

基于界面指定任务的用户视觉认知差异研究

刘翔, 吕健, 虞杰
(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 使界面设计更好地符合用户群体认知行为习惯。**方法** 在指定任务序列下, 提出跨年龄层视觉认知差异比较的一般模型。选取非遗贵州蜡染图案个性化定制系统界面为实验样本, 使用 EyeSo Ec60 遥测式眼动跟踪设备获取眼动指标, 并利用单因素方差分析, 检验数据显著性, 结合界面感兴趣区转移频次矩阵进行对比分析。**结论** 不同年龄层用户在指定任务序列下的眼动数据、AOI 区域关注度以及 Likert 量表结果都存在显著差异, 通过对实验数据的处理与分析, 反馈用户认知差异性, 为界面设计与开发提供参考和借鉴。

关键词: 界面设计; 差异研究; 任务序列; 视觉认知; 眼动跟踪

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)22-0097-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.22.017

User Visual Cognition Difference Based on Interface Designated Task

LIU Xiang, LYU Jian, YU Jie
(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to make the interface design better meet the user groups' cognitive behavioral habit. Under the designated task sequence, a general model for comparing visual cognition differences across ages was proposed. The intangible cultural heritage: Guizhou batik pattern customization system interface was chosen as the experimental sample. The EyeSo Ec60 telemetry eye tracking device was used to obtain the eye movement index, and the one-way ANOVA was used to test the significance of the data. Combined with the region of interest in the interface, the frequency matrix was transferred for the comparative analysis. There are significant differences in eye movement data, AOI regional attention and Likert scale results for users in different age groups under the designated task sequence. Through the processing and analysis of experimental data, the feedback on user cognitive differences provides reference for the interface design and development.

KEY WORDS: interface design; difference research; task sequence; visual cognition; eye tracking

随着人类环境和计算机技术的不断发展, 人机交互界面 (Human-Computer Interface, HCI) 作为一种信息传达的新媒介, 交互形式愈加复杂, 所传递的信息量也越来越大。这就要求交互界面的开发不仅需要提高界面可用性, 降低认知负荷, 同时需要考虑不同用户群体对界面信息认知处理的差异。目前, 从界面视觉认知模式研究进展来看, 界面交互的研究重点倾向于信息可视化、可用性评估、交互形式分析和

美化视觉感受。在研究用户与界面的交互关系时, 不同类型用户在指定行为中, 对界面连续使用过程的完整跟踪实验还存在不足。用户的生理指标、眼动数据、年龄、文化经验等客观数据导致的视觉认知模式差异问题依旧较为凸显。为使界面更适应市场中不同年龄层用户的视觉认知模式, 提高界面设计水平和效率, 本文面向非遗贵州蜡染图案个性化定制行为过程中的某界面, 从不同年龄层的视觉认知视角, 比较不同

收稿日期: 2018-06-21

基金项目: 国家科技支撑 (2014BAH05F01); 黔科技项目 (黔科合重大专项字[2015]6008、[2015]6014、[2016]7467)

作者简介: 刘翔 (1994—), 男, 山西人, 贵州大学硕士生, 主攻工业设计与交互设计。

通信作者: 吕健 (1983—), 男, 河北人, 贵州大学副教授, 主要研究方向为工业设计与交互设计。

年龄层用户对界面的视觉认知处理模式差异,以期为界面设计与开发提供参考和借鉴。

1 视觉认知研究与眼动指标选取

1.1 视觉认知研究现状

人类从外界得到的信息量 80% 来源于视觉,视觉是用户和界面交互的直接途径^[1]。界面的信息传递从视觉开始,眼球与界面产生交互行为,进而形成大脑中的感性意象,做出刺激反应,完成界面的信息传递。整个交互过程基于视觉信息感知与大脑认知处理完成信息传递。

界面是人机交互的重要接口,结合用户视觉注意机制,推理人机交互界面设计方法,有利于增强用户的交互体验^[2]。界面设计要素与用户眼动行为之间存在重要关系^[3],眼动跟踪技术的广泛应用,对界面的可用性评估方式具有拓展性意义^[1]。设计认知复杂度计算是评价设计可用性的基本方法^[4],在此基础上,有研究者为了提高界面设计的合理性以及评估结果的准确性,将眼动追踪技术与软件工程的质量评估模型结合,开发面向数字界面的质量评估模型^[5]。人机交互方式是建立在用户认知行为的基础上,构建无意识认知理论交互设计流程^[6],结合用户瞳孔变化的数据处理分析,可以面向多个设备进行交互式研究^[7]。

考虑到用户差异性与特殊性,对界面进行设计研究是十分必要的^[8-9]。“人类需求理论”宏观阐述人机界面发展趋势与应用^[10]。应用领域研究方法多样,通过眼动识别实验,可以分析跨文化视角对用户模式识别的影响^[11]。再将眼动和脑电结合,使评估结果更具客观性^[12]。脑电、眼动技术与主观心理融合逐渐成为用户多通道认知的研究方法^[13-14]。

1.2 用户视觉认知过程与眼动指标选取

视觉认知方式是一个多维度的信息转化过程。界面与用户发生视觉刺激行为时,信息持续发生转化,最终形成用户刺激反应。据国内外学者相关研究^[15],用户刺激反应具有评价性。用户刺激反应会以心理和生理的信号反应出来,可以通过主观测量和客观测量,用于研究用户认知模式。

眼动行为是视觉认知过程中的重要组成部分,用户使用界面时,产生的眼动行为主要是由眼跳(Saccade)和注视(Fixation)交替序列构成的。眼跳行为指的是瞳孔定位界面不同位置的快速运动,具体表现为在一系列注视点之间的快速移动。注视是指在眼跳过程中视线在某相对集中区域(视角 $0.5^{\circ}\sim 1.3^{\circ}$)停留 100~200 ms 的行为,一般认为注视行为是对信息进行获取感知与认知处理。用户界面体验眼动行为模型见图 1。

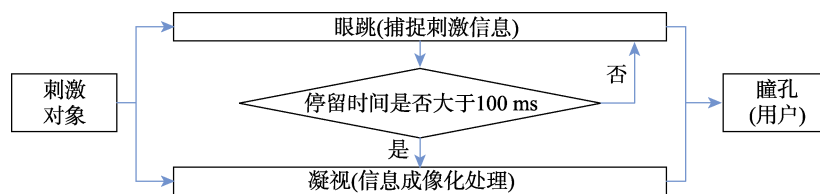


图 1 用户界面体验眼动行为模型

Fig.1 Model for the experience of eye movement behavior in the user interface

在眼动行为跟踪实验中,为简化计算复杂程度,提高对比效率。本文设定以下数据指标:注视时间(t),即注视点的持续时间。根据注视行为定义与实验数据的有效性,设定 $t > 100\text{ ms}$,实验数据有效;注视数目(N),即注视点数量;视觉捕获(C),指在最初 250 ms 以内获得的注视对象,描述最吸引用户注意的目标;感兴趣区域(Area of Interest, AOI)即在同一注视对象中,注视点分布数量密集区域,用户关注度与感兴趣区域。

2 认知差异形式化表征与跨年龄层差异比较模型

2.1 指定任务序列下用户视觉差异形式化表征

用户在使用交互界面时,多数情况都是具有目的性的。用户的视觉认知模式在受到任务目的潜意识的影响下,产生视觉认知上的差异。因此,将用户特定

任务分解为多个环节,整理为完整的任务序列进行视觉认知分析,有利于跟踪分析用户在完成任务过程中的视觉认知模式。

运用眼动指标研究用户群体视觉认知模式差异,需建立有效指标差异测试的一般模型。本文针对用户在指定任务序列中的眼动行为研究,结合相应的眼动数据与界面 AOI,提出视觉认知差异有效指标测试的一般模型 M ,其形式化表征为六元组: $M = \{U, TSEQ, t_i, N_i, AOI(C), R\}$; 其中, U 表示用户群体集合, $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}, LIM\}$, $u_i \in U$, u_i 表示个体用户; LIM 表示筛选分类条件,如用户年龄、喜好、教育背景等。

$TSEQ$ 表示用户行为指定任务序列,研究将指定任务序列化解: $TSEQ = \{Ts_1, Ts_2, Ts_3, \dots, Ts_n\}, Ts_i \in TSEQ$; 每个序列过程中会有相应的动作与序列匹配: $\{Ts_1, Ts_2, Ts_3, \dots, Ts_n\} \rightarrow \{Act_1, Act_2, Act_3, \dots, Act_n\}$; 逐一

动作发生位置对应逐一 AOI： $\{Act_1, Act_2, Act_3, \dots, Act_n\} \rightarrow \{AOI_1, AOI_2, AOI_3, \dots, AOI_n\}$ ；最后，各 AOI 区域与序列匹配： $\{AOI_1, AOI_2, AOI_3, \dots, AOI_n\} \rightarrow \{Ts_1, Ts_2, Ts_3, \dots, Ts_n\}$ 。

N_i 表示在 AOI_i 中的注视数目，与视觉搜索绩效有关，注视点数目过多表明界面设计不合理，用户搜索效率低下，同时 N_i 的数量与 AOI_i 重要程度、被关注度成正相关。

t_i 表示在 AOI_i 中的平均注视时间， AOI_i 中总注视时间为 $t_i \times N_i$ 。

$AOI(C)$ 为包含视觉捕获对象的感兴趣区， $AOI(C) = AOI_j (j=1, 2, 3, \dots, m)$ ；如果 AOI_j 不是任务序列的首相或重要项，说明对整个任务起决定性的界面元素未被用户识别，影响任务效率。

R 为该 AOI 集合的注视转移矩阵，AOI 转移扫

视过程： $\{AOI_1, AOI_2, AOI_3, \dots, AOI_n\} \rightarrow \{AOI_1, AOI_2, AOI_3, \dots, AOI_n\}$ ；得到注视点在各 AOI 上转移频次矩

$$阵：R = \begin{pmatrix} AOI_{1,1} & AOI_{1,2} & \dots & AOI_{1,j} \\ AOI_{2,1} & AOI_{2,2} & \dots & AOI_{2,j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ AOI_{i,1} & AOI_{i,2} & \dots & AOI_{i,j} \end{pmatrix}；其中，AOI_{i,j}$$

表示注视从 AOI_i 转移到 AOI_j 的频次，如 AOI_{21} 表示注视从 AOI_2 转移到 AOI_1 的频次。

2.2 基于跨年龄层视角视觉认知差异研究模型

在用户视觉认知差异研究中，发现随着年龄的增长，用户大脑中多巴胺神经传导物质有效性会不断降低^[16-17]，导致视觉认知效率下降。不同年龄用户在同一任务序列和场景下对同一认知对象的眼动指标会明显差异。

跨年龄层视角视觉认知差异研究模型见图 2。

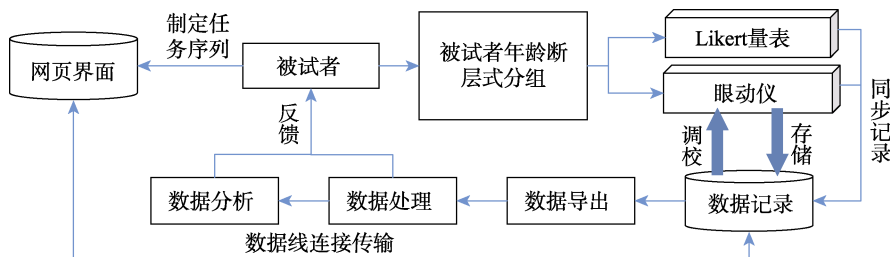


图 2 跨年龄层用户视觉认知差异研究方法

Fig.2 Research methods for the visual cognitive differences of users across ages

根据研究用户群体特征，将用户年龄区间进行合理的年龄断层划分（提高差异显著性）；将处理后的系统界面测试材料呈现给不同的被试年龄组，利用 Likert 量表记录不同被试年龄组的被试者对测试材料的评价；使用眼动设备记录不同被试年龄组的被试者的眼动行为数据，最后对不同被试年龄组的被试者的眼动和心理主观打分汇总，并数据处理与分析，得出跨年龄层用户视觉认知模式上的差异。

3 实例研究

3.1 实验样本的选取处理与任务序列划分

本文选择非贵州蜡染图案个性化定制系统中

的某界面作为实验样本，其具有任务序列明确、界面转化频率高、形式多样、使用人群广泛、操作交互简单、界面区域划分明确与用户年龄跨度大等特点，符合实验样本选取条件。实验样本界面分辨率为 72B2，将网页界面进行 AOI 区域划分，显示分辨率为 1366×768，见图 3。

个性化定制界面指定任务序列分解： $TSEQ = \{Ts_1, Ts_2, Ts_3, Ts_4, Ts_5, Ts_6\}$ ；由于受到意识控制，用户会结合任务目标与自身先验知识对信息进行主动搜索、筛选与屏蔽。因此，基于自顶向下（Top-Down）视觉认知机制理论对数据进行分析，避免无意识选择产生干扰。将这些界面元素划分为不同的 AOI，与任务序列一一对应，以便解析任务序列与 AOI 映射关系。



图 3 样本 AOI 划分

Fig.3 Sample AOI division

本文对非遗贵州蜡染图案个性化定制系统中某网页操作界面进行任务序列分解,具体见表1。

表1 蜡染图案个性化定制任务序列
Tab.1 Batik pattern customization task sequence

TSEQ	Act 匹配	AOI 解析
Ts_1	Act_1 : 查看照片	AOI_1 : 展示区
Ts_2	Act_2 : 点击开始定制	AOI_2 : 定制按钮
Ts_3	Act_3 : 选择纹样	AOI_3 : 纹样选择区
Ts_4	Act_4 : 选择背景颜色	AOI_4 : 颜色图标区
Ts_5	Act_5 : 点击提交	AOI_5 : 提交按钮
Ts_6	Act_6 : 点击下一个	AOI_6 : 下一个按钮

除以上序列内相匹配的6个AOI以外,网页界面存在与任务序列无关区域,记作 AOI_n ,这些 AOI_n 同样需在AOI转移频次矩阵中进行解析。

3.2 被试用户选择

被试用户为随机选取30人,其中男性16名、女性14名;为提高被试用户实验数据显著性,本实验年龄分组为断层式划分,20~30岁年龄层10名,35~45岁年龄层10名,50~60岁年龄层10名;矫正后双眼视力良好;均具有5年以上计算机使用经验;实验过程由笔者主持。

3.3 实验设备与调查问卷选取

实验测试设备使用心拓英启科技公司的EyeSo Ec60 遥测式眼动跟踪设备,设备采样频率为30 Hz与60 Hz,采样精度为典型值 0.5° 视角(45~75 cm距离)。测试前,对每一位被试者分别进行设备调校。被试者坐姿并与显示器平视,距离约70 cm左右。

Likert量表是美国社会心理学家Rensis Likert发明而成的。该量表通过被试者非常同意、同意、不确

定、不同意、非常不同意五种态度陈述,分别记为5—1分,被试者得分情况反映被试者主观态度强弱。

3.4 实验过程

测试实验前被试者阅读实验指导,熟悉任务序列及目标,调校实验设备。发出指令,被试者开始实验,眼动数据由EyeSo Studio数据分析软件记录编辑,实验完成后被试者填写Likert调查问卷。调查问卷问题:“定制过程中,对哪一部分定制界面最感兴”。并使用5—1的6点Likert量表独立作答,获取主观评估与反馈。

4 结果讨论

4.1 眼动热点图提取对比

排除无效数据,共采集3个年龄层各10人的有效数据,采用EyeSo Studio软件将不同年龄层10名被试者热点数据合并叠加,并生成3幅眼动热点图,见图4。

观测各年龄层用户的眼动热点图,通过色彩变化显示用户视觉停留时间。红色表示注视时间最长的区域,绿色较短。测试结果表明,3组被试者界面中热点区相对一致,聚散分布情况基本一致。红色热点区域各有1个,20~30岁年龄层与35~45岁年龄层用户红色热点区集中于 AOI_1 ,且20~30岁年龄层用户的红色热点区面积较大,而50~60岁年龄层用户则集中在 AOI_3 ,说明年轻用户在整个任务序列中更倾向于纹样与图片的识别上,用户注视点集中分布在 AOI_1 与 AOI_3 上,属于任务序列首项与重要项,说明界面元素分布设计较为合理。综上所述,可知3个年龄层用户对样本界面的注视的整体分布类似,相比之下青年用户的注视更加活跃。

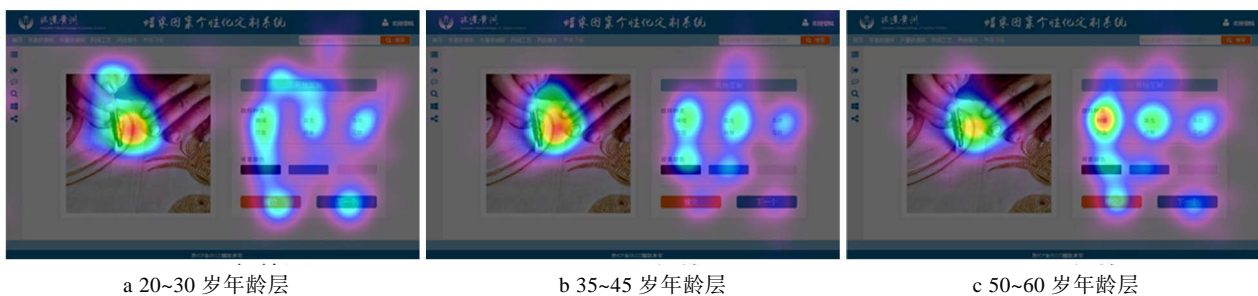


图4 3个年龄层被试者眼动热点图

Fig.4 Eye movement hotspot map of subjects in three age groups

4.2 注视持续时间与数目

通过EyeSo Studio软件记录并导出数据,由此可得到总注视时间与总注视数目,见表2和表3。

分别对表2和表3中的眼动注视时间与注释数目进行单因素方差分析,研究年龄与注视时间、注视数

目之间是否存在显著性:

由眼动注视时间与注视数目数据的单因素方差计算分析可得, $F(t)=6.303$, $F(n)=3.960$; $P(t)=0.006 < 0.05$, $P(n)=0.031 < 0.05$ 。由计算结果可以看出,在指定任务序列下,不同年龄的用户,与其注

视时间、注视数目间有显著性差异存在。综上所述，可知不同年龄层用户对指定任务序列下的界面注视

的整体存在差异，相比之下青年用户的总注视时间更短，总注视数目偏少。

表 2 3 个年龄层用户总注视时间比较
Tab.2 Comparison of the total fixation duration of the users in three age groups

单位：ms

年龄层	用户										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20~30 岁	16784	27200	14151	10844	16178	37787	20516	21883	22079	25288	21271
35~45 岁	22575	36515	19226	51157	14925	30681	31541	32744	33980	26484	29982.8
50~60 岁	22129	17830	28383	29989	38509	43259	52053	45598	55184	43793	39399.78

表 3 3 个年龄层用户总注视数目比较
Tab.3 Comparison of the total fixation number of users in three age groups

单位：个

年龄层	用户										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20~30 岁	70	65	37	32	40	72	57	47	59	65	54.4
35~45 岁	50	93	44	97	35	71	50	74	87	55	65.6
50~60 岁	63	61	61	71	71	97	71	86	85	78	74.4

分析各兴趣区平均注视时间与平均注视数目可以

获取用户对不同序列及 AOI 兴趣区的视觉差异，见图 5。

从图 5a 可以看出，3 个年龄层用户在 AOI₁ 区域中的注视时间最长。较长的注视时间反映在进行指定序列任务时，这一 AOI 区域具有较高的认知加工行为。青年用户在 AOI₁，AOI₃，AOI₄ 的总注视时间明显低于中老年用户，而在 AOI₂，AOI₅，AOI₆，AOI_n 的总注视时间均无明显差异。此外，3 个年龄层用户在各 AOI 的注视时间标准差分别为青年 2698.64，中年 4411.30，老年 4962.86。这反映出青年用户在各区域的注视时间更加平均。

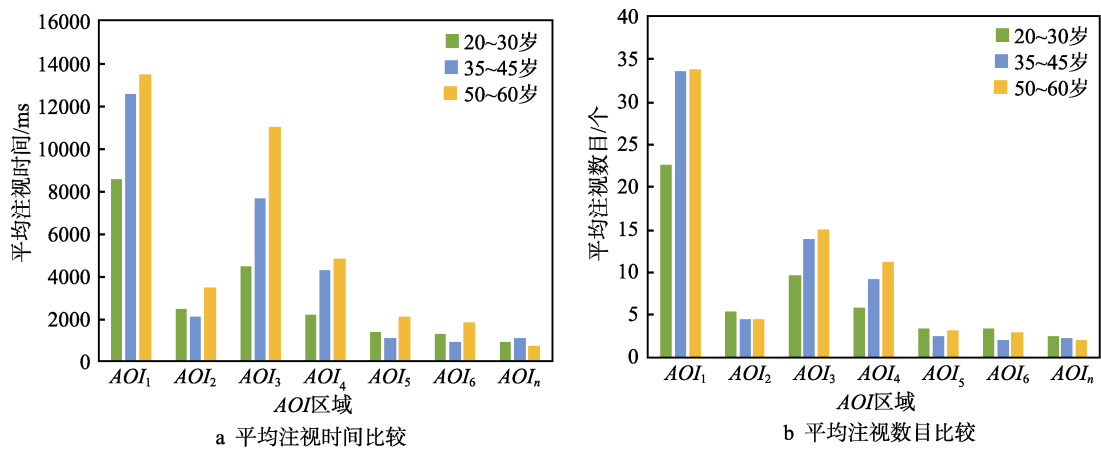


图 5 用户各兴趣区平均注视时间比较与平均注视数目比较

Fig.5 Comparison of the users' interest regions' average fixation time and the average fixation number

从图 5b 可以看出，3 个年龄层用户在 AOI₁ 区域中的注视数目最多。较多的注视数目反映在进行指定序列任务时，用户对动态图片具有较高的认知加工行为。青年用户在 AOI₁，AOI₃，AOI₄ 的总注视数目明显低于中老年用户，而在 AOI₂，AOI₅，AOI₆，AOI_n 的总注视时间均无明显差异。这说明青年用户在各区域的注视数目更加平均。

通过表 4 可以看到，各兴趣区注视时间与各兴趣区注视数目 F 值分别为 0.546, 0.348; P 值分别为 0.588 和 0.711，均大于 0.05 的显著性水平。说明不同年龄层用户在各感兴趣区的注视时间、注视数目指标上无显著性差异。

表 4 用户年龄与各兴趣区指标单因素方差分析
Tab.4 One-way ANOVA of the user age and interest regions' indexes

统计指标	眼动指标	
	各兴趣区注视时间/ms	各兴趣区注视数目/个
F	0.546	0.348
P	0.588>0.05	0.711>0.05
是否显著	否	否

4.3 AOI 转移矩阵

根据上文定义，可得 3 个年龄层 AOI 转移频次矩阵为：

$$R(20 \sim 30) = \begin{bmatrix} 0 & 2.3 & 6.5 & 2.6 & 0.8 & 0.9 & 0.1 \\ 2.5 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ 5.5 & 0.5 & 0 & 0.8 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 2.8 & 0 & 0.4 & 0 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.8 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0.3 & 0.1 \\ 0.7 & 0 & 0.1 & 0.1 & 1.5 & 0 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R(35 \sim 45) = \begin{bmatrix} 0 & 1.7 & 7.8 & 4 & 1 & 0.8 & 0.5 \\ 1.4 & 0 & 1.1 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0.1 \\ 8 & 0.5 & 0 & 0.9 & 0.2 & 0 & 0 \\ 4.7 & 0 & 0.5 & 0 & 0.6 & 0.1 & 0.1 \\ 0.9 & 0 & 0.1 & 0.6 & 0 & 0.7 & 0 \\ 0.6 & 0.1 & 0.1 & 0.7 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0 & 0.2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R(50 \sim 60) = \begin{bmatrix} 0 & 1.6 & 6.5 & 3.6 & 1 & 0.7 & 0.8 \\ 2 & 0 & 0.9 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 7.3 & 0.6 & 0 & 1.1 & 0 & 0 & 0 \\ 3.2 & 0.1 & 1.2 & 0 & 1 & 0.8 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0.1 & 0.7 & 0 & 0.9 & 0 \\ 0.6 & 0 & 0 & 0.7 & 0.6 & 0 & 0.1 \\ 0.6 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

3组矩阵数据中, $AOI_{1,3}$ 与 $AOI_{3,1}$ 的转移频次最高,说明3个不同年龄层用户在图片与纹样选择匹配中进行了相对较多的信息处理与加工,在整个定制过程中是最为重要的一部分。 AOI_n 到其他 AOI 的转移频次中,青年的转移频次低于中老年的转移频次,说明在定制过程中老年更容易受到 AOI_n 区域信息的干扰,青年受到任务序列影响程度更高。

4.4 Likert 量表分析

对用户主观问卷进行统计,计算出3个年龄层用户在各感兴趣区域以及整体定制的均值,统计哪一个区域最能帮助用户完成对蜡染图案个性化定制,见表5。

表5 Likert 量表得分均值
Tab.5 Mean value of Likert scale scores

年龄层	AOI 区域							均值
	AOI_1	AOI_2	AOI_3	AOI_4	AOI_5	AOI_6	AOI_n	
20~30岁	1.11	0.67	1	1	0.67	0	-0.89	0.508571
35~45岁	1.33	-0.11	1.33	0.89	0.67	-0.11	-1.11	0.412698
50~60岁	1.67	-0.22	0.67	0.33	0.33	-0.11	-0.67	0.285714

3个年龄层用户排在前两位的区域相同,依次为 AOI_1 , AOI_3 , AOI_4 。用户普遍认为图片、纹样与背景颜色对个性化定制最为关键。3个年龄层用户打分均值分别为0.51, 0.41, 0.29,说明相对于青年用户,

中老年用户认为任务序列对任务完成过程的帮助较小。换言之,青年用户在定制过程中更容易受到任务序列的引导。

5 结语

为使界面交互更好地得到优化,本文以非遗贵州蜡染图案个性化定制系统界面为实验样本,指定用户任务序列,结合眼动跟踪实验,对不同年龄层用户的视觉认知进行了差异性研究。

实验数据表明:在指定任务序列下,中老年用户对自身在任务完成过程中的认可度较低,注视点转移路径反复较频繁,注视时间相对较长,搜索加工过程更为缓慢,交互体验负荷相对较高。对于不同的 AOI 区域,不同年龄人群对其的关注度也存在差异,青年用户对定制过程中的信息识别更加多元,同时更容易被任务信息引导。相同任务下青年视觉认知节奏更快,注视时间更短,搜索加工过程更简单,受任务序列影响程度较高。整个交互过程界面中,图片对于用户的视觉刺激较高,图片为主的 AOI 区域的信息更易受用户关注,认知加工过程占比较高,对任务序列进行更具指引性。通过眼动实验数据的获取与分析,发觉不同年龄层用户之间的视觉认知差异明显,界面设计与开发应考虑不同年龄层用户视觉认知习惯,从而优化界面交互体验,提升人机交互理念。

人类认知机制是十分复杂的,需进行更深刻的探讨。基于自顶向下视觉认知机制对指定任务进行序列分解结合界面 AOI 划分,实验样本界面依旧二维性质;眼动数据与心理活动的关系非常复杂,存在系统误差。下一步研究工作将结合动作捕捉对用户行为与交互习惯完善差异研究方法。

参考文献:

- [1] 刘青. 基于眼动跟踪技术的界面可用性评估[J]. 东南大学学报, 2010(2): 331—334.
LIU Qing. Interface Usability Evaluation Based on Eye Tracking Technique [J]. Journal of Southeast University, 2010(2): 331—334.
- [2] 王宁. 考虑用户视觉注意机制的人机交互界面设计[J]. 西安工业大学学报, 2016(4): 334—339.
WANG Ning. Human-computer Interaction Interface Design Considering User's Visual Attention Mechanism[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2016(4): 334—339.
- [3] 郭伏, 屈庆星. 用户眼动行为与网站设计要素关系研究[J]. 工业工程与管理, 2014(5): 129—133.
GUO Fu, QU Qing-xing. Study on the Relationship between User's Eye Movement Behavior and Website Design Elements[J]. Industrial Engineering and Management, 2014(5): 129—133.

- [4] 徐江. 基于确定性信息理论的设计认知复杂度计算方法[J]. 中国机械工程, 2017(5): 596—602.
XU Jiang. Based on Deterministic Information Theory Design Cognitive Complexity Calculation Method[J]. China Mechanical Engineering, 2017(5): 596—602.
- [5] 陈晓皎. 基于眼动追踪实验的数字界面质量评估模型[J]. 东南大学学报, 2017(1): 38—42.
CHEN Xiao-jiao. Digital Interface Quality Evaluation Model Based on Eye Tracking Experiment [J]. Journal of Southeast University, 2017(1): 38—42.
- [6] 谢伟. 基于眼动测试的产品人机界面交互设计研究[J]. 机械设计, 2015(12): 110—115.
XIE Wei. Study on Interactive Design of Human-machine Interface Based on eye Movement Test [J]. Machine Design, 2015(12): 110—115.
- [7] 程时伟. 面向多设备交互的眼动跟踪方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016(7): 1094—1104.
CHENG Shi-wei. Effective Tracking Method for Multi-device Interaction[J]. Journal of Computer Aided Design & Graphology, 2016(7): 1094—1104.
- [8] 黄河, 杨明刚. 基于联合分析法的老年人智能手机交互界面设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(4): 133—137.
HUANG He, YANG Ming-gang. Study on Design of Interactive Interface of Elderly Based on Joint Analysis[J]. Packaging Engineering, 2017(4): 133—137.
- [9] 李永锋, 徐育文. 基于 QFD 的老年人智能手机 APP 用户界面设计研究[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 95—99.
LI Yong-feng, XU Yu-wen. QFD Based on the Elderly Smart Phone APP User Interface Design Research[J]. Packaging Engineering, 2016(14): 95—99.
- [10] 魏玮, 宫晓东. 基于用户体验的人机界面发展趋势[J]. 北京航空航天大学学报, 2011(7): 868—871.
WEI Wei, GONG Xiao-dong. Study on the Development Trend of Human-computer Interface Based on User Experience[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2011(7): 868—871.
- [11] 卢兆麟. 面向汽车造型的用户视觉模式识别比较[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(7): 1711—1718.
LU Zhao-lin. Comparison of User Vision Pattern Recognition for Automobile Modeling[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2015, 21(7): 1711—1718.
- [12] 唐帮备. 联合眼动和脑电的汽车工业设计用户体验评选[J]. 计算机集成制造系统, 2015(6): 1449—1459.
TANG Bang-bei. Joint Eye Movement and EEG Automotive Industry Design User Experience Selection[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2015(6): 1449—1459.
- [13] 李森. 脑电、眼动技术融合的情感测量方法研究[J]. 工业工程与管理, 2014(6): 144—148.
LI Sen. Research on Emotional Measurement Method of EEG and Eye Movement Fusion[J]. Industrial Engineering and Management, 2014(6): 144—148.
- [14] 高晓卿, 王永跃. 眼动技术与脑电技术的结合——一种认知研究新方法[J]. 人类工效学, 2005(1): 36—37.
GAO Xiao-qing, WANG Yong-yue. Combination of Eye Movement Technique and EEG Technology a New Method of Cognitive Research[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2005(1): 36—37.
- [15] 张光强. 可用性测试中的视线追踪技术[J]. 人类工效学, 2001(4): 9—14.
ZHANG Guang-qiang. Night Line Tracing Technique in Usability Test[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2001(4): 9—14.
- [16] MOZLEY P D. Effects of Age on Dopamine Transporters in Healthy Humans[J]. Nucl Med, 1999(1): 1812—1817.
- [17] ARCHILA A. Neuropsychological Test Performance in Auuaco Indians: an Exploratory[J]. Int Neuropsychol Soc, 2001(7): 510—515.