

强时效性作战系统的信息可视化设计研究

孙涛^{1,2}, 巢育龙¹, 凌小东^{1,2}, 罗军^{1,2}, 杨建勋^{1,2}

1. 北京无线电测量研究所, 北京 100854; 2. 雷达人机工程联合创新实验室, 北京 100854

摘要: 针对信息可视化设计对于强时效性作战系统作战使用效能的重要性, 以及对某类典型作战系统信息可视化设计现状和不足进行分析, 对如何突破基于主观经验的传统粗放式设计方法, 将信息量大、信息表征复杂的作战系统高维数据最优地组织与呈现, 提高作战人员的认知和使用效率开展了研究, 提出了基于特定场景的作战任务流开展信息可视化设计的全新理论, 通过结合实例, 给出了基于观察任务特征、频度因子和权重因子等开展信息架构设计、界面布局设计的方法, 以及结合认知科学理论开展作战数据图形化设计的方法。以任务特征为中心的设计理论和方法能够有效地提升强时效性作战信息系统的作战使用效能, 并可为各类信息系统的人机交互设计和信息可视化设计所广泛借鉴和采用。

关键词: 强时效性作战系统; 人机交互设计; 信息可视化; 作战任务流; 信息架构; 界面布局; 数据图形化

中图分类号: J524

文献标识码: A

文章编号: 2096-6946(2020)05-0024-07

DOI: 10.19798/j.cnki.2096-6946.2020.05.004

Information Visualization Design of Combat System with Strong Timeliness

SUN Tao^{1,2}, CHAO Yulong¹, LING Xiaodong^{1,2}, LUO Jun^{1,2}, YANG Jianxun^{1,2}

1. Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100854, China;

2. Radar Man-Machine Engineering Joint Innovation Laboratory, Beijing 100854, China

Abstract: The work aims to analyze the importance of information visualization design for the operational efficiency of combat system with strong timeliness and the current situation and shortcomings of information visualization design of a typical combat system. The research on how to break through the traditional extensive design method based on subjective experience, organize and present the high-dimensional data of the combat system with large amount of information and complex information representation optimally and improve the cognition and operational efficiency of the combat personnel is carried out, and a new theory of information visualization design based on the combat task flow of specific scenario is put forward. Through the combination of examples, the method of information architecture design and interface layout design based on observation task characteristics, frequency factor and weight factor is proposed, and the method of graphical design of combat data combined with cognitive science theory is given. The theory and method of mission centered design can effectively improve the operational efficiency of combat information system with strong timeliness, and can be widely used in the design of human-computer interaction and information visualization of various information systems.

Key words: combat system with strong timeliness; human-computer interaction design; information visualization; combat task flow; information architecture; interface layout; data graphing

收稿日期: 2020-08-09

作者简介: 孙涛(1978—), 男, 北京人, 硕士, 北京无线电测量研究所高级工程师, 主要研究方向为雷达人机交互设计。

在地空导弹武器系统中,制导雷达运用信息技术执行系统控制、态势观察、决策等目的,具有信息结构复杂、信息时效性强等特点,此外还具有交互需求复杂、信息可视化要求程度高等特性。制导雷达属于典型的强时效性高维信息系统,在武器系统各组成部分中具有突出的代表性。强时效性信息系统等复杂系统的人机交互设计需要解决两方面的问题:感知和交互的可扩展性。体现在其数字界面设计中就是信息可视化设计和交互设计,复杂系统数字界面特点见图1。信息可视化的设计质量直接关系着用户获取信息的效率,交互设计则关系到用户控制系统的效率。两方面设计的合理性和绩效直接关系到操作员的战斗、生存能力和能否在短时间内对战场态势做出准确判断并实施正确操作,关系到系统信息交换的效率及协同作战的能力,并直接影响武器系统的整体作战效能。

其中,信息可视化设计关注的是如何将信息量大、信息表征复杂的作战系统高维数据最优地组织与呈现,包括如何将信息分配到多个协同作战的台位,每个台位如何组织其内部的信息架构,架构中的同层次节点如何布局,每个节点内的数据如何进行图形化的显示,设计目标为提高作战人员对战场态势的感知、认知和决策效率。它直接影响武器系统是否能够最大化地发挥其威力和作用,对于强时效性系统的作战使用效能意义重大。

一、研究背景

为应对反导和复杂干扰等战场环境带来的挑战,军方和各级领导都在强调提升制导雷达信息可视化设计水平的重要性。目前各军工单位越来越重视信息可视化设计,加大科研投入,通过引入人才及与高校合作,提高设计能力。而在研制进度紧张、需求越来越复杂的情况下,目前普遍的情况是,精力主要放在软件编程等功能实现技术的研究上,而缺乏对信息可视化设计的独立、专业和规范化的设计过程。根据多个型号历次参试情况可以看出,目前多数人机交互设计距离实现高效能作战的愿景还有较大的提升空间,主要表

现在:(1)各操作员整体及不同时段的使用负荷(主要是各类信息监视任务的负荷)不够均衡,台位分工(主要是信息在台位间的显示分配)缺乏精细化设计;(2)对特定任务场景下重要信息的观测不够便捷,画面信息繁杂,缺乏对信息架构和页面布局的最优设计;(3)信息呈现不够直观,操作员从观测到的数据转换为有用信息的成本较高,数据的可视化设计需要加强。

目前多数型号的信息可视化设计是凭借主观经验开展的粗放式设计,解决上述问题需要相关科学的理论作为指导,并通过总结提炼,建立适合本领域的设计准则和规范,来指导实现科学化的设计。

二、强时效系统信息可视化顶层设计

经典的人机交互设计理论主要面向使用范围广泛的办公、管理信息系统,以及网站、移动端等互联网产品。互联网产品一般主要侧重用户体验,即除了顺畅地达到使用目的外,强调互动性和给用户留下深刻印象,让用户充分享受与外界交互的过程;而武器系统的战机稍纵即逝,更注重其中的快速获取信息、操作精准、短时间完成任务的能力。

在交互设计学领域中,一般需要综合运用各种可用性设计原则、五维度理论、认知心理学等理论和方法开展设计工作,使用思维可视化工具对需求进行分析,细分出产品逻辑结构,然后制作出软件的原型。而对于强时效性作战系统,各个设计环节均需要以武器系统作战任务流程为依据和抓手来展开。

为了能够对任务流程中各个子任务的关系进行有效的梳理,采取将任务流程做成甘特图的形式来对各个子任务的特征进行分析和统计。某制导雷达的某类任务甘特图示例见图2,其可视化设计需重点关注的是横轴上方的观察事件,为每个事件独立编号。观察事件的右侧给出的两个数值代表“频度因子/权重因子”。频度因子的含义是数值越大,事件调取越频繁,数值=1代表需占据操作员全部精力;权重因子的含义是数值越大,事件重要程度越高,数值=1代表事件重要程度最高。

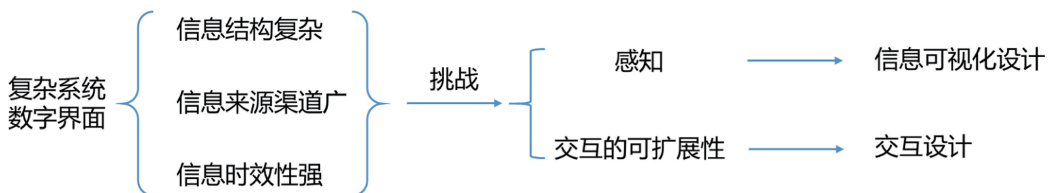


图1 复杂系统数字界面特点

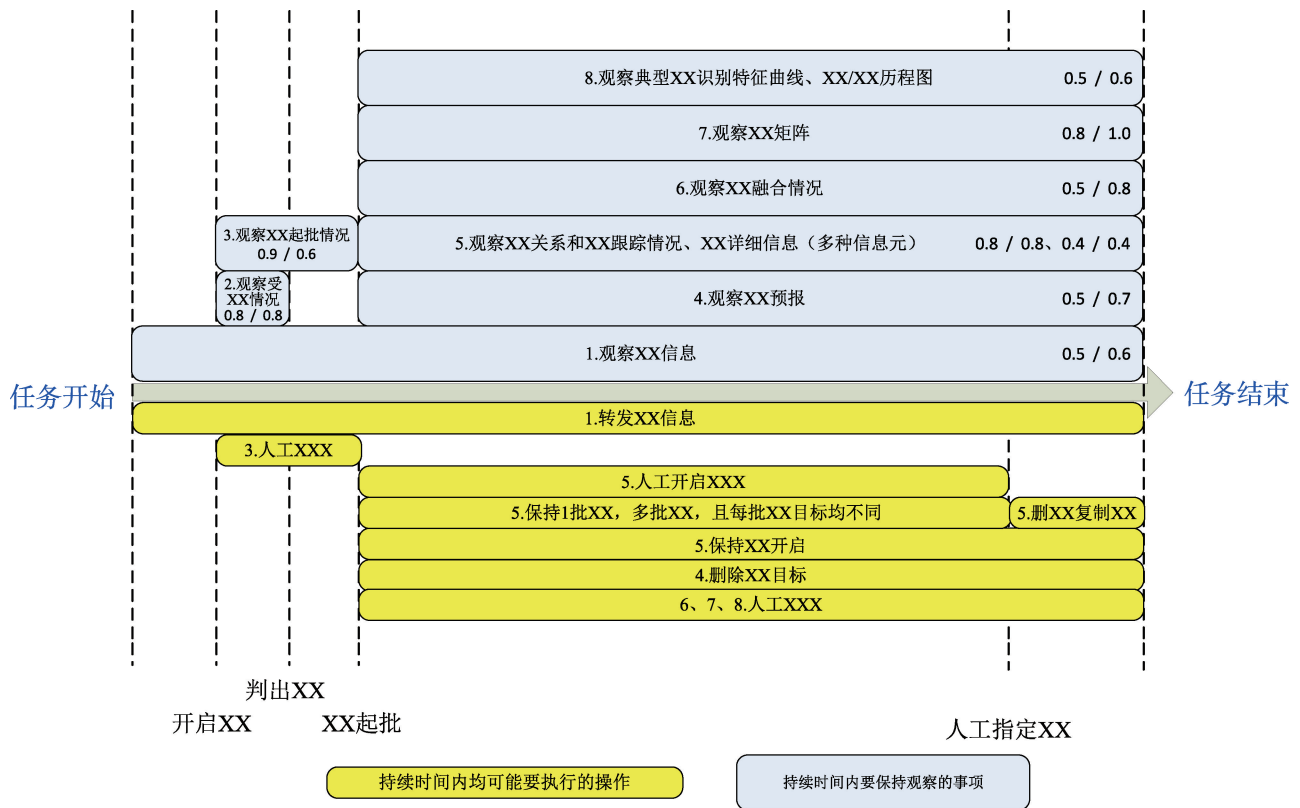


图2 任务甘特图示例

制导雷达一般配置多个显控台位,通过多人协同的形式完成作战任务。典型作业环境下,每台位配置上下两台显示器作为主要的信息获取来源。传统做法一般是根据任务的大类(如搜索、跟踪、识别)直接分配至各个台位,这样做易造成每个台位的信息显示负载量在不同时段不均衡。较合理的方法是做出全部任务场景的甘特图(图2为其中一个场景的示例),作为分配依据,使同一时刻需要并行的多个子任务根据频度(权重为辅)分配给不同台位,且各台位的总工作负载尽量均衡。

根据上述原则,在图2的任务场景下显示事件的分配结果为:1、3、4给台位一;5、8给台位二;2、6、7给台位三。分工完成后,每个台位需要显示的全部信息元随之确定,进入到各台位内部的详细设计环节。

三、强时效系统信息可视化详细设计

对于制导雷达等高维信息系统而言,信息可视化设计的涵义可以涵盖 Garrett 五层设计流程中的第三层至第五层^[1]。其中第三层中的信息架构是核心,它关注如何将信息表达给用户。对强时效性作战系统而言,难点为最优信息架构的搭建过程需要与任务流程紧密结合。

目前,各类信息的显示层级、显示位置和表现形式普遍是基于型号继承或主观经验来确定,对操作员的认知和使用效率影响较大,需要研究相关理论,实现科学化的设计。

(一)信息架构设计

好的信息架构,可以让用户高效率、快速找到需要的信息;不好的信息架构,使人如同身陷于迷宫中,花费时间和精力寻找内容,产生焦虑。虽然雷达信息元总量小于互联网产品,但由于必须准确、全面掌控,不宜通过搜索的方式,因此信息架构设计非常重要。

信息架构的基本单位是节点^[2],如显示、操作类功能组件,节点代表任意信息元的组合,如视图、表格等。一般情况下,首先需要将信息元进行分组,形成若干节点。作战系统不能像互联网产品一样直接将信息按类别分组,系统中需显示的全部信息元可通过梳理任务流程得出,其中部分自动组合成为本领域常用的模块级信息组,如制导雷达典型视图,其他信息元需要根据对各个任务流程的统计,将相关性强的信息进行组合,完成信息分组,每组为一个节点。

节点在信息架构中是依据一定的组织原则来归类 and 排列的,排列方式包括(树状)分层结构、矩阵结构、自然结构和线性结构^[3],制导雷达同一台位的全部节

点一般是多种结构的综合,作战态下的节点则一般为分层结构,依据图2的任务场景及上述的台位分工结果设计出的台位二在作战态下各节点的信息架构见图3。

图3中每个节点上方的数字表示优先级评分(其计算方法见表1,其中部分任务的频度因子、权重因子取自图2),评分高者优先于第一层级展现^[4],对于同类信息,如分数相差较多,应考虑分为两个层级展现。图3中的浅色节点虽然在逻辑上与深色节点处于一个层级,但由于评分较低,因此可使用Tab页的形式隐藏显示。

(二) 布局设计

每个页面中各节点(显示、操作类组件)的布局设计除受到节点尺寸一定程度的约束外,为提高信息观察效率,需要重点遵循以下两个原则。

一是将已统计出的(如表1所示的)高评分节点放置于界面中理想的观察位置,例如以一种回字形布局为例给出了观察优先级的分布(见图4);二是统计出多种布局方案下完成各任务所需的视觉搜索路径,选择其中路径长度较短的布局。

(三) 数据图形化与视觉设计

通过将信息量大、信息表征复杂的作战系统高维数据在台位间进行分配,并完成台位内部的信息架构设计和各节点布局设计,接下来即需要在节点内部(即布局的每个子区域内)针对特定数据进行图形化和视觉设计,以最终完成在低维可视空间中对作战系统高维数据中的部分数据进行可视化展现^[5]。

数据可视化,是根据数值,用标尺、颜色、位置等各种视觉暗示的组合来表现数据。可视化最基本的形式是把数据映射成图形(基于数据和四种组件创建)^[6],它是对抽象数据进行直观视觉呈现的研究,抽象数据既包含数值数据,如财务报表、经济数据、股票数据等,也包含非数值数据,如文本信息、地图信息、商标信息等^[7]。从视觉感知的角度研究在结构层的视觉通道中的可视化元素,比如位置、长度、明暗、形状、颜色等,针对目标群体,将感知性高的视觉元素应用到设计中^[8]。

1. 平衡差异性与统一性

表现视觉信息的差异性和“跳出效果”,跳出效果越好,注意力越容易被吸引,信息筛选起来就越简单,因此,可以通过改变位置、颜色、尺寸、形状等视觉特征来让所需信息从背景或非所需信息中“跳出来”。在某作战系统设计的目标跟踪表格中(见图5),目标类型

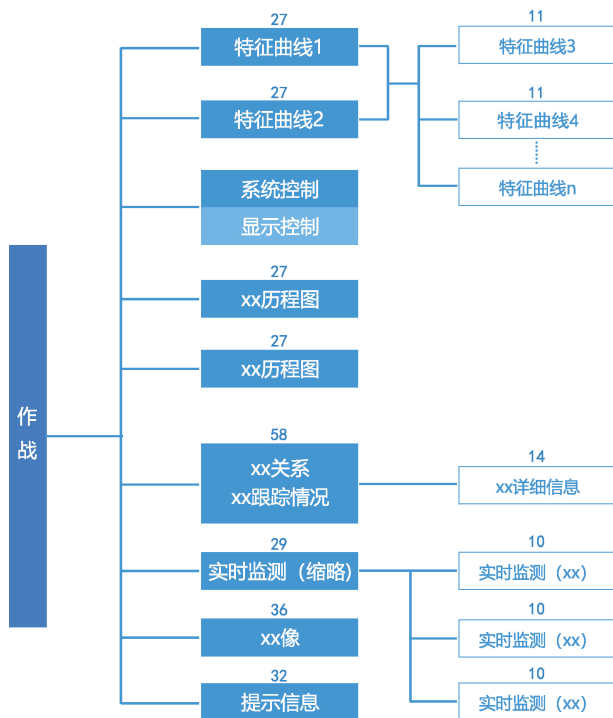


表1 观察类任务优先级评分

观察类任务	任务长度	频度因子	权重因子	综合评分
特征曲线1	90	0.5	0.6	27
特征曲线2	90	0.5	0.6	27
特征曲线N	90	0.3	0.4	11
XX历程图	90	0.5	0.6	27
XX历程图	90	0.5	0.6	27
XX关系和XX跟踪情况	90	0.8	0.8	58
XX详细信息	90	0.4	0.4	14
实时监测信息(简略)	120	0.3	0.8	29
实时监测信息(详细)	120	0.1	0.8	10
XX像	90	0.5	0.8	36
提示信息	120	0.3	0.9	32

注:1. 综合评分=任务长度×频度因子×权重因子;

2. 取一个对抗波次中相应子任务持续的tick数作为任务长度值

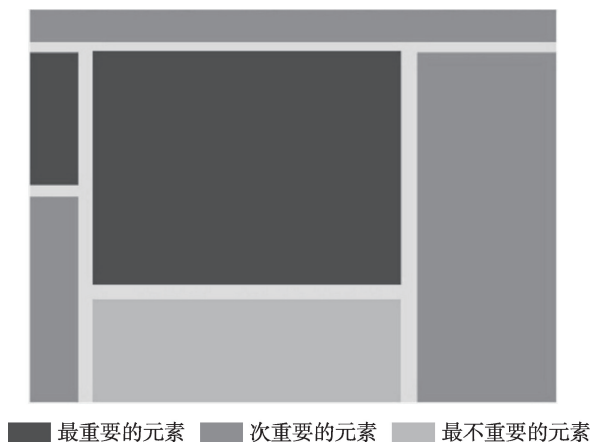
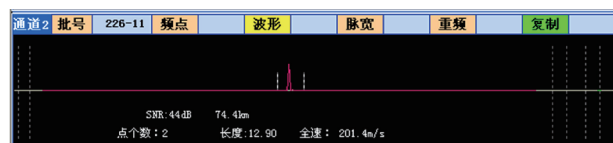


图4 观察优先级分布示例

序号	类型	团号	距离 (km)	方位 (°)	俯仰 (°)	高度 (km)	径速(m/s)	RCS(dB)
▶ 1	✈	105	2030	74.0	0.0	1160	2960	500
▶ 2	✈	105	630	109.0	45.0	360	960	500
▶ 3	✈	105	4500	45.0	18.0	3000	7000	500
▶ 4	✈	105	2800	119.0	78.0	1600	4800	500
▶ 5	✈	105	1750	44.0	26.0	1000	2600	500
▶ 6	✈	105	2100	82.0	0.0	1200	2960	500
▶ 7	✈	105	3650	74.0	45.0	2200	5600	500
▶ 8	✈	105	315	109.0	18.0	190	390	500
▶ 9	✈	105	560	45.0	78.0	360	960	500
▶ 10	✈	105	4500	119.0	26.0	3000	7000	500
▶ 11	✈	105	4025	44.0	0.0	2300	5600	500
▶ 12	✈	105	2030	82.0	45.0	1160	2800	500
▶ 13	✈	105	2730	45.0	18.0	1560	4680	500
▶ 14	✈	105	1505	119.0	78.0	840	2000	500
▶ 15	✈	105	1505	44.0	26.0	840	2000	500

图5 表格类数据的图形化



a 原设计



b 改进设计

图6 视觉分组设计

非数值数据采用了直观的图标形式,并通过采用条形图、扇形图的方式,将距离、高度、方位、俯仰等数值数据进行了可视化,通过长度、角度、颜色等视觉要素上的差异消除了传统表格数据呈现不直观、不易比较的弊端。对达到预警范围的数据,用醒目的红色来呈现数据,以区别其他数据,引起操作手的注意,第一时间做出反应,这对强时效性信息的快速传达有极为重要的意义。通过可视化研究,将信息从无形转换为有形,通过友好的设计,能够使信息更容易识别,提高操作员的感知、认知效率^[9]。需要注意的是,过多地强调差异性会导致用户在捕捉目标信息时飘忽不定,反而造成了干扰,因此注意统一和差异的平衡才能真正做到良好的信息可视化。

对于每组内的信息元,可再进行视觉上的分组。关系近、功能近的处于较近位置。使用线、框、背景色、相似图形、版式等方式进行分组。目标跟踪质量原设计画面与视觉分组改进后的画面,见图6。

2. 强调关注信息

强时效性作战系统的信息量大且场景复杂,在这

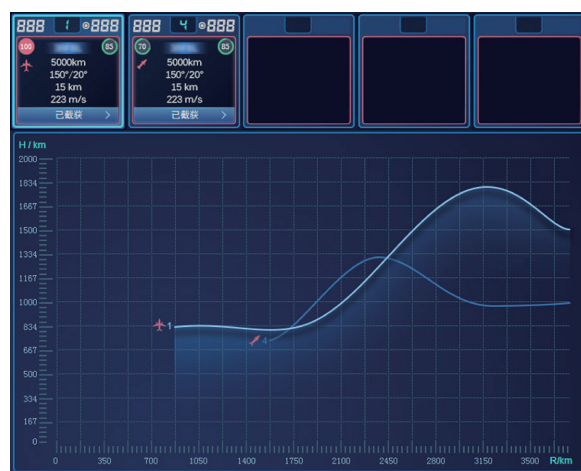


图7 卡牌与曲线的联动强化显示

种情况下,如何快速聚焦视线,筛选目标信息是十分关键的。当用户需要在平级的同类型的、差异性一致的信息中进行筛选时,强化目标信息,弱化背景信息,去除干扰信息,可以让目标信息从背景信息中跳出来。例如某作战系统目标卡牌设计示例(见图7),当需要筛选与所需目标相关的视图信息时,通过强化相关曲线的视觉呈现强度,与背景信息产生差异,从而让同一目标的所有信息共同呈现出来,使所需信息能够快速呈现在眼前,提高信息传达效率。

此外,由于人的视觉搜索规律为水平快于垂直,因此节点内部同组信息的排列优先选用水平布局,并且由于人的“注意”资源非常有限,因此适宜采用紧凑排列的形式,如图7上部的卡牌区域。

3. 为信息建立层次和关系结构

作战系统庞杂的数据有着纷繁的差异,如果有序地将信息呈现出来,让信息与信息之间有逻辑可循,能

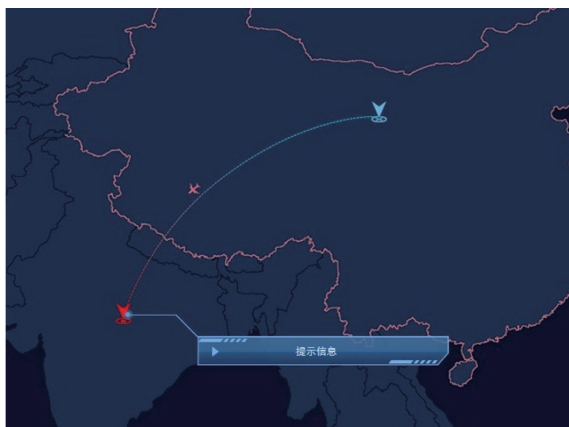


图8 起落点航迹关系呈现

够让用户更容易接受。首先,对信息分组归类之后将类别、属性、程度、方位等不同维度的信息分别通过图形设计传达出来,并根据用户的信息需求对各类、各维的信息进行排序,将最迫切的信息突出强调显示^[10]。然后通过建立层级与层级之间的关系,搭建出界面中共同展现的信息的逻辑结构。某型号界面地图中起飞点到降落点的示意图见图8,其起点与落点根据信息特征分别选择了蓝色和红色的图形,两者间存在一条航迹线,根据起点与落点的关系,为了辅助展现出飞行方向,两者间的连线采用了从蓝色到红色的渐变色。

4. 匹配现实世界的经验

对于一些抽象数据,可以根据数据本身所代表的意义和用户需要,模拟现实具象的事物,将数据与人在现实世界中的经验做匹配,能够给用户更直接的信息刺激。加上记忆的辅助,用户可以凭借过去的经验知识,很快地接收界面中的数据,并且通过继续学习和适应,更快地掌握界面上的复杂信息,设计者需要平衡熟悉和陌生的关系,以熟悉的经验引导陌生的知识。某型号监测系统的部分界面设计见图9。界面中的数值数据如电流、电压、温度、油位,通过与现实事物匹配,直观传达出不同数据的不同属性及同类数据不同数值间的关系。匹配现实世界中的经验可以降低学习成本,使强时效性作战系统的界面更加直观,有效提升用户对信息的认知效率。

四、结语

本文通过对强时效性作战系统信息可视化设计的现状分析,以及其与互联网产品的可视化设计侧重点区别的分析,对如何突破传统粗放式的设计,将信息量大、信息表征复杂的作战系统高维数据更好地组织与呈现进行了研究,不仅提出了基于作战任务流开展信



图9 监测数据拟物化设计

息可视化设计的理论,而且给出了基于观察任务特征、频度因子和权重因子等来开展信息架构设计、节点布局设计的方法,以及在节点内部进行作战数据图形化和视觉设计的方法。以此完成的型号设计已取得了较好的实际效果,有效提升了武器系统制导雷达的作战使用效能。本文的方法和理论不仅限于强时效性作战系统,对于其他类型信息系统的可视化设计同样具有参考意义和实用价值。

参考文献

- [1] 宫晓东. 交互设计[M]. 合肥:合肥工业出版社,2016.
GONG Xiaodong. Interactive Design[M]. Hefei: Hefei Industry Press, 2016.
- [2] 孙雅薇, 田建宇, 梁伟, 等. 基于雷达图法的通信网络效能可视化建模[J]. 计算机仿真, 2019, 36(10): 4-5.
SUN Yawei, TIAN Jianyu, LIANG Wei, et al. Visual Modeling of Communication Network Effectiveness Based on Radar Chart[J]. Computer Simulation, 2019, 36(10): 4-5.
- [3] 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,2016.
XUE Chengqi. Design Method and Application of Human Computer Interaction Digital Interface in Complex Information System[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2016.
- [4] 刘津, 李月. 破茧成蝶[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.
LIU Jin, LI Yue. Breaking Cocoons into Butterflies[M]. Beijing: People's Post and Telecommunication Press, 2014.
- [5] 孙扬, 封孝生, 唐九阳, 等. 多维可视化技术综述[J]. 计算机科学, 2008, 35(11): 1.
SUN Yang, FENG Xiaosheng, TANG Jiuyang, et al. Survey

- on the Research of Multidimensional and Multivariate Data Visualization[J]. Computer Science, 2008, 35(11): 1.
- [6] YAU N. 数据之美: 一本书学会可视化设计[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
- YAU N. Data Points Visualization that Means Something [M]. Beijing: Renmin University Press of China, 2014.
- [7] 付心仪, 刘世霞, 徐迎庆. 信息可视化的发展与思考[J]. 装饰, 2017, 4: 16-19.
- FU Xinyi, LIU Shixia, XU Yingqing. The Development and Reflection of Information Visualization[J]. Zhuangshi, 2017, 4: 16-19.
- [8] 陆菁, 刘渊, 张晓婷, 等. 基于用户体验的数据可视化模型研究[J]. 包装工程, 2016, 37(2): 52-56.
- LU Jing, LIU Yuan, ZHANG Xiaoting, et al. Data Visualization Model Based on the User Experience[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(2): 52-56.
- [9] 聂俊岚. 多维数字战场态势可视分析研究[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 3: 626-629.
- NIE Junlan. Research on Visual Analytics for Multidimensional Digital Battlefield Situation[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2014, 3: 626-629.
- [10] 许世虎, 宋方. 基于视觉思维的信息可视化设计[J]. 包装工程, 2011, 32(16): 11-14.
- XU Shihu, SONG Fang. Information Visualization Design Based on Visual Thinking[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(16): 11-14.