

战术显控系统人机交互中的特征整合设计研究

缪莹莹, 潘伟营, 姜斌
(南京理工大学, 南京 210094)

摘要: **目的** 探究战术显控系统人机交互中基于视觉认知效率的特征整合设计策略及应用实践。**方法** 将特征整合理论导入战术显控系统的界面交互设计中, 从特征编码的角度对视觉认知效率的影响因素进行实验研究, 总结交互设计策略。在此基础上展开某机载战术显控雷达席位的界面交互设计实践, 并进行设计方案的可行性评估。**结论** 按照遵循认知习惯、合理高效的特征梯度值、灵活的特征组合方式的策略, 选择合适的特征编码方式进行视觉交互设计, 可以提高界面的视觉认知效率和交互的易用性。

关键词: 特征整合; 视觉认知效率; 战术显控系统; 交互设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)20-0085-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.20.007

Feature Integration Design in Human-computer Interaction of Tactical Display and Control System

MIAO Ying-ying, PAN Wei-ying, JIANG Bin

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

ABSTRACT: This paper aims to explore the design strategy and application practice of feature integration based on visual cognitive efficiency in human-computer interaction of tactical display and control system. The feature integration theory is introduced into the interface interaction design of tactical display and control system. The influencing factors of visual cognition efficiency are experimentally studied from the perspective of feature coding, and the interaction design strategies are summarized. On this basis, the interface interaction design of an airborne tactical display and control radar seat is carried out, and the feasibility of the design scheme is evaluated. According to the strategies of following cognitive habits, reasonable and efficient feature gradient values and flexible feature combination, selecting appropriate feature coding methods for visual interaction design can improve the visual cognition efficiency and make the interaction easier to use.

KEY WORDS: feature integration; visual cognition efficiency; tactical display and control system; interaction design

战术显控系统作为连接多兵种协同作战的重要媒介^[1], 在现代战争中的地位越来越高, 军事信息化建设也是我国现在及未来相当长时间的国防投入的重要方向。因此, 提高战术显控系统人机交互界面的可用性, 是未来赢得战争胜利的关键一环。

1 战术显控系统

战术显控系统经历了从机械硬件式到数字化软

硬件结合的进化历程, 其交互方式也发生着变化。以战斗机为例, 在 20 世纪 40—70 年代, 刚出现显控席位的分化, 主要通过仪表、机械旋钮、开关等完成电台通讯、方位显示、敌我识别及火控瞄准等任务^[2]。70 年代以后, 逐步开始使用电子屏幕进行信息输出^[3]。进入 21 世纪, 随着多媒体信息技术的发展, 更大更清晰的数字化屏幕呈现出更加多样的信息内容^[4], 数字屏幕进行信息输出, 语音、触摸屏、键盘、鼠标等多通道进行信息输入。当下的战术显控系统是以计算

收稿日期: 2021-05-09

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目 (17YJA760022)

作者简介: 缪莹莹 (1986—), 女, 江苏人, 硕士, 南京理工大学实验师, 主要研究方向为交互设计。

通信作者: 姜斌 (1973—), 男, 江苏人, 南京理工大学教授, 主要研究方向为人机交互与用户体验。



图1 多媒体交互时期的战术显控界面

Fig.1 Tactical display and control interface in multimedia interactive period

机为核心,显示作战指挥中战术环境、敌我态势、系统资源情况、战术指挥决策等信息的综合平台,多媒体交互时期的战术显控界面见图1。战术显控系统的交互界面承载着信息传输的任务,分为硬件交互界面和软件交互界面。本文研究软件交互界面。

战术显控系统交互界面的信息呈现方式复杂,包括符号、文字、图像、声音、视频等信息类型,各类信息同时又具有不同的色彩、大小、形状、方向、位置、动效等特征。战术显控系统交互界面信息层级组织繁杂,往往包含多层级的逻辑结构,用户需要同时处理大量实时变化的信息内容,增加用户的视觉认知负荷^[5]。战术显控系统是专业性极强的系统,用户多为战术指挥官、参谋官等具备多年战术指导经验的专业人才,他们对知识的理解力强、逻辑思维能力强、心理素质好。军队严谨的纪律及不容出错的高要求,使得用户往往更容易接受固定的、通过工作记忆与经验进行交互的信息交互模式^[6]。

2 特征整合理论中的视觉认知效率

2.1 特征整合理论

Treisman 等人在 1980 年提出特征整合理论^[7],认为人的视觉系统会将复杂的对象拆分为简单的特征进行识别。该理论提出特征 (Feature) 和客体 (Object) 两个概念,特征看作是客体在某个维度的特定值,客体看作是某些特征的结合体^[8]。比如在交互界面中,信息的色彩、形状、尺寸、位置等设计元素可以理解为特征,文字、图符、组件等,设计对象可以理解为客体。特征整合理论认为,视觉加工过程分为前注意阶段和特征整合阶段^[9]。在前注意阶段,视觉感官以平行的、自动发生的方式对分离的特征进行独立编码,这一过程不需要注意的参与,非常快速。在特征整合阶段,知觉系统通过集中注意力(粘合剂的作用)把原始的、彼此分开的特征进行整合,形成具有符合特征的客体^[10]。该过程所需时间相对较长,对注意力的要求较高,特征整合视觉认知模型见图2。

2.2 特征整合视觉认知效率的影响因素

视觉认知效率即单位时间内视觉认知的信息正确率与时间的比例。特征整合视觉认知效率应综合考

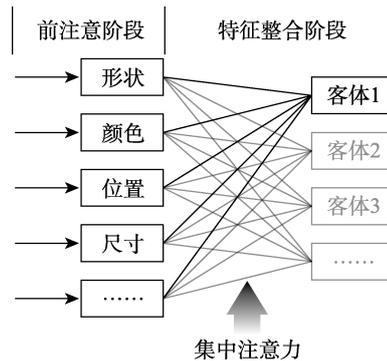


图2 特征整合视觉认知模型

Fig.2 Feature integration visual cognition model

虑前注意阶段和特征整合阶段,其中特征整合阶段的认知效率的计算符合以下公式:

$$E = \frac{n}{NT} \times 100\% \quad [11]$$

式中: E 表示特征整合视觉认知效率; n 表示特征整合的有效信息量; N 表示客体表征的总信息量; T 表示特征整合的时间。因此,视觉认知效率由前注意阶段视觉认知效率、特征整合的正确率和特征整合时间共同决定。特征整合视觉认知效率直接影响人机交互效率。

首先,在前注意阶段,主要依靠以往的知识 and 经验对信息进行认知,认知效率由编码信息语义和视觉认知习惯的一致性决定。其次,在交互设计中,交互过程的信息传递基于视觉信息感知与大脑认知处理完成^[12]。原始信息通过多种编码组合的方式与视觉元素进行结合,形成交互界面。因此,不同特征之间的编码组合方式和特征的数量会影响特征整合的认知速度^[13]。再次,由于界面的情感语义会对用户心理产生波动,会通过影响注意力而影响特征整合效率,从而影响视觉认知效率。

3 战术显控系统交互设计策略

基于上述特征整合视觉认知效率的影响要素,通过实验研究的方式探究特征编码原则,总结设计策略。

3.1 遵循认知习惯

实验一:信息编码特征的属性语义和情感语义认知研究。以问卷调研的方式,以战术显控系统现有的

编码特征作为预测结果，邀请用户进行认知情况调研。从用户调研数据的计算结果可知，用户对不同特征编码的认知存在一定的共性，有共同的认知习惯。

1) 就属性语义来看，认知效率主要受色相、明度、饱和度、尺寸、位置、形状的影响。色相：国军标对色彩的应用有明确的规范，在进行色相编码时，应考虑用户对专用色彩属性的认知习惯，严格遵守色彩使用规范。对于没有硬性规定的色彩，也应以用户过往的知识、经验为基础进行编码设计。如，在界面设计中，一般认为红色表示危险，黄色表示警告，绿色表示安全。明度：实验表明，在深色背景下，明度越高信息等级越高。战术显控系统复杂性较高，合适的明度编码设计适合应用于信息层级设计，能够有效降低用户的学习成本。饱和度：饱和度取决于该色中含色成分和消色成分（灰色）的比例。含色成分越大，饱和度越大；消色成分越大，饱和度越小^[14]。高饱和度的色彩编码方式更能引起视觉关注，帮助用户集中注意力。形状：在战术显控系统中，涉及形状属性的元素主要为图形和符号，包括通用类和特殊类。在进行形状编码时，现有图符应遵循沿用的原则，新的图符应结合现实形态、行业背景进行设计，以符合用户认知习惯、缩短学习过程，提高交互效率。尺寸：根据实验结果显示，信息尺寸的大小与信息的重要等级成正比，信息越重要，尺寸越大。位置：用户对显示屏上的信息关注度依次为中间、左上方、右上方、左下方、右下方^[15]。在进行界面布局时，应注意信息等级与其在界面中位置的一致性，同时要保证同类信息的位置编码统一。

2) 就情感语义来看，战时用户的生理和心理负荷较高，任务情景的不确定性易增加用户的操作压力^[5]。在进行交互界面设计时应考虑信息编码元素的情感性。从实验结果来看，影响情感语义的特征主要为形状和色彩。尖锐的形态容易让用户产生较大的心理压力，而圆润浑厚的形状更容易使用户平静。在进行形状编码时，可采用倒角的设计手法。根据蒙赛尔色彩体系对色彩要素的划分及实验结果，战术显控系统的主色可以选用冷色调，明度、饱和度不宜过高，以避免色彩刺激增加用户的焦虑感。而对于重点信息和即时变化类信息，可采用高明度或高饱和度的色彩，以提高用户的警觉性。

3.2 合理高效的特征梯度值

实验二：研究在单特征编码下，编码特征梯度变化对视觉认知效率的影响。实验统计被试者对特征梯度分层认知的正确率和反应时间，采用控制变量、单任务实验的范式进行。实验的编码分为尺寸、方向、位置、明度、色相、饱和度。实验运用 SPSS 统计软件分别对屏幕 1（下屏）和屏幕 2（上屏）的实验结果进行统计。以尺寸编码为例，根据视觉交互界面中文字及图符设计规范，以 1 pt 为 1 梯度进行 8 组尺寸

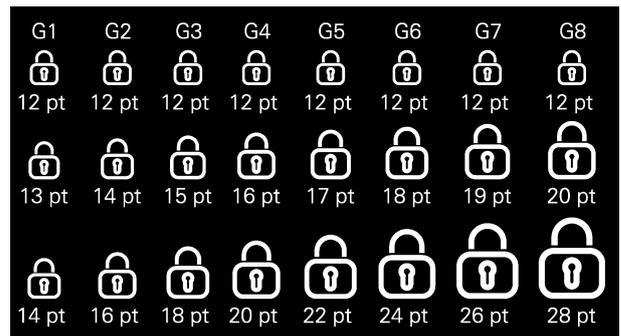


图 3 尺寸特征编码实验自变量材料示意图

Fig.3 Schematic diagram of independent variable material of size feature coding experiment

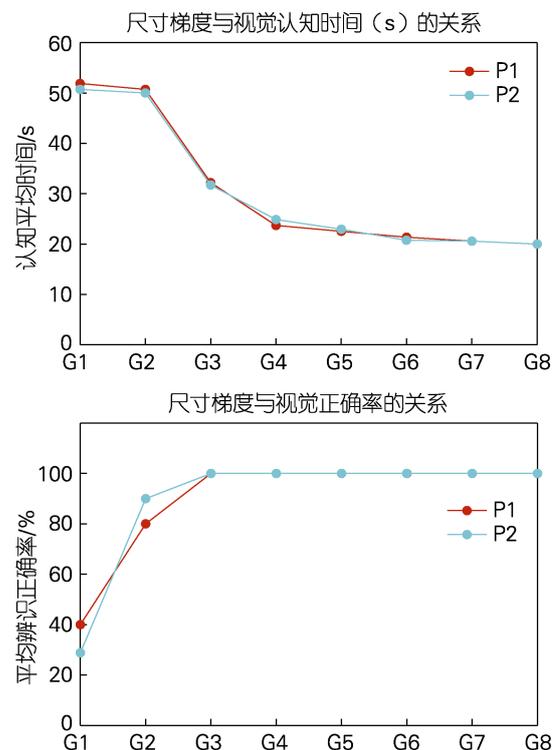


图 4 尺寸特征编码特征梯度与视觉认知效率的关系
Fig.4 Relationship between size feature coding feature gradient and visual cognition efficiency

编码特征梯度变化对视觉认知效率的影响实验，尺寸特征编码实验自变量材料示意图见图 3。

尺寸特征编码特征梯度与视觉认知效率的关系见图 4，随着尺寸特征梯度的增大，被试对信息认知的平均速度和正确率都呈先上升、后趋于稳定的趋势。当特征梯度为 5（M=5 pt）时，实验样本的平均认知时间趋于稳定。

用同样的方法分析其他特征可知，随着特征梯度的增加，用户对信息的认知效率都会有所提升，且当特征梯度达到一定的值后，这种变化会达到稳定状态。因此，在交互设计中应尽可能选择较高的特征梯度进行编码设计，以提高信息编码的认知效率，降低注意力负荷，进而提高界面交互效率。然而，由于战术显控系统界面信息层级多、信息种类繁多，单纯追

表 1 不同编码特征梯度的选用区间和稳定值
Tab.1 Selection interval and stable value of different coding feature gradients

特征类型	合理区间	稳定梯度值
尺寸	5 pt~10 pt	5 pt
方向	40°~120°	40°
位置	≥ 2 x	2 x
明度	25%~40%	25%
色相	60°~120°	60°
饱和度	20%~35%	20%

求特征梯度的增大势必会造成信息编码利用率的降低,应考虑梯度的利用率与视觉认知效率的平衡。由实验二所得不同编码特征梯度的选用区间和稳定值见表 1。

3.3 灵活的特征组合方式

在视觉交互界面中,需要使用多种编码组合的方式完成信息群组、层级和交互关系等设计。实验三研究不同特征组合编码的方式对认知效率的影响。基于实验二的 6 种特征,本实验的自变量采用两两组合的方式,共 15 种。经实验数据统计分析可知,同一特征在相同特征梯度下,与之组合的特征类型不同,对视觉认知效率的影响程度也不同。在进行战术显控系统视觉交互界面设计时,可根据信息的优先级选择不同的组合方式进行信息编码设计。

1) 布局设计。影响布局设计的信息编码特征主要有形状、位置和颜色,可优先选用形状+颜色的编码方式。界面中色相种类不宜过多,在设计时可优先采用位置+明度/饱和度的方式进行界面布局区域的划分,采用形状+明度/饱和度的方式,对信息群组做进一步分类。这种方式能保证各个信息块之间的逻辑关系,引导用户完成从整体到局部的信息搜索任务。

2) 信息层级设计。影响信息层级设计的编码特征主要有明度、饱和度和尺寸。在进行信息层级编码设计时,可优先考虑尺寸+明度/饱和度的方式。对于较为重要的信息,可通过形状+明度/尺寸的形式辅助显示。

3) 信息状态设计。视觉交互界面中信息状态包括两种,一种是用户操作时反馈的交互状态,另一种是系统向用户进行提示的状态。对于战术显控系统而言,操作错误、告警等信息的显示需求级较高,在设计时可优先考虑尺寸+色相的编码方式。而对于按钮等交互状态的设计时,可选择明度或饱和度的编码方式。

4 某机载雷达显控席位设计案例

以某机载雷达显控席位为例,通过桌面调研、用户访谈等方式,了解界面信息和功能需求,结合特征

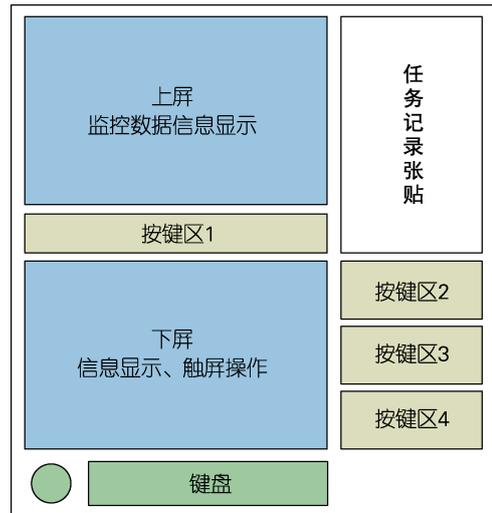


图 5 显控系统硬件布局

Fig.5 Hardware layout of display and control system

整合视觉认知效率的设计策略展开交互设计和视觉设计,并进行设计方案的可用性评估测试。

4.1 功能架构

根据对美国、日本的机载显控系统雷达席位功能的分析和调研可知,机载战术显控系统雷达席位担任着空中/地面目标搜索、跟踪、精确测距,为火控系统提供战术数据信息,并配合火控系统完成武器发射和投放任务,同时还负责传感器及本机系统配置管理任务^[16]。从功能上来看,机载战术显控系统雷达席位包括任务模块(目标监测、目标数据管理、任务间通信管理、任务日志)、传感器配置模块(雷侦配置管理、雷侦自检管理)、系统配置模块(系统配置管理、用户管理)等^[11]。

4.2 交互设计

显控系统硬件布局见图 5,根据硬件的可操作性和视觉的易识别性,显控系统采用左右布局的形式,分为显示区和操作区。其中,软件界面采用上下双屏,上屏作为主显界面,主要用于目标探测、目标信息、雷达画面和传感器信息的显示;下屏作为显控综合界面,承担着目标数据、通讯、雷侦配置、雷侦自检及系统配置管理的任务^[11],是机载战术显控系统雷达席位的核心操作界面。

基于战术显控系统视觉交互界面信息编码设计策略,进行显控系统雷达席位界面交互原型设计,包括界面信息层级结构、逻辑关系和布局设计等。任务日志界面布局设计示例见图 6。任务日志页面主要是对系统完成任务情况的呈现。为了便于用户快速获取信息,任务日志界面通过色相编码的形式对任务完成状态进行区分,红色表示未完成,绿色表示已完成;通过明度编码的形式对表格内容进行分割,减少用户的辨识负担。

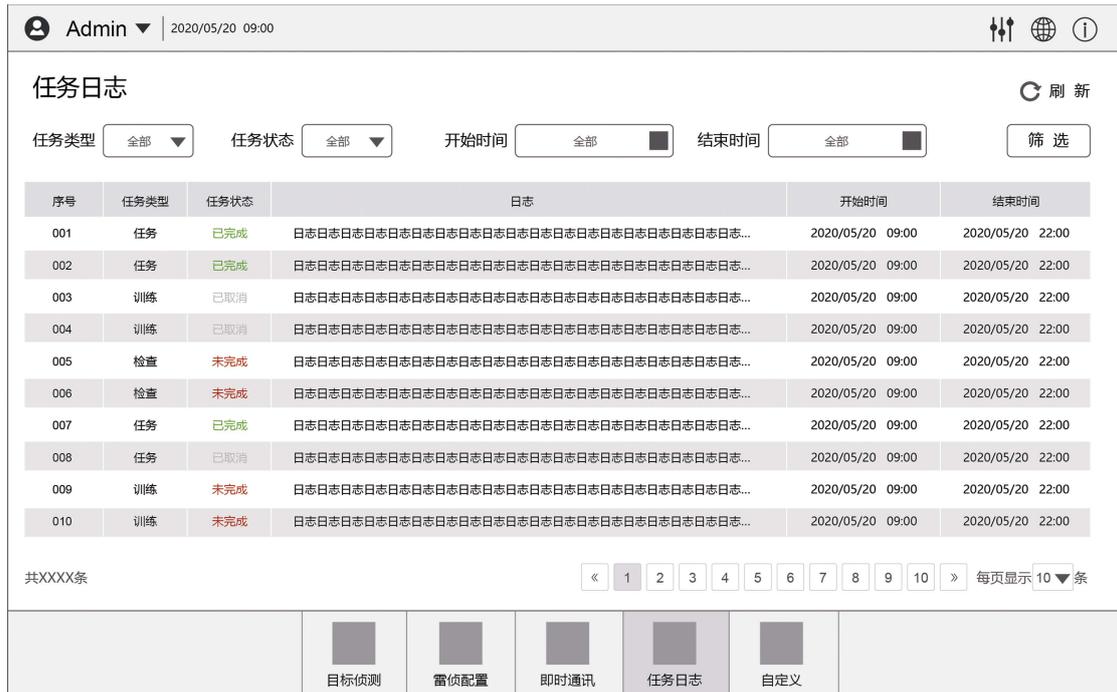


图 6 任务日志界面布局设计示例
Fig.6 Example of task log interface layout design



图 7 文字编码设计案例
Fig.7 Example of text coding design

4.3 视觉设计

从视觉界面风格、文字、图符及组件编码等出发，采用不同的编码特征梯度及组合方式对交互原型进行视觉设计应用。

1) 视觉界面风格。视觉交互界面风格遵循信息编码特征认知普适性的原则，通过形状和色彩编码的应用，体现雷达席位视觉交互界面的严谨性和科技感。在色彩设计上选用明度较低的冷色作为主色调，缓解操作人员长期紧张造成的疲劳，降低用户焦虑度；同时，低明度的冷色可以在一定程度上缓解昏暗的使用环境下的视觉疲劳，局部搭配明度和饱和度较高的颜色显示警示信息或重要信息，提高用户觉醒度。在布局形状设计上，采用扁平化的设计风格，添加科技感的装饰元素，使其层次更为丰富。微倒角的设计方式，避免操作界面过于冰冷，体现人性化。

2) 文字。在文字编码设计中，中文选用辨识度较高的微软雅黑，英文及数字选用 Arial。通过尺寸+明度的编码方式体现层级关系，通过色相+明度的编码方式展现信息的交互状态。文字编码设计案例见图 7，使用色相和明度编码来体现正常、选中和禁用 3 种交互状态。

3) 图符。在人机交互界面中，图符比文字有更

表 2 图符编码设计案例
Tab.2 Example of symbol coding design

	敌	我	友	中立	民
作战状态					
模拟状态					

高的识别效率，合理的图符运用可以帮助用户快速识别信息^[17]。因图符种类庞杂，通过形状+颜色的编码方式表示敌我友中等属性语义，通过描边轮廓编码对信息状态进行区分。图符编码设计案例见表 2，即为歼击机图标不同使用状态的编码设计。

4) 组件。通过形状+颜色的编码方式对界面中的组件（导航、按钮、选择、输入、表格、弹窗等）进行设计。导航设计案例见图 8，采用底部导航和侧边导航结合的形式进行设计，以满足多层次的信息架构需求。通过功能分析和用户观察发现，一级导航功能之间的切换频率较低，二级导航信息切换频率较高。根据位置编码的属性语义认知调研结果，将一级导航置于底部，避免分散用户的视觉精力；二级导航采用“F”型左侧导航，有利于用户灵活切换信息。

4.4 整体效果及设计评价

根据机载战术显控系统雷达席位的视觉界面风格、文字、图符及组件的编码设计，邀请行业专家进行测试，对视觉交互界面的易学性和交互界面的可用



图8 导航设计案例
Fig.8 Example of navigation design



图9 雷达席位界面整体效果节选
Fig.9 Excerpt from the overall effect of radar seat interface

性进行评估,机载战术显控雷达席位界面的信息编码符合用户的认知习惯,交互界面的视觉认知效率高。雷达席位界面整体效果节选见图9。

5 结语

战术显控系统界面人机交互的可用性是现代战争的重要环节,根据特征整合理论的前注意阶段和特征整合阶段的视觉认知效率影响要素,在进行战术显控系统界面设计时应遵循用户认知习惯、设置合理高效的特征梯度值、灵活组合特征编码方式进行交互

设计,提高界面的易用性和视觉认知效率。本论文的研究方法和结论对各类显控系统的交互设计具有指导意义。

参考文献:

[1] 赵灿宇. 信息化作战下军事训练创新的基本途径[J]. 中国战略新兴产业, 2018(28): 79.
ZHAO Can-yu. Basic Ways of Military Training Innovation Under Information Warfare[J]. China Strategic Emerging Industry, 2018(28): 79.

- [2] 张德斌, 郭定, 马利东, 等. 战斗机座舱显示的发展需求[J]. 电光与控制, 2004(1): 53-55.
ZHANG De-bin, GUO Ding, MA Li-dong, et al. Requirements for Development of Cockpit Display on Fighters[J]. Electronics Optics & Control, 2004(1): 53-55.
- [3] 王文军. 飞机驾驶舱人机工效设计与综合评估关键技术[D]. 西安: 西北工业大学, 2015.
WANG Wen-jun. Key Technologies of Aircraft Cockpit's Ergonomic Design and Comprehensive Evaluation[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2015.
- [4] 李洋, 谢新月, 曹成哲. 浅谈现代战斗机座舱显控系统的现状与发展趋势[J]. 科技资讯, 2009(12): 79.
LI Yang, XIE Xin-yue, CAO Cheng-zhe. Present Situation and Development Trend of Cockpit Display and Control System of Modern Fighter[J]. Science & Technology Information, 2009(12): 79.
- [5] 赵欣, 丁怡, 侯文军, 等. 复杂信息系统界面可用性指标体系研究[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 716-722.
ZHAO Xin, DING Yi, HOU Wen-jun, et al. On the Usability Evaluation Index System of Complex Information System Interface[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 716-722.
- [6] 马婧, 彭宁玥, 薛澄岐. 基于复杂信息系统数字界面中军事人员心智模型匹配度的研究[J]. 设计, 2018(3): 126-127.
MA Jing, PENG Ning-yue, XUE Cheng-qi. Research on Consistency of Military Personnel's Mental Model in Digital Interface of Complex System[J]. Design, 2018(3): 126-127.
- [7] Humphreys Glyn W. Feature Confirmation in Object Perception: Feature Integration Theory 26 Years on from the Treisman Bartlett Lecture[J]. Quarterly Journal of Experimental Psychology(2006), 2016, 69(10): 10.
- [8] 王甦, 汪安圣. 认知心理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992.
WANG Su, WANG An-sheng. Cognitive Psychology[M]. Beijing: Peking University Press, 1992.
- [9] 沈模卫, 叶颖华, 高涛, 等. 颜色特征加工任务间的注意瞬脱研究[J]. 应用心理学, 2006, 12(1): 3-9.
SHEN Mo-wei, YE Ying-hua, GAO Tao, et al. The Attentional Blink between Two Color Processing Tasks[J]. Applied Psychology, 2006, 12(1): 3-9.
- [10] 陈嘉威. 视觉注意计算模型的研究及其应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
CHEN Jia-wei, Research and Application on Computational Model of Visual Attention[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.
- [11] 潘伟营. 基于特征整合的机载战术显控系统界面设计研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2019.
PAN Wei-ying. Research on Interface Design of Airborne Tactical Display and Control System Based on Feature Integration[D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2019.
- [12] 刘翔, 吕健, 虞杰. 基于界面指定任务的用户视觉认知差异研究[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 97-103.
LIU Xiang, LYU Jian, YU Jie. User Visual Cognition Difference Based on Interface Designated Task[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 97-103.
- [13] 罗梦芸. 客体无关维度特征在视觉短时记忆的存储[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
LUO Meng-yun. The Storage of Task-Irrelevant Features of Objects in Visual Short-Term Memory[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [14] 左元. 浅谈插画艺术价值的表现[J]. 艺术科技, 2013, 26(6): 6.
ZUO Yuan. On the Expression of the Artistic Value of Illustration[J]. Art Science and Technology, 2013, 26(6): 6.
- [15] 李乐山. 工业设计心理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
LI Le-shan. Industrial Design Psychology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [16] 王凯. 机载雷达集成显控仿真平台的研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
WANG Kai. The Study and Realization of the Integrated Display Control Platform for Airborne Radar Simulation[D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [17] 王孜文, 尹洪. 图形语义在平面设计中的应用[J]. 包装工程, 2017, 38(8): 223-226.
WANG Zi-wen, YIN Hong. Application of Graphic Semantics in Graphic Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(8): 223-226.