

[高维信息界面数据可视化设计研究]

基于态势感知要素的心智模型构建方法研究

郭玉宋¹, 宫晓东^{1,3}, 陈旺²

1. 北京理工大学, 北京 100081; 2. 中国北方车辆研究所, 北京 100072; 3. 雷达人机工程联合创新实验室, 北京 100081

摘要: 复杂信息系统具有执行任务难度高、态势环境多变、信息结构复杂等特点, 从设计的视角出发, 使用户具备持续且高效的态势感知能力是人机交互设计的关键目标之一。针对复杂信息界面探索基于态势感知要素的用户心智模型构建方法, 以指导人机交互设计。以心智模型理论为基础, 引入态势感知理论, 以远程操控无人车路径规划任务为例, 提取出完成任务所需的态势感知要素, 在此基础上探讨用户心智模型的构建方法。基于态势感知要素的用户心智模型构建方法, 可提升界面信息呈现、交互方式与用户心智模型的匹配程度, 从而提升用户的持续性态势感知能力, 为复杂信息系统界面交互设计提供新思路和理论支持。

关键词: 心智模型; 态势感知要素; 态势感知; 路径规划; 交互设计

中图分类号: J524

文献标识码: A

文章编号: 2096-6946(2020)05-0001-09

DOI: 10.19798/j.cnki.2096-6946.2020.05.001

Construction Method of Mental Model Based on Situation Awareness Elements

GUO Yusong¹, GONG Xiaodong^{1,3}, CHEN Wang²

1. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. China North Vehicle Research Institute, Beijing 100072, China; 3. Radar Ergonomics Joint Innovation Laboratory, Beijing 100081, China

Abstract: Complex information systems are characterized by high difficulty in performing tasks, changeable situation environments, and complex information structures. From a design perspective, enabling users to have continuous and efficient situational awareness is one of the key goals of human-computer interaction design. The construction method of user mental model based on situational awareness elements is explored for complex information interface to guide the design of human-computer interaction. Based on the mental model theory, the situation awareness theory is introduced. Taking the remote control of unmanned vehicle path planning tasks as an example, the situation awareness elements required to complete the task are extracted. On basis of this, the construction method of the user mental model is discussed. The construction method of user mental model based on situation awareness elements can improve the matching degree of interface information presentation, interaction mode and user mental model, thereby improving the user's continuous situation awareness ability, and providing new ideas and theories for the interface design of complex information systems.

Key words: mental model; situation awareness elements; situation awareness; path planning; interaction design

随着信息化时代的到来和世界科技的飞速发展, 军事战争形态逐步趋向智能化、无人化, 各类操控系统 趋向复杂化、数字化、自动化^[1]。传统的模式控制人机交互界面逐渐被显控一体化数字界面取代, 界面需要

收稿日期: 2020-08-09

作者简介: 郭玉宋(1995—), 女, 河北人, 北京理工大学硕士生, 主攻信息设计。

通信作者: 宫晓东(1969—), 女, 辽宁人, 北京理工大学教授、博导, 主要研究方向为人因工程在设计中的应用。

呈现的数据具有高维复杂性、信息密度大及动态变化性等特点,是为复杂信息界面或高维数据界面。在此背景下,系统中的操作人员是否能实现高水平的态势感知是影响系统工效的重要因素。在复杂信息系统中,用户态势感知的水平高低取决于界面信息的呈现与交互方式是否与用户的心智模型匹配^[2],因此用户心智模型构建研究成为提高用户态势感知能力的重要着手点。

一、理论基础

(一) 态势感知理论与态势感知要素

态势感知(Situation Awareness,简称SA),又称情境认知,是指在一定的时间和空间内对动态环境中的各组成成分的感知、理解,进而预知这些成分的变化状况^[3]。Endsley于1995年提出了一个通用的态势感知三层模型,包括感知层(Perception),理解层(Comprehension),预测层(Projection),见图1。其中,态势感知与决策、行动是不同的阶段,是做出正确决策和行动的

前提^[4]。

态势感知要素包括影响态势感知各阶段的直接和间接因素,可大致以人的认知活动(内部因素)、环境及系统的影响(外部因素)为标准进行详细分类。其中,内部影响因素可根据Endsley提出的三级态势感知概念来进行划分^[5],见图2。

(二) 心智模型理论

心智模型是人类接收外界信息刺激时内在形成的针对此信息的表征与图示。它既可以是形成于短时记忆或工作记忆的暂时性表征,也可以是存储于长时记忆中的稳定性心理图示。用户心智模型会受到用户内在主观认知、外在环境、时间等因素的影响。心智模型的内在形成也是一个具备动态性和迭代性的过程,用户在接收新的信息刺激时,其心智模型会基于此信息刺激发生同化或顺应的现象^[6]。

(三) 态势感知与心智模型的关系

心智模型的动态性和迭代性等特征表明,态势感

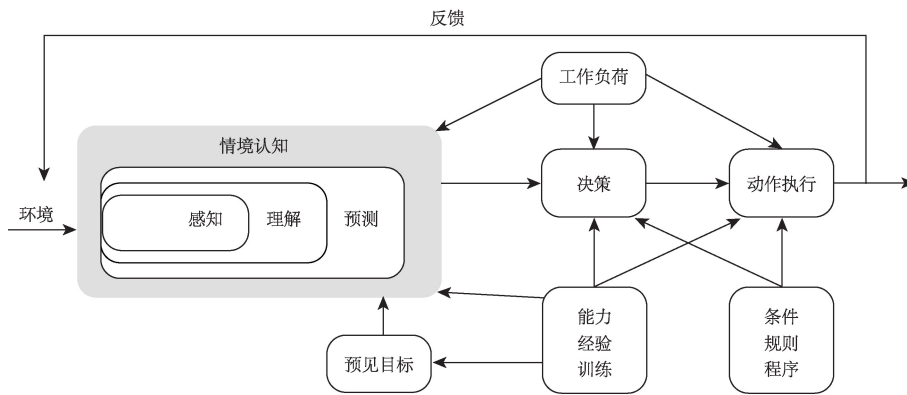


图1 态势感知三层模型

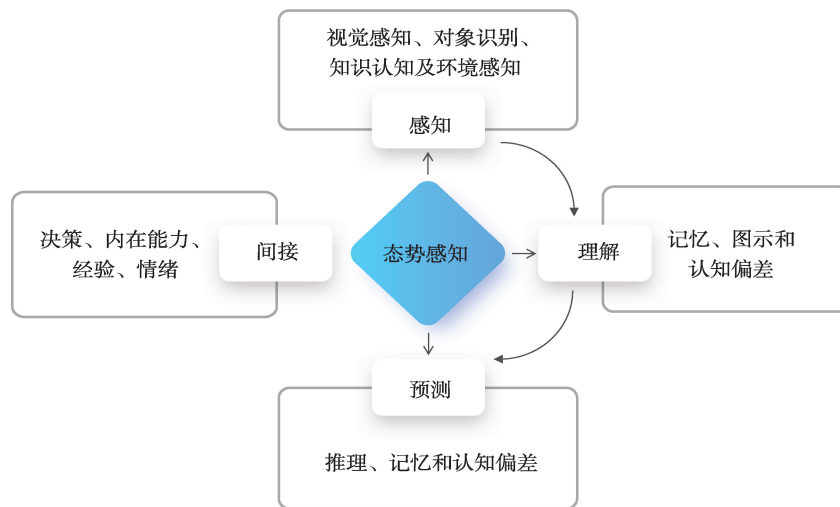


图2 态势感知要素

知的过程与结果受到用户心智模型的影响,心智模型的发展和构建也在态势感知过程的作用下完成的,态势感知与心智模型是互为影响、互为辅助、互为表征的。它们共同作用,影响用户的信息加工与动态决策过程。

在高维信息系统交互设计中更加强调提高用户态势感知水平的重要性,因此基于影响态势感知的认知要素构建用户的心智模型,对于设计出更加符合用户心理、更高效的交互系统具有重要意义。

本文将排爆无人车交互界面设计研究重点放在基于态势感知要素构建心智模型的过程中,以期探索更加准确的用户心智模型构建方法,为高维信息系统交互设计提供理论支持。

二、基于态势感知要素的心智模型构建方法

由于心智模型能够反映用户动机和思考过程,构建并显性化用户心智模型成为信息交互设计及用户体验研究的焦点之一。

在不同领域的人机交互设计中,已有较多研究提及设计与用户心智模型匹配的重要性,并对心智模型的应用进行探索^[6-9]。其中具有代表性的研究成果是辛向阳^[10]提出的观点:他在基于具体案例对用户行为逻辑进行分析的基础上进一步指出了,交互流程设计是否与用户的行为逻辑相匹配是影响用户交互绩效和体验的关键要素。该研究中涉及的行为逻辑可以在一定程度上看作是对用户心智模型的另一种表述方式,对后续相关研究起到了重要的启发和影响作用。然而上

述研究一方面多为面向一般生活任务的研究,另一方面对心智模型本身的具体构建方法涉及较少。特别是在高维复杂信息系统情境下,国内在用户心智模型的构建方法方面的研究仍然处在比较空白的状态,亟需在设计实践的基础上进行理论探索。

在国外相关研究中,茵迪·扬从用户体验的角度,提出了一套比较清晰的心智模型构建路径^[11],指出心智模型本质上是一个依据从目标人群代表中收集到的人群统计数据而提炼出的行为“亲和图”(Affinity Diagram),由塔式结构、心智空间、任务单元组成,并将心智模型的构建与外化的具体方法和流程分解为分析访谈记录、找出组织模式、创建心智模型三个阶段。

该方法同样面向一般性日常生活任务,如看电影、写评论等,强调在面向同一任务的广泛用户中寻求共性,更多的是对用户已有心智模型的呈现,目标是使外在环境尽量迎合。而复杂信息系统用户群体特性明确,任务目标清晰,并且具有客观强制性、态势环境不确定、时效性强等特点,在执行任务过程中,注重外部环境的影响及用户的态势感知水平,具有独特的人与情境相互影响的特点。基于以上分析,本文在此方法基础上,融入态势感知理论,针对复杂高维数字界面应用情境,探讨基于态势感知要素的心智模型构建路径。

(一) 基于态势感知要素的用户访谈方向分析

本文首先依据 Endsley 所提出的态势感知要素模型,将态势感知不同阶段的感知要素与复杂信息系统人机交互界面的设计要点相对应,见表1—表3,从而

表1 态势感知第一阶段

态势感知要素	详解	复杂信息系统交互界面
视觉感知	信息感觉组织、空间视觉、深度视觉、颜色知觉等	适合的显示器尺寸、明度、色彩;合理的信息布局;完整的信息呈现;
对象识别	对外观形式的监测、辨识与识别	目标或构件的结构特性、概念显示、状态显示、分级显示
知识认知	直觉的处理过程,“Top-Down”及“Bottom-Up”处理过程的运用	基于联想、程序直接按照最匹配的图式进行映射或基于对信息刺激的分析搜索匹配最新的图示;界面的任务系统标准化、规范化
注意	集中听觉注意、视觉注意、注意分配、注意保持、自动处理	不同信息模块合理布局,必要信息分级显示;设计与操作行为具有一致性的人机界面
环境感知	包括在环境差异下的信息选择和偏差	考虑不同外界环境对界面显示状态的影响,设计给予用户安全感的界面风格

表2 态势感知第二阶段

态势感知要素	详解	复杂信息系统交互界面
记忆	短时记忆、工作记忆、长时记忆	多利用辅助记忆形成的相关提示,包括文字信息、图形信息等
图示	知识和经验的综合组织	任务流程明确且合理,与用户心智模型匹配
认知偏差	指认知和实际情况不一致的偏差	基于实际情况、实际形态设计相关视觉要素;相同类别元素间的区别显示

表3 态势感知第三阶段

态势感知要素	详解	复杂信息系统交互界面
推理	依据知识和经验对未来事态进行判断	系统辅助性功能帮助形成正确预测
记忆	使用心理图式搜索	界面符合一般心智模型并能帮助形成正确、具有参考性的心智模型
认知偏差	形成反馈调节机制	对操作行为提供反馈机制,提升容错性
目标	整合“Top-Down”及“Bottom-Up”处理过程	对知识认知的结果作为预测目标,具有支持相关心智模型的操作系统

梳理、总结了复杂信息系统人机界面的态势感知要素,并以此为基础,明确了用户调研方向,为排爆无人车操控人员的心智模型的构建提供了基础。

(二) 基于态势感知要素的心智模型构建与外化方法

对基于态势感知要素用户访谈结果进行任务识别并将判定结果采取统一的格式化分类处理,可得心智模型构建的初步组成元素。对这些分析结果进行组织模式的识别与分类,是构建心智模型的必要阶段。

寻找任务组织模式,即按从下到上的方式对所得的子任务进行相似性归纳,得出包含一定任务信息的任务层。任务层的进一步归纳和叠加即为构成心智模型的塔式结构,将塔式结构进行合理归纳与命名,并按照逻辑组织形式合理地排列于心智空间中,最后构成心智模型。外化的心智模型可采取表格、图形等方式进行展示。构建心智模型的最终外化组成成分,见图3。

通过对上述心智模型构建方法的梳理与探索,得到针对排爆无人车的心智模型构建策略,见图4。

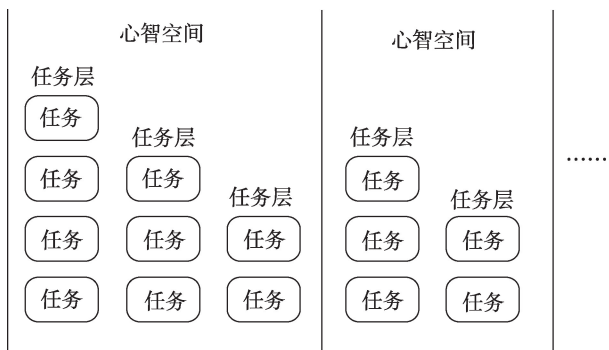


图3 心智模型外化示例

三、基于态势感知要素的心智模型构建——以排爆无人车路径规划任务为例

本文以路径规划任务的操作人员为访谈调研对象,作为具体硬件的专家用户,该操作员群体具有年龄范畴、操作经验、心理素质等主观影响因素较为稳定的特点。

(一) 态势感知要素提取

排爆无人车路径规划任务的基础流程见图5。

针对上述操作流程,将态势感知要素进行对应,并根据对应结果设计调研要点,见表4。

(二) 基于态势感知要素构建心智模型

根据上述调研要点对目标用户进行深入的用户访谈,对应记录可得访谈语言,并对此类语言进行精简挖掘,提炼出子任务模块。然后根据子任务模块梳理出可执行的设计方案,产出的用户心智模型见图6,根据心智模型梳理的设计要点见表5。

(三) 基于心智模型进行界面设计

基于上述心智模型及设计要素,结合竞品分析结

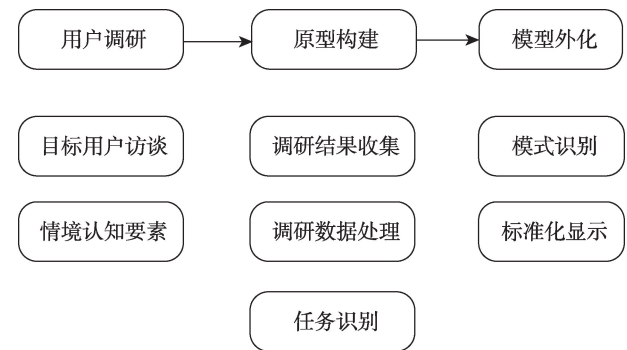


图4 针对排爆无人车的心智模型构建策略

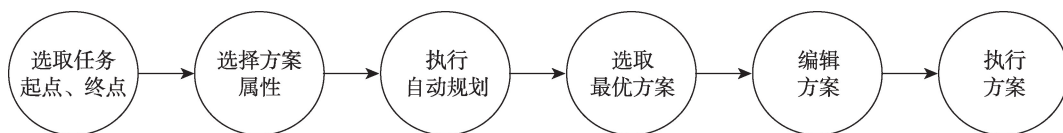


图5 排爆无人车路径规划任务的基础流程

表4 基于态势感知要素的设计调研要点

任务流程	态势感知要素	调研要点	任务流程	态势感知要素	调研要点
选取任务起点终点	视觉感知 对象识别 图示	起点终点形状、空间、色彩感知 起点与终点的区别,两点所处位置的识别 可想起的选取起点终点的操作模式	选取最优方案	视觉感知 对象识别 图示 认知偏差	可得方案的形状、空间、色彩感知 不同方案的区别点、侧重点 可想起的最优方案选择过程及要点 错选方案的反馈调节机制
选择方案属性	视觉感知 对象识别 图示	方案属性形状、空间、色彩感知 不同方案属性的区别,属性模块与其他模块的区别 可想起的选取方案属性的操作模式	编辑方案	视觉感知 对象识别 记忆 环境感知 图示	方案编辑操作的形状、空间、色彩感知 编辑的方案及方案属性识别 对此方案所进行的上文操作,属性记忆 方案编辑时所处环境状态 可想起的编辑方案操作过程及要点
执行自动规划	视觉感知 对象识别 图示	自动规划操作过程的视觉元素形状、色彩、感知 识别自动规划操作区域及反应、反馈过程 可想起的自动规划操作模式、反馈机制	执行方案	视觉感知 对象识别 图示	方案执行操作的形状、空间、色彩感知 执行操作模块识别 可想起的执行操作及反馈模式

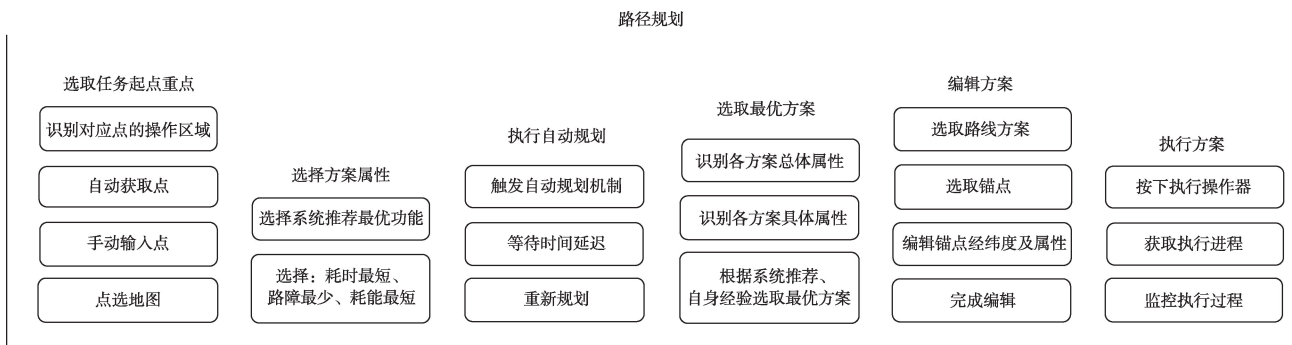


图6 排爆无人车路径规划任务的心智模型

表5 基于态势感知要素的用户心智模型

心智空间	子任务模块	设计要点
选取任务起点终点	识别对应点的操作区域 自动获取点 手动输入点 点选地图	图标化展示、形状区分、色彩区分 预备可点选的中间状态点 不同属性点的形状区分、经纬度表示点位置 必要的操作提示
选择方案属性	选择系统推荐最优功能 选择:耗时最短、路障最少、耗能最短	方案属性模块维度的优先级排序 设计可区别于其他模块的方案属性模块样式注意选中状态与未选中状态的区别
执行自动规划	触发自动规划机制 等待时间延迟 重新规划	设计具备识别性的路径规划按钮 自动规划等待过程给予反馈 规划过程中及成功后给予容错机制
选取最优方案	识别各方案总体属性 识别各方案具体属性 根据系统推荐、自身经验选取最优方案	可得方案的信息组合 不同方案属性的区分设计 默认落焦,选取最优方案 可能错选方案的反馈提示
编辑方案	选取路线方案 选取锚点 编辑锚点经纬度及属性 完成编辑	路线方案的选中状态提示 可编辑锚点的选中状态、未选中状态设计 当前编辑动作下的环境信息、地理位置 完成编辑的确认机制
执行方案	按下执行操作器 获取执行进程 监控执行过程	设计具备识别性的执行按钮 执行过程给予反馈 提供终止执行操作



图7 排爆无人车路径规划原型

果、用户调研及项目经验等,产出界面布局及原型,见图7。根据目标用户右手操作习惯,界面采取左右构图,左侧为实时回传态势地图,用于监控此系统所处的地图环境;右侧为系统操作区,按照顺序从上到下排列工作区域,包括起点终点选择区、路径属性选择区、路径规划操作区、方案选择区、方案执行区。

四、测试与迭代

用户测试是进行产品设计、产品可用性调研的重要手段。其内容包括为用户构建特定任务情境,使其通过对产品的使用完成所规划的任务,并在用户执行作业的过程中对他们所遇到的问题进行收集,对他们的使用感受进行询问,对相应的绩效数据进行记录与对比,从而对设计结果进行验证,发现设计方案的不足之处,来支持后续设计迭代的展开。

(一) 实验思路

本次实验将通过专家绩效与普通用户绩效的比较判定界面设计是否合理,从而判定基于情境认知要素的心智模型构建方法是否有效。具体实验路径见图8。

(二) 实验设计

1. 路径规划阶段任务设计

由于可用性评估多基于具体任务进行展开,任务设计的质量会对评估结果产生直接影响,所以在实验正式开始前,应先针对产品的主要功能、核心流程、操作架构等开展任务设计,见表6。

2. 绩效度量的选取

绩效与用户使用产品时产生的交互行为具有密切

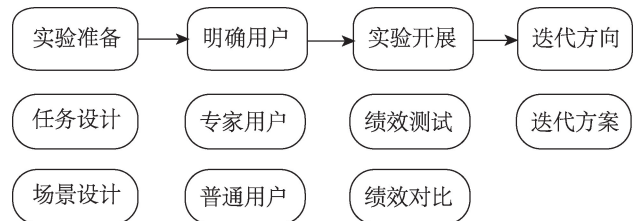


图8 实验路径

联系,表示用户完成一个或一系列任务的程度^[12],绩效度量依赖于用户行为、使用场景、任务设计。本次实验选取的绩效度量标准见表7。

3. 目标用户招募

复杂信息系统界面的使用者多为具备相关知识经验的专家用户,故本次实验选取具备一定学术水平、项目参与经验的被试者进行测试。由于此界面为首次设计界面,缺少界面的对照组,故将用户群体进一步划分为专家用户和普通用户,其中专家用户为具有针对无人车设计经验的研究人员,普通用户为具备复杂信息系统操作能力及设计经验的研究人员。

4. 准备工作

较为专业的可用性测试一般在功能较为完善的人机交互实验室完成,此类实验室包含观察室与操作室,测试人员与被试者可在操作室内开展可用性实验^[13]。由于界面系统的特殊性和实验条件的局限性,此次实验开展为远程主持。实验工具包括可操作的电脑、可交互的界面原型、秒表、相关实验数据的记录工具与收集的表格等。

(二) 实验数据与分析

任务一:对从某校园教学楼到学生公寓进行路径

表6 路径规划阶段的任务设计

应用场景	序号	任务描述	任务目标	任务起点	任务终点
当前所处位置为某校园教学楼,爆炸物具体位置已确定为学生公寓,现要对此路段选取最优行进方案	1	从某校园教学楼到学生公寓进行路径规划	找到路径规划起点、终点并输入,点击自动规划按钮	规划前页面	规划后展示规划方案页面
	2	选取系统综合推荐的最优方案并查看其对应地图	点击对应最优方案卡片,查看对应路线图	规划后展示规划方案页面	路径方案图形展示页面
	3	查看编号为03的点的类型	对路径规划点属性进行查看	路径方案图形展示页面	导航点属性编辑查看界面
	4	执行当前方案	按下执行按钮	导航点属性编辑查看界面	任务执行中界面

表7 绩效度量标准

绩效度量	属性	注意事项
任务成功	是否完成特定的设计任务	明确任务清晰的目标和结束状态;明确任务的成功标准;采用二分式结果表示
任务时间	指被试者完成某任务的时间	测量用户完成任务的具体时间与专家用户时间相比较
错误	完成特定任务所产生的错误数量	按照任务排布整理错误数量,记录每个任务的错误数量。

表8 任务一绩效统计

绩效度量	专家用户1	专家用户2	专家用户3	普通用户1	普通用户2	普通用户3	普通用户4	普通用户5	普通用户6	普通用户7
任务成功	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
任务时间	13.49 s	10.97 s	12.73 s	9.97 s	14.09 s	13.50 s	10.00 s	19.89 s	9.34 s	14.7 s
错误	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

表9 任务二绩效统计

绩效度量	专家用户1	专家用户2	专家用户3	普通用户1	普通用户2	普通用户3	普通用户4	普通用户5	普通用户6	普通用户7
任务成功	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
任务时间	10.54 s	9.3 s	8.34 s	7.35 s	13.7 s	16.5 s	20 s	15.5 s	12.13 s	11.2 s
错误	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表10 任务三绩效统计

绩效度量	专家用户1	专家用户2	专家用户3	普通用户1	普通用户2	普通用户3	普通用户4	普通用户5	普通用户6	普通用户7
任务成功	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
任务时间	7.51 s	6.77 s	8.8 s	16.5 s	10.31 s	15.44 s	8.3 s	12.1 s	14.31 s	10.9 s
错误	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

规划,见表8。

任务一中所有用户都完成任务,两位普通用户各出现一次错误,经观察为打字错误。专家用户的平均任务时间为12.39 s,普通用户为13.07 s,除去打字错误的两位用户,平均时间为11.38 s,与专家用户任务时间基本持平,因此可判断任务一的界面设计基本符合用户心智模型。

任务二:选取系统综合推荐的最优的方案并查看其对应地图,见表9。

任务二中所有用户都完成任务且未出现操作错误。专家用户的平均任务时间为9.39 s,普通用户的平均任务时间为13.76 s,用时明显多于专家用户任务时间。通过对几位用时较长的用户的操作流程进行观察与询问,发现用户在选取最优方案时用时较长,故在迭

代设计时应应对最优方案及方案排布方式进行重新规划。

任务三:查看编号为03的点的类型,见表10。

任务三中所有用户都完成任务,并且未出现操作错误。专家用户的平均任务时间为7.69 s,而普通用户的平均任务时间为12.55 s,明显多于专家用户任务时间,通过对几位用时较长的用户操作流程进行观察与询问,发现用户的时间主要集中在点编辑模块的刷新过程和寻找对应编号点的过程,故在迭代设计时应减少界面的刷新,并在编辑模块展示对应点编号。

任务四:执行当前方案,见表11。

任务四中所有用户都完成任务且未出现操作错误。专家用户的平均任务时间为1.35 s,普通用户的平均任务时间为1.77 s,基本与专家用户任务时间持平,因此可判断任务四的界面设计基本符合用户心智模型。

表 11 任务四绩效统计

绩效度量	专家用户 1	专家用户 2	专家用户 3	普通用户 1	普通用户 2	普通用户 3	普通用户 4	普通用户 5	普通用户 6	普通用户 7
任务成功	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
任务时间	1.28 s	1.58 s	1.2 s	2.31 s	1.33 s	2.1 s	2.25 s	1.9 s	1.34 s	1.2 s
错误	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



图 9 设计迭代方案

本次绩效实验中,普通用户与专家用户均能成功完成任务,且错误率较低。任务二和任务三的普通用户平均任务完成时间明显长于专家用户平均任务时间,经调研为规划方案布局问题、点编辑模块刷新问题,此为后续迭代的主要方向。

(三) 设计迭代

结合用户测试结果对路径规划界面进行迭代设计。主要改进点见图9。

其一,将路径方案模块的显示方案由纵向排布变为横向,符合从左向右的视觉注意流程;将方案信息聚集,突出中间的最优方案。这对首要选择的最优方案起到强调作用,并为点编辑模块提供空间。

其二,将点编辑模块放在方案模块下,减少页面刷新,并且添加点编号,使用户可在此页面直接查看点信息。

五、结语

本文提出了面向高维复杂信息系统的用户心智模型构建方法,即基于态势感知要素构建用户心智模型,并将此方法应用于排爆无人车路径规划的设计实践中,产出一套符合心智模型的排爆无人车路径规划人机交互界面,最后通过绩效实验法对设计原型展开可用性测试,从而验证理论方法的有效性,为设计方案的

迭代提供方向。

基于态势感知要素的心智模型构建方法有利于用户在执行复杂信息系统人机交互操作时的态势感知状态合理化,有利于构建更加严谨、专业的人机交互界面,为复杂信息系统交互界面的设计方法提供新思路;对于排爆无人车人机交互界面的研究和设计,有利于为相关操作人员提供可用性更高的操作中介,从而提升系统工作效率,填补相关研究空缺。

参考文献

- [1] 唐电波. 无人战车将驰骋未来沙场[J]. 坦克装甲车辆, 2018(7):21.
TANG Dianbo. Unmanned Vehicle will Roam the Future Battlefields[J]. Tanks & Armored Vehicle, 2018(7):21.
- [2] ENDSLEY M R. Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement[C]. Santa Monica: Human Factors Society, 1998.
- [3] ENDSLEY M. Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 1988, 32(1): 97-101.

- [4] 薛澄岐. 复杂信息系统人机交互数字界面设计与测评方法研究[C]. 南宁:中国空间科学学会空间生命专业委员会学术研讨会, 2014.
XUE Chengqi. Interface Design and Evaluation Methods Research for Complex Information System[C]. Nanning: Chinese Society of Space Science Space Life Professional Committee Seminar, 2014.
- [5] 胡晓云. 基于心智模型的游戏平台体验设计研究及运用[D]. 武汉:华中科技大学, 2018.
HU Xiaoyun. The Application and Research of Game Platform Design Based on Metal Model[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2018.
- [6] 孙效华, 周博, 李彤. 隔空手势交互的设计要素与原则[J]. 包装工程, 2015, 36(8): 10-3.
SUN Xiaohua, ZHOU Bo, LI Tong. Design Key Elements and Principles of in-Air Gesture-Based Interaction[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(8): 10-13.
- [7] 龚蓉蓉. 用户体验中基于心智模型的手持移动设备界面设计研究[D]. 杭州:浙江大学, 2010.
GONG Rongrong. Research for Interface Design of Handheld Mobile Devices Based on Mental Modal in User Experience Design[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [8] 林一, 陈靖, 刘越, 等. 基于心智模型的虚拟现实与增强现实混合式移动导览系统的用户体验设计[J]. 计算机学报, 2015, 38(2): 408-422.
LIN Yi, CHEN Jing, LIU Yue, et al. User Experience Design of VR-AR Hybrid Mobile Browsing System Based on Mental Modal[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(2): 408-422.
- [9] 孙宁娜, 张露. 心智模型在产品创新设计中的应用策略研究[J]. 包装工程, 2018, 39(20): 212-216.
SUN Ningna, ZHANG Lu. Application Strategy of Mental Model in Product Innovation Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(20): 212-216.
- [10] 辛向阳. 交互设计: 从物理逻辑到行为逻辑[J]. 装饰, 2015(1): 58-62.
XIN Xiangyang. Interaction Design: From Logic of Things to Logic of Behaviors[J]. Zhuangshi, 2015(1): 58-62.
- [11] 茵迪·扬. 贴心的设计—心智模型与产品设计策略[M]. 北京:清华大学出版社, 2017.
YOUNG I. Mental Models: Aligning Design Strategy and Human Behavior[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017.
- [12] 汤姆·图丽斯, 比尔·艾博特. 用户体验度量[M]. 北京:电子工业出版社, 2016.
TULLIS T, ALBERT B. Measuring User Experience[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016.
- [13] SUN Chengyu, HU Wei, XU Diqiong. Navigation Modes, Operation Methods, Observation Scales and Background Options in UI Design for High Learning Performance in VR-Based Architectural Applications[J]. Journal of Computational Design and Engineering, 2018, 2: 189-196.