

目标颜色对视线交互的影响研究

张新勇 肖 源

(中国人民大学信息学院 北京 100872)

摘 要 随着眼动跟踪技术的日益成熟,面向终端用户的视线输入产品问世,视线交互(Gaze-based Interaction)的实用性越来越高。然而,由于眼睛并不是与生俱来的控制器官,用户界面中无论动态或静态的各种视觉反馈,在视线交互过程中都可能干扰用户的眼动,从而影响视线输入(视点坐标)。因此,通过两个视线点击(Eye Pointing)实验,从视点的空间分布特征和视线交互的人机工效两个方面,系统地评估了目标颜色因素对视线交互的影响。结果表明,目标颜色这类静态视觉反馈虽然不影响用户凝视目标时视点坐标的稳定性,但的确会对用户的眼动扫视过程造成显著影响,从而影响视线点击任务的人机工效。特别是在视线移动距离较长的情况下,这种影响更为明显。

关键词 视线交互,人机工效模型,目标颜色

中图法分类号 TP11 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.9.002

Study on Effects of Target Color on Eye Pointing Tasks

ZHANG Xin-yong XIAO Yuan

(School of Information, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract Because eye tracking technologies become increasingly mature, there have been some gaze input devices for end users in the market, leading to the increasing practicability of gaze-based interactions. However, the eyes are not inherent control organs, so the visual feedback scan probably interferes the eye movements of users, regardless of dynamic or static forms presented in user interfaces, thereby affecting gaze input. Using two eye pointing task experiments, this paper systematically evaluated the effects of target color on gaze-based interactions according to the spatial features of gaze points and the criteria of human performance. The results indicate that although the factor of target color does not significantly change the spatial features of gaze points during fixations for target acquisition, it can indeed affect the performance of users in eye pointing tasks, especially for the targets located at long distances.

Keywords Gaze-based interaction, Human performance model, Target color

1 引言

所谓视线交互是基于视线跟踪(Eye Tracking)技术的人机交互方式,用户可以通过视线与计算机进行非接触、自然、智能的交互。自从视线交互概念被提出以来,经过几十年的研究发展,HCI专家对视线交互在文字录入、阅读辅助、多通道交互系统等方面进行了诸多有价值的应用探索。随着视线跟踪技术的日益完善,联想与Tobii公司发布了眼控交互概念笔记本电脑,随后Tobii公司推出了面向终端消费市场的视线输入产品(REX Eye Tracker),这使得视线交互技术逐步走出实验室,进入大众的日常工作与生活领域。特别是在谷歌眼镜问世后,视线交互的应用前景将更加光明。

然而,视线交互一直有其自身不可避免的局限性,因为眼睛的本质是一种感知器官而非运动控制器官。在传统用户界面中,设计各种不同的视觉反馈对于提升交互的可用性和用户体验具有积极的作用。在视线交互界面中,视觉反馈却可

能是一把双刃剑。不当的反馈方式会干扰用户的视线运动,从而影响交互的过程。因此,研究视线交互界面中的视觉反馈问题具有更加重要的意义。比如,通过有效的视觉反馈形式来克服视线交互中典型的“Midas Touch”问题^[1]。这里所谓的“Midas Touch”问题是指由于缺乏类似鼠标点击这样明确的命令触发机制,导致用户在浏览界面的过程中视线所及的任意交互对象都有可能被触发。

除了设计不同的视觉反馈形式来改善交互的可用性外,UI界面中交互组件本身的颜色也是一种视觉反馈。虽然有研究表明交互目标颜色的变化(或不同)对基于鼠标或笔这样的传统交互方式中的人机工效没有显著影响^[2],但在视线交互中,由于眼睛承担感知信息和控制交互的双重角色,颜色对用户眼动的影响可能潜在影响交互的人机工效,使得颜色因素的效应有别于其在传统界面中的效应。本文以文献[3]针对视线交互而提出的新的工效模型为理论工具,通过两个视线点击(Eye Pointing)实验,定量地研究了颜色因素对工效的影响,为视线交互UI的设计提供了新的实践指导。

收稿日期:2014-06-20 返修日期:2014-07-28 本文受国家自然科学基金面上项目(61070144)资助。

张新勇(1974—),男,博士,副教授,CCF会员,主要研究领域为智能人机交互、用户行为和因人因工程等,E-mail:x. y. zhang@ruc. edu. cn;肖 源(1984—),男,博士生,主要研究领域为信息分析,E-mail:xiaoyuan@ruc. edu. cn。

2 相关工作

本节将从3方面介绍与本文相关的主要研究工作:1)视线交互中关于视觉反馈的研究;2)传统交互界面中颜色因素对人机工效的影响研究;3)可用作视觉反馈评估理论工具的工效模型。

2.1 视觉反馈在视线交互中的作用

由于眼睛的本能是感知,当视线作为一个独立的交互控制信息输入通道时,眼睛仍然会不间断地采集视线所及之处的可见信息。一旦有“意外事件”发生,就可能分散用户的注意力,导致交互进程受挫。因此,在基于视线控制的用户界面中,必须谨慎地考虑和使用视觉反馈。

在眼动跟踪过程中,由于跟踪误差或校准漂移的存在,使得眼动仪所输出的视点坐标(Gaze Point)可能偏离用户实际所注视的位置。Istance等人指出,给采样视点提供一个明确的视觉反馈,可使用户实时意识到界面中哪个交互目标正响应视点输入,从而避免误操作或意料之外的重复操作^[4]。

因“Midas Touch”问题的存在,在视线交互中基于驻留时间(Dwell Time)机制激活目标是最常用的方式^[5]。在眼控界面中,有几种不同的视觉反馈方式用以反映目标激活过程中驻留时间的消逝进程。比如,文献[6]设计了一种眼控按钮,按钮在初始状态时显示为一只睁开的眼睛;当用户注视按钮时,它动态呈现从睁眼到闭眼的过程;当眼睛完全闭上时按钮被激活。在视线打字(Eye Typing)系统中,Lankford设计了一种屏幕键盘,他在字符键上用一个从边沿往中心逐渐收缩的红色矩形框表示用户注视字符键时的时间消耗,直到最后该字符键被“按下”^[7]。同时,Lankford也在驻留时间进程的不同阶段设计了不同形状和颜色的反馈,提示可以执行类似鼠标单击、拖放和双击等动作的时机。在Majaranta等专家设计的视线打字系统中,屏幕键盘中的字符键本身会收缩,以使用户更容易将注意力集中在按键中心^[8]。他们的研究表明,这种动态反馈形式能有效降低用户将视线提前移动到下一个字符键的可能性。Hansen等人在GazeTalk系统中设计了一个进度条来动态提示屏幕键盘中的按键被“按下”前所剩余的时间^[9]。Kumar等人在EyePoint应用系统的界面中使用了点状网格背景,以便用户在凝视所需目标时有视觉锚点的协助,从而变得更容易^[10]。

尽管不少视线交互研究人员探索了不同视觉反馈形式的可行性,但也有人对此持不同意见。比如,文献[11,12]的观点就与文献[4]的观点不同,他们认为用一个可见的光标跟随用户的视线是一种不恰当的视觉反馈形式,因为当视线跟踪误差较大、光标不能准确移动到用户的注视点时,用户的注意力将受到干扰,导致进一步的偏离。

动态视觉反馈在逻辑上存在干扰用户注意力的可能性。但另一方面,更周全的设计是否可以帮助用户克服干扰,扬长避短?文献[13]通过一个注意力实验(Attention Task)研究了不同动态反馈形式对用户视线的干扰程度。文中的反馈形式包括对驻留时间进程的不同反馈形式和对采样视点的不同实时反馈(即眼标 Eye Cursor)形式。该文献从时间和空间两个指标维度,对用户视线受干扰的程度进行了定量分析。结果表明,在用户正确理解交互目的和原理的情况下,能够有效克服动态反馈的干扰,尤其是当目标上的标识有一个清晰的静态聚焦区时。

2.2 视觉反馈在传统交互中的作用

视觉反馈在传统交互界面中的重要作用(比如提示系统状态、反映交互进程等)已得到公认,是UI设计实践中必须加以贯彻实施的基本原则,因此本文不再赘述。但是,若将目标颜色视作一种特定的视觉反馈,文献[2]的研究则与本文的工作具有一定相关性。Kong等人利用Fitts点击实验,从人机工效的角度评估了目标颜色因素的影响。结果表明,无论是以固定顺序呈现还是随机呈现,也无论是在鼠标输入还是笔式输入条件下,目标颜色(红绿蓝)对工效皆无统计意义上的显著影响。然而,在视线交互条件下是否仍然如此?这需要进行进一步的研究探索,这也是本文研究的目的所在。

2.3 评估视觉反馈的理论工具

Fitts模型作为一个传统交互方式下UI设计的理论评估工具,它的有效性得到了长期和广泛验证^[14]。Kong等人也以Fitts模型作为理论工具,就目标颜色变化对人机工效的影响效应进行了评估。然而,对于视线交互来说,很长时间内没有一个有效的模型能够像Fitts模型对传统交互那样,可准确预测视线点击任务的工效,这种局面直到文献[3]专门提出并深入分析验证了一个新的模型后才被打破。该模型表达如式(1)所示。

$$T = a + b \times ID_{eye} = a + b \frac{e^{\lambda A}}{W - \mu} \quad (1)$$

其中, T 表示完成视线点击任务的时间, A 代表视线移动的距离, W 表示目标的直径; a 和 b 为回归系数。分式被定义为视线点击任务的难度指数 ID_{eye} ,其中 λ 和 μ 代表两个经验常数。前者为一个很小的数,它是眼睛急速扫视(Saccade)的体现,即视线移动距离 A 对时间 T 的贡献率很低。 λ 大约分布在(0.0003,0.0015)区间范围内,一般在0.0008左右即可获得满意的数据拟合效果。后者反映了视点噪音的影响,当目标尺寸 W 接近于某个阈值时,视线点击任务将变得更加难以完成。 μ 是可测量的数值,可用采样视点分布区域的平均直径替代。

式(1)是以简化的圆形目标为基础而建立并验证的模型。为使其更具一般性,作者进一步将其扩展到了矩形目标的条件^[16],其形式如式(2)所示:

$$T = a + b \times e^{\lambda A} \sqrt{\frac{\omega}{(W - \mu)^2} + \frac{1 - \omega}{(H - \mu)^2}} \quad (2)$$

其中, ω 表示矩形目标宽度 W 和高度 H 影响的权重系数,它在一定程度上与视线移动方向有关。

以式(1)或式(2)所示的 ID_{eye} 模型作为理论评估工具,文献[16,17]分别对目标扩大(Target Expansion)技术、离心向心两种不同类型的扫视眼动对交互工效的影响进行了定量评估。特别是前者对目标扩大过程的不同视觉反馈方式(可见和非可见)进行了模型拟合对比分析。结果表明,虽然可见的扩大过程会对用户的注意力造成一定干扰,但对工效的影响基本可以忽略,因为不同视觉反馈条件下的回归直线基本重合^[16]。 ID_{eye} 模型的有效性为本文的研究奠定了理论基础。

3 研究问题的提出

前面已经提到,在视线交互条件下,眼睛承担双重角色。用户感知UI中的视觉反馈可能与执行视线交互的过程存在直接的冲突,或潜在的影响。将交互目标的颜色视作一种视觉反馈形式,其变化或不同对传统交互方式的人机工效没有显著影响^[2]。一个可能的原因是视觉感知信息通道与交互控

制信息通道相互独立,信息输入输出不会竞争传输通道。

然而,在视线交互中视觉感知信息和交互控制信息的输入输出会竞争传输通道。此时,交互目标的颜色变化对人机工效的影响程度是否像在传统交互中那样不显著?如果显著,哪种(类)颜色会更有利于改善交互的人机工效?为回答这两个问题,本文设计了如下两个视线点击任务(Eye Pointing Task)实验进行研究探索。

4 实验一:目标颜色分组呈现

4.1 实验概况

4.1.1 实验设备

视线输入交互实验程序运行在主频为 2.7GHz 的奔腾四代个人电脑上,该机器安装运行 Windows 2000 操作系统,配备 19 寸 CRT 显示器(分辨率设置为 1027×768 pixels)。视线输入设备选用头盔式眼动跟踪仪 Eyelink II,该设备及其相应的软件系统安装运行在一台主频为 700Hz 的奔腾三代专用电脑上。两台机器通过网线连接以传输数据。实验过程中,Eyelink II 眼动仪运行在纯瞳孔模式,眼动跟踪数据采样频率为 250Hz。

4.1.2 实验任务

实验是一个简单直观的视线点击任务,即通过视线驱动光标,直接或间接模拟产生标准的鼠标事件(如移动、单击)来实现目标的选择。

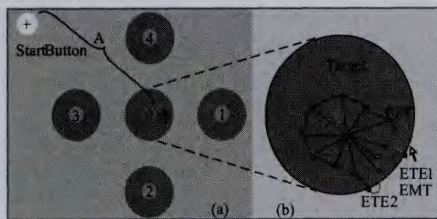


图 1 (a)视线点击任务实验 (b)视点采样

图 1

如图 1(a)所示,在每次任务中,测试启动按钮将随机出现在屏幕对角线预设的某个位置上。该按钮显示为一个直径为 32pixels 的圆,但其实际有效区域的直径是 120pixels。被试者首先需要注视启动按钮,光标同步进入启动按钮的有效区域,连续驻留 450ms 后,按钮触发并消失,一组呈“十”字形排列的候选目标随即出现在相应对角线给定距离(A)的位置上,计时开始。实验要求被试者尽可能快速地转移视线,注视中间目标的聚焦区域(其余 4 个为干扰目标)。各候选目标除它们的中心聚焦区颜色稍有不同外,主体颜色保持一致。

当眼标进入目标区域后,驻留时间达到预定义的阈值 800ms 时,目标将被激活触发,视作被点击选中。如果 4 个干扰目标之一被选中,记作一次错误选择;如果测试开始 5s 后,仍然无目标被选中,记一次超时错误。对于不同实验组合条件下的一次测试任务,如果被试者不能成功选中所需的目标,则最多可重复 5 次;否则,需重新校准眼动仪,并跳到下一个组合条件的测试。

4.1.3 实验被试

共有 12 名被试者完成了本实验。其中女性 5 名,男性 7 名,平均年龄为 21.5 岁。所有被试者有正常或校正到正常的视力。部分被试者此前参与过类似的实验。由于实验任务简单直观,即便参与过也并不能得到更多的经验。

4.1.4 实验设计

本实验是一个可重复多因素组内全交叉设计组成的混合多因素实验。相应的因素及水平如下。

- 目标颜色 COLOR:包括红、绿、蓝 3 种基本颜色。实验过程中,界面背景颜色保持灰色不变。
- 目标直径 D:分别为 50pixels, 65pixels, 80pixels。
- 视线移动距离 A:分别为 200pixels, 380pixels, 850pixels。

共有 12 名被试者参与此实验。3 种目标颜色呈现的顺序在被试者中按正交拉丁方表进行了平衡,以消除顺序效应。

4.2 测量指标

显而易见,眼标在屏幕上的空间分布特征或运动特征直接反映了被试者注意力的变化情况。当被试者注视目标中心时,可以用如下 3 个测量指标来反映用户注意力的状态。一旦被试者的注意力受到某种因素的干扰,这些指标将发生相应的变化。

- 眼标轨迹的各采样点到样点中心的平均距离(AD):如图 1(b)所示,当眼标进入目标区域后,其轨迹的坐标将以 25Hz 的频率进行采样。对于每个测试任务,计算各采样点到其中心的平均距离。此指标可视为光标抖动区域的半径。

- 各采样点到样点中心距离的标准差(StDD):对于每次测试的采样点,计算它们到样点中心不同距离的标准差。此指标能反映视点抖动的程度。

- 光标进出目标区域的次数(ETE):如图 1(b)所示,由于光标不能稳定地停留在某一点,它可能反复多次进出目标区域。此指标在总体上反映视点漂移对驻留时间连续性的影响。

这 3 个指标从空间分布特征这个角度刻画视点信号。对于视线点击任务的工效,定义了如下两个主要指标。这是从时间维度刻画视线输入信号。

- 视线的移动时间(EMT):表示视线从启动按钮快速移动到所需目标中心所需的时间。实际中,通过测量从每次测试的开始时刻到光标首次进入目标区域时耗费的时间来近似表示它。

- 视线点击时间(EPT):表示从测试的开始时刻起,到光标进入目标区域连续驻留足够长时间后,成功激活选中该目标时为止的时间。

4.3 结果分析

本实验共获得 5362 次测试记录,这些测试共产生了 4.24 万余条视点采样记录。数据分析时排除了错误测试和异常测试记录,共约 6.2%,其对应的视点采样记录也被排除在外。本文的异常数据是指从测试结果观测到的 EMT 和 EPT 值大于相应测试条件下均值 3 倍的测试数据。采用重复测量方差分析方法,对反映眼标稳定性和视线交互人机工效的各观测指标的变化进行了方差分析。

4.3.1 指标 AD

方差分析表明,颜色因素 COLOR 对 AD 没有显著影响($F_{2,22}=0.53, p=0.596$),移动距离($F_{2,22}=4.23, p<0.05$)和直径($F_{2,22}=116.06, p<0.001$)对 AD 都有显著影响。各因素两两之间没有显著的交互效应。红绿蓝不同颜色条件下,AD 的均值分别为 5.3pixels、5.1pixels 和 5.2pixels,两两对比分析结果表明,其相互间无显著差异。从图 2 可见,AD 随着移动距离或直径的增大而显著增大。

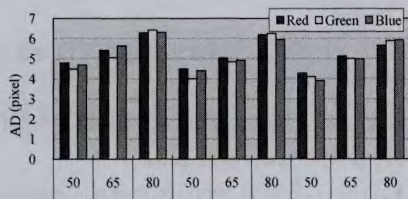


图2 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的AD均值

4.3.2 指标 StDD

方差分析表明,只有直径因素的主效应达到了显著水平($F_{2,22}=153.9, p<0.001$),其余因素对StDD均无显著影响,且不存在显著的交互效应。红绿蓝不同颜色条件下,StDD的均值分别为3.3pixels、3.2pixels和3.3pixels,两两对比分析结果表明,其相互间无显著差异。图3表明,StDD随着直径的增大而增大,不同水平上的均值分别为2.6pixels、3.2pixels和3.9pixels,其相互间均有极显著差异($p<0.001$)。

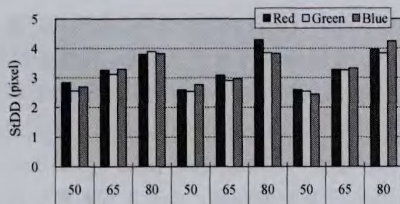


图3 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的StDD均值

4.3.3 指标 ETE

颜色因素对ETE无显著影响($F_{2,22}=1.182, p=0.325$),距离($F_{2,22}=13.028, p<0.001$)、直径($F_{2,22}=21.774, p<0.001$)对ETE都有显著影响。不同颜色条件下,ETE的均值分别为1.11次、1.10次和1.13次,两两对比分析结果表明,相互间无显著差异。图4所示为各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的ETE均值。

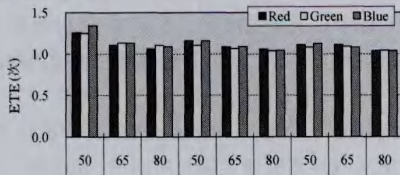


图4 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的ETE均值

4.3.4 指标 EMT

分析表明颜色因素($F_{2,22}=8.11, p=0.002$)、移动距离($F_{2,22}=71.17, p<0.001$)和直径($F_{2,22}=82.43, p<0.001$)对EMT都有显著影响。各因素两两之间都有显著的交互效应。不同颜色条件下,EMT的均值分别为372.8ms、409.4ms和394.8ms。两两对比分析发现,红、绿色条件之间有显著差异($p=0.005$),红色与蓝色之间存在统计意义上的显著差异($p=0.045$),蓝色与绿色之间没有显著差异($p=0.054$)。图5所示为各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的EMT均值。

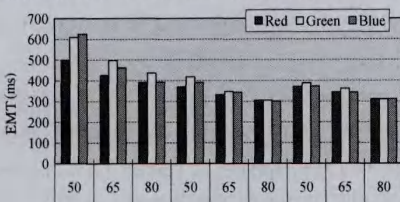


图5 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的EMT均值

4.3.5 指标 EPT

方差分析表明,颜色因素对EPT没有显著影响($F_{2,22}=2.44, p=0.111$),移动距离($F_{2,22}=57.36, p<0.001$)和直径($F_{2,22}=46.94, p<0.001$)对EPT都有显著影响。红绿蓝不同颜色条件下,EPT的均值分别为1294.9ms、1313.9ms和1333.9ms。颜色因素和移动距离之间有显著的交互效应($F_{4,44}=4.96, p<0.005$)。如图6所示,当移动距离为850 pixels时,不同颜色条件下EPT的差异比其他距离水平上的差异明显得多。在此移动距离水平上,颜色因素对EPT有显著的主效应($F_{2,22}=6.79, p=0.005$)。红绿蓝3种条件下EPT的均值为1385.7ms、1474.2ms、1525.9ms。红色条件的EPT均值要显著小于绿色($p=0.013$)和蓝色($p=0.009$)条件下的均值。

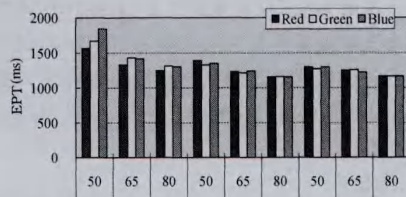


图6 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的EPT均值

从前面的方差分析可以看出,颜色因素对视点信号的空间分布特征没有显著的主效应,但对视线交互的工效的确有显著的主效应或交互效应。

4.4 模型拟合

对于两项工效指标EMT和EPT,利用式(3)和式(4)分别对不同颜色分组下的EMT和EPT数据进行模型拟合。其中 ID_{eye} 在数量上扩大80倍只是单纯使其在数量上与相应的Fitts ID分布在相似的范围。对于EMT,其测量间隔不包含视线驻留阶段,因此在模型中不考虑 μ 的作用;对于EPT,经验数 μ 根据两倍AD均值确定。数据拟合结果如表1所列。

$$EMT = a + b \times 80 \times \frac{e^{0.0008A}}{W} \quad (3)$$

$$EPT = a + b \times 80 \times \frac{e^{0.0008A}}{W - \mu} \quad (4)$$

表1 不同颜色条件下对EMT和EPT的模型拟合结果

指标	颜色	模型参数(经验常数)					R ²	
		a(Std. Err)	b(Std. Err)	λ	μ			
EMT	红	186	18.9	96.9	9.5	0.0008	0	0.937
	绿	111.6	25.1	154.8	12.5	0.0008	0	0.956
	蓝	94.0	31.8	156.2	15.9	0.0008	0	0.933
EPT	红	942.7	37.7	150.9	15.5	0.0008	10.6	0.932
	绿	877.7	48.3	187.4	19.8	0.0008	10.3	0.928
	蓝	761.6	69.9	246.0	28.6	0.0008	10.5	0.914

不难看出,模型对不同颜色条件下的EMT和EPT两个指标均能准确预测。红色条件下的处理能力指数IP(Index of Performance,通常用回归系数b的倒数表示)要明显高于其它颜色条件的。

5 实验二:目标颜色随机呈现

在实验一中,目标的不同颜色是分组依次出现的,在每一

组内的测试开始前,被试者知道目标的颜色。本实验在同样的测试平台上,让另一组被试者重复了上述实验任务。关键的不同之处在于目标颜色在测试过程中随机出现,被试者不能预知下一次测试的目标会是什么颜色。

5.1 实验概况

5.1.1 被试者

共有 15 名被试者完成了本次实验。其中女性 7 名,男性 8 名,平均年龄 22.5 岁。部分被试者此前也参与过类似的视线交互实验(但不是实验一)。

5.1.2 实验设计

本实验同样也是采用可重复测量全交叉设计,不同之处是用正方形的交互目标取代了圆形目标,所涉及的因素包括如下 3 种。

- 目标颜色,同样包括红、绿、蓝 3 基色。
- 目标边长,分别为 40pixels, 56pixels, 74pixels, 90 pixels。
- 视线移动距离,分别为 240pixels, 380pixels, 800pixels。

这 3 种因素以全交叉的方式产生 36 个条件组合。每个组合分别在 4 个对角方向上执行一次测试,共 144 次,构成一组测试。每个被试者需重复执行 7 组测试。与实验一不同的是,实验二在实验过程中 3 种颜色以随机顺序呈现给被试者,而非某个固定的顺序。实验共设计了 15120(3×4×3×4×7×15)次测试。

5.2 结果分析

实验共获得 15874 条测试记录。经过预处理,排除了约 4.8% 的错误记录以及 3.2% 的异常值记录。方差分析结果表明颜色因素对 3 种空间维度指标 $AD(F_{2,22}=0.06, p=0.941)$ 、 $StDD(F_{2,22}=0.83, p=0.445)$ 、 $ETE(F_{2,22}=3.30, p=0.053)$ 仍然没有显著影响。不同颜色条件下,AD 均值都为 5.0 pixels。

5.2.1 指标 EMT

颜色因素($F_{2,22}=15.98, p<0.001$)对 EMT 有显著影响。颜色和移动距离之间($p<0.001$)有显著的交互效应。红绿蓝不同颜色条件下,EMT 的均值分别为 381.7ms、406.1ms 和 386.2 ms。两两对比发现,红蓝色之间没有显著差异($p=0.283$),但它们分别与绿色都有显著差异($p<0.005$)。如图 7 所示,随着视线移动距离的增加,不同颜色之间的差异越明显。

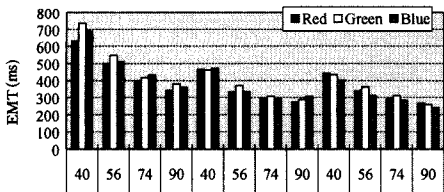


图 7 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的 EMT 均值

5.2.2 指标 EPT

如图 8 所示,颜色变化导致对 EPT 的影响十分显著($F_{2,22}=14.43, p<0.001$)。颜色与其它因素两两之间都有显著的交互效应。不同颜色条件下,EPT 的均值分别为 1385.9ms、1437.9ms 和 1378.2ms,两两对比分析结果表明,红色与蓝色之间同样没有显著差异($p=0.546$),其余两两之间均有显著差异。

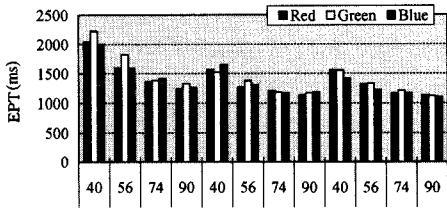


图 8 各颜色分组中不同(A,W)组合条件下的 EPT 均值

5.3 模型拟合

在方形目标条件下,令式(3)和式(4)中的经验常数 $\lambda=0.001$,可取得满意的数据拟合结果^[15]。不同颜色条件下的数据模型拟合结果如表 2 所列。

表 2 不同颜色条件下对 EMT 和 EPT 的模型拟合结果

指标	颜色	模型参数(经验常数)						R ²
		a(Std. Err)		b(Std. Err)		λ	μ	
EMT	红	125.4	11.4	114.6	4.8	0.001	0	0.983
	绿	99.4	15.3	137.4	6.3	0.001	0	0.956
	蓝	95.8	16.7	129.9	6.9	0.001	0	0.972
EPT	红	845.8	27.7	196.2	9.1	0.001	10.0	0.979
	绿	810.5	54.4	228.1	17.9	0.001	10.0	0.942
	蓝	852.7	29.9	190.8	9.8	0.001	10.0	0.974

从上面的拟合结果可以看出,红色与蓝色条件下的处理能力指数 IP 要高于绿色条件的指数。

6 讨论与结论

本文设计了两个实验来研究目标颜色对于视线交互的影响。第一个实验按颜色分组呈现实验测试任务,第二个实验中目标的颜色在测试任务中随机变化。本文选用空间和时间两个维度上的测量指标对颜色因素的影响进行评估。前者刻画视点输入信号(眼标)的稳定性,后者反映视线交互的人机工效。根据这些指标,两个实验得到了较为一致的结果,强化了本文研究结论的可靠性。

首先,颜色因素不会对视点的空间特性产生显著影响。由于眼睛本身的生理震颤特征和视线跟踪技术产生的误差等原因,视点输入信号不会像传统的鼠标输入信号那样能够稳定地保持在一点,即眼标不可能稳定地停留在一个坐标点。AD、StDD 和 ETE 3 个指标从不同方面反映了这种不稳定性。实验结果表明,无论以固定顺序还是随机方式呈现,目标颜色的变化均不会对视点信号的空间特性带来额外的显著影响。

其次,颜色对视线交互的工效有显著影响。两个实验的结果虽然不完全一致,在实验二中蓝色条件下的工效相对较好(较低的 EMT 和 EPT),而在实验一中相对较差,但两个实验都一致表明红色条件可取得相对较好的工效。一个合理的推测是,暖色调总体上对提高视线交互的工效更有利。此外,两个实验都表明颜色因素与视线移动距离有显著的交互效应。图 5 至图 8 清晰地表明,随着距离的增加,不同颜色条件下的工效差异将越来越明显。结合前面一点的结果,颜色对工效的影响并不是因为干扰了被试者在凝视目标时视线的稳定性。那么颜色因素只能是通过影响视线的扫视运动过程而对交互的工效造成影响。这也解释了为什么不同颜色的工效差异在较长的移动距离水平上更明显。至于为什么如此,可能需从神经生理学的角度进行进一步的研究。

第三,本文的研究再次证实用于视线交互的 ID_{σ} 模型可同用于传统交互的 Fitts 模型一样,作为一种有效的理论评估

工具。表 1 和表 2 清晰地表明, ID_{eye} 模型在不同颜色条件下的工效指标(EMT 和 EPT)的 R^2 平均达到了 0.95,取得了足够好的数据拟合度。同时,图 9 和图 10 中的回归直线也直观地说明了模型的参数能准确反映不同颜色条件下人机工效的相对优劣、差异程度及其变化趋势。

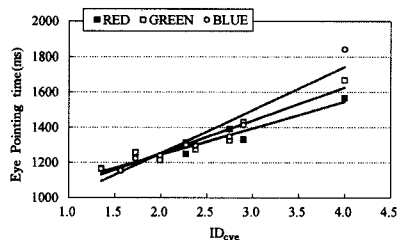


图 9 实验一中 EPT 的回归直线

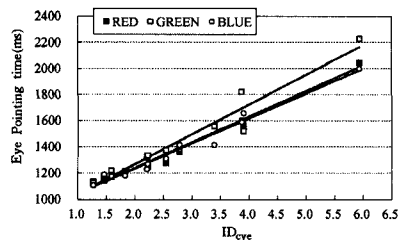


图 10 实验二中 EPT 的回归直线

结束语 本文以 ID_{eye} 模型为理论评估工具,通过两个不同的实验从视点坐标空间稳定性和人机工效两个层面有效揭示了目标颜色对视线交互的影响。研究结果为视线交互界面的设计实践提供了进一步的指导原则:采用暖色调会相对更有利于改善交互工效,特别是在视线移动距离较大的条件下,改善的空间更大。

参 考 文 献

- [1] Jacob R. The use of eye movements in human-computer interaction techniques; what you look at is what you get [J]. ACM Transactions on Information Systems, 1991, 9(3): 152-169
- [2] Kong J, Ren X, Shinomori K. Investigating the influence of colors on the performance of pointing tasks for human interface design[J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2007, E90-D(2): 500-508
- [3] Zhang X, Ren X, Zha H. Modeling dwell-based eye pointing target acquisition [C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2010: 2083-2092
- [4] Instance H O, Spinner C, Howarth P A. Providing motor impaired users with access to standard GUI software via eye-based interaction [C]// Proceedings of the 1st European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, 1996: 109-116
- [5] Hansen J P, Johansen A S, Hansen D W, et al. Command with-

out a click; dwell time typing by mouse and gaze selections [C]// Proceedings of INTERACT'03, 2003: 121-128

- [6] Glenstrup A, Engell-Nielsen T. Eye controlled media; present and future state[D]. Institute of Computer Science, University of Copenhagen, 1995
- [7] Lankford C. Effective eye-gaze input into windows [C]// Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium, 2000: 23-27
- [8] Majaranta P, MacKenzie I S, Aula A, et al. Effects of feedback and dwell time on eye typing speed and accuracy [J]. Journal of Universal Access in the Information Society, 2006, 5(2): 199-208
- [9] Hansen J P, Johansen A S, Hansen D W, et al. Command without a click; dwell time typing by mouse and gaze selections [C]// Proceedings of INTERACT'03, 2003: 121-128
- [10] Kumar M, Paepcke A, Winograd T. Eyepoint; Practical pointing and selection using gaze and keyboard [C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2007: 421-430
- [11] Jacob R J K. Eye movement-based human-computer interaction techniques; Toward non-command interfaces [J]. Advances in Human-Computer Interaction, 1993, 4: 151-190
- [12] Hatfield F, Jenkins E A, Jennings M W, et al. Principles and guidelines for the design of eye/voice interaction dialogs [C]// Proceedings of the IEEE 3rd Symposium on Human Interaction with Complex Systems(HICS'96), 1996: 10-19
- [13] Zhang X, Feng W, Zha H. Effects of different visual feedback forms on eye cursor's stabilities [C]// Proceedings of International Conference on Human-Computer Interaction(LNCS Vol. 6775), 2011: 273-282
- [14] Soukoreff R W, MacKenzie I S. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI [J]. Int. J. Human-Computer Studies, 2004, 61: 751-789
- [15] Zhang X, Zha H. Human performance modeling for two-dimensional dwell-based eye pointing [C]// Proceedings of the 16th Pacific Asia Conference on Information Systems, 2012: 96
- [16] Zhang X, Zha H, Ma W. An Evaluation of 2D Target Expansion for Gaze-based Interactions [OL]. 2014-06-10. CHI '13 workshop on "Gaze Interaction in the Post-WIMP World". <http://gaze-interaction.net/wp-system/wp-content/uploads/2013/04/ZZM13.pdf>
- [17] 张新勇, 查红彬. 视线交互中两类扫视运动的人机工效评估研究 [J]. 计算机科学, 2014, 41(10): 1-6

Zhang Xin-yong, Zha Hong-bin. Evaluation of Effects of Centripetal and Centrifugal Saclades on Humman PErformance in Gaze-based Interactions[J]. Computer Science, 2014, 41(10): 1-6

(上接第 6 页)

- [13] HTK Hidden Markov Model Toolkit [OL]. <http://htk.eng.cam.ac.uk/>
- [14] 堵炜炜. 车载信息系统支撑与服务平台设计及实施管理研究 [D]. 上海: 复旦大学, 2011
- [15] 史敏锐. 车载信息服务分析与研究 [J]. 电信网技术, 2012(1): 24-30

- [16] 李力, 王飞跃, 郑南宁, 等. 驾驶行为智能分析的研究与发展 [J]. 自动化学报, 2007, 33(10): 1014-1022
- [17] 刘雁飞. 驾驶行为建模研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007