实体之间的相似性。在旭日图中,实体之间的归属关系展示为层次结构。针对文本可视化的特定需求,本文设计了同级圆环中的交叠区域来表示命名实体之间的相似性。本文采用相似度  $SD$ (Similarity Degree)来确定交叠区域的大小,相似度的定义公式如式(1)所示:

$$SD = k_1 \times Sd_1 + k_2 \times Sd_2 \quad (1)$$

其中, $k_1$ 和 $k_2$ 是权重系数; $Sd_1$ 表示两个实体在语义上的相似度; $Sd_2$ 表示在酒店评论数据集上的相似度,也就是两个实体出现在同一条评论中并且具有逻辑关系的评论条数与总的评论条数的比例。假设有  $n$  个实体,任意两个实体之间的相似度为  $SD_{ij} = k_1 \times Sd_{1ij} + k_2 \times Sd_{2ij}$ ,由于相似度没有方向,因此  $SD_{ij} = SD_{ji}$ 。

本文用相似度来确定交叠区域的大小  $\Delta W$ ,其计算方法如式(2)所示:

$$\Delta W = W \times SD \quad (2)$$

其中, $W$ 是当前圆弧段的长度,其交叠设计在图中的展示效果如图 1 所示,图中框内就是圆弧的交叠展示部分。

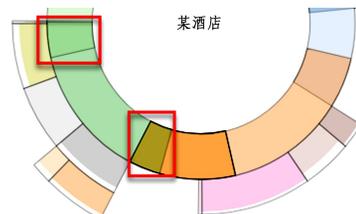


图 1 同层级实体关系的展示图

Fig. 1 Exhibition diagram of entity relations at same level

### 3.2 旭日图与柱形图的结合

本文是基于酒店的评论文本数据进行实验研究的。评论通常体现情感倾向,而在可视分析评论数据时,情感倾向又是研究的重点<sup>[10]</sup>。在传统的旭日图中,没有能够表现评分或者满意度的设计。在以往的文本情感可视化中,通常采用冷暖色调来表示情感倾向,暖色代表正向,冷色代表负向<sup>[11-12]</sup>。但是,这样的展示方式只能表示正向和负向,并不能准确地表达

出倾向程度,用户在观看时也需要对比不同颜色的深度来得到相应的情感倾向程度,容易因为视觉误差导致难以分辨或得到错误结论。

为了解决上述问题,本文提出将旭日图与柱形图进行结合。在旭日图展示的基础上,再利用圆弧的颜色填充区域来表示满意度。这与相关研究工作中使用面积来表示重要性类似<sup>[13]</sup>。传统的旭日图颜色填充是将整个圆弧填充,而在改进的旭日图中展示时,将圆弧的宽度看作满分,涂色的宽度表示评论的得分情况,类似于一个柱形图。关于满意度的计算,本文并没有直接使用正向评论的条数与总评论数的比例来度量,这是因为单纯地用好与不好来衡量用户评论中的感情倾向是不准确的,更何况对一个事物的评论可能涉及到多方面,如有些方面是好的,有些方面却是需要改进的。

本文通过概率来计算满意度,利用每条评论的概率来度量会避免信息丢失,正向或负向的概率体现的是事物的综合评估结果,能够更准确地体现客观事实。假设某酒店有  $n$  方面的印象评论,那么对于每一个印象  $impress_i$ ,都需要计算其满意度。某个印象的满意度  $SaD_i$  的计算公式如式(3)所示:

$$SaD_i = \frac{\sum_{j=1}^m \text{positiviePro}_j}{n} \quad (3)$$

计算的数据集合是在酒店的评论中挑出的与  $impress_i$  相关的评论, $m$  是相关评论的条数,  $\text{positiviePro}_j$  是集合中的第  $j$  条评论是正向评论的概率,在计算概率的均值时去掉最高分和最低分,以便反映客观情况。满意度体现在着色上面,着色的宽度  $colorH_i$  的计算式如式(4)所示:

$$colorH_i = (Router - Rinner) \times SaD_i \quad (4)$$

其中,  $Router$  和  $Rinner$  分别是旭日图中圆弧的外半径和内半径,两者之差就是圆弧原本的宽度<sup>[14]</sup>,其展示效果如图2所示。从图中可以看出,各个圆弧涂色的高度有所不同,这就展示了用户对各个方面评论的不同满意度,涂色越宽的部分表示用户对某方面的满意度越高,反之表示满意度越低。其实现效果与双层嵌套的放射环<sup>[15]</sup>有异曲同工之妙,只是双层嵌套放射环注重的是两个不同的方面。

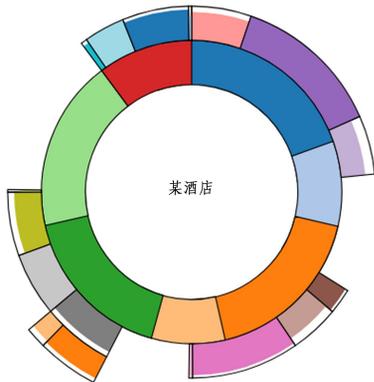


图2 旭日图与柱形图结合的效果图

Fig.2 Combining sunburst with histogram

### 3.3 数据优化重排

为了更好地解释数据的优化重排,首先定义如下概念。

- 1) 叶节点:没有子节点的节点,即是旭日图最外层的节点。
- 2) 根节点:旭日图最内层的节点。
- 3) 深度:每个根节点的子节点的层数。

4) 凸出:某根节点的深度与其同层级的其他根节点的平均深度差超过3。

根据旭日图的特点,分析关于数据的优化重排可以从两方面入手:1)从整体考虑,也就是在凸出节点的大小大于或等于总大小的一半时,进行节点稀疏排序,反之则将凸出节点调整至相邻的位置,以节约空间,使得相同大小的空间能够展示更多的内容;2)从局部考虑,通过在不是叶节点的中间穿插叶节点,使得节点稀疏,以便于观察其父节点信息,强化视觉效果。

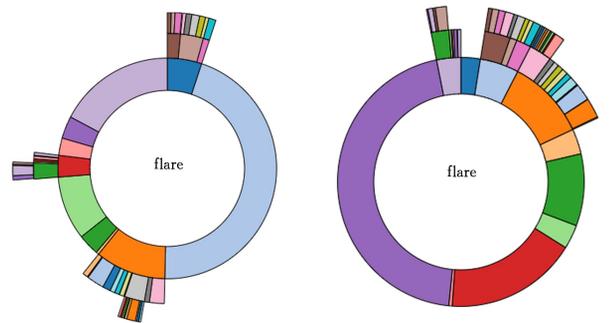
#### 3.3.1 整体优化重排

进行整体的优化时,首先要确定的是根节点数据需要的是稀疏或者并排。假设凸出的大小和为  $sumMore$ ,所有根节点的大小和为  $sum$ ,则重排标志  $IsSparse$  的计算公式如式(5)所示:

$$IsSparse = \begin{cases} 0, & \text{when } sumMore/sum < 0.5 \\ 1, & \text{when } sumMore/sum \geq 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

其中,当  $IsSparse=1$  时,表示根节点需要进行稀疏排序,使得深度不同的节点高低错落地排列,以减少因为节点邻接而造成的视觉误差,排序的操作与局部优化的排序操作原理一样,详细步骤请参见3.3.2节;当  $IsSparse=0$  时,表示根节点需要进行并排操作,也就是将凸出的节点放在一起,将不是凸出的节点放在一起。

对整体进行优化重排和未进行优化重排的对比效果如图3所示。从对比图中可以看出,在未进行优化重排时,因为有3个凸出,图形占用较大面积,导致很多空白区域没有被使用,因此当展示空间一定时,必定会影响图形的清晰度。在进行了数据优化重排后,3个凸出变成邻近位置,节约了空间,也使得图形更圆滑,在展示空间较小时也能够清晰地展示所有节点<sup>[16]</sup>。



(a) 对数据未进行优化重排的效果 (b) 对数据进行优化重排后的效果

图3 数据优化重排的对比

Fig.3 Data optimization rearrangement comparison

#### 3.3.2 局部优化重排

通过对旭日图的特性进行分析发现,旭日图最外层的叶子节点准确地表达了数据的具体信息,而层次关系只是表达了数据的结构信息<sup>[17]</sup>。那么,对叶子节点进行准确识别就显得非常重要,而旭日图的布局使得最外层的信息越细化,越不易观察<sup>[18]</sup>。为了度量易于观察的程度,本文提出了清晰度的概念。清晰不是指不模糊,而是能够直观地看出来,在旭日图的应用中定义为其父节点的左右邻接节点是叶子节点,那么这个节点在图中就是清晰的。清晰度是度量清晰节点的指

标,其定义如式(6)所示:

$$Legibility = \frac{\sum_{i=1}^m Nsize_i \times (PaL_i + PaR_i)}{\sum_{j=1}^m Nsize_j} \quad (6)$$

其中,  $m$  是旭日图最外圈的节点数目,也就是叶子节点的数目;在  $m$  个节点中的  $i$  节点  $Node_i$  的大小为  $Nsize_i$ ,表示  $Node_i$  的父节点的左邻接节点情况; $PaR_i$  表示  $Node_i$  的父节点的右邻接节点情况,当父节点的右邻接节点是叶子节点或者没有右邻接节点时, $PaR_i = 0.5$ ,当父节点的邻接节点不是叶子节点时, $PaR_i = 0$ ; $PaL_i$  表示  $Node_i$  的父节点的左邻接节点情况,当父节点的左邻接节点是叶子节点或者没有左邻接节点时, $PaL_i = 0.5$ ,当父节点的左邻接节点不是叶子节点时, $PaL_i = 0$ 。

为保证旭日图的易读性最好,须使得  $Legibility$  取最大值。假设要求的易读性为  $LegibilityM$ ,那么其计算式如式(7)所示:

$$LegibilityM = F(Legibility) \quad (7)$$

其中,  $F$  是对  $Legibility$  求最优化的函数。可以发现,当  $LegibilityM$  的值确定后,就会得出最优化的布局,也就是在旭日图最外圈的数据具有最大的稀疏性,最便于用户查看。

局部优化重排分为 4 步:

- 1) 将所有数据按照大小进行排序;
- 2) 找到可以进行稀疏排序的层;
- 3) 将所有非叶子节点放在前半部分,叶子节点放在后半部分;
- 4) 将非叶子节点和叶子节点进行交叉排列。

从上述步骤中可以发现,在进行稀疏排序之前,先根据每个节点的大小进行排序,这样做可以在一定程度上保持数据的有序性,使得数据的整体分布呈现一定的规律性,从而增强用户体验。局部数据重排前后的效果对比如图 4 所示,从中可以清晰地看到,经过数据重排后,节点的展示更加稀疏、直观和清晰。

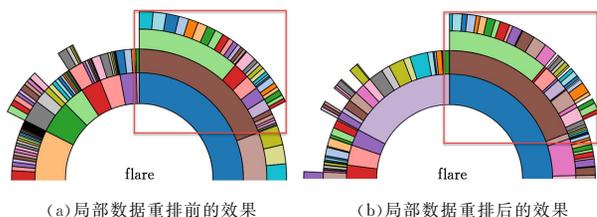


图 4 局部数据重排的对比

Fig. 4 Local data rearrangement comparison

### 3.4 交互设计

交互式数据可视化鼓励用户探索甚至操纵数据,以发现数据的内在规律和隐含的未知知识,这就为用户进行探索性数据分析提供了更好的决策支持;另外,良好的交互设计还能够提供更好的用户体验。

#### 3.4.1 详情展示设计

$Node_i$  的数据大小表示为  $Nsize_i$ ,它在整个旭日图中的数据占比为  $DR_i$ ,而在图形中没有直观的数字表示,而且节点的名称在图中的显示会显得杂乱且不易观察,在图中没有节点名称信息,因此需要一定的交互来显示详细信息。当鼠标移动到  $Node_i$  时,页面的左上方显示出了节点信息,包括节点

到根节点的序列、名称以及  $Nsize_i$  在整个数据中的占比,并高亮显示了当前节点及其路径节点。在展示节点名称时,由于名称长度不确定,因此在显示时字号为  $FS$ ,其计算公式如式(8)所示:

$$FS = \frac{stdLength}{length} \times stdSize \quad (8)$$

其中,  $stdLength$  是进行缩小处理的标准线,  $length$  是节点的名称长度,  $stdSize$  是指不进行缩小的标准字号大小。详情展示效果如图 5 所示,从图中可以看出字号大小根据名称长度做了相应调整,使得文字完全展示在框内,不会造成杂乱的视觉效果。

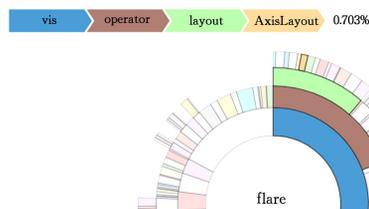
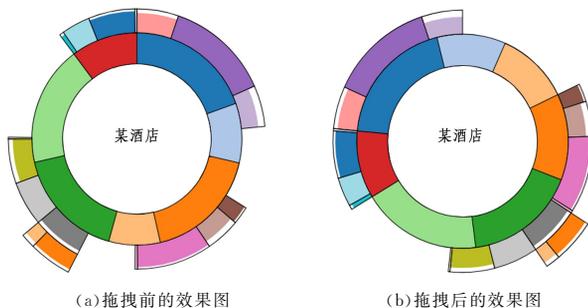


图 5 详情展示图

Fig. 5 Detailed illustration

#### 3.4.2 鼠标拖拽设计

3.1 节介绍了利用旭日图对同层级实体关系进行展示,从上文的描述中可以看出一种形态的旭日图只能展示两两之间的关系。假设同层级的实体有  $Node_1, Node_2, \dots, Node_i, \dots, Node_n$ ,这样的排列只能表示  $Node_i$  与  $Node_{i-1}$  和  $Node_{i+1}$  的关系,而不能展示其他关系。因此,本文设计了鼠标的拖拽交互,通过拖拽调整节点的排列顺序,使得与其他节点的关系都能通过交互来展示。拖拽交互的效果对比如图 6 所示,将图 6(a)中下方的杏色圆弧往逆时针方向拖拽,使其与相邻的橙灰色圆弧交换位置,得到如图 6(b)所示的展示效果。



(a) 拖拽前的效果图

(b) 拖拽后的效果图

图 6 拖拽交互效果对比图(电子版为彩色)

Fig. 6 Drag interaction effect comparison

#### 3.4.3 鼠标双击设计

旭日图是一个层级图,对于从内到外的第一层,可以直观地看到各部分的占比情况;但是对于较外的层,每个节点的子节点占比就不是很明显。分析旭日图的数据结构后可以发现其是一个多叉树的结构,每个节点也可以作为一个新的根节点。对于这样的数据结构特性,设计鼠标双击的交互设计,使得点击的节点  $Node_i$  的子节点数据也有更完整、清晰的展示,双击中心的空白区域又回到上次展示的数据层,这样展示使得数据的层次结构能够更容易被探索<sup>[18]</sup>。其效果图展示如图 7 所示,点击原图左下角的圆弧,从而得到其子数据的展示。

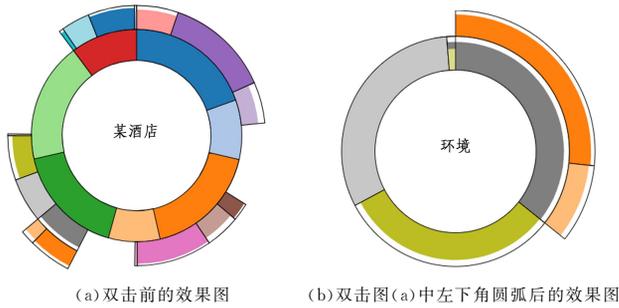


图7 双击展示子结构数据的效果图

Fig. 7 Double-click display substructure data rendering

**结束语** 本文旨在研究评论文本数据怎样在旭日图中得到更好的可视化展示,在探索用旭日图来展示评论文本数据时发现:其虽然可以展示文本中实体的层次关系,但是不能展示同层级实体之间的关系,也没有能够展示评论中与情感倾向相关的设计。本文针对上述问题,对传统的旭日图做了一定的改进。首先,设计了同层级相邻圆弧的部分交叠来表示实体间的相似度,并且结合鼠标拖拽的交互来探索各个实体之间的相似度。其次,针对评论文本中的情感倾向,提出了在旭日图中嵌入柱形图的展示方式,柱形的高度就是对圆弧的涂色宽度,即是用户对酒店某方面评论的满意度。另一方面,旭日图的层级越多,最外层的节点就越多,展示效果就越不清晰。为了使旭日图能清晰地展示更多的数据,从整体和局部两方面对数据进行了优化重排,以达到既不浪费空间又能够尽可能清晰地展示所有节点的目的。经验证,改进后的旭日图对评论文本数据有较好的展示效果。

本文在对数据进行局部优化重排时,只考虑了一个节点的子节点内部排序,没有结合相邻节点的子节点进行综合排序,因此某些可以完全清晰展示的节点却因为相邻节点的子节点邻接而不能更加直观清晰。因此,下一步准备对数据重排工作进行进一步优化,使得其能够在整个旭日图中得到充分的优化,最大限度地使所有叶子节点清晰可见,以便于用户分析与决策。

## 参考文献

- [1] REN L, DU Y, MA S, et al. Visual analytics towards big data [J]. *Journal of Software*, 2014, 25(9):1909-1936. (in Chinese) 任磊, 杜一, 马帅, 等. 大数据可视分析综述[J]. *软件学报*, 2014, 25(9):1909-1936.
- [2] JOHNSON B. TreeViz: treemap visualization of hierarchically structured information[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 1992: 369-370.
- [3] STASKO J, ZHANG E. Focus+ context display and navigation techniques for enhancing radial, space-filling hierarchy visualizations[C]// *Proceedings of 2000 IEEE Symposium on Information Visualization*. IEEE, 2000: 57-65.
- [4] STASKO J, CATRAMBONE R, GUZDIAL M, et al. An evaluation of space-filling information visualizations for depicting hierarchical structures[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2000, 53(5): 663-694.
- [5] MÉDOC N, GHONIEM M, NADIF M. Exploratory analysis of text collections through visualization and hybrid biclustering [C]// *Proceedings of Joint European Conference on Machine*

- Learning and Knowledge Discovery in Databases*. Cham: Springer, 2016: 59-62.
- [6] ZHU Y, SUN L, GARBARINO A, et al. PathRings: A web-based tool for exploration of ortholog and expression data in biological pathways[J]. *BMC Bioinformatics*, 2015, 16(1): 165.
- [7] SENATHIRAJAH Y, WANG J, BORYCKI E M, et al. Mapping the Electronic Health Record: A method to study display fragmentation[C]// *Proceedings of the 16<sup>th</sup> World Congress on Medical and Health Informatics, Studies in Health Technology and Informatics*, 2017: 1138-1142.
- [8] CHEN Y, ZHANG X, FENG Y, et al. Sunburst with ordered nodes based on hierarchical clustering: A visual analyzing method for associated hierarchical pesticide residue data[J]. *Journal of Visualization*, 2015, 18(2): 237-254.
- [9] ZHOU J, LI Z, ZHANG Z, et al. Visual analytics of relations of Multi-Attributes in big infrastructure data[C]// *Proceedings of IEEE 2016 Big Data Visual Analytics (BDVA)*. Sydney: IEEE, 2016: 1-2.
- [10] HUSSEIN D M E D M. A survey on sentiment analysis challenges[J]. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 2018, 30(4): 330-338.
- [11] CERNEA D, WEBER C, EBERT A, et al. Emotion scents: A method of representing user emotions on gui widgets[C]// *Proceedings of Visualization and Data Analysis 2013*. International Society for Optics and Photonics, 2013.
- [12] LEE C, LUI S, SO C. Visualization of time-varying joint development of pitch and dynamics for speech emotion recognition [J]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2014, 135(4): 2422-2422.
- [13] LIAO Z, HE D, CHEN Z, et al. Exploring the Characteristics of Issue-Related Behaviors in GitHub Using Visualization Techniques[J]. *IEEE Access*, 2018, 6: 24003-24015.
- [14] SMITH A, HAWES T, MYERS M. Hierarchy: Visualization for hierarchical topic models[C]// *Proceedings of the Workshop on Interactive Language Learning, Visualization, and Interfaces*. Baltimore, Maryland, USA: Association for Computational Linguistics, 2014: 71-78.
- [15] LI H, CHEN H Q, DONG S, et al. Visualization of Double-Layer Radiation Ring Matrix for Professional Shunt Data[J]. *Computer Science*, 2017, 44(S1): 455-458. (in Chinese) 李慧, 陈红倩, 董爽, 等. 针对专业分流数据的双层放射环矩阵可视化[J]. *计算机科学*, 2017, 44(S1): 455-458.
- [16] ALTARAWNEH R, HUMAYOUN S R, AL-JAAFREH A. Towards Optimizing the Sunburst Visualization for Smart Mobile Devices[C]// *Proceedings of the 15th IFIP TC. 13 International Conference on Human-Computer Interaction-INTERACT 2015*. Bamberg: University of Bamberg Press, 2015: 2015323.
- [17] KUZNETSOVA I, LUGMAYR A, HOLZINGER A. Visualization Methods of Hierarchical Biological Data: A Survey and Review[J]. *International SERIES on Information Systems and Management in Creative eMedia (CreMedia)*, 2018, 2017(2): 32-39.
- [18] SZILAS N, MARANO M, ESTUPINAN S. A tool for interactive visualization of narrative acts[C]// *Proceedings of International Conference on Interactive Digital Storytelling*. Cham: Springer, 2018: 176-180.