

决策支持系统交互界面设计中的视觉显著性评估研究

杨默涵, 杨建明, 钱晓松

(北京理工大学, 北京 100081)

摘要: **目的** 以从视觉设计层面更好地引导用户理解信息层级关系, 提升决策效率为目标, 构建适用于决策支持系统交互界面信息设计中的视觉显著性权重评价指标体系。**方法** 首先, 基于决策行为和视觉认知等理论对决策支持系统交互界面的视觉显著性客观影响维度进行分析并提出评估框架; 其次, 采用层次分析法和专家评价法对其进行权重赋值评估, 建立决策支持系统交互界面视觉显著性的评价方法并应用于某军装备管理态势监控界面设计。**结果** 推理得到了显著性指标评估计算公式, 并通过对某军装备管理态势监控界面进行实际计算和主观评价验证, 验证了提出的视觉显著性指数评估方法的有效性。**结论** 决策支持系统交互界面信息设计中的视觉显著性评价指标和评价方法研究, 为优化、提升决策支持系统交互界面设计提供了新的理论方法和设计思路。

关键词: 决策支持系统; 交互界面设计; 视觉显著性评估; 层次分析法; 专家评价法

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)20-0077-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.20.006

Evaluation of Visual Saliency in User Interface Design of Decision-making Support System

YANG Mo-han, YANG Jian-ming, QIAN Xiao-song

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: The study builds a visual highlighting evaluation index system (VHEIS) for user interface design of the decision-making support system (DSS) to guide users in understanding the relationship between the information levels and improving decision-making efficiency. The study firstly proposed an evaluation framework through the analysis of the objective influence dimension of the visual saliency of the user interface of the DSS based on the theories of decision-making behavior and visual cognition. Secondly, the study used Analytic Hierarchy Process (AHP) and expert evaluation method to weight the dimensions, built the VHEIS and applied it to the user interface design of the military equipment management situation monitoring system. The calculation formula was obtained by deduction and the effectiveness of the VHEIS was verified by the subjective evaluation test. It provides a new theoretical method and design idea for the optimization of the user interface design of the DSS.

KEY WORDS: decision-making support system; user interface design; visual highlighting evaluation index system; analytic hierarchy process; expert evaluation method

信息技术和数据应用技术的不断完善为人类社会的发展带来了革新和机遇的同时, 现代战争形态也随之发生了质的转变, 信息已经成为了战争制胜的主导因素。为更好地应对信息化战争形势, 我国在“十

三五”规划——关于国家信息化发展战略纲要中指出, 要加速军事领域的信息平台建设和大数据应用管理技术的发展, 为战略统筹和统一领导决策提供支撑条件。因此, 信息系统作为现代战争中的重要基础,

收稿日期: 2021-05-09

基金项目: 中国博士后科学基金项目 (2020M680401)

作者简介: 杨默涵 (1992—), 女, 河北人, 北京理工大学博士生, 主要研究方向为交互设计。

通信作者: 钱晓松 (1983—), 男, 江苏人, 博士, 北京理工大学讲师, 主要研究方向为产品设计、交互设计、用户体验。

对其进行降低决策失误风险概率、提升信息认知效率的相关研究,对在未来战场中获得决胜先机具有极为重要的决定作用。

1 决策支持系统界面视觉显著性研究概述

1.1 决策支持系统概述

决策支持系统(Decision-making Support System, DSS)在20世纪70年代早期由美国麻省理工学院的斯科特·莫顿(Michael S. Scott-Morton)首先提出^[1]。目前决策支持系统较为通用的定义是:决策者利用系统的数据、模型和知识,通过人机界面的交互方式,基于过去及现有信息数据,辅助决策者对信息进行提取、处理,帮助决策者提高未来数据趋势进行推断与预测水平,综合各因素信息得出高质量决策结果的系统^[2]。决策支持系统在军事领域中已成为现代化军事决策层的重要的决策辅助工具,如“宙斯盾”作战系统(Aegis Combat System)、C4ISR系统等,都是用来支持全线作战的决策控制系统,某军自动化指挥系统见图1。

在决策支持系统辅助用户决策活动中,系统首先根据决策目标的信息需求,通过人机交互界面端收集目标信息和数据指令,经系统数据库处理后将其再通过人机交互界面反馈至决策者,从而有效地解决决策问题。相较于其他复杂信息系统,决策信息支持系统更加注重依靠数据模型等对信息的结果和趋势进行分析显示。因此其界面信息以数据可视化为主要表达方式,且人机交互性相对更高。界面作为信息交互过程中最主要的信息传输媒介,承担着准确解读信息复杂逻辑关系、引导用户视觉搜索、实现高效地直觉决策的作用^[3]。

面对信息类型及呈现方式的复杂性和多样性,大量信息的集中很容易超过人认知能力的限制,迫使用户不得不面对信息过载情况,甚至导致误解或丢失一些关键信息,从而影响最终的决策结果甚至决策失败。尤其在军用、航空航天、核电等应用领域,系统面对的用户对象主要为具有决策能力的高层决策者,承担着分析信息数据状态、跟踪态势变化、预测趋势

结果以及突发性风险判断等工作。因此决策者普遍面临信息量巨大、筛选工作复杂以及所需信息提供不足等决策情境,对决策者的记忆和认知能力提出了很高的要求。为了使决策支持系统更好地辅助决策者,增加信息搜索效率、放大对信息维度和内容的识别认知、降低决策失误风险概率,视觉界面通过视觉元素设计来引导人机交互过程中用户对于信息的有效感知,尽可能地达到人机之间视觉与认知的共通。

1.2 决策支持系统界面视觉显著性研究

显著性(Highlighting)是计算机图形学中最常见的术语之一,2005年Ware和Borrow将其定义为一种具有前瞻性视觉提示的有效方法^[3]。显著性信息一般指在系统信息界面中以显著性视觉表征(如高亮色相、特异形状等)或突现性感知交互(如视觉弹窗交互、听觉警告提示等)等视觉提示来吸引用户注意力的信息,其实质是将信息与用户“感兴趣”的视觉元素相匹配,并突出信息重点部分以实现对用户注意资源的捕捉从而达到引导的目的。

在显著性视觉特征相关的应用研究中,Koning研究指出视觉提示的应用可以减少视觉搜索^[4]。NK Clark和DR Rutter认为在高显著性条件下,视觉提示会增强受试者信心,使受试者在判断过程中更加确信自己采集的显著性目标信息具有代表性^[5]。Ming提出界面信息对用户的引导可以根据用户指南建立新的信息模型,以错误信息、警报、提示和标签等界面元素为引导手段指导用户与计算机的交互,从而提高系统的使用效率,降低用户学习成本^[6]。Moreno也提出不当使用提示,尤其当显著性特征与信息价值不匹配时,会在增加学习者的认知负担的同时使人们忽略做出最佳判断所需的一些基本信息线索,从而导致决策偏见甚至决策失误的情况发生^[7]。由此可见,信息界面中的显著性信息在一定程度上起到了界面信息导航和信息分析的功能,帮助优化用户系统操作过程中的认知思维和决策能力。

显著性作为一种重要的注意驱动机制,它将人类有限的认知资源聚焦到环境提供的一部分信息子集上^[8-9],且这种注意力捕捉现象不受人的意愿和信息本身的重要程度所影响——这也是决策失误更多地出现在外源性驱动过程中的主要原因。因此,在通过复杂信息任务界面人机交互决策过程中,用户更容易受到信息呈现顺序、视觉提示或某种特定呈现方式的影响。本文以优化决策认知行为为目标,以显著性信息在复杂信息系统界面引导性设计为手段,探讨其在交互过程中主要运作机制和应用。

2 决策支持系统界面视觉显著性机理评估

2.1 信息筛选评估理论

人类的注意资源和视觉信息处理能力是有限的,



图1 某军自动化指挥系统

Fig.1 A military automated command system

面对复杂的决策信息处理过程,当单位时间内信息量超过负荷限度或不确定性因素作用等复杂的决策情况下,人们通常会选择其认为更重要的信息线索进行决策。其中,人们对显著性信息的认知虽然存在较为普遍性的注意力转移反射,但不同形式的显著性特征对用户注意资源的吸引强度存在一定区别。比如同等条件下,色彩鲜艳的信息特征比拥有布局优势的信息特征更容易捕获用户注意。这说明决策者对信息线索的筛选判断机制并不单纯依靠其价值、发生概率等,还受信息属性和获取手段等方面的影响^[10]。Krauzlis 等人基于 Broadbent 注意理论的滤波器模型^[11],认为良好的决策关键取决于正确识别信息和环境的“状态(State)”,这种“状态”一方面指外部世界的感知特征,即依赖以刺激为驱动力的自下而上的加工,主要是指信息或环境等新异刺激或非预期刺激的出现;另一方面则指主体的内部状态,即依赖于以目标为驱动的自上而下的加工,主要表现为个体内部状态或先验知识的变化,这两种状态都会影响决策过程中认知加工对刺激信息的权重调整,从而导致不同的信息筛选组合甚至不同的决策结果^[12]。

根据上述 Krauzlis 等人的研究结果,结合注意筛选及认知加工理论可以发现:人们在对界面信息进行决策的过程中,首先注意机制会根据刺激信息的显著性强弱对信息进行筛选,显著性更强的信息会直接影响人们的筛选标准,作为重要信息线索筛选进入认知加工阶段^[13];其次,自上而下及自下而上的认知加工分别将筛选后信息分解为多维信息特征,并根据自身一定的统计规则等来进行信息权重分配^[14-15];最后,主体对几种可能影响决策的刺激信息使用类似于贝叶斯推理等理论对可能的输入进行不同加权来生成最终决策^[14],信息加工流程见图 2。

因此,为了对界面中信息的显著性特征进行准确地应用和评估,本文通过以下几个步骤进行界面信息的显著性特征评估:(1)从外部感知和内部状态两个方面,对界面信息中具有显著性特征的视觉元素进行

提取;(2)对提取后的视觉元素进行抽象化概括,对其属性维度进行总结分类;(3)构建显著性视觉元素指标层级框架,以便后续的专家评估及层级分析工作。

2.2 视觉显著性属性维度分析

显著性信息的认知加工依赖人对信息的外部感知以及内部状态。以界面信息为例,外部刺激主要指界面信息中的颜色、布局等视觉特征;而内在状态则主要指的是信息呈现与人在认知过程中产生的共鸣,如启发式、情绪等。从设计学角度来看,研究重心主要在于信息外部刺激的影响研究,但由于用户与界面交互中的决策行为是受到信息多维度属性刺激的交叉影响,因此本文将内在状态维度介入显著性影响研究中,但仅作为整体维度进行评估,并不深入进行二级指标分类及研究。

在显著性信息外部刺激的分类研究中,具有显著性特征的视觉元素本质上是基于相对的“差异化”实现的。这种“差异化”主要是指人们在信息采集过程中,根据元素特征之间的对比差距^[16-17]来将注意力首先集中相对特征更为明显的一小部分上。因此聚焦“差异化”是对显著性特征视觉元素进行提取和分类的关键。Pyysalo 和 Oksanen 通过比较 3 个突出条件:大小和形状以及颜色^[18],研究了提示组合的有效性。Ha-Kyung 等人将视觉提示线索主要分为时不变提示和时变提示,时不变提示分为外部提示和内部提示,其中主要包括外部引导(括号、形状、箭头、轮廓、发光)和内部引导(景深、颜色减淡、亮度、放大、透明度)10 种视觉引导因素^[19]。Jie Liang 和 Mao Lin Huang 讨论了突出显示的基本要素,将用于设计突出显示的元素总结为颜色、光对比度、透明度、大小、形状、表达方式、运动 7 种^[20]。另外,吕健等人^[21]将界面布局分为位置方位、空间结构以及空间属性 3 个维度开展研究。王海燕在显控界面布局研究中提出,信息元素的重要性通过面积表达出来并与其所占

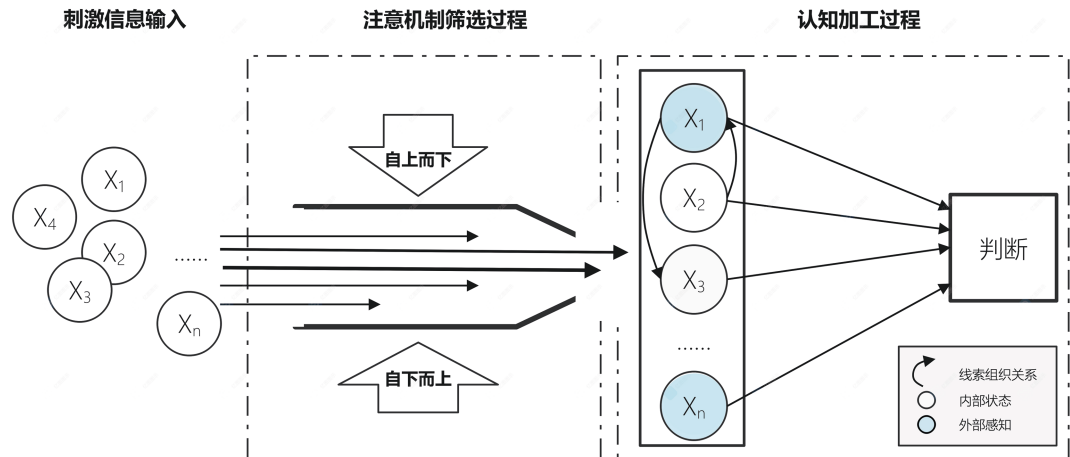


图 2 信息加工流程
Fig.2 Information processing flowchart

面积成正比,元素面积越大其重要程度越高^[22]。因此,界面布局作为划分信息类别和信息层级的重要手段,当信息在界面位置或呈现面积占据明显优势时,对视觉的信息搜索模式存在明显的引导趋势。

基于以上关于认知角度的外部刺激分类研究,本研究结合决策支持系统归纳总结了适用于决策支持系统界面视觉显著性信息维度及相关的下级指标元素。其中,视觉显著性信息维度主要分为物理属性和分布属性两个维度。物理属性主要指对界面信息进行以增强信息识别能力为目的的视觉元素表征手段,包括形式(Presentation)、纯度(Purity)、大小(Size)、色相(Color)、透明度(Transparency)、形状(Shape)6种物理属性元素特征,视觉显著性物理属性特征说明见表1。分布属性特征元素主要指通过界面空间的

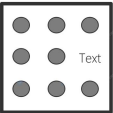
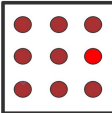
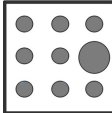
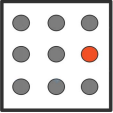
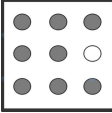
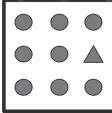
方向性和几何性进行设计的视觉元素,其中位置(Location)、面积(Area)维度为主要变量。

2.3 显著性信息指标框架构建及评估方法

结合上述视觉显著性维度分类结果构建视觉显著性元素指标层构建图,见图3。为了方便后续指标的权重评估流程,本文分别对界面中显著性信息的外部刺激属性中的指标层命名为:物理属性(A_1)、分布属性(A_2),并命名内部状态维度为 I 。其中物理属性中包含的视觉特征分别为:形式(b_1)、纯度(b_2)、大小(b_3)、色相(b_4)、透明度(b_5)以及形状(b_6)6种视觉显著性元素特征;分布属性中包含的元素特征分别命名为:位置(c_1)和面积(c_2)。

信息的显著性视觉表达作为多维度属性特征的

表 1 视觉显著性物理属性特征说明
Tab.1 The description of the physical attribute of visual highlighter indicators

物理属性	类别	形式	纯度	大小
	图例			
	说明	不同视觉元素结合说明,如:文字段中穿插图片		依靠颜色纯度拉开元素间对比,如图表色彩标注
	说明			同一元素间不同大小对比区分,如:总体数据与分类数据间字号大小对比
分布属性	类别	色相	透明度	形状
	图例			
	说明	同色元素中异色需要突出的信息元素,如:已选中信息相较其他同类信息变色显示		同类形状中通过形状的“差异化”突出信息,如:特殊功能按钮设计
	说明	同色相元素依靠不同透明度进行对比区分,如:雷达图表中数据叠加表示		
分布属性	类别	位置		面积
	说明	信息在界面中所处的位置		信息在界面中呈现形式在界面中的面积占比

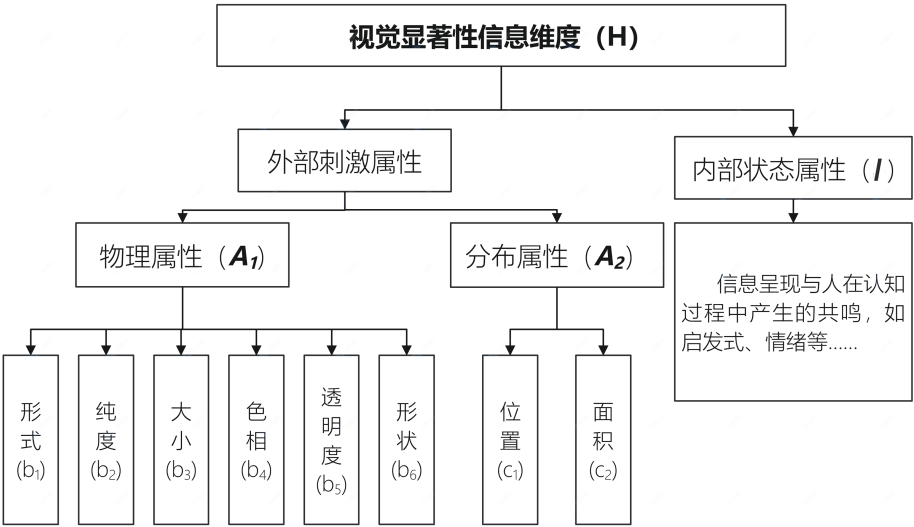


图 3 视觉显著性元素指标层构建图
Fig.3 The layer construction of visual highlighter indicator

集合，其属性之间对信息刺激强度的影响是相互关联的。由于不同的感官输入和知识类型贡献的不平等，在信息输入过程中每个“状态”被分配的权重都有差别。由于注意资源的有限，不同的刺激状态之间处于相互竞争的关系，因此可以将人的注意力资源视为整体，在整体内各特征刺激元素以此消彼长的加权模式来达到决策结果中的最佳匹配。

其中，分布属性作为信息在界面中控制物理属性显著度的重要控制变量，通过信息在用户视野中的呈现位置及占比来增强或减弱权重。现有界面位置优势度研究根据人的顺序阅读习惯，对界面进行四宫格分区，分为左上（Upper-Left，UL）、右上（Upper-Right，UR）、左下（Lower-Left，LL）、右下（Lower-Left，LR）4 个部分，其中人眼对左上角的信息加工明显优于右下角，且优势度评估自左上至右下分别为 33%、28%、23%、16%^[23]。因此，分布属性中的指标评估可以计算为：

位置（ c_1 ）：在指标本身权重基础上需要考虑信息在界面具体位置的权重比例，即 $c_1 = \sum l_{xy}$ ，其中 $l_{xy} \in \{l_{UL}, l_{UR}, l_{LL}, l_{LR}\} = \{0.33, 0.28, 0.23, 0.16\}$ 。

面积（ c_2 ）：与显著性特征指数的影响基本呈线性正相关，因此在进行显著性指数（ H ）计算时，需根据信息样本中显著性特征信息元素在界面中的实际面积与整体信息界面面积的比例来具体对指标（ c_2 ）进行权重计算，设整体界面面积为 S ，其中显著性特征面积为 s_{xy} 。用公式表达信息的显著性指数的计算过程可如下所示：

信息的显著性指数(H_{xy})= $\sum$ 物理属性(A_1) + $\sum$ 分布属性(A_2) + 内部状态属性(I) = $\sum_i b_i + \left(\sum_{xy} l_{xy} + c_2 \right) \cdot \frac{s_{xy}}{S} + I$ (1)

其中， $i \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ， $xy \in \{UL, UR, LL, LR\}$ 。

3 显著性特征指标实际评估

根据上述推理得到的公式(1)可知，对显著性视觉元素进行评估的关键是量化视觉界面中显著性信息的物理属性、分布属性以及聚合属性中指标的具体影响感知权重。本研究基于专家评价法及层次分析法，邀请 5 位从事系统界面设计相关领域 6 年以上且具有复杂信息系统界面交互经验的专家，对上述 3 个属性维度以及所属维度下的二级指标由专家评委根据各指标的重要程度进行排序并给出各指标权重的具体数值。为了使得到的评价数据更为客观，减少对物理属性进行评估过程中其他因素的干扰，以图例的形式（如表 1）呈现给专家进行评测。

1) 首先对属性维度层指标进行计算，专家根据本人界面交互经验以及界面中显著度信息的直观感

表 2 AHP 层次分析结果
Tab.2 The results of AHP level analysis

项	特征向量	权重值	最大特征值	CI 值
A1	1.370	45.653%		
A2	1.213	40.425%	3.000	0.000
I	0.418	13.922%		

表 3 显著性指标权重评估结果
Tab.3 The results of highlighter index weight evaluation

一级指标项	权重	二级指标项	权重	三级指标	权重
物理属性 (A1)	0.457	形式 (b_1)	0.043	—	—
		纯度 (b_2)	0.065	—	—
		大小 (b_3)	0.096	—	—
		色相 (b_4)	0.113	—	—
		透明度 (b_5)	0.055	—	—
		形状 (b_6)	0.085	—	—
分布属性 (A2)	0.404	位置 (c_1)	0.192	c_{UL}	0.063
				c_{UR}	0.053
				c_{LL}	0.044
				c_{LR}	0.030
内部状态 属性 (I)	0.139	面积 (c_2)	0.212	—	—
				—	—

受，对 3 个维度以 1—9 数值进行两两对比评估两元素之间相对重要性程度，其中 1、3、5、7、9 分别代表由同等重要到相较特别重要的 5 个程度，其中 2、4、6、8 表达为上述 5 个程度的中值。从而得到了判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ， $a_{ij} > 0$ 。

$$A = \begin{Bmatrix} 1 & 1.150 & 3.54 \\ 0.870 & 1 & 3.077 \\ 0.283 & 0.325 & 1 \end{Bmatrix}$$

(2)

2) 经过权重向量计算及一致性检验结果可得 AHP 层次分析结果，见表 2。 $w = \{w_1, w_2, w_3\}^T = \{0.457, 0.404, 0.139\}^T$ ，对矩阵 A 进行一致性检验。 $A \times w = \lambda_{\max} \times w$ 取判断矩阵 A 的最大特征根的近似值：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} = 3$$

(3)

根据公式 $C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 计算得出一致性检验的标度，再计算一致性比例 $C.R.$ ，即 $C.R. = C.I. / R.I.$ ，其中 $R.I.$ 可查表得到 $R.I. = 0.520$ ， $C.R. = 0 < 0.1$ 。因此判断矩阵 A 具有满意一致性。

3) 根据以上一级指标的计算方法，同理可得二、三级指标层权重向量，显著性指标权重评估结果见表 3。

4 评估方法验证

根据上述界面信息视觉显著性评估方法及评估

指标,本文以某军装备管理态势监控界面为评估样本进行方法验证。某军装备管理态势监控界面见图4。此装备管理态势系统界面主要以某军装备的战备数据、战区调配、调度态势为主要决策信息内容。采用目前可视化数据大屏常用的深色界面视觉风格进行设计,主要适配于战勤室环境中的高层集体决策环境,以一个16:9比例的LED显示屏和多个21.5英寸显示屏为主要系统界面载体。为了方便后续根据界面效果进行专家评估,本文以21.5英寸显示屏大小的计算机为测试端,将整个系统界面控制为分辨率

1920 px×1080 px的可视界面样本尺寸。此系统界面信息布局基本以矩阵模块的形式提供,在对界面进行分布属性指数项评估过程中,首先根据界面视觉优势评估理论对界面四宫格进行分区,分为左上(UL)、右上(UR)、左下(LL)、右下(LR)4个部分;其次,对4个分区内的特征评估对象抽象为能够包含其内部元素的最小矩形,根据矩形的总宽度 W 及总高度 H 参数,计算此特征元素面积之和,与整体可视界面尺寸相比,得到面积维度三级指数。系统界面显著性元素分解图见图5。



图4 某军装备管理态势监控界面

Fig.4 A military equipment management situation monitoring interface

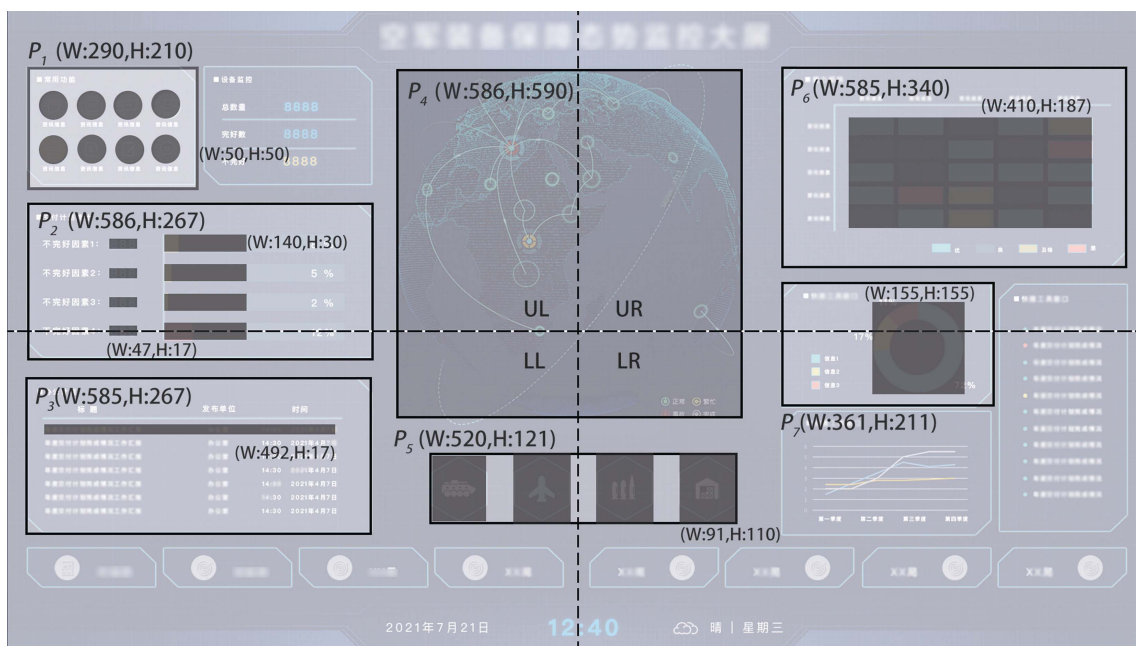


图5 系统界面显著性元素分解图

Fig.5 An exploded view of the saliency elements of the system interface

表 4 界面样本显著性评估结果
Tab.4 The evaluation results of interface highlighter indicator

位置	信息单元		显著性信息		显著性 指数 (H)
	样本 (Pn)	功能	元素特征	信息面积	
UL	P ₁	快捷功能	形式(b1)/色相(b4)/形状(b6)	s _{UL} (W : 50,H : 50) (×8)	0.1439
UL/LL	P ₂	数据对比	形式(b1)/色相(b4)/ 透明度(b5)/形状(b6)	s _{UL} W : 47,H : 17×3; W : 140,H : 30×3; (W : 140,H : 15);(W : 47,H : 9) s _{LL} :(W : 140,H : 15);(W : 47,H : 8)	0.1444
LL	P ₃	公文快讯	色相(b4)	s _{LL} (W : 492,H : 17)	0.1405
UL/UR/ LL/LR	P ₄	装备态势	形式(b1)/色相(b4)/面积(b3)	s _{UL} W : 306,H : 444;s _{UR} (W : 280,H : 444) s _{LL} W : 306,H : 146;s _{LR} (W : 280,H : 146)	0.2252
LL/LR	P ₅	菜单切换	形式(b1)/形状(b6)	s _{LL} /s _{LR} W : 50,H : 50(×2)	0.1408
UR	P ₆	能力矩阵	形式(b1)/色相(b4)/形状(b6)	s _{UR} (W : 410,H : 187)	0.1577
UR /LR	P ₇	数据对比	形式(b1)/色相(b4)/形状(b6)	s _{UR} W : 155,H : 47;s _{LR} (W : 155,H : 108)	0.1447

表 5 AHP 层次分析结果及一致性检验结果
Tab.5 The results of AHP level analysis and
consistency test

样本	特征向量	权重值/%	最大特征值	CI 值
P1	0.902	12.892		
P2	0.916	13.090		
P3	0.876	12.515		
P4	1.540	21.994	7.005	0.001
P5	0.888	12.679		
P6	0.983	14.042		
P7	0.895	12.788		
一致性检验结果汇总				
最大特征根	CI 值	RI 值	CR 值	一致性检验结果
7.005	0.001	1.360	0.001	通过

1) 对装备管理决策系统界面进行区域划分后, 提取界面中显著性特征相对具有代表性的信息矩阵单元样本 P_n , 分析其矩阵样本内所包含的显著性特征信息元素并将信息抽象为特征矩形。

2) 依照上述层次分析法得出的指标权重及计算公式, 对信息矩阵单元样本进行显著性指标计算, 得到界面样本显著性评估结果见表 4。因此, 根据公式计算出的各样本信息单元中信息的显著性指数的显著程度排序为: $P_4 > P_6 > P_7 > P_2 > P_1 > P_5 > P_3$ 。

3) 为检验通过研究方法计算出的显著性结果是否符合实际用户对界面信息的实际视觉感知结果, 本文在此通过专家评价法, 让专家对上述界面信息根据层次分析法, 将单元样本两两对比后进行显著度排序, 得到 AHP 层次分析结果及一致性检验结果见表 5。

由专家评价法得出的权重值与公式计算结果对比可以看出, 专家评价后的信息单元显著性排序与视觉显著性公式计算结果排序基本相符, 虽然 P_2 、 P_7 两个单元的排序与计算公式结果略有分歧, 但由于两个指数对比权重差异较小, 因此判断其对证明公式的有

效性影响基本可以忽略。

5 结语

信息化、智能化高速发展加剧了指挥决策任务多样性、复杂性, 推进决策支持系统人机交互界面设计研发以适应未来国防需求成为关键因素之一。本研究主要通过专家测评和层次分析法, 对决策支持系统人机交互界面中的显著性因素进行了提取、评估和验证的工作。以界面视觉元素对决策者进行引导, 从而减轻用户在使用决策支持系统人机界面交互过程中的认知负荷和决策失误为研究目的, 通过定量计算的手段为界面视觉设计中的信息认知效率以及信息感知层级表达的评估提供了新的参考和思路。

参考文献:

[1] GORRY G A, MORTON M S. A Framework for Management Information Systems[J]. Sloan Management Review, 1971, 13(3): 49-61.

[2] 曹雷. 指挥信息系统(第 2 版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.

CAO Lei. C4ISR System(Second Edition)[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2016.

[3] WARE C, BOBROW R. Supporting Visual Queries on Medium-sized Node-link Diagrams[J]. Information Visualization, 2005, 4(1): 49-58.

[4] KONING B B D, TABBERS H K, PAAS R F. Towards a Framework for Attention Cueing in Instructional Animations: Guidelines for Research and Design[J]. Educational Psychology Review, 2009, 21(2): 113-140.

[5] CLARK N K, RUTTER D R. Social Categorization, Visual Cues, and Social Judgements[J]. European Journal of Social Psychology, 1985, 15(1): 10.

[6] CHIU M, WU J. An Information Model - based Inter-

- face Design Method: a Case Study of Cross-channel Platform Interfaces[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 2020(6): 10.
- [7] MORENO R. Optimising Learning from Animations by Minimising Cognitive Load: Cognitive and Affective Consequences of Signalling and Segmentation Methods [J]. *Applied Cognitive Psychology*, 2010, 21(6): 765-781.
- [8] 马丹丹. 基于认知采样框架的决策偏见形成机理研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2018.
- MA Dan-dan. Understanding Biased Judgement and Decision-Making: a Framework of Cognitive Sampling [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2018.
- [9] SEGEL, EDWARD, HEER. Narrative Visualization: Telling Stories with Data[J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2010(1): 10.
- [10] JARVENPAA S L. Graphic Display in Decision Making: The Visual Salience Effect[J]. *Journal of Behavioral Decision Making*, 1990, 3(4): 247-262.
- [11] BROADBENT D E. Task Combination and Selective Intake of Information[J]. *Acta Psychol (Amst)*, 1982, 50(3): 253-90.
- [12] KRAUZLIS R J, BOLLIMUNTA A, ARCIZET F. Attention as an Effect Not a Cause[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2014, 18(9): 457-464.
- [13] TAYLOR S E, FISKE S T. Salience, Attention, and Attribution: Top of the Head Phenomena 1[J]. *Advances in Experimental Social Psychology*, 1978(11): 249-288.
- [14] 郑杰慧, 汪蕾, 陆强, 等. 信息过滤与不确定决策: 基于认知加工视角[J]. *管理工程学报*, 2016, 30(1): 205-211.
- ZHENG Jie-hui, WANG Lei, LU Qiang, et al. Information Filtering and Decision-making: in the View of Cognitive Processing[J]. *Journal of Industrial Engineering/Engineering Management*, 2016, 30(1): 205-211.
- [15] SWAN K, TUMMELTSHAMMER, DENIS. Infants' Selective Attention to Reliable Visual Cues in the Presence of Salient Distractors[J]. *Child Development*, 2014, 85(5): 1981-1994.
- [16] SCHNOTZ W, LOWE R K. A Unified View of Learning from Animated and Static Graphics[M]. Facultad Regional Rosario, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2008.
- [17] WINN W. A Constructivist Critique of the Assumptions of Instructional Design[M]. Germany: Springer Berlin Heidelberg, 1993.
- [18] PYYSAALO U, OKSANEN J. Outlier Highlighting for Spatio-temporal Data Visualization[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2013, 40(3): 165-171.
- [19] KONG H K, LIU Z, KARAHALIOS K. Internal and External Visual Cue Preferences for Visualizations in Presentations[J]. *Computer Graphics Forum*, 2017(1): 10.
- [20] JIE L, MAO L H. Highlighting in Information Visualization: a Survey[C]. London: 14th International Conference on Information Visualisation, 2010.
- [21] 吕健, 孙玮伯, 潘伟杰, 等. 基于认知特性的信息界面布局美度评价[J]. *包装工程*, 2019, 40(18): 220-226.
- LYU Jian, SUN Wei-bo, PAN Wei-jie, et al. Evaluation of Information Interface Layout Beauty Based on Cognitive Characteristics[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(18): 220-226.
- [22] 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, 27(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, 27(4): 57-61.
- [23] 周蕾, 薛澄岐, 汤文成, 等. 界面元素布局设计的美度评价方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2013, 25(05): 758-766.
- ZHOU Lei, XUE Cheng-qi, TANG Wen-cheng. Aesthetic Evaluation Method of Interface Elements Layout Design [J]. *Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics*, 2013, 25(5): 758-766.