

复杂系统数字界面的多层级导航布局实验研究

沈张帆¹, 李瑞¹, 牛亚峰²

(1.江南大学, 无锡 214122; 2.东南大学, 南京 211189)

摘要: **目的** 针对复杂数字界面视觉搜索不流畅、信息感知绩效低的实际问题, 从界面导航布局角度开展实验研究, 探讨不同导航布局形式对于用户操作绩效的影响。**方法** 以典型的三层级导航为研究对象, 归纳总结出三大类、三十四种布局形式, 并基于眼动追踪技术对被试在不同布局情况下完成任务所需要的反应时和眼动数据进行对比分析。**结果** 实验结果表明不同类别的导航布局对于被试的搜索绩效有显著影响; 在A类布局中A1、A3明显优于A4、A7; 在B类布局中B1明显优于B4、B6; 在C类布局中C2明显优于C3、C6。从整体布局而言, B类左侧与C类右侧布局效果较优。**结论** 实验相关结论可为多层级导航的数字界面设计提供参考和指导性建议, 对于提升用户界面交互的可用性有重要作用。

关键词: 数字界面; 导航; 布局; 眼动追踪; 绩效

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)04-0070-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.04.008

Experimental Study on Multilevel Navigation Layout of Digital Interface in Complex Systems

SHEN Zhang-fan¹, LI Rui¹, NIU Ya-feng²

(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2.Southeast University, Nanjing 211189, China)

ABSTRACT: The work aims to carry out experimental study from the perspective of interface navigation layout to explore the effects of different navigation layout forms on user performance in view of the practical problems of disfluency in visual search and low performance of information perception in complex digital interfaces. Typical three-level navigation was selected as the research object, and thirty-four layout forms from three navigation categories were summarized. Based on eye movement tracking technology, the respond time and eye movement data required to complete the task under different layout conditions were analyzed. The results showed that different categories of navigation layouts had significant influence on search performance. In layouts of category A, A1 and A3 were obviously better than A4 and A7. In layouts of category B, B1 was better than B4 and B6. In layouts of category C, C2 was better than C3 and C6. In view of the overall layout, the left of category B and the right of category C resulted in better performance. Relevant experimental conclusions can provide reference and suggestions for the digital interface design of multilevel navigation, and have important impact on improving the usability of user interface interaction.

KEY WORDS: digital interface; navigation; layout; eye tracking; performance

多层级导航数字界面被广泛运用于复杂信息系统中。从设计的角度而言, 如何综合考虑功能性与美观性, 不仅使界面疏密排布合理, 而且让用户以合理的逻辑进行操作, 有效提升信息交互效率, 是目前研

究的关键问题之一, 具有重要的研究价值和实际意义。本文基于复杂信息系统数字界面, 运用眼动追踪技术和心理学实验方法开展数字界面导航布局实验研究, 探究不同形式的导航布局对于使用者完成视觉

收稿日期: 2020-10-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助 (JUSRP11999); 江苏高校哲学社会科学优秀创新团队“体验设计与系统创新”资助; 国家自然科学基金青年基金项目资助 (61802151)

作者简介: 沈张帆 (1988—), 男, 江苏人, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为人机界面设计与认知。

搜索任务绩效的影响,帮助设计师和开发人员优化信息系统的界面与导航布局,为多层级导航界面设计提供参考依据。

1 复杂信息系统数字界面

用户界面是操作者与各类数字装备、系统进行信息交互的关键载体。不同于普通信息系统,复杂信息系统的信息量巨大、信息种类繁多,信息编码所需的设计元素也大量增加,导致界面设计的难度大幅度提升^[1]。人的视觉感知在某种程度上可被视为一个信息处理系统,而该系统的最大特征是资源有限。因此,当复杂信息系统界面的信息布局和可视化结构较为复杂时,如果设计不合理、无序或是采用了过多的编码方式就会增加使用者的认知负荷,进而导致用户信息感知的一系列问题,例如造成密集感、混乱感、枯燥感等,干扰使用者的感知过程,提高用户操作失误率,引发严重的人为事故^[2]。在复杂信息系统数字界面设计中采用正确、有效的逻辑路径,一方面可以避免使用者漫无目的地搜索任务目标并提高搜索效率,另一方面还能够减少其对于系统和界面的学习成本与操作负担^[3]。已有研究表明,顺畅的感知次序能够积极影响大脑的信息编码过程,通过对信息的时间维度和空间维度进行优化设计,使用者可以更高效地开展较为复杂的认知任务,例如快速且精确地获取态势,进行分析、归纳、推理与决策^[4]。

复杂信息系统具有复杂性、层次性、多样性和开放性等特点,其相应的用户界面也与传统的人机交互数字界面存在较大程度的不同。因此,在信息交互的过程中多种因素的综合作用会影响用户的认知过程,主要体现在以下三个方面:(1)系统与任务难度因素,当信息结构复杂、时间压力大时,使用者在同一时间内需要处理巨量信息;(2)熟悉性因素,使用者对于系统任务、用户界面及界面信息元素的熟悉程度会显著影响自身的判断决策能力,进而影响系统操控效率;(3)认知策略因素,使用者在操作过程中选择的不同的认知策略和思维方式对于信息交互效率而言有明显差异。

针对复杂信息系统的特点,相关学者已经开展了深入研究。在形状编码领域,李晶等人^[5]开展了复杂信息系统人机交互数字界面的形状编码研究,通过行为实验分析了信息元素的设计特征与被试行为之间的关联机制,并提出了符合用户认知习惯的数字界面元素形状编码方法。在色彩编码领域,薛澄岐等人^[6]认为在信息交互过程中色彩编码是一种提供用户认知与决策的重要方式,但当界面中色彩数量过多时,用户的注意力也会被分散,因此设计师应当合理运用色彩编码方法,随后通过相关行为实验分析了不同色相、饱和度、明度情况下用户的视觉搜索绩效并提出了相应的设计准则。另外一些学者也针对实际应用场

景开展了相关研究,例如吴晓莉等人^[7]通过开展雷达态势界面视觉搜索任务研究了飞行员信息误判、疏漏等出错问题。Wilson 等人^[8]采用眼动追踪技术研究了飞行员在使用复杂战斗系统时的前瞻记忆和注意力转移情况。王海燕等人^[9]通过眼动实验和行为实验提出了战斗机驾驶显控系统的界面设计评价策略。

2 数字界面导航布局研究

人机交互数字界面的本质是将系统中抽象的信息通过一定方式转化为易于使用者搜索、识别和理解的可视化元素。目前,由图标、符号、文字、色彩等要素组成的图形用户界面应用最为广泛。当信息种类与数量不断增加时,必须重新梳理和优化界面的信息架构、导航布局,提高使用者与系统的交互效率。

在界面导航布局研究领域,牛亚峰等人^[10]根据事件相关电位技术,采用高相似度界面布局与低相似度界面布局的 Oddball 实验范式,研究了用户对于界面不同布局形式的认知规律。邵将等人^[11]通过搜索记忆任务研究了头盔瞄准显示系统中信息图标布局形式对飞行员信息误读问题的影响。蒋建军等人^[12]针对核电厂数字化人机界面,提出了事故规程布局的动态识别最短移动路径算法,研究核电厂数字化事故规程在屏之间的自动布局。滕红等人^[13]研究了复杂过程设备系统人机界面的布局设计,根据 FBS 理论和 PCP 理论,提出了三种不同布局形式的可用界面。金晓萍等人^[14]通过分析车辆领域复杂系统人机界面的特点,提出了驾驶相关界面的优化设计方法。王苗辉等人^[15]从使用者认知感受角度出发,研究了视觉元素分布对于用户搜索路线的影响机制。

在复杂信息系统中,使用者的主要工作内容是执行各项任务操作。然而目前针对复杂信息系统界面导航布局的研究中,尚缺乏对实际任务顺序性、学习性等特征的考虑,忽略了布局设计中信息块之间的逻辑关系。因此,本文以任务为导向,主要通过采集、分析不同界面导航布局形式下使用者行为数据和眼动数据等重要指标,研究其在执行复杂系统界面任务时的视觉搜索及认知规律,以及不同的导航布局形式是否且如何对使用者的认知绩效产生影响。

3 眼动实验

3.1 实验材料

三层级导航布局是目前复杂信息系统中较为常见的布局形式。本研究分析并归纳得出了三种不同种类的导航布局形式并将其作为实验素材:(1)A类导航布局,该类导航布局中的三个层级的导航均表现为水平排布,调换三者之间的次序可以得到十种具体布局形式,见图1;(2)B类导航布局,该类导航布局由处于顶部和底部的水平导航和中部的垂直导航构

成，调换三者之间的次序可以得到 12 种具体布局形式，见图 2；(3) C 类导航布局，该类导航布局没有底部导航，而是由处于顶部的水平导航和中部的垂直导航构成，调换三者之间的次序同样可以得到 12 种具体布局形式，见图 3。

3.2 实验设计

本研究设计开发了监控原型界面用以实验，被试需要在系统界面中开展视觉搜索任务以快速、准确识

别目标并进行操作。实验任务共分四步：(1) 被试在初始用户界面即第一层级导航中搜索并点击指定的“监控中心”按钮；(2) 在第二层级导航中搜索并点击“监控中心管理”按钮；(3) 在第三层级导航中搜索并点击“应用监控”按钮；(4) 浏览“应用使用排名”相关数据信息并确认排名情况。原型界面采用黑色、白色、灰色三种无色系色彩，消除颜色对被试完成任务绩效的潜在影响。实验流程见图 4。



图 1 10 种 A 类导航布局形式
Fig.1 Ten navigation layouts of category A

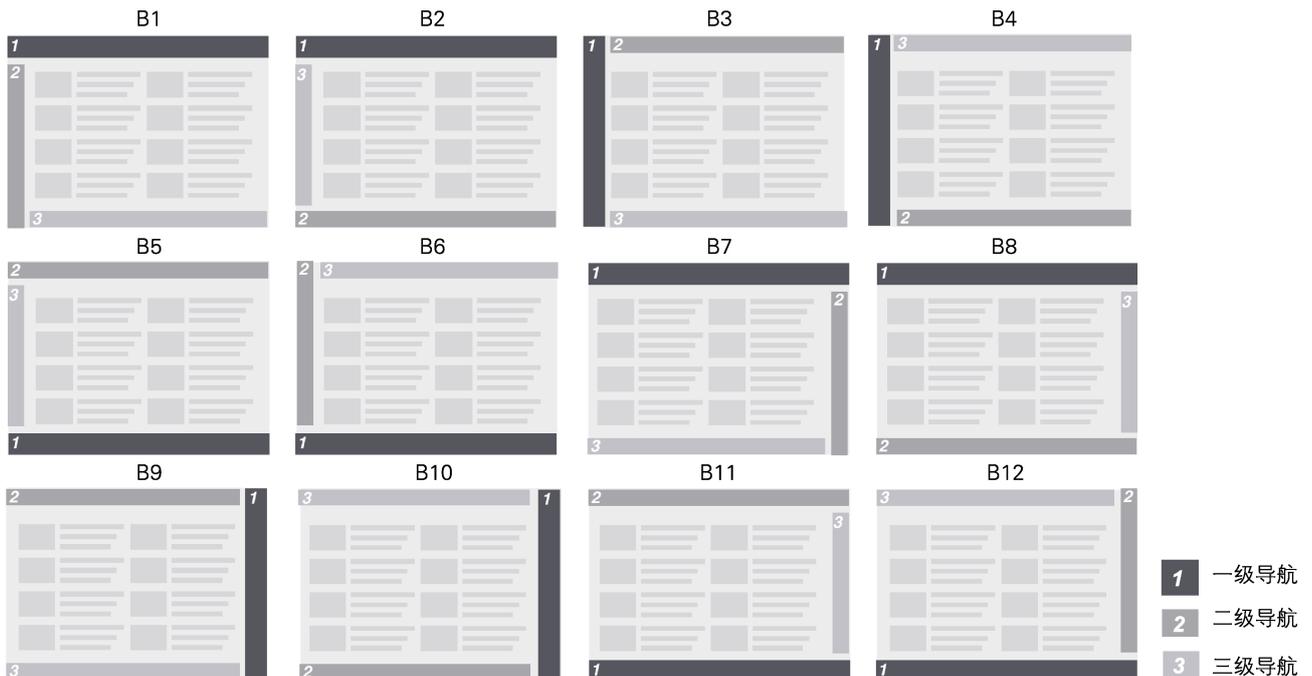


图 2 12 种 B 类导航布局形式
Fig.2 Twelve navigation layouts of category B

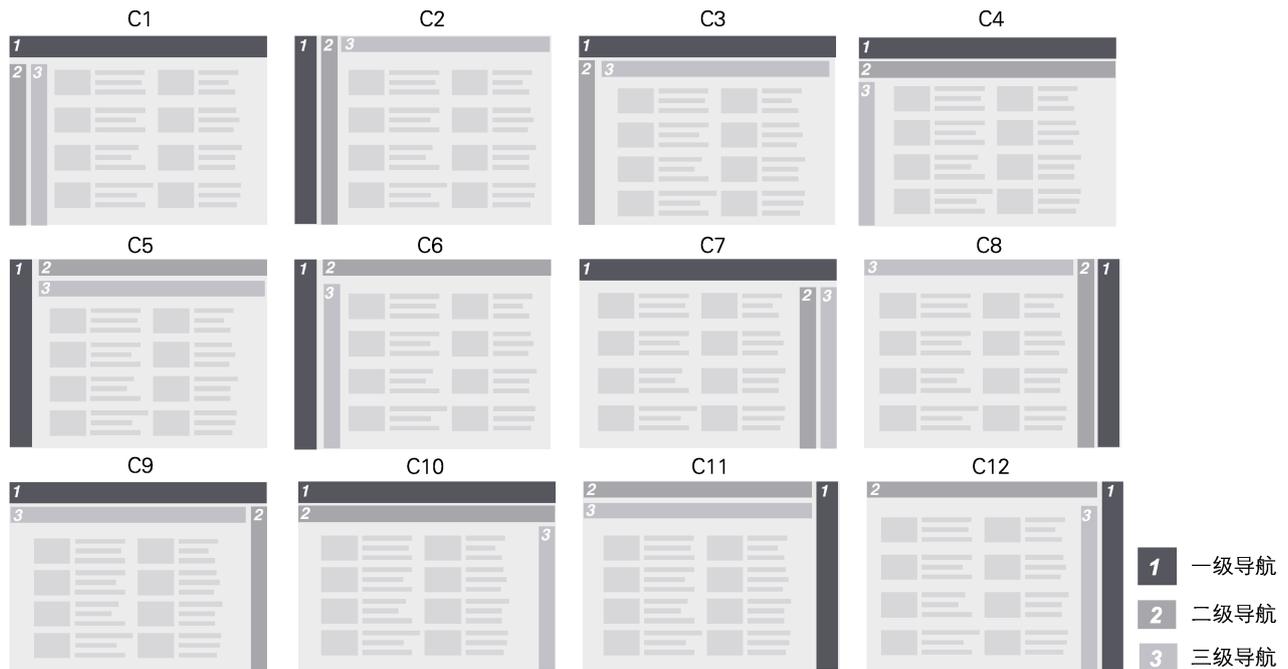


图 3 12 种 C 类导航布局形式
Fig.3 Twelve navigation layouts of category C

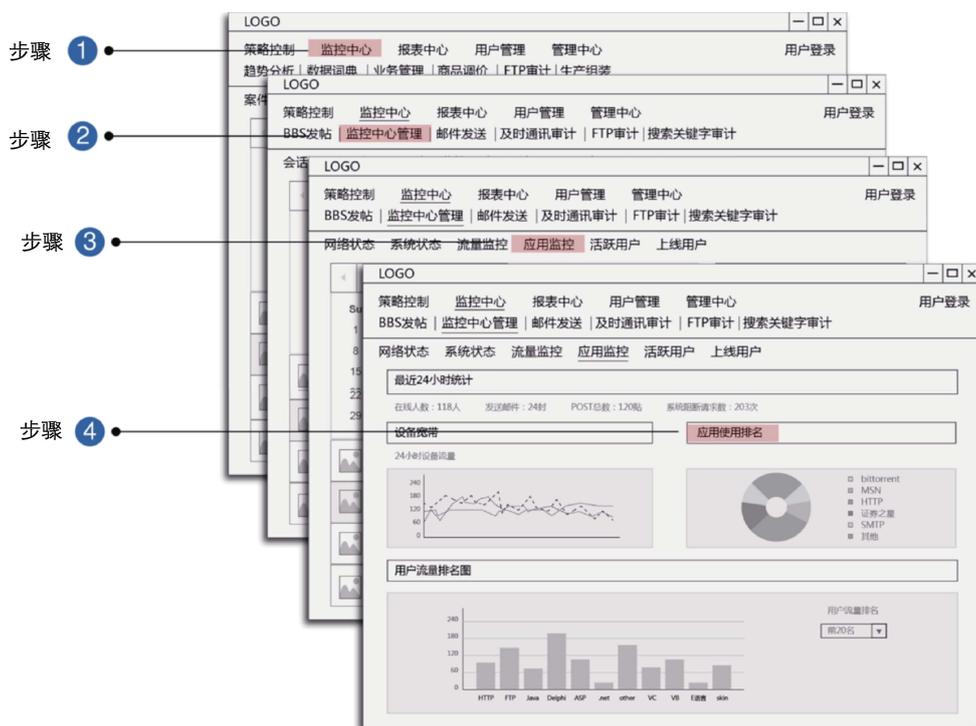


图 4 实验流程
Fig.4 Experimental flow

3.3 实验设备与程序

实验程序采用心理学工具 E-Prime 编写，所有刺激均呈现于分辨率为 1280 像素×1024 像素的 17 英寸液晶显示屏上，亮度为 92 cd/m²。实验在东南大学人因工程实验室中进行，实验共招募 19~25 岁的 24 名

在校本科生和研究生，其中男生 14 人，女生 10 人，均不是色盲或色弱，视力或矫正视力正常。被试在正式实验开始前有充足的时间熟悉实验规则与流程。正式实验时，被试阅读完实验指导语后按空格键开始实验。实验要求被试通过视觉搜索指定目标，阅读完相关信息后使用鼠标点击规定区域，依次完成不同界面

的相关任务。每人完成全部 34 个界面任务所需时间大约为 0.5 h。

4 实验数据分析与讨论

4.1 整体布局形式

在数据分析阶段,首先以三倍中位数绝对偏差(MAD)处理每位被试的异常数据,去除 5.1% 的反应时异常数据及 4.6% 的注视点个数异常数据。随后进行描述性统计分析,不同布局类别下注视点个数与反应时的描述性统计数据见表 1。在注视点个数方面,被试在 B 类左侧、C 类右侧的导航布局形势下完成相关任务所需的注视点数量较少,但在 B 类右侧的导航布局形式下所需的注视点数量明显较多。在反应时方面,基本与注视点个数保持一致,被试在 B 类右侧的导航布局形式下完成任务所耗时间明显多于 B 类左侧和 C 类右侧导航布局形式。

此外,方差分析结果显示五种不同导航布局形式(A 类、B 类左侧、B 类右侧、C 类左侧、C 类右侧)不仅对被试完成相关实验任务的操作时间有显著影响($F=4.185, P<0.01$),而且对被试的注视点个数有显著影响($F=2.714, P<0.05$)。

4.2 不同类别布局形式

4.2.1 A 类导航布局分析

A 类界面布局任务绩效见图 5,表示不同的 A 类导航布局形式下被试完成任务的反应时与注视点个数数据。方差分析结果显示 A 类十种不同的导航布局之间无论是反应时($F=5.575, P<0.001$),还是注视点个数($F=7.038, P<0.001$)都存在显著差异。被

试在 A1 与 A3 导航布局中完成任务的反应时较短且注视点个数较少,而 A4 与 A7 导航布局形式下被试的绩效较差。

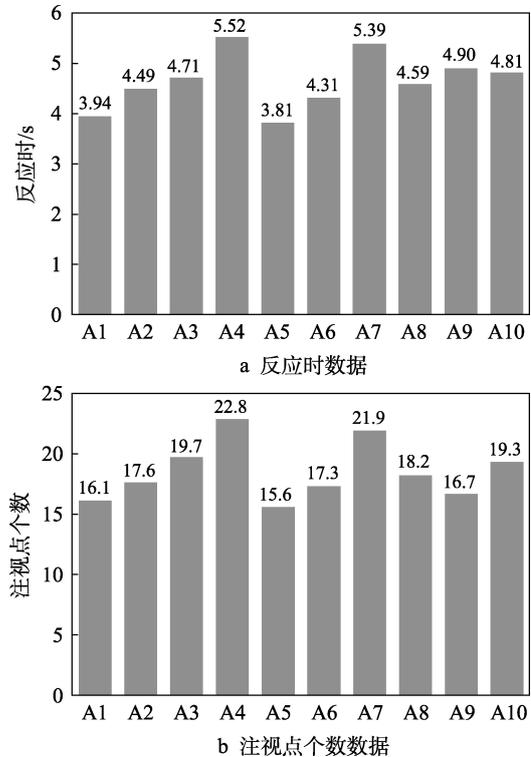


图 5 A 类界面布局任务绩效
Fig.5 Mean performance on interface layouts of category A

表 1 不同布局类别下注视点个数与反应时的描述性统计数据

Tab.1 Descriptive statistics of the number of viewpoints placed and the response time for different layout categories

评价指标	布局形式	样本量	中位数	均值	均值标准差
注视点个数	A 类	200	18.00	18.51	4.699
	B 类左侧	120	16.00	16.92	5.027
	B 类右侧	120	20.00	20.89	5.457
	C 类左侧	120	19.00	19.35	4.850
	C 类右侧	120	17.00	16.92	4.555
	总共	680	18.00	18.51	4.931
反应时	A 类	200	4.435	4.572	1.170
	B 类左侧	120	4.150	4.296	1.274
	B 类右侧	120	4.840	4.896	1.206
	C 类左侧	120	4.410	4.601	1.221
	C 类右侧	120	4.230	4.264	1.129
	总共	680	4.413	4.529	1.203

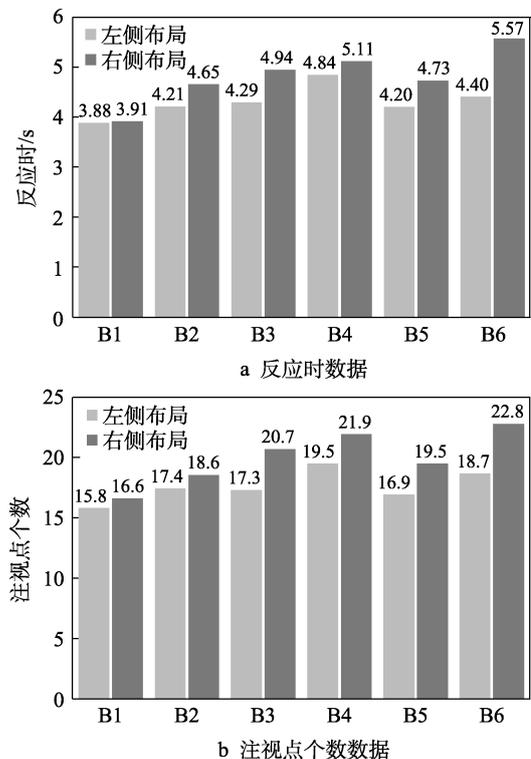


图 6 B 类界面布局任务绩效
Fig.6 Mean performance on interface layouts of category B

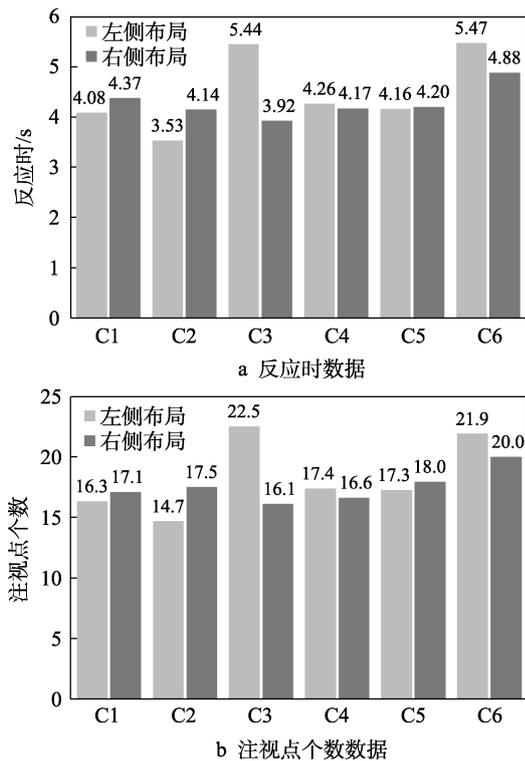


图 7 C 类界面布局任务绩效

Fig.7 Mean performance on interface layouts of category C

4.2.2 B 类导航布局分析

B 类界面布局任务绩效见图 6，表示不同的 B 类导航布局形式下被试完成任务的反应时与注视点个数数据。通过对反应时和注视点个数的方差分析发现，被试在 B 类导航布局的 12 种不同形式对完成任务所需时间 ($F=5.575, P<0.001$) 及所需注视点个数 ($F=3.673, P<0.001$) 有显著影响。此外，结果还显示左右两侧的布局形式也显著影响被试完成相关任务的反应时 ($F=10.94, P<0.01$) 及注视点个数 ($F=12.91, P<0.001$)，该类导航的左侧布局形式优于右侧布局形式。具体而言，B1 导航布局的绩效较高且明显优于 B4 和 B6 导航布局。

4.2.3 C 类导航布局分析

C 类界面布局任务绩效见图 7，表示不同的 C 类导航布局形式下被试完成任务的反应时与注视点个数数据。方差分析结果显示 C 类的 12 种导航布局同样显著影响着被试完成相关任务所耗时间 ($F=6.019, P<0.001$) 及所需注视点个数 ($F=6.178, P<0.001$)。此外，C3 与 C6 导航布局绩效明显较差，尤其是在左侧布局形式下，被试需要花费较长时间和较多注视点才能完成相关任务。

5 讨论

本研究基于复杂信息系统数字界面，开展了界面

多层级导航布局的眼动实验，研究结果发现不同形式的导航布局会显著影响用户执行相关视觉搜索任务的绩效。整体而言，在五大类导航布局形式中，B 类左侧和 C 类右侧的布局形式更加符合用户的视觉搜索流程，用户完成任务的绩效相对较高。各类别中的不同布局形式也均对用户的搜索绩效有显著的影响：A 类导航布局中的 A1、A3 布局形式的搜索绩效较优，而 A4、A7 布局形式的搜索绩效较差；B 类导航布局中的 B1 布局形式的搜索绩效较优，而 B4、B6 布局形式的搜索绩效较差；C 类导航布局中的 C2 布局形式的搜索绩效较优，而 C3、C6 布局形式的搜索绩效较差。B 类导航布局的左右两种布局形式显著影响被试视觉搜索绩效，左侧布局明显优于右侧布局。

6 结语

导航是复杂信息系统交互界面的重要组成部分，贯穿整个界面的始终，能有效引导使用者进入所需界面完成相应的目标和任务。用户通过导航与系统界面进行交互并产生相应的操作信息流，设计人员应该通过优化导航架构和布局设计为使用者提供清晰且符合操作习惯、操作逻辑的导航，提升信息交互效率和用户体验，在最大程度上发挥复杂信息系统的能效。

参考文献：

- [1] 薛澄岐. 复杂信息系统人机交互数字界面设计方法及应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 2015.
XUE Cheng-qi. Design Method and Application of Human-Computer Interactive Digital Interface for Complex Information Systems[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2015.
- [2] SHEN Zhang-fan, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan. Effects of Users' Familiarity with the Objects Depicted in Icons on the Cognitive Performance of Icon Identification[J]. I-Perception, 2018, 9(3): 80-85.
- [3] DOWSLAND K. Packing Problems[J]. European Journal of Operational Research, 1992, 56(1): 2-14.
- [4] SHNEIDERMAN B. Designing the User Interface[M]. Beijing: Publishing House of Elec, 2010.
- [5] 李晶, 薛澄岐, 王海燕, 等. 均衡时间压力的人机界面信息编码[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(7): 1022-1028.
LI Jing, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan, et al. Encoding Information of Human-Computer Interface for Equilibrium of Time Pressure[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(7): 1022-

- 1028.
- [6] XUE Cheng-qi, LI Jing, WANG Hai-yan, et al. Effects of Target and Distractor Saturations on the Cognitive Performance of an Integrated Display Interface[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2015, 28(1): 208-216.
- [7] 吴晓莉, 薛澄岐, 汤文成, 等. 雷达态势界面中目标搜索的视觉局限实验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2014, 44(6): 1166-1170.
- WU Xiao-li, XUE Cheng-qi, TANG Wen-cheng, et al. Experimental Study on Visual Limitation Experiment of Goal-Seeking in Radar Situation-Interface[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2014, 44(6): 1166-1170.
- [8] WILSON J R, HOOEY B L, FOYLE D C. HUD Symbolology for Surface Operations: Eye Tracking Analysis of Command-Guidance vs Situation-Guidance Formats[C]. Tulsa: Proceedings of the 13th International Symposium on Aviation Psychology, 2005.
- [9] 王海燕, 卞婷, 薛澄岐. 新一代战斗机显控界面布局设计研究[J]. 电子机械工程, 2011(4): 57-61.
- WANG Hai-yan, BIAN Ting, XUE Cheng-qi. Layout Design of Display Interface for a New Generation Fighter[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2011(4): 57-61.
- [10] 牛亚峰, 薛澄岐, 彭宁玥, 等. 基于 ERP 技术的数字界面布局认知与评估[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2016, 46(3): 470-475.
- NIU Ya-feng, XUE Cheng-qi, PENG Ning-yue, et al. Cognition and Evaluation of Digital Interface Layouts Based on Event-Related Potential Technique[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2016, 46(3): 470-475.
- [11] 邵将, 薛澄岐, 王海燕, 等. 基于图标特征的头盔显示界面布局实验研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2015, 45(5): 865-870.
- SHAO Jiang, XUE Cheng-qi, WANG Hai-yan, et al. Experimental Study on HMDs Interface Layout Based on Icon Characteristics[J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2015, 45(5): 865-870.
- [12] 蒋建军, 张力, 王以群, 等. 核电厂数字化规程在屏之间布局方法及评价[J]. 工业工程, 2016, 19(3): 71-76.
- JIANG Jian-jun, ZHANG Li, WANG Yi-qun, et al. A Layout Method and Evaluation Research Among Different Screens for Digital Procedure of Nuclear Power Plant[J]. Industrial Engineering, 2016, 19(3): 71-76.
- [13] 滕红, 王正东, 涂善东, 等. 过程系统中人机界面布局设计的实验研究[J]. 机械设计与研究, 2008, 24(5): 79-82.
- TENG Hong, WANG Zheng-dong, TU Shan-dong, et al. Experimental Study on Layout Designs for General Interface in Process Plant for Process Plants[J]. Machine Design and Research, 2008, 24(5): 79-82.
- [14] 金晓萍, 仇莹, 毛恩荣, 等. 车辆人机界面布局优化推理系统研究[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 183-186.
- JIN Xiao-ping, QIU Ying, MAO En-rong, et al. Reasoning System of Vehicle Human-Machine Interface Layout Optimization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2008, 39(4): 183-186.
- [15] 王苗辉. 基于视知觉的视觉信息界面设计研究[J]. 包装工程, 2011, 32(8): 49-51.
- WANG Miao-hui. Design of Visual Information Interface Based on Visual Cognition[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(8): 49-51.