



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110059232 A

(43)申请公布日 2019.07.26

(21)申请号 201910195684.8

(22)申请日 2019.03.15

(71)申请人 杭州电子科技大学

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园区2  
号大街

(72)发明人 王强 张丽婵 杨安宁

(74)专利代理机构 杭州君度专利代理事务所  
(特殊普通合伙) 33240

代理人 朱月芬

(51)Int.Cl.

G06F 16/9038(2019.01)

G06K 9/62(2006.01)

A61B 3/113(2006.01)

A61B 5/0402(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

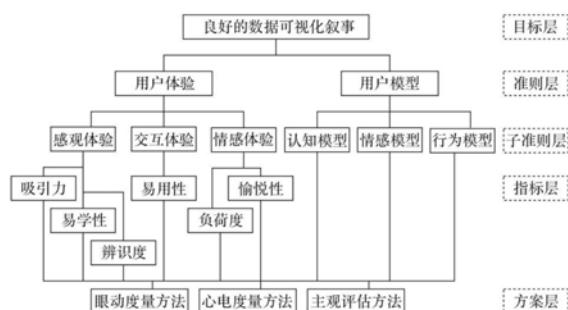
权利要求书3页 说明书11页 附图3页

(54)发明名称

一种基于用户体验度量的数据可视化方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于用户体验度量的数据可视化方法。本发明建立数据可视化叙事体验的度量模型。提出基于眼动研究和心电研究方法，并行嵌套研究方法的定性和定量相结合的研究方法。针对提出的研究方法搭建将眼动度量和心电度量结合到数据可视化叙事实例的实验过程中，提取体验指标的量化值，将实验分析结果应用于数据可视化叙事方法的优化与改进。本发明能够为数据可视化叙事研究领域创新性地引入心电度量方法和眼动度量方法，通过定性和定量结合的方法规避传统度量方法中普遍存在的主观误差。在眼动追踪数据分析中提出了基于探索性因子分析的空间域划分方法，为眼动追踪数据的兴趣区域划分提供了具有更高准确性的新方法。



1.一种基于用户体验度量的数据可视化方法,其特征在于包括如下步骤:

步骤1、数据可视化叙事体验的度量模型设计;

步骤2、眼动实验设计;

步骤3、心电实验设计;

步骤4、基于并行嵌套混合方法收集数据;

步骤5、基于统计学方法与可视化手段进行数据分析;针对提出的假设进行验证,分别对几组实验数据进行分析,得出分析结果;

步骤6、实例流程优化模型推导,根据分析结果论证实验假设,并提出相应数据可视化叙事优化方案,建立流程优化模型;

步骤1具体实现如下:

在分析用户体验影响因素间的相互关系及属性的基础上,按照目标层、方案层、准则层等递阶层次结构的基本原理构建数据可视化叙事体验度量模型该模型的具体的描述如下:

(1)建立模型的目标层:目标是根据评价指标综合反映数据可视化叙事体验不同层面的优劣,得到用户体验质量较好的数据可视化叙事应用的设计方法;

(2)建立模型的准则层:准则层针对用户认知与用户体验,其中用户体验包括感观体验、情感体验、内容体验、交互体验四个方面对应其子准则层,并有用户体验度量指标与其对应,构成指标层;

(3)建立模型的方案层:方案层是进行用户体验度量的对应方法。

2.根据权利要求1所述的一种基于用户体验度量的数据可视化方法,其特征在于步骤2所述的实验中首先为用户设定测试任务,具体实现如下:

针对数据可视化叙事体验度量的目标,设置基于用户的自由浏览的测试;通过预实验,比较几组受测者的实验时长,以确定执行实验时的任务持续时间;在自由浏览的任务结束后,用户进行有声思考回顾整个浏览过程,并进行用户访谈同时填写辅助的调查量表,从定性的角度辅助了解用户在任务过程中的认知情况,在数据分析阶段对眼动追踪数据进行补充;

眼动实验具体流程如下:

2-1.确定研究对象:根据数据可视化叙事的复杂程度将研究对象设定为特定数据可视化叙事中特定的几个章节;

2-2.对研究对象提出实验假设:

在对应的用户体验度量模型下,将数据可视化叙事的用户体验定量研究与目前数据可视化叙事体验的定性研究的常用方法采用并行嵌套的方法相整合,基于该数据可视化叙事实例提出以下假设:

从感观体验的角度:

H1:文本与可视化两部分布局对用户行为的影响体现出差异性;

H2:多种可视化视图;

H3:图例影响用户学习理解可视化的行为;

H4:控件分布及其隐喻对用户行为的影响体现差异性;

从交互体验的角度:

H5:受测者能够快速了解产品结构,并且找到可视化叙事的相关功能;

从情感体验的角度：

H6: 数据可视化叙事可以使受测者的情绪被唤起；

2-3. 基于探索性因子分析的眼动空间域划分：

(1) 根据眼动数据的热区图, 将实验对象预划分为若干个兴趣区域AOI; 在眼动实验将获得这些AOI的眼动指标的测量值, 包括注视点持续时间、注视时长总和、注视点个数; 由于眼动指标具有不同的测量单位, 因此需要先进行标准化处理, 再列为兴趣区域检测矩阵;

(2) 通过KMO检验, 检验因子分析是否充分, 需要检验值KMO>0.5;

(3) Bartlett检验, 检验总体相关系数矩阵是否为单位阵, 以判断该组数据是否适合进行因子分析, Bartlett检验统计量修正的似然比:

$$\chi^2 = -(n-1 - \frac{2p+5}{6}) \log|R| \quad (1)$$

其中, n是数据记录的条数, p是因子分析的变量数目, R是样本相关矩阵;

(4) 使用主成分分析法识别公共因子, 数据可视化叙事技术分类方法共有4种公共因子, 根据不同的研究对象取m个因子, 因子分析主成分解为:

$$\hat{L} = [\sqrt{\hat{\lambda}_1} e_1, \dots, \sqrt{\hat{\lambda}_m} e_m] \quad (2)$$

$$\hat{\Psi} = \text{diag}(S - L\hat{L}') = \text{diag}\{\hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_p\} \quad (3)$$

$$\hat{\psi}_i = s_{ii} - \sum_{j=1}^m \hat{l}_{ij} \quad (4)$$

其中, 样本相关矩阵R的主分量因子分析根据特征值-特征向量对  $(\lambda_i, e_i)$ ,  $i=1, \dots, p$  和  $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_p$ , 指定  $\hat{L}$  为估计因子载荷的矩阵,  $\hat{\Psi}$  为特殊因子方差, S为协方差矩阵,  $\hat{l}$  为第i个变量在第j个因子上的因子负荷;

基于不同m的拟合模型结果求:

$$\frac{\sum_{i=1}^m \hat{\lambda}_i}{\hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2 + \dots + \hat{\lambda}_p} \quad (5)$$

使结果达到最大即为最优因子个数;

根据公共因子分析的结果将选取的若干个AOI进行分类;

(5) 选用最大四次方法正交旋转法得到旋转成分矩阵, 其中的成分高的几项选择为最终的AOI, 具体实现如下:

记  $\hat{L}^* = (\hat{l}_{ij}^*)$  为旋转的因子负荷矩阵, 且令  $l_{ij}^* = \hat{l}_{ij}^* / h_i^*$ , 得:

$$V = \sum_{j=1}^p \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\{ \left( l_{ij}^* \right)^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( l_{ij}^* \right)^2 \right\}^2 \right] \quad (6)$$

其中, 其中  $l_{ij}^*$  为第i个变量在第j个因子上的因子负荷,  $h_i^*$  为共性方差, V达到最大时可以得到需要的旋转成分矩阵;

2-4. 确定被测者的数量和特征信息, 特征信息包括性别、年龄、教育程度, 同时要求被测者的生理条件符合要求, 即双眼视力正常, 无散光;

2-5. 选取眼动测量指标, 眼动测量指标包括眼动轨迹、注视点个数、注视时长; 根据每次实验要求选择能表征需要进行度量的用户体验指标的眼动测量指标;

2-6. 执行眼动测试, 测试需要分为预测试与执行测试两个阶段, 预测试为正式的执行测试排查出影响实验的问题;

2-7. 对采集到的眼动测量指标数据进行预处理, 使用滑动均值滤波来过滤噪声, 并采用插值方法进行数据补偿。

3. 根据权利要求2所述的一种基于用户体验度量的数据可视化方法, 其特征在于步骤3基于心电的实验设计具体步骤如下::

3-1. 静坐5分钟后, 记录受测者该时间段的心电信号, 以此心电信号数据用作后期数据处理参考标准;

3-2. 正式开始实验, 以时间为顺序记录心电信号数据;

3-3. 实验结束后取每5分钟为一段心电信号数据段, 每一个数据段通过数据处理得出一组实验数据与参考标准进行比较;

3-4. 使用小波去噪对采集到的心电信号数据进行预处理;

3-5. 对预处理后的心电信号数据, 分别计算其时域、频域及非线性指标。

4. 根据权利要求3所述的一种基于用户体验度量的数据可视化方法, 其特征在于步骤4具体实现如下:

结合并行嵌套研究方法的研究步骤和眼动、心电信号实验特点, 提出基于并行嵌套的数据可视化叙事系统用户体验度量方法模型, 其具体步骤为:

4-1. 通过定性研究帮助剔除定量采集数据中的异常值, 并通过研究异常值出现的原因, 决定是否剔除该数据或将该组数据纳入统计分析;

4-2. 通过定性研究辅助定量采集样本的筛选;

4-3. 通过定性研究提高定量研究分析结果的准确度, 眼动追踪数据分析中同一个结果可能是由不同的用户认知导致的, 长时间的注视可能是由于数据可视化叙事的吸引力, 也可能是由于用户难以提取信息, 定性研究辅助更准确的分析用户认知;

4-4. 通过定性研究提高定量研究分析结果的精度。

## 一种基于用户体验度量的数据可视化方法

### 技术领域

[0001] 本研究涉及一种基于用户体验度量的数据可视化方法,属于信息可视化领域,能够为数据信息传播、用户认知行为研究等众多领域跨学科研究提供理论和技术支持。

### 背景技术

[0002] 将数据集转化为亲和易于理解的图像,即数据可视化,是人类洞察数据内涵、理解数据蕴藏规律的重要手段,能将冗杂的数据集转化为亲和易于理解的图像。数据可视化综合运用了计算机图形学、图像处理、人机交互等技术,将数据转化为可识别的对象,向用户呈现有价值的信息,从而进一步获取知识和智慧,对信息时代的数据应用发展有着重要影响。

[0003] 本发明的目的是基于用户体验的核心思想,从用户出发,基于人机工程学和可用性原理,使数据可视化产品更符合受众习惯。虽然用户体验的研究起步较早,已有很多成熟的研究成果,但尚未能与数据可视化领域有很好的融合,以解决视觉表示和交互技术共生的数据可视化交互界面问题。目前,在针对可视化视觉表示领域,研究工作多注重用户视觉感知与认知,以形成了一些较为权威的设计原则,缺乏针对数据可视化系统中不同交互技术,特别是通过交互设计提升用户体验满意度的系统指导方法和设计原则。因此,根据数据可视化系统的自身特性,进行用户研究方法上的优化与改进,完善数据可视化系统中的交互设计理论,解决交互过程中数据如何传递到观众以及人们的感知和理解等关键问题显得尤为重要。同时,数据可视化与用户体验研究的有机结合,能帮助解决目前数据可视化领域内未满足用户需求而引发的问题,为趋近用户的心理预期的数据可视化系统设计提供有价值的指导方案,对未来数据可视化更全面的发展以及在不同领域应用具有重要意义。

### 发明内容

[0004] 本研究涉及一种基于生理信号数据对用户体验进行客观量化数据可视化研究方法,引入人机交互领域中理论与模型,并基于眼动追踪数据与生理信号数据的客观量化方法,结合主观自我评价,进行数据可视化叙事用户体验的度量研究,开展数据可视化系统中用户交互技术、用户需求外化构建、可用性测试以及迭代设计等研究,从而优化数据可视化叙事模型。以探索与推动用户的数据可视化系统体验不断趋近用户的心理预期。本发明解决其技术问题所采用的技术方案具体包括如下步骤:

- [0005] 步骤1、数据可视化叙事体验的度量模型设计;
- [0006] 步骤2、眼动实验设计;
- [0007] 步骤3、心电实验设计;
- [0008] 步骤4、基于并行嵌套混合方法收集数据;
- [0009] 步骤5、基于统计学方法与可视化手段进行数据分析;
- [0010] 步骤6、实例流程优化模型推导。
- [0011] 步骤1中,由于现阶段国内外对数据可视化叙事体验度量的缺少客观评估的量化

数据,设计能够将客观量化研究数据与传统主观质化研究数据结合的数据可视化叙事体验的度量模型是十分必要的。本发明在分析用户体验影响因素间的相互关系及属性的基础上,按照目标层、方案层、准则层等递阶层次结构的基本原理构建数据可视化叙事体验度量模型。该模型的具体的描述如下:

[0012] 1.建立模型的目标层,目标就是根据评价指标综合反映数据可视化叙事体验不同层面的优劣,得到用户体验质量较好的数据可视化叙事应用的设计方法。

[0013] 2.建立模型的准则层,准则层针对用户认知与用户体验,其中用户体验包括感观体验、情感体验、内容体验、交互体验四个方面对应其子准则层,并有用户体验度量指标与其对应,构成指标层。

[0014] 3.建立模型的方案层,方案层是进行用户体验度量的对应方法。

[0015] 步骤2、实验中首先为用户设定测试任务。

[0016] 针对数据可视化叙事体验度量的目标,设置基于用户的自由浏览的测试,只为用户设定模糊的任务目标。由用户在特定页面区域进行自由浏览。

[0017] 实验研究必须根据所研究的数据可视化叙事对象本身信息的复杂程度为用户设置一个自由浏览的时间限制。方法是通过预实验,比较几组受测者的实验时长,以确定执行实验时的任务持续时间。

[0018] 在自由浏览的任务结束后,请用户进行有声思考回顾自己的整个浏览过程,并进行用户访谈,填写辅助的调查量表,从定性的角度辅助了解用户在任务过程中的认知情况,在数据分析阶段对眼动追踪数据进行补充。眼动实验具体流程如下:

[0019] 2-1.确定研究对象,根据数据可视化叙事的复杂程度将研究对象设定为特定数据可视化叙事中特定的几个章节;

[0020] 2-2.对研究对象提出实验假设,例如本发明在对应的用户体验度量模型下,将数据可视化叙事的用户体验定量研究与目前数据可视化叙事体验的定性研究的常用方法采用并行嵌套的方法相整合,基于该数据可视化叙事实例提出以下假设:

[0021] 从感观体验的角度:

[0022] H1:文本与可视化两部分布局对用户行为的影响体现出差异性;

[0023] H2:多种可视化视图;

[0024] H3:图例影响用户学习理解可视化的行为;

[0025] H4:控件分布及其隐喻对用户行为的影响体现差异性。

[0026] 从交互体验的角度:

[0027] H5:受测者能够快速了解产品结构,并且找到可视化叙事的相关功能。

[0028] 从情感体验的角度:

[0029] H6:数据可视化叙事可以使受测者的情绪被唤起。

[0030] 2-3.基于探索性因子分析的眼动空间域划分,便于后期提取有效数据特征。根据眼动数据的热区图(Heat Map),将实验对象预划分为若干个兴趣区域(Area of Interest, AOI)。实验中根据热区图可以划分出9个AOI区域。将眼动实验中眼动实验获得这些AOI中的注视点持续时间、注视时长总和、注视点个数等10个眼动指标的测量值。

[0031] 眼动指标具有不同的测量单位,因此需要先进行标准化处理,再列为兴趣区域检测矩阵。

[0032] 通过KMO检验,检验因子分析是否充分,一般需要检验值 $KMO > 0.5$ 。Bartlett检验,检验总体相关系数矩阵是否为单位阵,以判断该组数据是否适合进行因子分析。

[0033] Bartlett检验统计量修正的似然比:

$$[0034] \chi^2 = -(n-1 - \frac{2p+5}{6}) \log|R| \quad (1)$$

[0035] 其中,n是数据记录的条数,p是因子分析的变量数目,R是样本相关矩阵。

[0036] 使用主成分分析法识别公共因子,数据可视化叙事技术分类方法共有4种公共因子,根据不同的研究对象取m个因子,因子分析主成分分解为:

$$[0037] \hat{L} = \left[ \sqrt{\hat{\lambda}_1} e_1, \dots, \sqrt{\hat{\lambda}_m} e_m \right] \quad (2)$$

$$[0038] \hat{\Psi} = diag(S - \hat{L}\hat{L}') = diag\{\hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_p\} \quad (3)$$

$$[0039] \hat{\psi}_i = s_{ii} - \sum_{j=1}^m \hat{l}_{ij} \quad (4)$$

[0040] 其中,样本相关矩阵R的主分量因子分析根据特征值-特征向量对 $(\lambda_i, e_i)$ , $i = 1, \dots, p$ 和 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_p$ 指定,  $\hat{L}$ 为估计因子载荷的矩阵,  $\hat{\Psi}$ 为特殊因子方差,S为协方差矩阵, $\hat{l}_{ij}$ 为第i个变量在第j个因子上的因子负荷。

[0041] 有的情况下为实验案例设置的公共因子个数并不明确,可以基于不同m的拟合模型结果求:

$$[0042] \frac{\sum_{i=1}^m \hat{\lambda}_i}{\hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2 + \dots + \hat{\lambda}_p} \quad (5)$$

[0043] 使结果达到最大即为最优因子个数。

[0044] 根据公共因子分析的结果将选取的若干个AOI进行分类;

[0045] 选用最大四次方法正交旋转法(Quartimax),该方法可以保留每个变量在该因子上都有高负荷的overall因子,使得解释每个变量所需的因子最少,经检验可以满足本次实验目标。旋转后的因子仍然保持独立性,旋转迭代至收敛,得到旋转成分矩阵,其中的成分高的几项选择为最终的AOI,具体实现如下:

[0046] 记 $\hat{L}^* = (\hat{l}_{ij}^*)$ 为旋转的因子负荷矩阵,且令 $l_{ij}^* = \hat{l}_{ij}^* / h_i^*$ ,得:

$$[0047] V = \sum_{j=1}^p \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\{ \left( l_{ij}^* \right)^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( l_{ij}^* \right)^2 \right\}^2 \right] \quad (6)$$

[0048] 其中,其中,其中 $l_{ij}^*$ 为第i个变量在第j个因子上的因子负荷, $h_i^*$ 为共性方差,V达到最大时可以得到需要的旋转成分矩阵。

[0049] 2-4.确定被测者的数量和特征信息,如性别、年龄、教育程度等。根据用户研究的相关理论,在实验前,必须保证被选取的目标人群适合本实验。由于眼动追踪设备的限制,

还需要考察被试的生理条件是否符合实验要求,受测者要求双眼视力正常,无散光。

[0050] 2-5.选取合适的眼动测量指标,如眼动轨迹、注视点个数、注视时长等,用户体验是多方面的,每次实验应选择能表征需要进行度量的用户体验指标的眼动测量指标。

[0051] 2-6.执行眼动测试,测试需要分为预测试与执行测试两个阶段,预测试为正式的执行测试排查出影响实验的问题。

[0052] 2-7.对采集到的眼动测量指标数据进行预处理。在数据预处理阶段,通常使用滑动均值滤波来过滤噪声。滑动均值滤波以邻域平均法为基础,通过不断的取间隔内的平均值替换原本序列值剔除噪声,而滑动均值滤波的过滤效果会受其所取的窗口大小的影响,一般眼动数据的降噪中将窗口大小控制在3左右。除了噪音,还会出现数据丢失的情况,采用较为普遍的插值方法进行数据补偿。

[0053] 步骤3、根据心电信号的研究显示,短期的心理信号检测持续时长需要在五分钟以上,因此针对数据可视化叙事的心电实验需要通过预实验了解用户实验情况,并通过对实验对象的筛选与处理控制实验持续时长。

[0054] 基于心电的实验设计具体步骤为:

[0055] 3-1.静坐5分钟后,记录受测者该时间段的心电信号,以此数据用作后期数据处理参考标准;

[0056] 3-2.正式开始实验,以时间为顺序记录心电信号数据。

[0057] 3-3.实验结束后取每5分钟为一段心电信号数据段,每一个数据段通过数据处理得出一组实验数据与参考标准进行比较。

[0058] 3-4.使用小波去噪对采集到的心电信号数据进行预处理,小波去噪能有效去除心电信号中的白噪声,对于提取皮电信号中的有效部分也有很好的效果。

[0059] 小波去噪方法主要包含以下几个步骤:

[0060] (1)对原始数据进行小波变换;

[0061] (2)通过进行阈值处理以剔除噪声;

[0062] (3)进行小波逆变换,得到所需的去噪数据。

[0063] 3-5.对预处理后的心电信号数据,分别计算其时域、频域及非线性指标。

[0064] 步骤4、并行嵌套方法应用于数据可视化叙事的体验研究,是为了增加数据源的解释度,以一种范式的研究数据源辅以另一种范式的数据,即将一种数据嵌入到另一种数据的框架和结构中,在本发明中体现为以定量的眼动追踪与心电信号研究方法,辅以定性的用户主观评价方法。本发明结合并行嵌套研究方法的研究步骤和眼动、心电信号实验特点,提出基于并行嵌套的数据可视化叙事系统用户体验度量方法模型,其具体步骤为:

[0065] 4-1.通过定性研究帮助剔除定量采集数据中的异常值,例如某个区域眼动追踪数据缺失。通过研究异常值出现的原因,是用户主观意愿不进行此区域浏览,还是可视化叙事不足造成的遗漏,可以决定是否剔除该数据或将该组数据纳入统计分析。

[0066] 4-2.通过定性研究辅助定量采集样本的筛选。例如对于一组试验前后有显著性变化的HRV指标,与用户的情绪量表采集结果对比,将其中符合实验探究用户积极情绪目的的样本选取出来。

[0067] 4-3.通过定性研究提高定量研究分析结果的准确度,例如眼动追踪数据分析中同一个结果可能是由不同的用户认知导致的,长时间的注视可能是由于数据可视化叙事的吸

引力,也可能是由于用户难以提取信息,定性研究辅助更准确的分析用户认知。

[0068] 4-4.通过定性研究提高定量研究分析结果的精度。例如对于一组分析结果为积极情绪唤起的HRV量化数据,但HRV测量指标的一般以5分钟以上为一段进行处理。通过与用户的访谈与发声思维回顾可以进一步探究数据可视化叙事中用户的情绪最高点的更精确时间。

[0069] 步骤5中、基于统计学方法与可视化手段进行数据分析。针对提出的假设进行验证,分别对几组实验数据进行分析,得出分析结果;

[0070] 步骤6中、根据分析结果论证实验假设,并提出相应数据可视化叙事优化方案,建立流程优化模型。

[0071] 本发明有效果如下:

[0072] 本发明建立了数据可视化叙事的体验度量模型,采用眼动及心电信号对用户行为进行定量研究,创新性地提出基于探索性因子分析的空间域划分方法,可以有效提取用户眼动信息;提出基于并行嵌套的数据可视化叙事系统用户体验度量方法,高效地整合采集的量化数据与质化数据;采用统计学方法与可视化方法进行数据分析,得到若干创新结果并应用于相关数据可视化叙事方法的改进;提出基于用户反馈的视觉数据故事开发设计流程优化模型,为视觉数据故事的开发提供相应指导。

## 附图说明

[0073] 图1.数据可视化叙事体验的度量模型,由目标层、准则层、指标层和方案层构成,模型中上一层次和下一层次之间的联系通过作用线表示;

[0074] 图2.基于眼动追踪的研究方法;

[0075] 图3.基于心电信号的研究方法;

[0076] 图4.基于并行嵌套混合搭建用户体验度量方法模型,其中QUAN 定量研究,QUAL为定性研究;

[0077] 图5.数据可视化叙事流程优化模型示意图;

## 具体实施方式

[0078] 下面结合附图对本发明所述技术方案的实施方式作进一步的详细描述。

[0079] 1、如图1所示,在分析用户体验影响因素间的相互关系及属性的基础上,按照目标层、方案层、准则层等递阶层次结构的基本原理构建数据可视化叙事体验度量模型;

[0080] 2、如图2所示,设计眼动追踪数据度量用户体验研究方法;

[0081] 3、如图3所示,设计心电信号数据度量用户体验研究方法;

[0082] 4、如图4所示,基于并行嵌套混合搭建用户体验度量方法模型;

[0083] 5、如图5所示,建立数据可视化叙事产品的开发设计模型。

[0084] 步骤1、数据可视化叙事体验的度量模型设计;

[0085] 步骤2、眼动实验设计;

[0086] 步骤3、心电实验设计;

[0087] 步骤4、基于并行嵌套混合方法收集数据;

[0088] 步骤5、基于统计学方法与可视化手段进行数据分析;

[0089] 步骤6、实例流程优化模型推导。

[0090] 步骤1中,由于现阶段国内外对数据可视化叙事体验度量的缺少客观评估的量化数据,设计能够将客观量化研究数据与传统主观质化研究数据结合的数据可视化叙事体验的度量模型是十分必要的。本发明在分析用户体验影响因素间的相互关系及属性的基础上,按照目标层、方案层、准则层等递阶层次结构的基本原理构建数据可视化叙事体验度量模型。该模型的具体的描述如下:

[0091] 1.建立模型的目标层,目标就是根据评价指标综合反映数据可视化叙事体验不同层面的优劣,得到用户体验质量较好的数据可视化叙事应用的设计方法。

[0092] 2.建立模型的准则层,准则层针对用户认知与用户体验,其中用户体验包括感观体验、情感体验、内容体验、交互体验四个方面对应其子准则层,并有用户体验度量指标与其对应,构成指标层。

[0093] 3.建立模型的方案层,方案层是进行用户体验度量的对应方法。

[0094] 步骤2、实验中首先为用户设定测试任务。

[0095] 针对数据可视化叙事体验度量的目标,设置基于用户的自由浏览的测试,只为用户设定模糊的任务目标。由用户在特定页面区域进行自由浏览。

[0096] 实验研究必须根据所研究的数据可视化叙事对象本身信息的复杂程度为用户设置一个自由浏览的时间限制。方法是通过预实验,比较几组受测者的实验时长,以确定执行实验时的任务持续时间。

[0097] 在自由浏览的任务结束后,请用户进行有声思考回顾自己的整个浏览过程,并进行用户访谈,填写辅助的调查量表,从定性的角度辅助了解用户在任务过程中的认知情况,在数据分析阶段对眼动追踪数据进行补充。眼动实验具体流程如下:

[0098] 2-1.确定研究对象,根据数据可视化叙事的复杂程度将研究对象设定为特定数据可视化叙事中特定的几个章节;本次实验的对象是数据可视化叙事网站The Stories Behind a Line;

[0099] 2-2.对研究对象提出实验假设,例如本发明在对应的用户体验度量模型下,将数据可视化叙事的用户体验定量研究与目前数据可视化叙事体验的定性研究的常用方法采用并行嵌套的方法相整合,基于该数据可视化叙事实例提出以下假设:

[0100] 从感观体验的角度:

[0101] H1:文本与可视化两部分布局对用户行为的影响体现出差异性;

[0102] H2:多种可视化视图;

[0103] H3:图例影响用户学习理解可视化的行为;

[0104] H4:控件分布及其隐喻对用户行为的影响体现差异性。

[0105] 从交互体验的角度:

[0106] H5:受测者能够快速了解产品结构,并且找到可视化叙事的相关功能。

[0107] 从情感体验的角度:

[0108] H6:数据可视化叙事可以使受测者的情绪被唤起。

[0109] 2-3.基于探索性因子分析的眼动空间域划分,便于后期提取有效数据特征。根据眼动数据的热区图(Heat Map),将实验对象预划分为若干个兴趣区域(Area of Interest, AOI)。实验中根据热区图可以划分出9个AOI区域。将眼动实验中眼动实验获得这些AOI中的

注视点持续时间、注视时长总和、注视点个数等10个眼动指标的测量值。

[0110] 眼动指标具有不同的测量单位,因此需要先进行标准化处理,再列为兴趣区域检测矩阵。

[0111] 通过KMO检验,检验因子分析是否充分,一般需要检验值 $KMO > 0.5$ 。Bartlett检验,检验总体相关系数矩阵是否为单位阵,以判断该组数据是否适合进行因子分析。

[0112] Bartlett检验统计量修正的似然比:

$$[0113] \chi^2 = -(n-1 - \frac{2p+5}{6}) \log|R| \quad (1)$$

[0114] 其中,n是数据记录的条数,p是因子分析的变量数目,R是样本相关矩阵。

[0115] 检验结果如下表4.1所示,KMO值介于0.6与0.7之间,可以进行因子分析,Bartlett检验统计量显著,表明因子分析方法在该过程中可以有效使用。

	KMO 值	0.61
	近似卡方	342.229
[0116]	Bartlett 球形度检验	df P 值
		45 0.000

[0117] 使用主成分分析法识别公共因子,数据可视化叙事技术分类方法共有4种公共因子,根据不同的研究对象取m个因子,因子分析主成分分解为:

$$[0118] \hat{L} = \left[ \sqrt{\hat{\lambda}_1} e_1, \dots, \sqrt{\hat{\lambda}_m} e_m \right] \quad (2)$$

$$[0119] \hat{\Psi} = diag(S - \hat{L}\hat{L}') = diag\{\hat{\psi}_1, \dots, \hat{\psi}_p\} \quad (3)$$

$$[0120] \hat{\psi}_i = s_{ii} - \sum_{j=1}^m \hat{l}_{ij} \quad (4)$$

[0121] 其中,样本相关矩阵R的主分量因子分析根据特征值-特征向量对 $(\lambda_i, e_i)$ , $i = 1, \dots, p$ 和 $\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots \leq \lambda_p$ 指定 $\hat{L}$ 为估计因子载荷的矩阵, $\hat{\Psi}$ 为特殊因子方差,S为协方差矩阵, $\hat{l}$ 为第i个变量在第j个因子上的因子负荷。

[0122] 有的情况下为实验案例设置的公共因子个数并不明确,可以基于不同m的拟合模型结果求:

$$[0123] \frac{\sum_{i=1}^m \hat{\lambda}_i}{\hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2 + \dots + \hat{\lambda}_p} \quad (5)$$

[0124] 使结果达到最大即为最优因子个数。

[0125] 根据公共因子分析的结果将选取的若干个AOI进行分类;

[0126] 选用最大四次方法正交旋转法(Quartimax),该方法可以保留每个变量在该因子上都有高负荷的overall因子,使得解释每个变量所需的因子最少,经检验可以满足本次实验目标。旋转后的因子仍然保持独立性,旋转迭代至收敛,得到旋转成分矩阵,其中的成分

高的几项选择为最终的AOI,具体实现如下:

[0127] 记  $\hat{L}^* = (\hat{l}_{ij}^*)$  为旋转的因子负荷矩阵,且令  $l_{ij}^* = \hat{l}_{ij}^* / h_i^*$ ,得:

$$[0128] V = \sum_{j=1}^p \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\{ \left( l_{ij}^* \right)^2 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( l_{ij}^* \right)^2 \right\}^2 \right] \quad (6)$$

[0129] 其中,其中,其中  $l_{ij}^*$  为第i个变量在第j个因子上的因子负荷,  $h_i^*$  为共性方差,V达到最大时可以得到需要的旋转成分矩阵。

[0130]	区域	成分	
		成分1	成分2
	Text1	0. 076	0. 438*
	Text2	-0. 049	0. 667*
	Navigation	0. 121	-0. 015
	Vis1	0. 125	-0. 008
[0131]	Vis2	0. 124	-0. 015
	Vis3	0. 091	0. 145*
	Vis4	0. 126	-0. 033
	Vis5	0. 126	-0. 11
	Vis6	0. 127	-0. 087
	Blank	0. 126	-0. 034

[0132] 注:最终实验中所选择的AOI标注\*

[0133] 2-4.确定被测者的数量和特征信息,如性别、年龄、教育程度等。根据用户研究的相关理论,在实验前,必须保证被选取的目标人群适合本实验。由于眼动追踪设备的限制,还需要考察被试的生理条件是否符合实验要求,受测者要求双眼视力正常,无散光。

[0134] 2-5.选取合适的眼动测量指标,如眼动轨迹、注视点个数、注视时长等,用户体验是多方面的,每次实验应选择能表征需要进行度量的用户体验指标的眼动测量指标。

[0135] 2-6.执行眼动测试,测试需要分为预测试与执行测试两个阶段,预测试为正式的执行测试排查出影响实验的问题。

[0136] 2-7.对采集到的眼动测量指标数据进行预处理。在数据预处理阶段,通常使用滑动均值滤波来过滤噪声。滑动均值滤波以邻域平均法为基础,通过不断的取间隔内的平均值替换原本序列值剔除噪声,而滑动均值滤波的过滤效果会受其所取的窗口大小的影响,一般眼动数据的降噪中将窗口大小控制在3左右。除了噪音,还会出现数据丢失的情况,采用较为普遍的插值方法进行数据补偿。

[0137] 步骤3、根据心电信号的研究显示,短期的心理信号检测持续时长需要在五分钟以上,因此针对数据可视化叙事的心电实验需要通过预实验了解用户实验情况,并通过对实验对象的筛选与处理控制实验持续时长。

[0138] 基于心电的实验设计具体步骤为:

[0139] 3-1. 静坐5分钟后,记录受测者该时间段的心电信号,以此数据用作后期数据处理参考标准;

[0140] 3-2. 正式开始实验,以时间为顺序记录心电信号数据。

[0141] 3-3. 实验结束后取每5分钟为一段心电信号数据段,每一个数据段通过数据处理得出一组实验数据与参考标准进行比较。

[0142] 3-4. 使用小波去噪对采集到的心电信号数据进行预处理,小波去噪能有效去除心电信号中的白噪声,对于提取皮电信号中的有效部分也有很好的效果。

[0143] 小波去噪方法主要包含以下几个步骤:

[0144] (1)对原始数据进行小波变换;

[0145] (2)通过进行阈值处理以剔除噪声;

[0146] (3)进行小波逆变换,得到所需的去噪数据。

[0147] 3-5. 对预处理后的心电信号数据,分别计算其时域、频域及非线性指标。

[0148] 本发明采用SDNN来评价自主神经系统受损与恢复的总体程度,LF,LFnorm为交感神经活性指标,HF,HFnorm为副交感神经活性指标,R-R间期序列以及R波峰值序列的C0复杂度则反映心脏交感神经和迷走神经互相调节的程度。从而对所选择的心电指标进行用户情感唤起的评价,在5%显著性水平接受方差检验,分析结果如下表所示:

[0149]	指标	方差检验	
		F	P
	SDNN	6. 92	0. 009
	LF	4. 697	0. 037
	LFnorm	7. 675	0. 008
	HF	1. 033	0. 317
[0150]	HFnorm	3. 935	0. 056
	LF/HF	12. 178	0. 001
	RRC0	3. 481	0. 083
	RSC0	2. 233	0. 159

[0151] 由结果可知,LF,LFnorm,LF/HF这几类相关联的频域指标存在显著变化,SDNN实验前后变化也十分显著。根据心电信号产生的理论基础可以分析得出:

[0152] ①交感神经活性指标LF与LFnorm

[0153] LF指标所表征的交感神经在数据可视化叙事系统的浏览过程中活性存在显著变化,LFnorm指标显著上升。依据此组数据可以判断阅读过程中用户存在情感唤起的情况,而

产生情感变化的具体原因则需要通过与用户的访谈确定。

[0154] ②副交感神经活性指标HF与HF<sub>norm</sub>

[0155] 实验前后用户发HF<sub>norm</sub>有所上升但变化并不显著,而HF<sub>norm</sub>指标会受LF指标的影响,因其上升而有所下降,此结果,也可以用于支持上一结论。

[0156] ③交感/副交感平衡性指标LF/HF

[0157] 由于交感神经活性增加实验中该组数值上升趋势明显。

[0158] 步骤4、并行嵌套方法应用于数据可视化叙事的体验研究,是为了增加数据源的解释度,以一种范式的研究数据源辅以另一种范式的数据,即将一种数据嵌入到另一种数据的框架和结构中,在本发明中体现为以定量的眼动追踪与心电信号研究方法,辅以定性的用户主观评价方法。采用并行嵌套混合方法进行定量数据收集,根据该方法建立的用户体验度量方法模型如图4所示,为在数据采集阶段进行定量的数据收集,有眼动追踪数据、心电HRV数据、交互统计量等,定性的数据通过文献阅读、用户问卷访谈、发生思维等方法采集,具体实施步骤为:

[0159] 4-1.通过定性研究帮助剔除定量采集数据中的异常值,例如某个区域眼动追踪数据缺失。通过研究异常值出现的原因,是用户主观意愿不进行此区域浏览,还是可视化叙事不足造成的遗漏,可以决定是否剔除该数据或将该组数据纳入统计分析。

[0160] 4-2.通过定性研究辅助定量采集样本的筛选。例如对于一组试验前后有显著性变化的HRV指标,与用户的情绪量表采集结果对比,将其中符合实验探究用户积极情绪目的的样本选取出来。

[0161] 4-3.通过定性研究提高定量研究分析结果的准确度,例如眼动追踪数据分析中同一个结果可能是由不同的用户认知导致的,长时间的注视可能是由于数据可视化叙事的吸引力,也可能是由于用户难以提取信息,定性研究辅助更准确的分析用户认知。

[0162] 4-4.通过定性研究提高定量研究分析结果的精度。例如对于一组分析结果为积极情绪唤起的HRV量化数据,但HRV测量指标的一般以5分钟以上为一段进行处理。通过与用户的访谈与发声思维回顾可以进一步探究数据可视化叙事中用户的情绪最高点的更精确时间。

[0163] 步骤5中、基于统计学方法与可视化手段进行数据分析。针对提出的假设进行验证,分别对几组实验数据进行分析,得出分析结果;分别对以下几组实验数据进行分析,并提出相应优化方案:

[0164] 1)文本与可视化对用户行为影响分析

[0165] 2)不同可视化模式对用户行为影响分析

[0166] 3)图例与可视化易学性的相关性分析

[0167] 4)控件分布及其隐喻对用户行为的影响分析

[0168] 5)系统对用户情绪唤起分析

[0169] 6)系统易用性对用户行为影响分析

[0170] 步骤6中、根据分析结果论证实验假设,并提出相应数据可视化叙事优化方案,建立流程优化模型。具体优化模型示意图如图5所示。

[0171] 综上所述,本发明建立了数据可视化叙事的体验度量模型,采用眼动及心电信号对用户行为进行定量研究,创新性地提出基于探索性因子分析的空间域划分方法,可以有

效提取用户眼动信息；提出基于并行嵌套的数据可视化叙事系统用户体验度量方法，高效地整合采集的量化数据与质化数据；采用统计学方法与可视化方法进行数据分析，得到若干创新结果并应用于相关数据可视化叙事方法的改进；提出基于用户反馈的视觉数据故事开发设计流程优化模型，为视觉数据故事的开发提供相应指导。

[0172] 最后应说明的是：以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，尽管按照前述实施例对本发明进行了详细的说明，对于本领域的技术人员来说，依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

[0173] 以上描述了本发明的基本原理和主要特征以及本发明的优点。本行业技术人员应该了解，本发明不受上述实施例的限制，上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理，在不脱离本发明精神和范围的前提下，本发明还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。

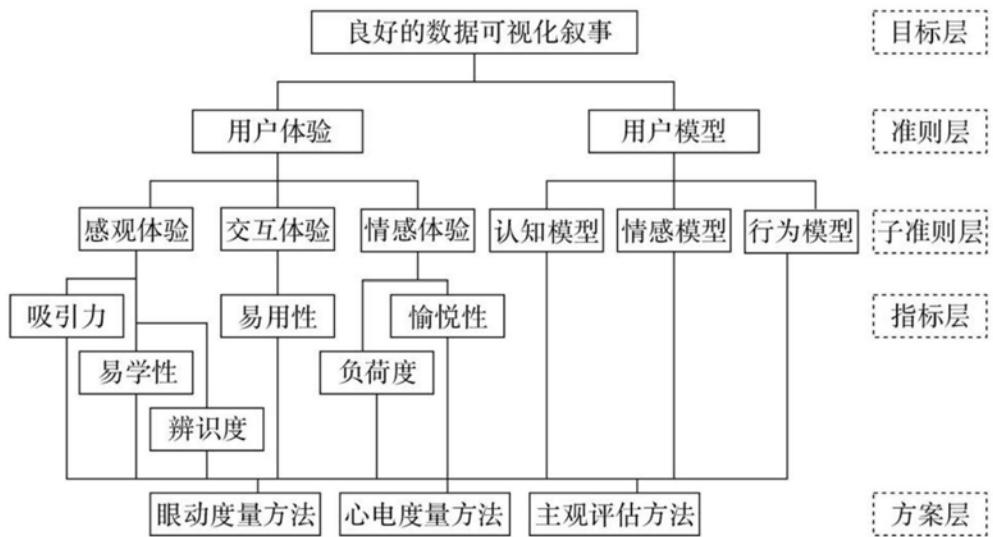


图1

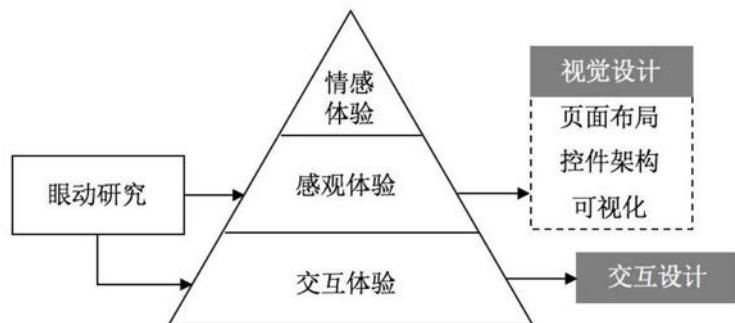


图2

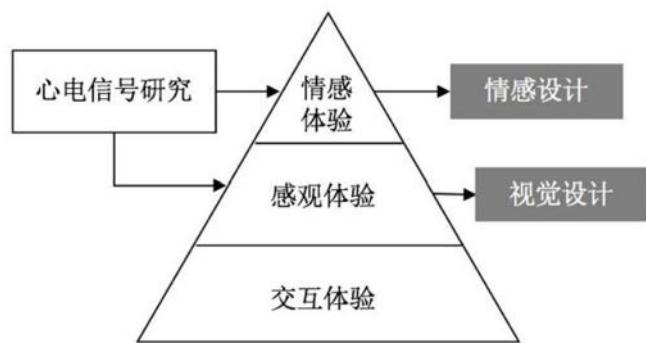


图3

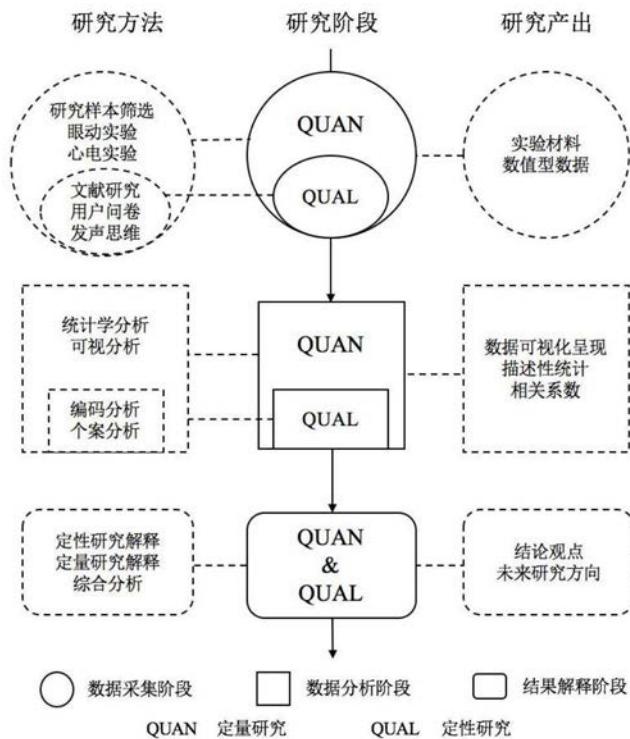


图4

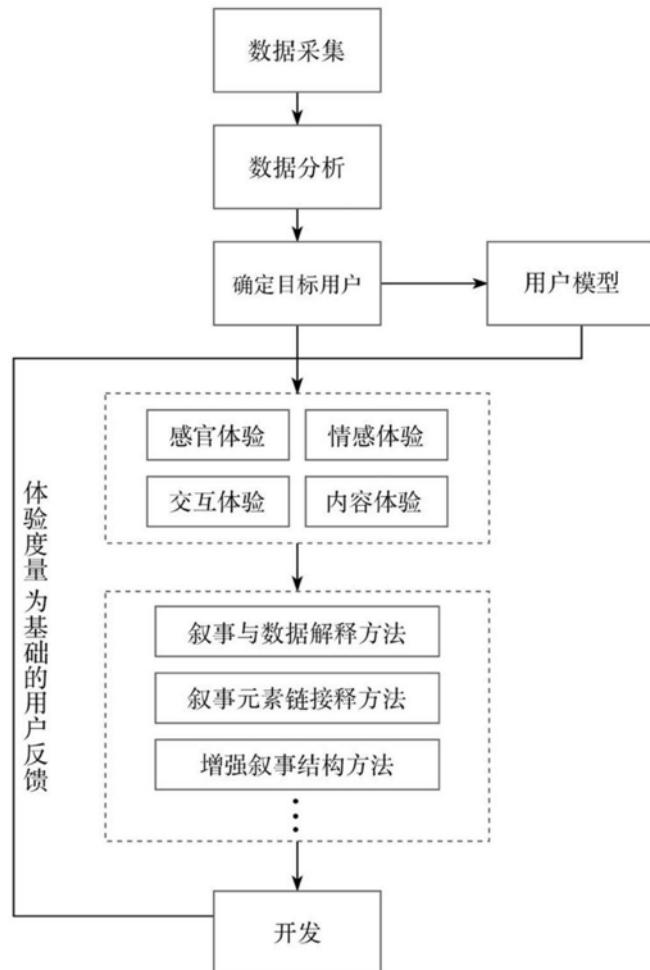


图5

专利名称(译)	一种基于用户体验度量的数据可视化方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN110059232A</a>	公开(公告)日	2019-07-26
申请号	CN201910195684.8	申请日	2019-03-15
[标]申请(专利权)人(译)	杭州电子科技大学		
申请(专利权)人(译)	杭州电子科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	杭州电子科技大学		
[标]发明人	王强 张丽婵 杨安宁		
发明人	王强 张丽婵 杨安宁		
IPC分类号	G06F16/9038 G06K9/62 A61B3/113 A61B5/0402 A61B5/00		
CPC分类号	A61B3/113 A61B5/0402 A61B5/7253 G06F16/9038 G06K9/6247 G06K9/6267		
代理人(译)	朱月芬		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">Sipo</a>		

### 摘要(译)

本发明公开了一种基于用户体验度量的数据可视化方法。本发明建立数据可视化叙事体验的度量模型。提出基于眼动研究和心电研究方法，并行嵌套研究方法的定性和定量相结合的研究方法。针对提出的研究方法搭建将眼动度量和心电度量结合到数据可视化叙事实例的实验过程中，提取体验指标的量化值，将实验分析结果应用于数据可视化叙事方法的优化与改进。本发明能够为数据可视化叙事研究领域创新性地引入心电度量方法和眼动度量方法，通过定性和定量结合的方法规避传统度量方法中普遍存在的主观误差。在眼动追踪数据分析中提出了基于探索性因子分析的空间域划分方法，为眼动追踪数据的兴趣区域划分提供了具有更高准确性的新方法。

