



数字化监控任务界面中 信息特征的视觉搜索实验

吴晓莉^{1,2} 薛澄岐³ Gedeon Tom² 胡鸿⁴ 李晶⁵

(¹ 河海大学机电工程学院, 常州 213022)

(² Research School of Computer Science, The Australian National University, Canberra 2601, Australia)

(³ 东南大学机械工程学院, 南京 211189)

(⁴ 湖南工学院安全与环境工程学院, 衡阳 421001)

(⁵ 南京林业大学家具与工业设计学院, 南京 210036)

摘要: 针对信息特征的视觉搜索过程,从凝视-扫视的浏览路径分析操作员搜索信息的注意资源分配,展开眼动跟踪实验.实验结果表明,搜索路径受任务驱动影响,在不同任务下反应时间与眼动数据均有显著性差异;不同监控区域的信息分布注意捕获亦有显著性差异.凝视/扫视比表明,实验材料中监控任务布局的信息搜索较低;信息方位与信息特征容易被捕获.由此得到了认知信息处理与任务的关系、信息搜索与监控区域的关系以及信息特征的集簇关系.该结论能够有效指导监控任务界面的改良设计,从而提高操作员任务执行的认知绩效.

关键词: 监控任务界面;信息特征;视觉搜索;凝视与扫视

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0505(2018)05-0807-08

Visual search on information features on digital task monitoring interface

Wu Xiaoli^{1,2} Xue Chengqi³ Gedeon Tom² Hu Hong⁴ Li Jing⁵

(¹ College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

(² Research School of Computer Science, The Australian National University, Canberra 2601, Australia)

(³ School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

(⁴ School of Ergonomics and Safety Management, Hunan Institute of Technology, Hengyang 421001, China)

(⁵ College of Furnishings and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210036, China)

Abstract: Based on the visual search process of information features and the browsing paths of fixation-saccade, the attention resource allocation of operator searching for information was analyzed and the movement-based eye tracking experiment was conducted. According to the experimental result, the search paths were influenced by the task-driven approach, and the reaction time shown a significant difference with eye movement data in different tasks. A significant difference was also shown for the information distribution attention capture in different monitoring areas. The fixation/saccade ratio indicates the limited information search of monitoring task layout in experimental materials. In addition, the clustering relationship shows the information direction and features that can be easily captured. Thus, the relationship between information processing and the task, the relationship between the information search and the monitoring area and the clustering relationship of information features. The conclusion can effectively guide the improved design of monitoring task interface and enhance the cognitive performances of task implementations by operators.

Key words: task monitoring interface; information features; visual search; fixation-saccade

收稿日期: 2018-01-07. 作者简介: 吴晓莉(1980—),女,博士,副教授, wuxlhhu@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金青年基金资助项目(71601068,61603123)、江苏省高校境外研修资助项目(2017)、江苏省自然科学基金面上资助项目(BK20181159)、江苏省哲学社会科学重点资助项目(2017ZDIXM023)、常州市科技重点支撑资助项目(CE20175032)、人类工效学会-津发联合研究基金资助项目(2017-05).

引用本文: 吴晓莉,薛澄岐,Gedeon Tom,等.数字化监控任务界面中信息特征的视觉搜索实验[J].东南大学学报(自然科学版),2018,48(5):807-814. DOI:10.3969/j.issn.1001-0505.2018.05.005.

随着计算机和通讯技术的快速发展,数字化、智能化的人机交互界面已经引入到核电厂监控、交通枢纽、军事信息化作战等大型、复杂的操作执行系统. 这些复杂信息系统正面临着全新的模式, 操作员将与数字化信息呈现的交互界面进行监视、查询、响应和执行的整个认知行为过程. 监控任务界面中的信息主要指系统呈现在界面上传递给操作者认读的内容, 包括字符、文本、图像、图标、色彩、维度等表达方式, 通过不同呈现方式组成特指含义的信息块. 通常通过颜色、大小、形状、方位等属性来表现信息的特征^[1]. 任务界面信息呈现研究涉及设计科学、心理学和计算机科学交叉的新领域. Wu 等^[2]用生理实验评估人机界面的操作行为和认知负荷; Salman 等^[3]通过对紧急医疗信息系统的导航栏和用户界面设计来展开生理实验研究, 提出了具有参考价值的设计方法. Neyedli 等^[4]针对自动化作战识别系统的信息呈现, 采用军事模拟与虚拟建模的测试环境考察敌军、友军、制服、头盔等视觉目标信息呈现的形式. Zhou 等^[5-6]对界面元素布局进行分析, 提出界面设计美度的评价方法; 李晶等^[7-8]研究人机交互界面中信息的可视化结构, 通过均衡时间压力提出信息编码的合理性建议; 文献[9-12]提出数字化交互界面的脑电评估方法. 吴晓莉等^[13-15]研究信息交互界面的视觉局限生理实验方法, 分析视觉搜索过程中信息疏漏、错误感知的根本原因. 以上通过界面信息分析与评估方法、生理实验等手段的研究, 为监控任务界面信息特征的研究提供了可参考的依据. 本文针对信息特征的视觉搜索过程, 从凝视-扫视的浏览路径分析操作员搜索信息的注意资源分配, 展开眼动跟踪实验.

1 信息特征获取

操作员执行任务需要获取信息特征, 若干个信息特征成为了若干个搜索目标. 信息特征的获取过程就是操作员视觉(眼动)搜索的过程. 本文从眼动的反应机理(凝视-扫视)和注视点数据密度(集簇)阐述视觉搜索过程.

1.1 凝视-扫视-凝视

在目标搜索过程中发生凝视-扫视-凝视的浏览路径, 并伴随着认读、辨识、判断选择和决策, 然后进入下一个目标搜索任务(见图 1). Yarbus^[16]认为, 特征承载的信息越多, 双眼停留其上的时间就越长. 视觉搜索是信息认知过程的重要阶段, 而注意支配着视觉搜索过程的凝视与扫视. 视觉搜索主要是前注意信息的加工处理, 可以说是无意识的.

前注意信息一般指视觉信息界面中能够引起无意注意的信息自身属性, 如颜色、大小、形状、方位等.

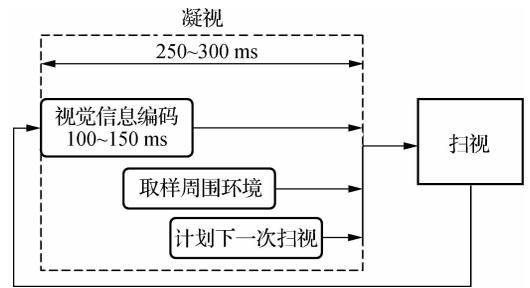


图 1 一个凝视周期^[17]

1.2 信息特征搜索产生的集簇

凝视到扫视产生的浏览路径是一个注视点跨越到另一个注视点, 在注视点会有持续时间, Salvucci 等^[18]提出了注视点眼动速度识别的基准值算法(I-VT). 注视点的位置由原始眼动数据中的 X 和 Y 值的均值确定. 扫视长度需要根据注视点的 X, Y 坐标计算出斜边的长度, 这主要用来分析某个被试的扫视路径. 搜索路径持续时间包括了凝视时间, 即扫视时间加上注视持续时间.

在眼动跟踪技术中, 把 UFOV 作为一种集簇(cluster)分析图, 并定义为一种可在背景图上呈现注视点数据密度最大的区域可视化图形. 集簇算法就是为了找到眼动数据的空间分布模型. 集簇算法公式^[19]可表示为

$$\text{Spatial Kernel}(x_i, y_j) = \exp\left(-\frac{x_i^2 + y_j^2}{\sigma_s^2}\right)$$

式中, σ_s 为距离基准值或空间的长度; x_i, y_j 为注视点坐标.

1.3 信息特征搜索过程的相关参数

根据凝视与扫视过程和目标搜索产生的集簇分析可知, 合理的信息特征呈现能够有效分配操作员的注意资源, 提高视觉搜索效率, 对操作员任务执行的认知绩效起到关键作用. 因此, 可通过认知处理信息的时间和搜索信息的时间获得搜索效率、目标搜索反应时、扫视次数、注视点数等眼动数据^[20], 由信息特征呈现的差异以及集簇分布获得不同信息特征的注视点密度, 如表 1 所示. 通过视觉搜索实验可展开操作员搜索目标的注意资源分配研究, 得到优化监控任务界面的有效依据.

2 信息特征的视觉搜索实验

按照 Yarbus^[16]实验的范式, 本文将采用眼睛运动与定点注视的分析方法, 分析在监控任务过程中操作员是如何将视觉注意分配到不同信息内容

表 1 信息特征搜索过程的相关参数^[20]

参数	凝视与扫视数据		信息搜索评价
	描述	计算公式	
搜索路径长度 L	各凝视点之间的距离 a, b, c, \dots, n 之和	$L = a + b + c + \dots + n$	如果扫视路径最短,最佳搜索路径
搜索路径持续时间 S	搜索路径总时间和认知处理时间的总和	$S = 16.67n + f$	搜索路径持续时间与处理信息的复杂性关系较大,与预搜索效率关系较小,即时间主要在凝视上,而不是在扫视上
凝视次数 n	注视点数的总和	$n(a, b, c, \dots, n)$	凝视次数相对较多,说明信息界面设计不合理
凝视持续时间	注视点的持续时间总和	$f(1 + 2 + \dots + n)$	凝视时间长,意味着花费在视觉信息编码的时间长
凝视/扫视比 R	凝视时间 f 与扫视时间 s 的比值	$R = f/s$	认知处理信息的时间(凝视)与搜索图标的时间(扫视)之比,当 $R < 1$ 时,说明信息布局不合理

上的.结合 Goldberg 等^[17]提出的凝视-扫视的信息搜索过程,分析典型监控任务界面中不同任务的眼动跟踪轨迹.从而获得视觉信息界面中不同信息特征的行为和生理反应规律.

2.1 实验材料

本文采用某航战显示系统的监控任务界面作为实验材料.该界面由飞行数据显示、水平位置显示、雷达态势以及武器挂载 4 个界面组成(具体子界面显示内容不做详述).在实验材料中包含了大量的信息特征,这些特征全部承载于监控任务界面中(包括了表示不同含义的信息图标、各种不同模式的信息表达方式、各种数据表达形式、各种方位的指示符号、各种状态信息的表达方式以及大量的简写符号、大写字母表示等).本实验将真实的监控任务界面作为眼动跟踪的视觉搜索材料,在不同任务中,呈现同一个信息界面.

2.2 实验设计与程序

本实验考察在监控任务界面呈现复杂的信息特征时,人眼搜索注意加工特性的信息;考察在不同任务与不同信息区域是否在眼动指标上存在差异,以及不同信息区域搜索过程中的相对差异.本实验采用 4(任务)×9(区域)两因素被试设计.其中,按照操作员监控过程任务分为任务 1、任务 2 和任务 3(见图 2),并增加一个无任务的自变量(主要目的是查看扫视的次数,以及无意识下的主要凝视点).同时,针对 3 个任务设定了相应的问卷,作为视觉搜索任务后,根据记忆回答不同信息的特征,如重要信息的颜色、容易忽略信息的方位等.根据飞行数据显示、水平位置显示、雷达态势和武器挂载相关信息特征所在的功能区,并根据聚集成信息块的大小、方位,划分了 9 个视觉区域,设定为 INFO1~INFO9,见图 2.根据功能布局,导航信息栏分别标记为 INFO 1,INFO 2;飞行数据显示、水平位置显示、雷达态势以及武器挂载界面分别标记为 INFO 3,INFO 4,INFO 5,INFO 6;状态信息栏分别标记为 INFO 7,INFO 8 和 INFO 9.实验在河海大学人因交互实验室

进行,实验设备采用 TobiiX120 眼动仪;被试为 10 名具有信息设计背景的研究生.



图 2 被试无任务时的凝视与扫视

3 实验结果与分析

3.1 凝视与扫视

通过 Tobii Studio Version3.1.0 软件的数据可视化,可以得出被试信息搜索的整个凝视-扫视过程.图 3 为无任务状态下,被试无目的地观看,形成了密集的凝视-扫视过程.由图可以看出,被试虽然是无目的地观看,也会在某个区域聚集较多的注视点,从扫视路径的长度也可以看出有反复的左右、上下往返查看信息的内容.

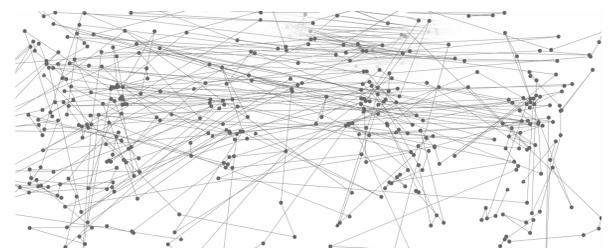


图 3 被试无任务时的凝视与扫视

在不同任务驱动下,被试的凝视-扫视过程呈现出明显变化.由图 4 可以看到,注视点聚集的区域有很大不同.任务 1 需要寻找代表飞机的符号,被试的注意集中在与飞机相关的图标类信息;任务 2 查看的是威胁相关的信息,被试会根据颜色、形状、数据等表达方式查看是否具有威胁的意义,视觉注意随着威胁相关性在移动,可以明显看到在出现敌机处有大量的凝视,可见这时被试在进行理解

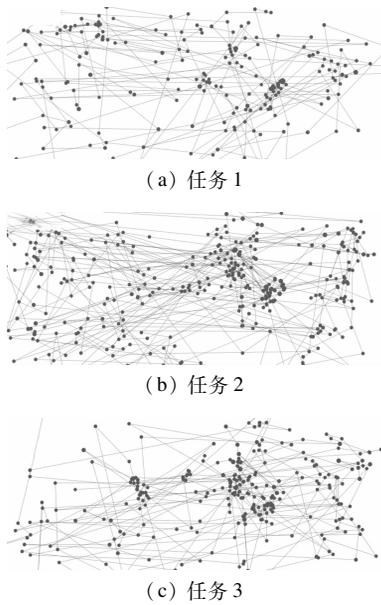


图 4 3 种不同任务驱动的凝视与扫视

任务界面中的轨迹图,右边为提取后的搜索路径.可以看出,不论从反应时还是凝视持续时间 3 种任务成依次递增趋势,说明任务 3 对数据信息的搜索时间远大于任务 1 和任务 2,任务 1 搜索耗时最短. Goldberg 等^[17]提出了如下的视觉搜索效率公式:

$$R = \frac{f}{s}$$

式中, f 为认知处理信息的时间(指凝视持续时间); s 为搜索信息的时间(指扫视时间),也叫搜索路径持续时间.因此

$$R_1 = \frac{f}{s} = \frac{1\ 799\ \text{ms}}{23\ 247\ \text{ms}} = 0.077\ 4$$

$$R_2 = \frac{f}{s} = \frac{4\ 280\ \text{ms}}{19\ 046\ \text{ms}} = 0.224\ 7$$

$$R_3 = \frac{f}{s} = \frac{7\ 195\ \text{ms}}{50\ 050\ \text{ms}} = 0.143\ 8$$

式中, R_1, R_2, R_3 分别为任务 1~任务 3 的搜索效率.

搜索效率可以说明界面信息布局的优劣,认知处理时间应远大于搜索信息时间,即 $R > 1$,说明信息布局合理,搜索信息的效率高.从数值明显可以看出,监控任务界面的信息搜索不利于被试的快速搜索,在任务 2 执行过程中信息分布略好于任务 3 和任务 1.

针对不同任务的凝视与扫视,可进一步结合反应时、凝视总时间、注视点数、扫视时间和扫视次数等数据,分析不同任务的差异性.

与辨析;任务 3 查看的是数据信息,在监控任务界面中有大量的数据信息,以不同方式表达并分布在各个不同的方位,明显扫视的次数远多于任务 1 和任务 2,这与信息的布局有关.

3.2 被试的凝视/扫视比

由于扫视路径不能被叠加,分析一个被试的凝视-扫视过程,比较不同任务下的搜索路径与搜索效率,即凝视/扫视比.表 2 给出了 3 种任务下被试的反应时、凝视持续时间和扫视次数,左边为监控

表 2 在 3 种不同任务驱动下一个典型被试的搜索路径

任务	视觉搜索		轨迹图	搜索路径
	参数	数据		
任务 1	反应时/ms	30 170		
	凝视持续时间/ms	1 799		
	注视点次数	21		
	搜索路径持续时间/ms	23 247		
	扫视次数	189		
任务 2	反应时/ms	26 817		
	凝视持续时间/ms	4 280		
	注视点次数	44		
	搜索路径持续时间/ms	19 046		
	扫视次数	214		
任务 3	反应时/ms	106 331		
	凝视持续时间/ms	7 195		
	注视点次数	68		
	搜索路径持续时间/ms	50 050		
	扫视次数	455		

3.3 视觉搜索反应时和眼动数据的差异性比较

不同任务下的反应时与眼动参数均值与标准差,如表 3 所示.反应时表示信息搜索的速度,对反应时的方差分析表明,不同任务的主效应($F = 19.463, P = 0.048, P < 0.05$)达到显著性水平;总注视时间是完成任务所有凝视持续的总时间,表示花费在视觉编码的时间长短.对凝视持续时间的方差分析表明,不同任务的主效应($F = 55.687, P = 0.005, P < 0.01$)达到显著性水平.注视点数表示扫视的有效性,表示搜索目标的相对难度.对注视点数的方差分析表明,不同任务的主效应($F = 54.918, P = 0.005, P < 0.01$)达到显著性水平.扫视时间即为搜索路径持续时间,表示处理信息的复杂性程度.对扫视时间的方差分析表明,不同任务

的主效应($F = 55.907, P = 0.005, P < 0.01$)达到显著性水平.扫视次数指标表示预搜索效率,对扫视次数的方差分析表明,不同任务的主效应($F = 55.698, P = 0.005, P < 0.01$)达到显著性水平.可见,不同任务对信息搜索的视觉认知都有显著性影响.

从眼动参数的比较可以看出,扫视时间远大于注视时间,扫视次数也远大于注视点数.通过凝视扫视比来比较界面信息的搜索效率.根据 Ratio 的计算公式,可以计算得到总的凝视持续时间与扫视时间之比和平均每次凝视时间与扫视时间之比.对 2 种凝视/扫视比的方差分析表明,不同任务的主效应($F = 792.817, P = 0.001, P < 0.01$)达到显著性水平.

表 3 不同任务下的反应时与眼动参数均值与标准差

任务	反应时/ms		凝视持续时间/ms		注视点数		扫视时间/ms		扫视次数	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
无任务			5 435.75	5 868.98	47.13	38.83	42 108.13	6 540.77	370.75	41.71
任务 1	29 949.38	12 749.72	2 847.38	2 326.12	24.50	13.94	22 598.88	11 330.33	196.63	68.50
任务 2	45 356.75	32 579.52	3 736.88	3 183.25	32.75	18.73	29 990.75	15 157.98	254.00	113.73
任务 3	67 027.38	36 417.68	4 590.25	4 772.31	40.50	32.03	39 542.63	13 643.28	324.63	125.45

注:无任务下的反应时设定为 6 s,故不统计;M 为均值;SD 为方差.

结果表明,凝视/扫视比与平均每次的凝视/扫视比有很大差异,如图 5 所示.无任务和任务 1 的平均每次的凝视/扫视比大于 1,任务 2 和任务 3 分别为 0.967 和 0.931,也趋近于 1;总的凝视/扫视比均小于 0.13,这很难用搜索效率来说明监控任务界面的信息布局问题.为了更深一步了解信息布局,还需要划分不同的监控区域,分析不同信息区域的眼动数据.

3.4 不同监控区域的眼动数据差异性比较

对监控区域总注视时间的方差分析表明,不同区域的主效应($F = 7.939, P = 0.045, P < 0.05$)达到显著性水平.从不同任务角度分析,注视时间上无明显差异,任务 1 注视时间相对其他任务短一些,说明寻找飞机图标的任务执行相对容易.对不同任务的监控区域注视点数方差分析表明,监控区域的主效应($F = 7.786, P = 0.039, P < 0.05$)达到显著性水平.9 个不同监控区域的注视点数趋势与总注视时间趋势基本保持一致.对不同任务的监控区域访问次数方差分析表明,监控区域的主效应($F = 9.033, P = 0.004, P < 0.01$)达到显著性水平.INFO 3 ~ NFO6 区域的访问次数明显多于其他区域,特别是 INFO5 雷达态势子界面的访问次数达到最高值,说明该区域的信息搜索的往返率较高,表明信息的分布密集,也可能是该区域的信息识别较差,需要反复搜索目标.

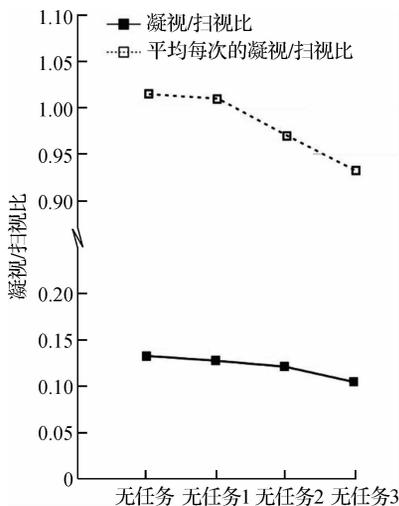


图 5 凝视/扫视比

4 讨论

4.1 认知信息处理与任务的关系

从监控任务界面的行为和生理反应指标可以看出,被试在同一个界面执行不同的任务,其相应的反应时、凝视持续时间、注视次数、扫视时间和扫视次

数也有显著性差异. 信息的搜索路径表现出任务 1、任务 2、任务 3 逐渐繁杂. 被试的搜索路径表明了任务与信息内容的关联性, 由于任务的导向, 被试可能会关注某个区域并增加认知信息处理的时间.

由于信息的不同区域分布, 每个被试凝视和扫视的区域面积不尽相同. 说明任务执行中并不是全部区域的信息搜索, 被试也会出现信息遗漏、寻找不到的情况. 任务搜索后的问卷测试进一步说明认知信息处理的过程. 表 4 为问卷测试结果.

表 4 被试对不同任务中认知信息处理的测试与结果

任务	测试范围	问题	测试结果
任务 1	敌机	是否发现敌机	80% 认为有红色敌机
	飞机图标	飞行状态仪表盘上白色飞机代表的是否都是主机	有一半认为是主机, 有一半认为不是, 说明被试并没有观测到 2 种主机的不同
	武器挂载	是否看到武器挂载有多少种	70% 认为有 3 种以上
任务 2	威胁信息	最具表达威胁的信息符号	都认为红色飞机最具有威胁性
	紧急任务	最紧急的任务表达方式	认为红色三角区域是最紧迫的任务
任务 3	颜色	最重要数据信息的颜色	最重要颜色顺序为绿色、蓝色, 其次为白色, 没有人认为紫色信息重要
	格式	引起注意的数据信息格式	最引人注意字符的顺序为绿色字符、白框蓝字、符号附近的字符
	方位	容易忽略的数据信息方位	50% 认为上部数据信息容易忽略, 40% 认为下部状态信息显示区域容易忽略, 10% 则认为是图符附近的数据信息

在任务 1 中, 被试搜索飞机图标. 大部分被试都能首先看到红色的敌机以及绿色的友机, 均匀分布在雷达态势界面中, 被试在对这个区域认知信息处理后, 还会寻找其他相关的飞机信息, 这时至少有一半的被试会忽略主机符号. 因此, 凝视时间(认知信息处理时间)主要集中在雷达态势界面, 在眼动数据中可以看到该区域有集中分布的注视点数(9.375 次). 在任务 2 中, 被试搜索威胁信息. 监控任务界面中敌机以红色凸显出了威胁信息的存在, 紧急任务会以黄色图标, 数据提示其威胁的程度, 在其他的区域也会有相应的信息表达. 同样, 在雷达态势界面中, 眼动数据表明了集中分布的注视点数(14.250 次)远大于任务 1. 测试结果还表明, 红色三角的指示符号认为是最紧迫的任务, 与威胁相关. 在这些图标、符号上, 被试都花了大量的认知信息处理时间. 在任务 3 中, 被试搜索数据信息的不同表达方式. 监控任务界面中含有大

量的数据信息, 并分布于不同的区域, 这将会产生大量的扫视. 眼动数据表明, 任务 3 的凝视持续时间和扫视时间最长(4 590.25 和 39 542.63 ms). 问卷测试的结果发现, 绿色和蓝色的数据信息最重要; 绿色的字符最容易引起人的注意, 加框的字符也会引起注意. 搜索轨迹和测试结果都表明了上部信息栏的数据最容易被忽略. 因此, 采用不同方式表达信息, 也会增强认知信息处理的时间, 从而达到信息被搜索到的目的.

以上分析发现, 由于被试对信息的理解程度和视觉注意力的分配, 在认知信息处理过程中, 会产生信息遗漏, 如没有搜索到主机的符号、上方信息栏数据信息没有查询等; 同时由于信息的方位, 被试也会产生信息的误读/误判, 如武器种类的数目、威胁信息等; 查看数据信息时也会受到其他信息的干扰, 造成注意转移分散, 从而错过、忽略相关的数据信息.

4.2 信息搜索与监控区域的关系

从不同监控区域的眼动数据差异性比较可知, 总注视时间、注视点数以及访问次数, 都说明了 INFO 1 ~ INFO 9 不同监控区域的差异性显著. 信息搜索的效率与信息的方位有很大关系, 这也与视觉特性有关. 根据视觉特性, 眼睛的搜索行为一般受到界面中的物理位置的引导, 当被试在搜索目标中采用系统扫视模式时, 视线的变化习惯于从左到右, 从上到下和顺时针方向运动^[20]. 然而, 在复杂的信息界面中, 人眼的运动特性会随着任务而改变, 这正是视觉搜索模型所提出的序列搜索和平行搜索, 如果任务目标是被某个显著维度的某个水平确定时, 就会出现序列搜索的不同情况. 在搜索中, 目标好像是突然显现, 即当任务目标能用一个简单规则定义时, 平行搜索就发生了^[21-22].

眼动数据表明, 被试的搜索路径按照信息的方位和任务导向为依据, 进行序列搜索. 界面信息的设计要求以视觉行为规律为依据, 按照最短搜索路径对界面设计优化. 根据凝视/扫视比可以看出, 监控任务界面的信息布局很差($R < 0.13$), 扫视时间远大于凝视时间, 说明被试信息搜索的时间大多花在了寻找, 产生了大量的扫视.

由此可见, 扫视过程中会由于意向性减弱, 造成记忆消退或注意转移, 从而错过或忽略信息; 同时信息所处方位, 没有对该方位进行扫视, 也会造成信息疏漏.

4.3 信息特征的集簇关系

被试的任务主要是寻找监控任务界面中的信息特征. 不同的信息特征均会对注视时间和点数、扫视

时间和次数产生影响.如敌机的图标特征、绿色字符特征、武器特征、红色三角框特征等,眼动数据表明在这些特征区域有较多的凝视持续时间和注视点

数.可以根据 Tobii Studio 软件中注视点数据密度程度,生成可视化的集簇分析图.如图 6 所示,图像中的集簇面积说明了注视点数集中的区域.



图 6 监控任务界面集簇图

视觉注意分为目标导向(goal-directed)的内源性注意和刺激驱动(Stimulus-driven)的外源性注意^[23].内源性注意受到任务目标和主观意图控制,外源性注意是显著刺激的自动捕获.在监控任务界面中,被试在任务驱动下进行信息搜索,然而认知信息加工过程中,也会受到其他显著信息特征产生注意转移,即信息的突出特征捕获了被试的注意.如任务 3 中被试在寻找数据信息时,在敌机、友机特征上也产生了较多的注视点.因此,注视点数能够说明信息搜索中信息特征的集簇关系.

集簇图中根据注视点数划分了 24 个集簇区域,表 5 列出了飞行数据界面、水平位置显示界面、雷达态势界面和武器挂载界面主要的集簇区域分布百分数.数据表明,敌机图标、敌机上方数据、飞行坐标、武器符号的集簇分布达到 70% 以上,说明被试在认知信息处理和信息搜索时间上更多关注这些信息特征.由于任务不同,不论是内源性注意,还是外源性注意,都表明了这些信息特征的显著性.以上分析表明,注视点的集簇凸显了容易被注意捕获的信息特征.

表 5 集簇区域分布的百分数

飞行数据界面			水平位置显示界面			雷达态势界面			武器挂载界面		
集簇	信息特征	分布率/%	集簇	信息特征	分布率/%	集簇	信息特征	分布率/%	集簇	信息特征	分布率/%
Cluster1	飞行坐标	8	Cluster2	红框瞄准十字	40	Cluster6	敌机图标	90	Cluster7	武器选择符号	50
Cluster4	飞行方向指针	60	Cluster3	绿色字符	40	Cluster14	白色框字符	90	Cluster8	武器选择数据	40
Cluster5	飞行高度标	50	Cluster10	绿色字符	40	Cluster17	黄色符号	60	Cluster18	模式数据	60
Cluster13	白色字符	40	Cluster11	白色框字符	40	Cluster23	主机符号	40	Cluster19	武器符号	20
Cluster22	飞行空速标	60	Cluster24	白色字符	50	Cluster16	连线符	40	Cluster20	武器符号	70

5 结论

1) 监控任务界面的搜索轨迹表明,搜索路径受任务驱动的认知信息加工和信息搜索时间影响,不同任务的反应时和眼动数据均具有显著差异性.

2) 凝视/扫视比表明,在信息搜索过程中,扫视时间和扫视次数都远大于凝视持续时间和注视点数,这说明此监控任务界面的搜索效率较低.

3) 不同监控区域的注视时间、注视点数和访问次数均具有显著差异性,雷达态势子界面分布的信息特征容易被注意捕获,这与任务驱动和自动捕获都有相关性.

4) 信息的方位和信息特征(颜色、形状、大小等)与视觉搜索都有显著影响,在不同任务下,容易造成信息的疏漏、误读误判、错过/忽略等问题.

参考文献 (References)

[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,2015:47-61.

[2] Wu Changxu, Liu Yili. Development and evaluation of an ergonomic software package for predicting multiple-task human performance and mental workload in human-machine interface design and evaluation[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56(1): 323-333. DOI:10.1016/j.cie.2008.06.013.

[3] Salman Y B, Cheng H I, Patterson P E. Icon and user <http://journal.seu.edu.cn>

- interface design for emergency medical information systems: A case study[J]. *International Journal of Medical Informatics*, 2012, **81**(1): 29 - 35. DOI: 10.1016/j.ijmedinf. 2011.08.005.
- [4] Neyedli H F, Hollands J G, Jamieson G A. Beyond identity: Incorporating system reliability information into an automated combat identification system [J]. *Hum Factors*, 2011, **53**(4): 338 - 355. DOI: 10.1177/0018720811413767.
- [5] Zhou Lei, Xue Chengqi, Tomimatsu Kiyoshi. Research of interface composition design optimization based on visual balance[C]// *The 2013 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*. Shenzhen, China, 2013: 20 - 23.
- [6] 周蕾, 薛澄岐, 汤文成, 等. 界面元素布局设计的美学评价方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2013, **25**(5): 758 - 766. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9775.2013.05.022.
- ZhouLei, Xue Chengqi, Tang Wencheng, et al. Aesthetic evaluation method of interface elements layout design[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2013, **25**(5): 758 - 766. DOI:10.3969/j.issn.1003-9775.2013.05.022. (in Chinese)
- [7] 李晶, 薛澄岐, 史铭豪, 等. 基于信息多维属性的信息可视化结构[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2012, **42**(6): 1094 - 1099. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0505.2012.06.014.
- Li Jing, Xue Chengqi, Shi Minghao, et al. Information visual structure based on multidimensional attributes of information[J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2012, **42**(6): 1094 - 1099. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0505.2012.06.014. (in Chinese)
- [8] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9775.2013.07.012.
- Li Jing, Xue Chengqi, Wang Haiyan, 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. DOI: 10.3969/j.issn.1003-9775.2013.07.012. (in Chinese)
- [9] Niu Yafeng, Xue Chengqi, Li Xuesong, et al. Icon memory research under different time pressures and icon quantities based on event-related potential[J]. *Journal of Southeast University(English Edition)*, 2014, **30**(1): 45 - 50.
- [10] Niu Yafeng, Xue Chengqi, Wang Haiyan, et al. Event-related potential study on visual selective attention to icon navigation bar of digital interface[C]// *International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Toronto, Canada, 2016: 79 - 89.
- [11] Jin Tao, Xue Chengqi, Wang Haiyan, et al. A new method of building an evaluation model for user interface [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, **744**(744): 605 - 609. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amr.744.605.
- [12] 金涛, 薛澄岐, 王海燕, 等. 数字图形界面态势感知的评测方法研究[J]. *工程设计学报*, 2014, **21**(1): 87 - 91. DOI: 10.3785/j.issn.1006-754X.2014.01.015.
- Jin Tao, Xue Chengqi, Wang Haiyan, et al. Research on evaluating methods of situation awareness of digital graphical interfaces [J]. *Chinese Journal of Engineering Design*, 2014, **21**(1): 87 - 91. DOI: 10.3785/j.issn.1006-754X.2014.01.015. (in Chinese)
- [13] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0505.2014.06.013.
- Wu Xiaoli, Xue Chengqi, Tang Wencheng, 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. DOI: 10.3969/j.issn.1001-0505.2014.06.013. (in Chinese)
- [14] Wu Xiaoli, Xue Chengqi, Tang Wencheng. Study on eye movement of information omission/misjudgment in radar situation-interface [C]// *The 11th International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Grete, Greece, 2014: 407 - 418.
- [15] Wu Xiaoli, Xue Chengqi, Zhou Feng. Misperception model-based analytic method of visual interface design factors [C]// *The 11th International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Grete, Greece, 2014: 284 - 292.
- [16] Yarbus A L. *Eye movements and vision* [M]. New York: Plenum, 1967: 59 - 71.
- [17] Goldberg J H, Kotval X P. Computer interface evaluation using eye movements: Methods and constructs [J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, **24**(6): 631 - 645. DOI: 10.1016/s0169-8141(98)00068-7.
- [18] Salvucci D D, Goldberg J H. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols [C]// *Eye Tracking Research & Applications Symposium*. Florida, USA, 2000: 71 - 78.
- [19] Santella A, de Carlo D. Robust clustering of eye movement recordings for quantification of visual interest [C]// *Proceedings of the 2004 Symposium on Eye Tracking Research & Applications*. New York, USA, 2004: 27 - 34.
- [20] 吴晓莉. 复杂信息任务界面的出错-认知机理 [M]. 北京: 科学出版社, 2017: 61 - 68.
- [21] Megaw E D, Richardson J. Target uncertainty and visual scanning strategies [J]. *Human Factors*, 1979, **21**(3): 303 - 315. DOI: 10.1177/001872087902100305.
- [22] Treisman Anne M, Gelade Garry. A feature-integration theory of attention [J]. *Cognitive Psychology*, 1980, **12**(1): 97 - 136.
- [23] Steven Yantis, Anne P Hillstrom. Stimulus-driven attentional capture: Evidence from equiluminant visual objects [J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 1994, **20**: 95 - 107.