

视觉信息呈现材料对视线突显技术的影响作用*

潘运娴¹ 葛列众² 王丽³ 王琦君^{**1}

(¹ 浙江理工大学心理学系, 杭州, 310018) (² 浙江大学心理科学研究中心, 杭州, 310007)

(³ 中国航天员科研训练中心人因工程实验室, 北京, 100094)

摘要 本研究选取了基于视线追踪的视线突显技术作为研究对象, 探究视觉信息呈现材料对不同视线突显技术的影响作用。结果表明: (1) 相比无突显, 两种视线突显技术在搜索中均能提高操作绩效; (2) 视线矩阵突显技术在提高搜索速度上更优于视线单项突显技术; (3) 视线矩阵突显技术均能提高两种词频词组的搜索绩效, 而低频词组搜索时, 视线单项突显技术下的搜索正确率最优。本研究进一步考察视线突显技术规律特点, 为其实际应用提供理论依据和设计思路。

关键词 人机交互 视线追踪 视线突显

1 前言

在人机交互过程中, 用户需要使用界面中的诸多信息 (尤其是视觉信息) 来完成各项操作任务。因此, 在人机界面中如何有效呈现视觉信息, 已成为工程心理学诸多研究的重点。

关于视觉信息有效呈现问题, 已有研究提出多种视觉信息显示技术, 例如, 突显技术 (Fisher & Tan, 1989)、焦点背景技术 (Furnas, 1981)、自适应技术 (Mäntyjärvi & Seppänen, 2003)、基于视线追踪的视线突显技术 (李宏汀, 江康翔, 王琦君, 葛列众, 2017; 江康翔, 2015; 孙梦丹, 2016)。

突显技术使用某种或多种特殊方式 (例如, 画线, 画框等) 来突出重要项目, 提高用户操作绩效。以往研究表明不同突显对视觉搜索绩效有影响作用, 但它突显内容固定, 不能根据用户实际需求突显 (胡凤培, 葛列众, 姜坤, 2002; Wang et al., 2015)。焦点背景技术将焦点区域信息放大, 压缩背景信息, 使焦点与背景同时呈现 (Furnas, 1981)。Baudisch, Lee 和 Hanna (2004) 研究发现, 焦点背景技术的应用可有效提高网页信息搜索速度, 但同时也降低了搜索正确率。自适应技术用自适应算法记录和积累用户行为来主动调节显示区域 (Mäntyjärvi & Seppänen, 2003), 应用于手机通讯录和软键盘中提高用户操作效率 (陈肖雅, 2014; 郑璐, 2011), 但其调节有滞后性, 不能满足用户即时动态需求。

针对以上三种显示技术的不足, 不少研究者将视线追踪技术引入到传统显示, 试图通过动态化突显来解决视觉信息有效呈现问题。例如, Zhang (2010) 提出将用户当前视线注视点来放大视线所在的地图细节信息。Sarada, Monisha 和 Srinath (2015) 提出采用视线追踪来切换多个窗口, 用视线的指向来确定活动窗口。以上两个研究提出将视线追踪技术应用于信息显示界面中, 但他们并未通过实证研究验证其技术的有效性。江康翔 (2015) 结合传统突显和视线追踪技术, 提出视线矩阵突显技术 (即当前视线所在的项目为中心的 9 个项目都被突显, 简称“矩阵突显”), 并通过数字和图标搜索实验验证了新技术的有效性, 即视线矩阵突显技术有效提高了数字和图标的搜索绩效。孙梦丹 (2016) 在此基础上研究了不同视觉复杂的材料对视线单项突显技术 (即当前视线所在的项目才被突显, 而该项目周围的项目不被突显, 简称“单项突显”) 的影响。结果发现, 单项突显能促进复杂度高材料 (双字词组) 的搜索绩效, 但未发现单项突显能促进复杂度低材料 (三位数数字) 的搜索绩效, 研究证明不同视觉复杂度的材料对单项突显有影响。

综合以上, 江康翔的研究验证了矩阵突显有效性, 孙梦丹的研究证实了实验材料性质对单项突显有影响。但两者研究都缺乏对两种视线突显技术适用性的规律特点研究, 缺少对两种视线突显技术系统性的探讨。

* 本研究得到国家自然科学基金项目 (31671146)、2015 年装备预先研究基金项目 (9140C770202150C77317) 和浙江省教育厅项目 (Y201635486) 的资助。

** 通讯作者: 王琦君。E-mail: wqijun1981@163.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20180102

基于以上两个研究,本研究进一步探讨两种视线突显技术在不同材料下作用。实验1中,本研究探讨不同材料(双字词组、三位数数字)对不同显示条件(矩阵突显、单项突显、无突显)的搜索影响。根据实验1的结果,我们进一步控制搜索材料,在相同特征结构复杂度(每个汉字的笔画为6~14划)下,考察不同词频词组(低频词组、高频词组)对不同显示条件(矩阵突显、单项突显、无突显)的搜索影响。

2 实验1

本实验目的是探讨不同材料(双字词组、三位数数字)对三种不同显示条件(矩阵突显、单项突显、无突显)的搜索影响。

2.1 方法

2.1.1 被试

被试有在校大学生96名(男性42名),年龄18~25岁,平均年龄20.6岁($SD=1.47$ 岁)。所有被试均为右利手,视力或矫正视力正常。被试随机被分配到词组矩阵组(男性8名)、词组单项组(男性8名)、词组无突显组(男性5名)、数字矩阵组(男性8名)、数字单项组(男性7名)、数字无突显组(男性6名)。

2.1.2 实验设备

实验设备包括,取样频率为120Hz的iViewX-RED头部追踪式红外眼动仪用来记录眼动数据,分辨率为1440*900pix的显示器用来呈现材料,托架用来固定被试头部位置,使被试与屏幕距离约60cm,视角范围约 $37.7^{\circ} \times 24.5^{\circ}$, VisualC#2010开发的实验程序记录被试信息和实验数据。

2.1.3 材料及程序

实验材料均在浅灰色($RGB=240, 240, 240$)背景上呈现。实验中的目标界面呈现黑色目标,字体为“Arial”,大小为45磅,视角约 $3.0^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 。数字为实验程序从100到999中随机无重复生成的300个三位数。词组为《现代汉语频率词典》(北京语言学院语言教学研究所,1986)中词频为2.1~83.7次/万的300个双字词组。每一试次由程序从300个数字/词组中随机取100个,再从100个数字/词组中随机选取1个搜索目标。

搜索界面由 10×10 的100个 144×90 pix的矩形铺满(矩形间没有间隙和边框),每个矩形中心为一个三位数/词组。当数字/词组不突显时(如

图3),字体为“Arial”,大小为7磅,视角约 $.23^{\circ} \times .23^{\circ}$,颜色为灰色($RGB=200, 200, 200$);当数字/词组突显时(如图1/2),字体为“Arial”,大小增大为14磅,视角约 $.71^{\circ} \times .71^{\circ}$,颜色为黑色($RGB=255, 255, 255$)。

搜索过程中,矩阵突显下,视线落入某项目区域内(如图1‘942’),以该项目为中心的9个项目尺寸变大,字体变黑(如图1实线区域所示);当视线离开该项目进入另一个项目区域时,原突显区域恢复至初时状态,以视线所在项目为中心的9个项目将被突显(如图1以‘437’为中心的虚线区域)。单项突显下,当视线落入某项目区域内(如图2‘942’),该项目尺寸变大,字体变黑(如图2实线区域所示);当视线离开该项目进入另一个项目区域时,原突显项目恢复至初时状态,以视线所在项目将被突显(如图2‘437’)。在无突显下,项目的大小和颜色始终保持初时状态(如图3)。

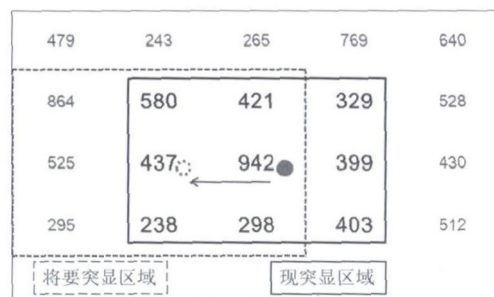


图1 矩阵突显

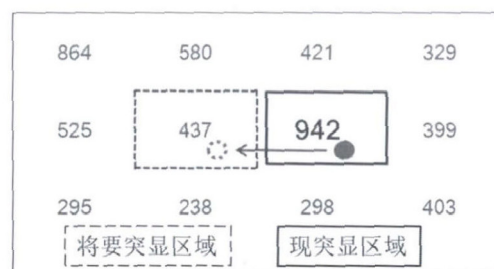


图2 单项突显



图3 无突显

2.1.4 变量及设计

本实验为2(材料:双字词组/三位数数字)×3(显示条件:矩阵突显/单项突显/无突显)被试

间设计。因变量为正确率、搜索用时和 NASA-TXL 量表评分。正确率为 50s 内正确找到目标次数占总试次的比例；搜索用时为搜索界面呈现到被试首次单击鼠标左键的时间间隔；NASA-TXL 量表包括 6 个项目：脑力需求、体力需求、时间需求、业绩水平、努力程度和受挫程度。

2.1.5 实验任务

被试先记住呈现的目标，然后在搜索界面中快速准确地找到目标，找到目标后立即单击鼠标左键，并将鼠标光标移至目标所在位置再次单击鼠标左键。完成搜索任务后，被试填写量表。

2.1.6 实验流程

开始前，被试调整坐姿，进行 5 点眼动校准，误差 $< .5^\circ$ 。校准成功后被试阅读指导语了解实验任务，完成 3 次练习后进入正式实验。

实验中，屏幕先呈现 1000ms 空白面，随后屏幕中央呈现一个目标 2000ms，紧接着空屏 800ms，然后呈现搜索界面（此时程序开始计时，隐藏鼠标光标），被试需寻找目标，找到目标后尽快单击鼠标左键（此时程序停止计时并记录搜索时间，呈现鼠标光标），同时，界面上所有项目以“---”掩蔽，如图 4。最后，被试移动鼠标单击确认目标的位置，

程序记录结果，进入下一试次。若超时（50s），程序自动进入下一试次。被试完成 10 个试次，休息 30s 后再完成 10 个试次，共 20 个试次。被试填写量表。整个实验时间为 25 分钟。

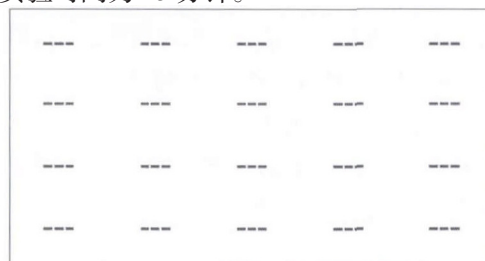


图 4 数字 / 词组隐蔽后界面

2.2 实验结果

本实验结果均由 SPSS 13.0 软件包处理。

2.2.1 搜索绩效结果分析

数据未发现各水平 3 个标准差之外异常值。绩效结果如表 1 所示。

对搜索正确率进行 2×3 方差分析。结果表明，三种显示条件之间存在显著差异， $F(2, 90)=11.627$ ， $p < .001$ ， $\eta^2 = .205$ ；两种材料之间无显著差异（ $p = .406$ ）；显示条件与材料之间无交互作用（ $p = .410$ ）。事后检验（LSD）结果表明，矩阵突显与单项突显下的正确率均显著高于无突显下正确率（ ps

表 1 各条件下正确率和搜索用时结果（ $M \pm SD$ ）

	矩阵突显		单项突显		无突显	
	词组	数字	词组	数字	词组	数字
正确率	.87 \pm .01	.85 \pm .09	.88 \pm .08	.91 \pm .05	.75 \pm .02	.80 \pm .08
搜索用时（s）	13.34 \pm 2.84	16.30 \pm 3.14	20.63 \pm 2.10	20.23 \pm 2.25	20.76 \pm 3.51	19.63 \pm 2.55

$< .01$ ）。

对搜索用时进行 2×3 方差分析。结果表明，三种显示条件之间存在显著差异， $F(2, 90)=41.776$ ， $p < .001$ ， $\eta^2 = .481$ ；两种材料之间无显著差异（ $p = .399$ ）；显示条件与材料的交互作用存在显著差异， $F(2, 90)=4.922$ ， $p < .01$ ， $\eta^2 = .099$ 。进行简单效应分析，无论搜索词组还是数字，矩阵突显下的用时

均显著少于单项突显和无突显的用时（ $ps < .01$ ），单项突显与无突显之间均无显著差异（ $ps > .05$ ）。

2.2.2 工作负荷评分结果分析

剔除各水平 3 个标准差之外异常值，数据总体有效率约 97.0%。评分结果如表 2 所示。

对主观评价的总分进行 2×3 的方差分析。结果表明，认知负荷总分上，三种显示条件间无显

表 2 各条件下工作负荷评分结果（ $M \pm SD$ ）

	矩阵突显		单项突显		无突显	
	词组	数字	词组	数字	词组	数字
脑力需求	1.47 \pm 1.45	2.48 \pm 1.78	2.87 \pm 1.46	2.06 \pm 1.60	1.59 \pm 1.66	2.19 \pm 2.00
体力需求	1.65 \pm 1.55	.60 \pm .81	.99 \pm 1.06	1.58 \pm 1.68	1.21 \pm 1.75	.37 \pm .60
时间需求	2.30 \pm 1.60	2.59 \pm 1.32	2.34 \pm 1.07	3.03 \pm 1.74	2.92 \pm 1.82	3.46 \pm 1.60
业绩水平	1.64 \pm 1.57	1.22 \pm .84	1.64 \pm 1.72	.97 \pm .93	2.31 \pm 1.83	1.18 \pm .82
努力程度	3.55 \pm 1.33	3.20 \pm 1.44	3.50 \pm 1.81	3.31 \pm 1.53	2.81 \pm 1.62	2.91 \pm 1.38
受挫程度	1.16 \pm 1.08	1.20 \pm 1.23	.22 \pm .32	.98 \pm .89	1.89 \pm 2.04	1.26 \pm 1.45
总体	11.76 \pm 1.96	11.53 \pm 3.21	12.73 \pm 4.51	11.29 \pm 1.67	11.93 \pm 2.97	11.57 \pm 3.64

著差异 ($p=.734$)，两种材料间无显著差异 ($p=.525$)，显示条件与搜索材料之间无交互作用 ($p=.628$)。对 6 个项目分析，相比其他两个突显条件，单项突显会增加搜索数字体力需求 ($ps < .05$)，但能改善被试受挫体验 ($ps < .05$)。

综上，矩阵突显和单项突显均能提高搜索绩效。同时，矩阵突显在主观评价上没有体现出明显优势；单项突显在主观上能改善被试受挫体验，但会增加搜索数字的体力需求。

3 实验 2

本实验目的是探讨相同特征结构复杂度下，不同词频的词组（低频词组、高频词组）对三种不同显示条件（矩阵突显、单项突显、无突显）的搜索影响。

3.1 方法

3.1.1 被试

被试有在校大学生 96 名（男性 39 名），年龄 17~26 岁，平均年龄 20.3 岁 ($SD=2.05$)。所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常。被试随机被分配到低频矩阵组（男性 7 名）、低频单项组（男性 6 名）、低频无突显组（男性 6 名）、高频矩阵组（男性 6 名）、高频单项组（男性 6 名）、高频

无突显组（男性 8 名）。

3.1.2 材料及设备程序

实验中，300 个低频词组（词频为 1~1.2 次/万）和 300 个高频词组（词频为 79~362.2 次/万）分别从现代汉语语料库（2016）选取，每个汉字笔画为 6-14。低频词组的每个汉字笔画数为 8.99 ($SD=2.14$)，高频词组的每个汉字笔画数为 8.85 ($SD=2.02$)，两组词组的汉字笔画数之间无显著差异 ($t=1.278$, $p=.201$)。设备以及突显方式同实验 1。

3.1.3 变量及设计

本实验为 2(词频：低频词组/高频词组) × 3(显示条件：矩阵突显/单项突显/无突显) 被试间设计。因变量同实验 1。实验任务和流程同实验 1。

3.2 结果分析

本实验结果均由 SPSS 13.0 软件包处理。

3.2.1 搜索绩效结果分析

数据未发现各水平 3 个标准差之外异常值。绩效结果如表 3 所示。

对搜索正确率进行 2 × 3 方差分析。结果表明，三种显示条件之间存在显著差异， $F(2, 90)=16.816$, $p < .001$, $\eta^2=.272$ ；两种词频之间无显著差异 ($p=.716$)；显示条件与词频的交互作用显著， $F(2, 90)=4.148$, $p < .05$, $\eta^2=.084$ 。简单效应分析，在低频

表 3 各条件下正确率和搜索用时结果 ($M \pm SD$)

	矩阵突显		单项突显		无突显	
	低频	高频	低频	高频	低频	高频
正确率	.84 ± .14	.81 ± .13	.92 ± .06	.84 ± .10	.68 ± .11	.76 ± .13
搜索用时 (s)	19.26 ± 3.00	16.53 ± 3.96	21.02 ± 3.02	21.50 ± 4.16	22.39 ± 2.99	22.78 ± 3.99

词组下，矩阵突显和单项突显的正确率均显著高于无突显的正确率 ($ps < .001$)，矩阵突显正确率边缘显著低于单项突显正确率 ($p=.052$)；在高频词组下，三个突显条件之间无显著差异 ($p=.153$)。

对搜索用时进行 2 × 3 方差分析。结果表明，三种显示条件之间存在显著差异， $F(2, 90)=14.730$, $p < .001$, $\eta^2=.247$ ；两种词频之间无显著差异 ($p=.394$)；显示条件与词频之间无交互作用 ($p=.127$)。事后检验 (LSD) 发现，矩阵突显下的用时均显著少于单项突显和无突显下的用时 ($ps < .01$)，单项突显与无突显之间无显著差异 ($p=.142$)。

3.2.2 工作负荷评分结果分析

剔除各水平 3 个标准差之外异常值，数据总体

有效率约 95.8%。评分结果如表 4 所示。

对认知负荷总分进行 2 × 3 的方差分析。结果表明，三种显示条件间存在显著差异 $F(2, 86)=5.076$, $p < .01$, $\eta^2=.106$ ；两种词频间无显著差异 ($p=.282$)；显示条件与词频之间无交互作用 ($p=.399$)。事后检验 (LSD) 表明，矩阵突显和单项突显下负荷评分均显著小于无突显下评分 ($ps < .05$)，矩阵突显和单项突显之间无显著差异 ($p=.270$)。对 6 个项目分析，相比单项突显和无突显，矩阵突显降低搜索低频词组的体力需求 ($p < .05$)；相比其他两种突显条件，单项突显改善被试受挫体验 ($p < .05$)；相比无突显，两种突显技术均减少任务时间需求 ($ps < .01$)。

总之，两种突显技术能提高搜索绩效，同时降

表 4 各条件下工作负荷评分结果 ($M \pm SD$)

	矩阵突显		单项突显		无突显	
	低频	高频	低频	高频	低频	高频
脑力需求	2.98 ± 1.71	2.75 ± 1.81	1.87 ± 2.16	2.34 ± 1.48	1.91 ± 1.83	2.98 ± 1.86
体力需求	.67 ± .90	1.51 ± 1.70	2.55 ± 1.64	1.06 ± 1.18	1.77 ± 1.68	1.24 ± 1.65
时间需求	2.17 ± 1.26	2.83 ± 1.32	2.12 ± 1.22	3.20 ± 1.66	3.90 ± 2.08	3.52 ± 1.61
业绩水平	1.19 ± 1.27	1.54 ± 1.49	.49 ± .69	1.00 ± 1.18	1.10 ± .78	1.13 ± 1.13
努力程度	2.49 ± 1.46	2.80 ± 1.35	3.00 ± 1.60	2.68 ± 1.70	3.07 ± 1.69	3.07 ± 1.32
受挫程度	.97 ± 1.16	.87 ± .85	.37 ± .46	.48 ± .47	1.28 ± 1.77	.93 ± 1.02
总体	10.48 ± 3.33	12.30 ± 2.83	10.40 ± 3.17	10.75 ± 3.28	13.03 ± 2.93	12.87 ± 2.04

低认知负荷,减少任务时间需求。相比无突显,矩阵突显能提高两种词组搜索绩效,降低搜索低频词组的体力需求;单项突显能提高搜索低频词组的正确率,改善受挫体验。

4 讨论

4.1 视线突显技术的有效性

由实验结果表明,相比无突显,两种视线突显技术均有效提高搜索绩效。同时,被试在这两种突显技术下知觉到的认知负荷更低。本研究的结果与以往研究结果一致。江康翔(2015)的研究发现,矩阵突显可有效提高被试的搜索绩效并降低搜索疲劳,孙梦丹(2016)也发现单项突显能提高视觉搜索绩效。相比传统突显,视线突显技术通过即时动态地突显出被试当前关注(视线注视)的信息,增强了视觉信息可辨认性,降低被试工作负荷,从而有效提高搜索绩效。

4.2 视线突显技术的规律特点

由两个实验可知,矩阵突显在提高搜索速度上要优于单项突显。矩阵突显下,被试的搜索用时均显著少于单项突显下用时。以往研究发现,当人的视线处于注视状态时,视线会在注视点周围出现眼跳(周临,邓铸,陈庆荣,2012)。这种不由自主发生的眼跳会导致个体在小区域内的视线出现不稳定的现象,间接影响实时突显的区域稳定。因此,被试在基于视线突显(尤其是小区域突显)下进行搜索时,突显区域的不稳定会产生一定程度的视觉干扰。江康翔(2015)通过记录被试注视某一个信息项目时的视线轨迹图也发现了此问题,并提出矩阵突显,试图通过扩大突显区域来降低由眼跳导致的视觉干扰。本研究使用的矩阵突显,其突显区域相比单项突显放大了9倍。因此,被试在矩阵突显下受到的视觉干扰将远小于单项突显下的干扰。另一方面,我们认为,扩大的突显区域为被试提供更多可关注的信息,有利于提高信息加工效率,即矩阵

突显下,被试的搜索策略可同时采用平行加工和系列加工方式,从而提高被试的搜索效率。这个假设已由本研究的实验2进一步验证。

实验2中,我们进一步考察不同词频词组下,两种视线突显技术对搜索绩效的作用。结果发现,两种突显技术仅能在低频词组下提高搜索正确率,且单项突显的优势更为明显;其次,矩阵突显能提高两种词组的搜索速度。以往研究发现,提取汉字有两种加工方式,即高频时以整字为主,低频时以部件特征分析为主(Seidenberg, 1985)。视觉搜索研究表明,被试搜索单一特征目标时可能运用简单快速的平行搜索模型,当搜索目标的特征变多后,被试进行了要求更多注意资源的系列搜索模型(Bacon & Egeth, 1994)。因此,我们认为被试在搜索高频词组时,将词组作为整体的视觉刺激进行加工,采用的是平行搜索策略。而在搜索低频词组时,需要加工词组的多个部件特征并进行整合,采用的是系列搜索策略。Theeuwes(2004)研究发现注意窗口的大小会影响人们在视觉搜索过程中的注意捕获,从而影响搜索策略,即当注意窗口较大时,被试可能进行平行搜索;当注意窗口较小时,被试可能进行系列搜索。Belopolsky, Zwaan, Theeuwes 和 Kramer(2007)让被试在不同注意窗口下进行字母搜索,研究结果验证了Theeuwes的注意窗口理论。结合本研究中的矩阵突显和单项突显的设计可知,矩阵突显具有较大的突显区域,这样的突显方式将被试的注意分布在多个项目上,被试的注意窗口更大,可以兼顾平行搜索和系列搜索策略,因此适用于高频和低频词组的搜索。但从结果可以发现,矩阵突显技术扩大了注意窗口,在提高搜索速度的同时降低了正确率(但仍在可接受范围)。单项突显具有较小的突显区域,这样的突显方式将被试的注意集中在单个项目上,被试的注意窗口小,更适合进行系列搜索,提高搜索正确率,所以单项突显在低频词组的正确率上体现出更大优势。高频词组

搜索时, 被试在单项突显下具有较小的注意窗口, 这种突显方式迫使被试进行序列搜索, 在一定程度上会影响被试的平行搜索策略, 因而不适合采用单项突显进行搜索高频词组。

以上是关于两种视线突显技术的规律特点分析。值得注意的是, 矩阵突显的搜索速度要优于单项突显, 实验 2 发现两种突显技术仅能在低频词组下提高搜索正确率, 且单项突显的优势更为明显。在以后研究中, 我们控制材料的词频相同, 探讨两种视线突显技术是否受到结构特征复杂度的影响。同时, 本研究比以往同类研究进一步完善视线突显技术的规律特点, 但视线突显技术在不同材料下的应用仍为理论研究, 我们有望进一步实践视线突显技术的实际应用。

5 结论

本研究得到以下结论:

(1) 矩阵突显和单项突显技术均能提高搜索绩效;

(2) 矩阵突显技术在提高搜索速度上要优于单项突显技术;

(3) 矩阵突显技术均能提高两种词组的搜索绩效; 而低频词组搜索时, 单项突显技术下的搜索正确率最优。

以上结论表明, 视线突显技术应用到具体的界面设计时, 需考虑到界面中相应的信息特点。例如, 当交互界面使用的文字对用户而言为高频时(如中文用户使用中文界面), 可采用视线矩阵突显技术来提高界面的交互效率; 当交互界面使用的文字对用户而言为低频时(如中文用户使用外文界面), 可采用视线单项突显技术来提高界面的交互效率。

参考文献

北京语言学院语言教学研究所. (1986). *现代汉语频率词典*. 北京: 北京语言学院出版社.

陈肖雅. (2014). *用于大触摸屏软键盘的大小自适应研究*. 浙江理工大学硕士学位论文.

胡凤培, 葛列众, 姜坤. (2002). 颜色、闪烁冗余代码对图形的突显工效研究.

人类工效学, 8(4), 13-16.

江康翔. (2015). *基于视线追踪的交互式突显的研究*. 浙江理工大学硕士学位论文.

李宏汀, 江康翔, 王琦君, 葛列众. (2017). 基于视线追踪交互式突显技术对视觉搜索的影响研究. *心理科学*, 40(2), 269-276.

孙梦丹. (2016). *视觉复杂度和相似度对视觉搜索作业中眼控突显技术的影响*. 浙江理工大学硕士学位论文.

郑璐. (2011). *手机通讯录自适应与自定义的工效学研究*. 浙江理工大学硕士学位论文.

周临, 邓铸, 陈庆荣. (2012). 反向眼跳的实验范式、机制及影响因素. *心理科学*, 35(1), 16-23.

Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1994). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception and Psychophysics*, 55(5), 485-496.

Baudisch, P., Lee, B., & Hanna, L. (2004, May). Fishnet, a fisheye web browser with search term pop outs: A comparative evaluation with overview and linear view. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces 2004, Gallipoli, Italy: ACM*.

Belopolsky, A. V., Zwaan, L., Theeuwes, J., & Kramer, A. F. (2007). The size of an attentional window modulates attentional capture by color singletons. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14(5), 934-938.

Fisher, D. L., & Tan, K. C. (1989). Visual displays: The highlighting paradox. *Human Factors*, 31(1), 17-30.

Furnas, G. W. (1981). The fisheye view: A new look at structured files. In S. K. Card, J. D. Mackinlay, & B. Shneiderman (Eds.), *Readings in information visualization: Using vision to think* (pp. 312-330). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.

Mäntyjärvi, J., & Seppänen, T. (2003). Adapting applications in handheld devices using fuzzy context information. *Interacting with Computers*, 15(4), 521-538.

Sarada, T., Monisha, S., & Srinath, D. K. (2015). Eye movement-based human-computer interaction techniques. In *Proceedings of the International Conference, "Computational Systems for Health and Sustainability", Bangalore, Karnataka*.

Seidenberg, M. S. (1985). The time course of phonological code activation in two writing systems. *Cognition*, 19(1), 1-30.

Theeuwes, J. (2004). Top-down search strategies cannot override attentional capture. *Psychonomic Bulletin and Review*, 11(1), 65-70.

Wang, L., Ge, L., Jiang, T., Liu, H., Li, H., Hu, X., & Zheng, H. (2015). Influence of highlighting words beneath icon on performance of visual search in tablet computer. In R. Shumaker, & S. Lackey (Eds.), *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality* (pp. 81-87). Cham: Springer.

Zhang, S. (2010). Gaze assistant by eye tracking and image wrapping. In *Proceedings of 2010 Fifth International Conference on Frontier of Computer Science and Technology, Changchun, Jilin Province, China*.

The Impact of Visual Information Material on the Effectiveness of Eye-Controlled Highlighting

Pan Yunxian¹, Ge Liezhong², Wang Li³, Wang Qijun¹

(¹Department of Psychology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, 310018) (²Center for Psychological Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310007)

(³China Astronaut Research and Training Center, Laboratory of Human Factors Engineering, Beijing, 100094)

Abstract The information display technology has gradually developed in the human computer interface. In order to improve the user's operating performance, many traditional display techniques, including highlighting, focus-context technology and application adaptation, were studied by many researchers. However, those techniques were unable to adapt themselves to the changing needs of users when they searched on a massive information display. Combined with the highlighting technique and eye tracking method, eye-controlled highlighting was used as a new application in the formation display interface. It highlights directly the information which users are searching, as shown in Figure 1 to 2. Compared with traditional highlighting, eye-controlled highlighting dynamically highlights information determined by users' eye movement. Users search information more naturally and efficiently.

This study consists of two experiments. It attempts to study how different material and word frequency influence three display conditions in visual search. Those tests were developed in VisualC#2010. All sessions were run on a 1440×900 resolution monitor. A 2 (stimulus type: number vs. word in Exp.1, high-frequency word vs. low-frequency word in Exp.2) × 3 (highlighting type: block highlighting vs. single highlighting vs. no-highlighting) between-subject design was adopted in both experiments. Two experiments' dependent variables were accuracy, searching time, and user's evaluation of NASA-TXL. The NASA-TXL is a six-aspect evaluation: mental demand, physical demand, temporal demand, performance, effort and frustration. One hundred and ninety-two right-handed adults participated in the study (42 females and 54 males in Exp.1, 39 females and 57 males in Exp.2), randomly assigned to the 6 levels of experiment. For each group, the participants were asked to finish 20 times of searching tasks with different displays conditions. After the searching tasks, the participants' subjective evaluation was performed.

All data were processed by SPSS 13.0. The mean and standard deviation of the six experiments' performance and satisfaction evaluation were shown in Table 1 to 4. The two-factor variance analysis results were as follows. In Exp.1, (1) When searching numbers and words with two eye-controlled highlighting, the participants had higher accuracy than those with no-highlighting ($p < .05$). Besides, when searching numbers and words with block highlighting, the participants were faster than those with single highlighting ($p < .05$). (2) There was no significant difference between two eye-controlled highlighting both on the performance searching numbers and words ($p > .05$). (3) The participants doing number searching felt more tired with single highlighting than with no-highlighting in terms of physical demand, but felt more comfortable in terms of frustration with single highlighting ($p < .05$). In Exp.2, (1) When searching high-frequency and low-frequency words with block highlighting, the participants were faster than those with single highlighting and no-highlighting ($p < .05$). (2) Searching low-frequency words with single highlighting, the participants had higher accuracy than those with block highlighting and no-highlighting ($p < .05$). (3) The participants felt more comfortable in aggregate scores with two highlighting than those with no-highlighting ($p < .05$).

The study has these conclusions: (1) Two types of eye-controlled highlighting are better than no-highlighting; (2) Block highlighting is faster than single highlighting; (3) Single highlighting has more advantages in searching low-frequency words.

Key words human-computer interaction, gaze tracking, eye-controlled highlighting technology