

学习仪表盘信息设计研究

——基于眼动数据的整合分析

张琪¹ 武法提² 赖松³

(1. 江苏师范大学 智慧教育学院, 江苏徐州 221116; 2. 北京师范大学 教育学部 教育技术学院, 北京 100875;
3. 北京师范大学 信息科学与技术学院, 北京 100875)

[摘要] 学习仪表盘作为以可视化为核心的学习分析工具, 如何对其进行有效的信息设计至关重要。本研究聚焦学习仪表盘的使用场景, 从更“上位”的研究视角, 探索不同线索与数据可视化形式在学习仪表盘设计中的有效性。研究开发了系列高保真原型模拟交互环境, 将36名被试随机分为三组进行眼动实验, 完成信息留存度测试问卷、使用意向测试问卷以及认知负荷测试问卷。研究从三方面归纳了学习仪表盘信息设计的特点: 一是通过自动捕获注意力产生控制性视觉导向, 增加所在区域的注视时间和次数, 从而提升学习者的信息留存度。线索的叠加会强化对注视时间、注视次数以及记忆的影响。二是数据可视化形式可以减少注视时间和注视次数、降低认知负荷并提升使用意向。不同数据可视化的叠加同样会产生强化效应。三是雷达图和散点图在呈现学习者多维度数值方面具备优势; 相比折线图与直方图的组合, 同类型的折线图组合更适合数据趋势的可视化呈现; 簇状条形图比堆积条形图更适合作为个体数据比较的可视化形式。

[关键词] 学习仪表盘; 信息设计; 线索; 可视化; 眼动分析

[中图分类号] C434 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1007-2179(2017)06-0094-10

随着教育数据的指数级增长, 可视化工具日益成为研究者关注的重点。近年来, 教育技术界开发了可视化分析工具——学习仪表盘以支持学习和教学, 成为学习分析领域的重要研究内容 (Ehner et al., 2015)。从本质上看, 学习仪表盘是学习分析系统的“意义建构”(sense-making component) 部分。基于数据挖掘的评测指标构建是设计的内在基础, 适切的媒体表征形式是重要的外在要素。因此, 学习仪表盘作为以可视化为核心的学习分析工具, 如何对其界面进行有效的信息设计至关重要。现有研究思路通常是设计不同版式与风格的界面, 考察学

习者对不同设计的感知有用性差异, 从而确定最终的学习仪表盘呈现方式。该类研究多关注个案的讨论, 并未进行深入的理论阐释, 也鲜有相对普适性的研究成果。从研究方法看, 传统的测试问卷很难考察学习者对不同信息设计的过程性理解, 也无法精确判断学习者对各设计要素的反应。在国内, 学习仪表盘信息设计的研究还属于“真空地带”。本研究聚焦学习行为投入可视化分析工具设计, 基于“实时性、微观指向”的眼动数据分析, 在“真实技术环境”中考量学习者对不同信息设计的认知过程, 以揭示学习仪表盘信息设计的相关规律, 拓展学习

[收稿日期] 2017-07-30

[修回日期] 2017-10-21

[DOI 编码] 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2017.06.011

[基金项目] 2014年全国教育科学“十二五”规划教育部重点课题“基于教育大数据的学习分析工具设计与应用研究”(DCA140230)。

[作者简介] 张琪, 博士, 江苏师范大学副教授, 硕士生导师, 研究方向: 数字化学习技术与学习环境设计(zqzqhata@sina.com); 武法提, 教授, 博士生导师, 北京师范大学教育技术学院院长, 研究方向: 数字化学习环境与学习资源设计; 赖松, 北京师范大学信息科学与技术学院在读硕士, 研究方向: 数字化学习环境与教育大数据。

分析领域的研究内涵。

一、信息设计

信息设计(Information Architecture)源于平面设计与统计学,是研究如何挖掘信息的价值、发挥媒体的整合优化作用,以准确、生动传达信息内容的研究领域。信息设计关注信息界面与媒体元素的有效传达,倾向以实证的方法对设计内容进行分析,并对所涉及内容展开社会科学视角的阐释(王伟,2013)。作为基于超媒体的可视化学习分析工具,从呈现要素看,学习仪表盘信息内容包括图表、图形、指标和预警机制。在多媒体学习领域,大量研究表明,适合图文混排及可视化形式的多媒体材料能够提升学习效果,此现象被称为通道效应(modality effect)。在对“通道效应”阐释的基础上,本研究归纳出利用线索与数据可视化提升信息设计的策略。

(一) 线索

界面中的线索(cueing)是强化学习者注意力与理解能力的重要方式(Jamet,2014),指界面给学习者提供参照、隐喻、强调的条件信息。视觉风格、颜色、深度、对比和样式都可以作为线索帮助学习者维持知觉的恒常性,使其快速定位到相关区域,提升对界面元素的感知。

1) 认知负荷与线索

根据认知负荷理论,在缺乏适当线索的情况下,大部分认知资源会被过多的视觉搜索占用,学习者用于处理学习的资源有可能不足。曾等(Jeung et al.,1997)的研究表明,在搜寻相关视觉信息没有过分占用认知资源的情况下,双重通道模式能够促进学习。但过多的信息呈现会导致外部认知负荷增加,进而影响学习表现,而线索可以最大程度地弱化这一问题。斯威勒等(Sweller et al.,1998)也指出,如果线索能够减少多余认知负荷,学习者就可以有更多认知资源用于学习。

2) 多媒体认知与线索

多媒体认知理论在某些情境下具有局限性。舒勒等(Schüler et al.,2012)对高视觉空间负荷(high visuo-spatial load)多媒体界面的研究发现,图片、文字、言语解释顺序或者三者同时出现均未能证明时间临近原则。当视觉搜寻复杂界面时,学习者很难充分、快速地建立言语解释和对应视觉之间的联系。

因此,有必要帮助学习者在相关信息中进行选择,引导学习者的注意力,从而强化对特定信息的处理(Betrancourt,2005)。

3) 视觉注意与线索

一般而言,初学者对界面注意力多源于感官刺激,而非概念相关的信息(Lowe et al.,2004)。因此,若在学习过程中缺乏必要的指导,则可能无法区分重要信息与无关信息。这种情景下可以基于“事件显著性”设计线索。事件显著性指一个或多个可以感知物体的局部对比,例如颜色、方向、运动以及突然的出现。线索的引入可以强化事件显著性从而促进特定目标的视觉搜索。研究证明,线索可以用来引导注意力指向相关内容,学习也会随之改善(Koning et al.,2007)。

(二) 学习仪表盘的线索类型

根据上述阐释,有充分的理由认为线索在学习仪表盘信息设计中具有重要作用。结合学习仪表盘的特征,本研究归纳了“强调文本”与“指向性图例”两种线索类型。

1) 强调文本

“强调文本”指多样化的文本标记技术,包括下划线、粗体、大写、色彩类型、标题化、内容线索(如问题在于、总结、概要等提示)。强调文本是最常用的线索形式,其优势在于容易使用且不需要特殊的技能训练。大量研究已证实,强调文本可以增强注意力和文本内容的记忆(Lorch et al.,1989)。

2) 指向性图例(Guided Legend)

指向性图例通过突显的标识与指向性标记捕获学习者注意力,使个体在信息选择过程中产生了控制性视觉搜索,因而缩短了信息处理的时间。贾米特等(Jamet et al.,2008)研究了颜色图例对不同多媒体文档的强化效果,认为图例能够将注意力引导至相关信息,有利于学习者选择和叙述对应的图解信息。此外,不同图例某种程度上显示出叠加效应。库尔等(Kuhl et al.,2012)进一步验证了动态和静态环境中,指向性图例对任务信息留存度的提升作用。

(三) 数据可视化

数据可视化是将数据信息转化为视觉表征,以充分利用个体对可视模式的快速识别能力。数据可视化基于计算机图形学和图像处理技术,将多维数

据集以图形或图像形式表示,学习者可从不同维度观察、操控、探索和理解海量数据,进而发现信息背后的趋势和规律,做出有效决策。

学习仪表盘中的数据可视化主要通过可视化图表实现,包括饼状图、雷达图、散点图、气泡图、面积图、折线图、柱状图等。其中,单一维度数据多采用柱状图、条形图、饼状图等呈现;多维度数据一般采用“复合”形态的图表呈现。除了形式的变化,信息设计领域还会采用“触发式”呈现或者结构化图形的方式强化学习者对可视化图表的感知。其中,“触发式”呈现指通过学习者自行控制某个图表的显示或隐藏,以达成对数据更为清晰的比较;结构化图形(Graphic Organizer)通过线条、文本框、颜色对比和触发文字形式,强化可视化图表的内容逻辑,以促进学习者对可视化图表整体内容的快速理解。元分析研究表明,结构化图形有助于促进学习者对相关内容的深层加工,并有可能降低材料组织和整合阶段的认知负荷(Marzano et al., 2001)。大样本的实证研究也证明,该技术显著提升了学习者对内容的理解(Ponce et al., 2012)。

学习仪表盘的数据可视化多为“拿来主义”,以借鉴传统数据分析的可视化方法为主。表一给出了九种较具代表性的学习仪表盘数据呈现信息以及可视化形式。可以看出,数据可视化类型与学习仪表盘中呈现信息的特点有关联。例如,丰富的学习活动信息一般采用直方图或条形图呈现;每周登录趋势多采用折线图呈现;一些学习仪表盘(如 LOCO-Analyst 和 SAM)包含整合与标签

的信息分析功能,以标签云的形式呈现;对学习之间进行比较和定位时,散点图被视为一种有效的可视化方式;对包含字母、文字和单位数量等比较时,通常使用矩阵表的形式呈现;表现结果和内容使用情况常采用条状图和饼状图的形式,以突显指标在整体中的相对位置。当前,对不同数据指标设计相应可视化呈现形式的研究还很稀少,也鲜有研究试图阐释不同可视化形式与学习者反应之间的关系(Park et al., 2015)。

二、信息设计的眼动研究

当前,眼动技术已成为生物数据分析中的成熟研究范式,其研究涵盖多媒体学习、认知过程以及学习分析领域。瞳孔和角膜反射的视频记录法(即“非侵入式”技术)以及视觉补偿技术的应用,使得部分眼动系统体积紧凑小巧,甚至允许被试在一定范围移动头部,最大限度降低实验效应。眼动指标通常包括兴趣区(AOI)、注视次数、注视时间、眼跳与眼动轨迹图等。科宁等(Koning et al., 2010)的研究发现,与非线索组相比,带线索的内容注视时间更长、次数更多;类似的,克里茨等(Kriz & Hegarty, 2007)对动态视频中的线索研究发现,与常规动画组相比,学习者对带箭头标注线索的动画注视更为频繁,故认为线索有助于引导学习者的注意力至相关信息,会增加信息区域的注视时间和注视次数。庞塞等(Ponce & Mayer, 2014)的研究表明,结构化图形强化了认识选择行为,促进学习者对结构化区域的整体理解。基于该研究的眼动结果显示,结构

表一 学习仪表盘呈现指标及对应的数据可视化形式

学习仪表盘名称	呈现信息	数据可视化形式
LOCO-Analyst	登录趋势、成绩、内容使用、消息分析	柱状图、饼状图、矩阵表、标签云
Student Success System	成绩、社会网络分析、风险学生预测	风险象限图、散点图、胜负图、社交网络图
SNAPP	内容使用、社交网络、消息分析	社交网络图
Student Inspector	成绩结果、内容使用	柱状图、饼状图
SAM	趋势登录、成绩、内容使用、消息分析	折线图、柱状图、标签云
Course Signal	登录趋势、成绩结果、内容使用、消息分析	信号灯、柱状图
Desire2Learn	文档下载、工具使用、社会交互	柱状图、社会关系图
Narcissus	内容使用、社交网络	树状图
Collaid	言语和肢体参与情况、协作水平	雷达图、指针图

化界面在注视时间和注视次数上显著低于普通界面。安娜等 (Molina et al., 2014) 利用眼动系统对比了学习者在移动终端与桌面 PC 的学习效果。实验发现, 移动终端的信息设计至关重要。许多学习情境中, 学习内容会分裂显示在移动终端的若干屏幕或页面上, 违反了时空连续性原则, 会增加学习者的外在认知负荷。

三、研究过程

本研究拟探索不同线索与数据可视化形式在学习仪表盘设计中的有效性。基本观点是线索可以引导注意力指向屏幕特定区域, 适当的可视化形式会增加学习者认知匹配程度, 进而对学习质量产生积极影响。理论假设包括四个方面: 一是线索可以引导学习者的注意力朝向内容区域, 进而增加对该区域的注意时间与次数; 二是线索会提升信息留存度; 三是适当的数据可视化形式可以降低学习者的认知负荷, 提升学习者的使用意向; 四是注意时间和次数可以反映学习者信息加工程度, 不同的数据可视化形式会影响眼动指标。

(一) 原型设计

本研究利用“数字学习与教育公共服务教育部工程研究中心”开发的“学习行为投入仪表盘”功能框架设计高保真原型, 通过平板浏览器全屏显示运行以模拟真实的交互环境。预实验前, 研究者划分“兴趣区”(AOI) 以区分不同区域的眼动指标, 根据研究目的定义 6 个 AOI。其中, AOI1 对应“学生信息显示区域”, AOI2 对应“学习行为投入评测维

度”, AOI3 对应“评测维度的相关说明”, AOI4 对应“学习行为投入总分值动态”, AOI5 对应“核心行为指标”, AOI6 对应“自适应呈现区域”。

表二给出了汇总后三个原型对应的线索及数据可视化形式。其中, AOI1 与 AOI3 旨在验证线索(强调文本、图示)对眼动指标和信息留存度的影响; AOI2、AOI4、AOI5、AOI6 旨在验证不同数据可视化形式对眼动指标、认知负荷和使用意向的影响。

(二) 预实验

实验采用 Tobii X2-60 眼动系统, 采样率 60HZ。该系统小巧紧凑, 被试无需头托或其他固定装置, 能相对自由地移动头部, 最大程度降低实验效应。选配的 Tobii 移动设备支架 (Mobile Device Stand) 可以在保证用户习惯的同时对移动设备进行稳定的测试。该系统还整合了高清摄像头, 研究者可以远程跟踪被试的相关操作。

正式实验前, 1 名硕士研究生和 1 名高中生参与了预实验, 2 名被试对一线教学场景具有较好的理解, 预实验在实验室进行, 以检验刺激材料(即设计原型)的有效性并获取实验细节改进问题, 包括实验材料的完备性、问卷调查的表述方式、实验控制时间、眼动仪定标流程、评估材料的难度等。通过预实验, 研究者进一步熟悉实验流程与操作细节, 以确保眼动实验的高效进行。

(三) 正式实验

正式实验在实验学校的微格教室进行, 房间照度良好, 教室环境与学生日常上课教室一致。36 名高二学生, 包括 20 名男生和 16 名女生参与实验。

表二 三类原型对应的线索与数据可视化形式

	线索组		数据可视化组			
	兴趣区 1 (AOI1)	兴趣区 3 (AOI3)	兴趣区 2 (AOI2)	兴趣区 4 (AOI4)	兴趣区 5 (AOI5)	兴趣区 6 (AOI6)
原型 1	普通文本	普通文本	雷达图	柱形图(个人分值) 折线图(班级分值) 折线图(个人趋势)	堆积条形图	堆积条形图
原型 2	线索(图示)	线索(加粗、信号灯)	雷达图、结构化图形(颜色)	柱形图(个人分值) 折线图(班级分值) 触发折线图(个人趋势) 结构化图形(颜色)	堆积条形图 结构化图形(颜色、触发文字)	簇状条形图
原型 3	线索(图示、放大、加粗)	线索(加粗、信号灯、下划线、三角图示)	散点图 结构化图形(颜色)	折线图(个人分值) 折线图(班级分值) 触发折线图(个人趋势) 结构化图形(颜色)	簇状条形图 结构化图形(颜色、触发文字)	气泡图

36名被试被随机分为3组,操作3类设计原型,每组12人,分别对应原型1、原型2与原型3。根据预实验结果,学习者4分钟左右可以达成比较全面的理解,故将时间限定为6分钟,学习者在PAD上自由浏览并操作。

被试在测试前观看实验导言,进行眼动仪校准定标。根据眼动定标的结果,4名学生散光超过600度,存在定标不准和偏移现象,故被排除。其他32名学生定标良好,均为有效被试,共计男生18名,女生14名。其中,原型1组11人,原型2组10人,原型3组11人。32名被试中,近视超过600度的学生5人,均顺利通过定标测试,体现了眼动系统较好的适用性。眼动实验结束后,被试完成信息留存度测试(1份问卷考察对AOI1和AOI3内容信息的掌握)、使用意向测试问卷(学习者对AOI2、AOI4、AOI5、AOI6分别打分)和认知负荷测试问卷(学习者对AOI2、AOI4、AOI5、AOI6分别打分),完整实验流程如图1所示。

(四)量表选择

信息留存度测试旨在了解学习者对呈现信息保留情况,包括填空题5道(3道标准答案,2道相对开放),选择题2道,判断题2道,总分12分。研究借

鉴戴维斯(Davis,1993)修订版“技术接受度问卷”(TAM),制定使用意向问卷(UI)以考量学习者的使用态度和倾向。当前,TAM模型已经被广泛用于教育资源与系统的评估(Liu et al.,2009;Raaij & Schepers,2008)。本研究根据研究场景,对问卷表述进行了修订。问卷包括4个题项,采用5级计分制,1至5分别对应“完全不同意”至“完全同意”。

此外,研究基于认知负荷问卷测量刺激材料的难度。认知负荷关注人类认知架构,特别是有限的工作记忆能力受学习材料的复杂性以及要素交互性(Element Interactivity)的影响。在诸多认知负荷量表表中,WP量表是唐等(Tsang & Velazquez,1996)基于心理负荷多重模型构建的多维主观评估方式,该量表兼具PAAS量表与TLX量表的优点,能够较全面地反映学习过程的认知负荷,且使用简单,有较高的敏感性、抗干扰性和效度(孙崇勇等,2013)。该量表尤其适合量化多任务心智负荷的程度,适用于对多个设计界面及系统评估(Rubio et al.,2004)。考虑上述因素,本研究选用WP量表作为研究测试量表。鉴于本实验不要求被试口头形式对任务作出反应,亦不涉及听觉方面的接受资源,故删掉量表对应的两个维度。

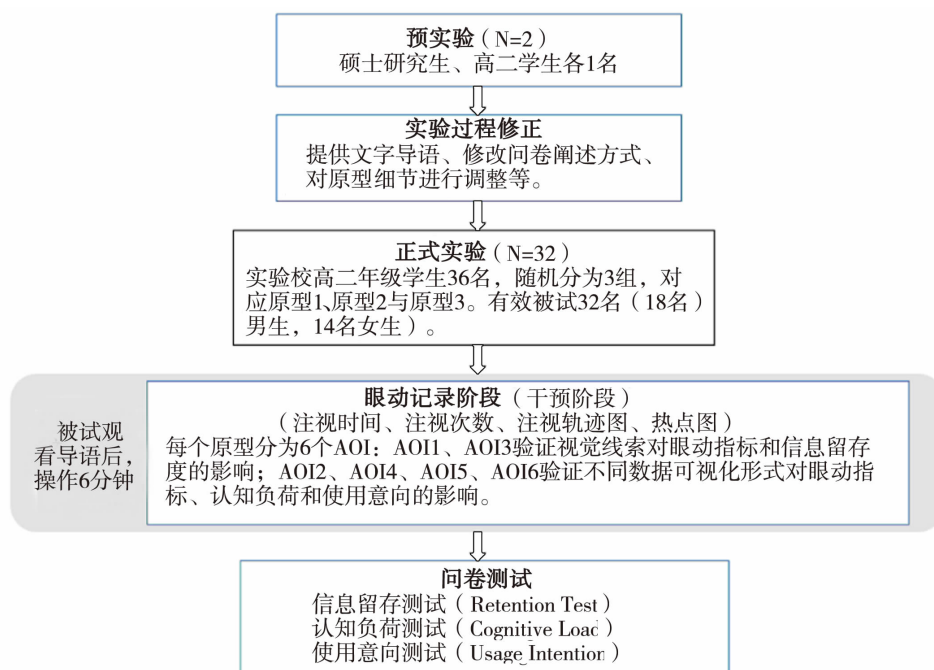


图1 眼动实验流程

四、实验结果

(一) 眼动数据结果

对 AOI1 的眼动指标进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值分别为 0.507、0.648, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 三组原型在注视时间 ($F = 6.794, p = 0.004$) 和注视次数 ($F = 11.254, p = 0.000$) 上均存在显著性差异, 表现在原型 1 显著低于原型 2 与原型 3。

对 AOI2 眼动指标进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值分别为 0.766、0.115, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 三组原型在注视时间和注视次数上均存在显著性差异 ($F = 9.015, p = 0.001$), 其中, 原型 1 注视时间指标显著高于原型 2, 原型 2 显著高于原型 3; 原型 1 注视次数指标显著高于其他组。

对 AOI3 眼动指标进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值分别为 0.563、0.600, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 三组原型在注视时间 ($F = 4.477, P = 0.02$) 和注视次数 ($F = 7.882, P = 0.02$) 上均存在显著性差异, 表现在原型 1 与原型 2 显著低于原型 3。

对 AOI4 眼动指标进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值分别为 0.905、0.191, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 三组原型在注视时间 ($F = 11.290, p = 0.000$) 和注视次数 ($F = 14.396, p = 0.019$) 上均存在显著性差异, 表现在原型 1 显著高于原型 2, 原型 2 显著高于原型 3。

对 AOI5 眼动指标进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值分别为 0.304、0.409, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 三组原型在注视时间和注视次数上均存在显著性差异, 表现在原型 1 与原型 2 显著高于原型 3。

对 AOI6 眼动指标进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值分别为 0.417、0.550, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 三组原型在注视时间 ($F = 6.815, p = 0.004$) 和注视次数 ($F = 5.289, p = 0.011$) 上均存在显著性差异, 表现在原型 1 与原型 2 显著低于原型 3。

(二) 问卷测试结果

1) 信息留存度差异

对 AOI1 与 AOI3 的信息留存度进行差异性检验, 方差齐性检验 P 值为 0.116, 大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 信息留存度方面, 原型 1 与原型 2 显著低于原型 3 ($F = 4.052, p = 0.028$)。

2) 使用意向与认知负荷差异

AOI2 对应使用意向问卷 Cronbach α 分别为 0.644、0.676、0.623, 认知负荷问卷 Cronbach α 分别为 0.786、0.658、0.719。方差齐性检验 P 值分别为 0.767、0.944, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 使用意向 ($F = 2.053, p = 0.147$) 与认知负荷 ($F = 2.053, p = 0.147$) 均不存在显著性差异。

AOI4 对应使用意向问卷 Cronbach α 分别为 0.703、0.639、0.771, 认知负荷问卷 Cronbach α 分别为 0.716、0.618、0.670。方差齐性检验 P 值分别为 0.625、0.56, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 使用意向方面, 原型 1 与原型 2 显著低于原型 3; 认知负荷方面, 原型 1 显著高于原型 2 与原型 3。

AOI5 对应使用意向问卷 Cronbach α 分别为 0.703、0.639、0.771, 认知负荷问卷 Cronbach α 分别为 0.716、0.618、0.670。方差齐性检验 P 值分别为 0.225、0.330, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 使用意向方面, 原型 1 显著低于原型 2 与原型 3 ($F = 18.247, p = 0.000$); 认知负荷方面, 原型 1 显著高于原型 2 与原型 3 ($F = 23.942, p = 0.000$)。

AOI6 对应使用意向问卷 Cronbach α 分别为 0.703、0.639、0.771, 认知负荷问卷 Cronbach α 分别为 0.660、0.622、0.705。方差齐性检验 P 值分别为 0.743、0.208, 均大于 0.05, 接受原假设, 可以进行方差检验。结果显示, 使用意向方面, 原型 1 与原型 3 显著低于原型 2 ($F = 22.903, p = 0.000$); 认知负荷方面, 原型 1 与原型 2 显著低于原型 3 ($F = 28.451, p = 0.000$)。

(三) 眼动热点图及路径图分析

为了从整体上验证实验假设, 本研究对三个界面的热点图和眼动路径图进行了分析。眼动热点图将各组被试的眼动指标叠加呈现, 以范围和颜色深度表示视觉注视的密集程度。在灰度图像中, 灰度值的变化表征注视密集程度的高低, 从线灰色 (彩图中为淡绿色) 到黑色 (彩图中为深红色) 代表注视的密集程度逐渐增加。三组原型的眼动热点图如图

2 至图 4 所示。

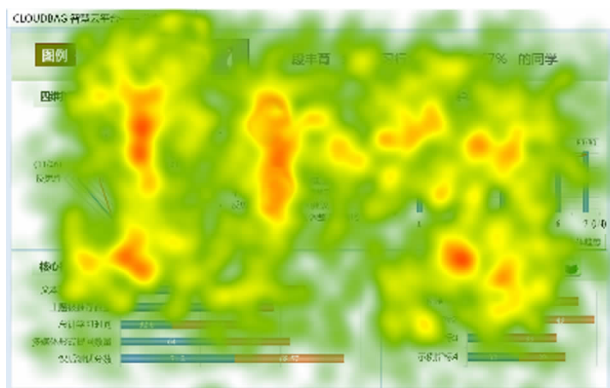


图 2 原型 1 热点图

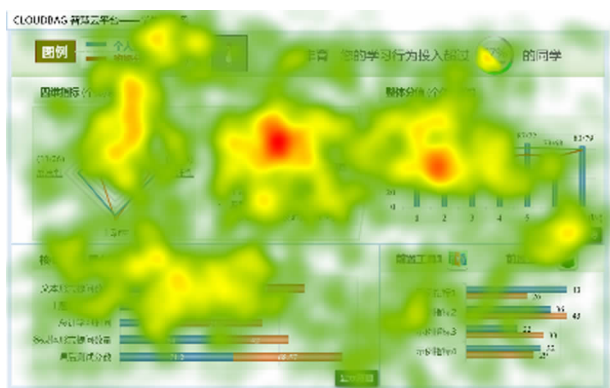


图 3 原型 2 热点图

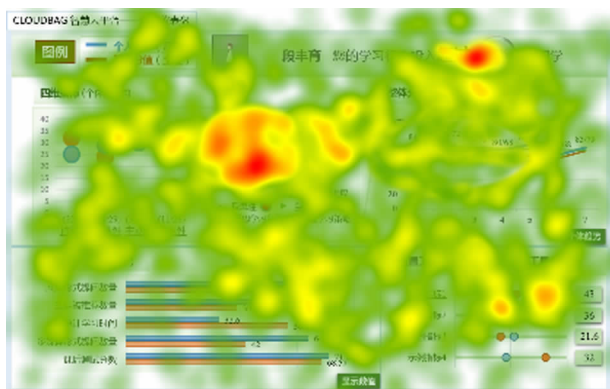


图 4 原型 3 热点图

从整体上看,原型 1 大面积红色热区相对分散,原型 2 和原型 3 则集中在个别区域。这说明线索和数据可视化影响了视觉注意力分布。各 AOI 的热点图也可以得出类似结论。例如,比较三类原型热点图 AOI1 和 AOI3 可以看到,强调文本与图示的引入,使该区域对应位置注视点密集程度增加;相比于原型 1,原型 2 和原型 3 的 AOI2 区域的颜色明显变淡、范围变小,说明数据可视化降低了注意力分配,

减弱了注视时间。对 AOI4、AOI5 与 AOI6 的考察也可以得出类似结论,这与之前的实证研究吻合。

热点图的另一个发现是非 AOI 区域的注意力分布。例如,界面左上方“图例”的注视密集程度,原型 1 密集程度明显高于原型 2 和原型 3。其原因可能是线索与数据可视化的引入增强了学习者对界面的理解,进而减弱了对相关图例的参照。此外,从图 2 还可看出,AOI4 下方的“触发文字”按钮也得到了较多注视。

注视轨迹图则更能清晰地显示个体的认知加工情况。注视轨迹图中,圆点的大小表示注视时间,圆点中的数字表示注视的顺序,原点之间的直线代表眼跳。三组被试的典型注视轨迹图如图 5 至图 7 所示。

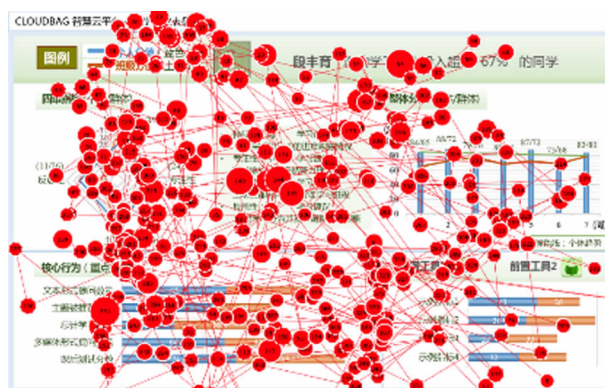


图 5 原型 1 可视化轨迹图



图 6 原型 2 可视化轨迹图

从整体上看,原型 1 的注视点相对均匀地分布在界面各区域,原型 2 和原型 3 注视点则在各 AOI 区域附近呈现密集分布,且各 AOI 内眼跳距离较短,显示出较高水平的认知加工效率,验证了线索与数据可视化对学习者的感知理解的影响。对原型 2 与原型 3 中 AOI5 的比较可以看出,对于原型 2,注视

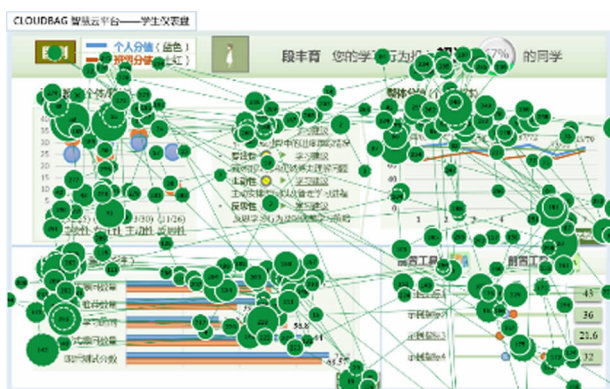


图7 原型3可视化轨迹图

点在堆积条形图左侧文字部分、图表主体以及标签文字均有分布,显示出较高的心理能量和认知负荷水平;对于原型3,注视点集中在簇状条形图左侧文字以及右侧标签文字区域。可见,簇状条形图在呈现对比数据方面更具优势。

五、结论与分析

通过以上分析,可以归纳出如下四方面的研究结论:

1. 线索通过自动捕获注意力产生了控制性视觉导向,增加了所在区域的注视时间和注视次数,提升了相关内容的信息留存度。线索的叠加会强化对注视时间、注视次数以及信息留存度的影响,该发现与贾米特等(Jamet et al., 2008)对PC界面多媒体学习效果的研究结论一致。

视觉注意理论包含两种主要的信息处理模式。一是预注意模式(即自动模式),即信息被并行处理且没有花费任何注意成本。二是控制模式,即资源分配给特定位置和目标以便进一步分析处理。注意力的导向可能是自发的(如有意识关注)或者是无意识的(如被屏幕的某个事件吸引),因此也被称为内生性注意(Endogenous Attention)和外因性注意(Exogenous Orienting of Attention)(Posner, 2016)。两种注意形式对应自下而上与自上而下的信息加工过程。由此可见,在通道效应的作用下,引导学习者注意力使之可以持续进行高效率的认知加工是信息设计的关键。因此,有必要通过适当的设计促进学习者选择并利用相关信息。

2. 合适的可视化图表可以减少眼动的注视时间和次数,降低认知负荷并提升使用意向。研究发

现,雷达图与散点图在呈现学习者多维度数值方面具备优势;相比折线图与直方图的组合,折线图组合更适合作为趋势指标的呈现形式;相对于堆积条形图,簇状条形图更直观和鲜明,适合作为个体信息数据比较的可视化形式;气泡图在眼动数据以及问卷测试中并未体现出优势。因此,对学习仪表盘数据可视化的应用与组合应该仔细考量,重点考虑其信息传达的有效性,使之既能明晰地呈现数据的比较,又能考虑学习者的操作经验。

3. 触发式呈现或结构化图形会产生强化效应,降低可视化图表的注视时间、注视次数及认知负荷。其中,结构化图形的研究结论与梅耶团队(Mayer et al., 2014)的研究结果一致,证明了结构化图形的强化效应在学习仪表盘场景中同样具有适用性。

4. 眼动数据分析在学习仪表盘信息设计中具有显著优势。眼动系统的高采样率使过程性数据具有较高的精确度与敏感性,并且可以在学习者较为自然的状态下量化认知行为。眼动数据与问卷测试的整合分析,可以更精确、全面地了解学习者对界面信息的理解。眼动热点图通过叠加每个学习者的注视轨迹,从整体上反映学习群体对界面的感知,是直观、快速衡量信息设计的有效方式,可以对数据结果起到有效的佐证与补充。眼动轨迹图则可以获取个体认知过程的细节,从而挖掘特殊性规律。

六、结语

当前,在个性化学习、移动学习与学习分析技术的不断渗透与融合下,教育技术领域日益形成一种新的研究范式——以学习测量为核心的“数据驱动教学”。“数据驱动教学”强调充分利用数据挖掘与可视化方式影响学习者感知,并促进教师与研究者的回归“教学—研究”的反馈回路中。学习仪表盘的设计是“数据驱动教学”的核心。学习仪表盘通过提升学习者对自身学习状况及学习情境的即时认知,为学习反思、自主调控和灵活问题决策提供便利。“即时、直观、动态”的可视化数据呈现可以全面表征学习者的学习状态,对于教师掌握学生学习状况、学生掌握自己的学习状况、加强师生互动、提升学习者的表现具有重要意义。本研究摒弃传统信息设计中对布局与版式的过多阐释,从更“上位”的研究视角,利用眼动数据的整合分析,揭示学习仪表

盘信息设计的相关特点。研究验证了利用“线索”与“数据可视化”提升仪表盘信息设计有效性的理论假设,丰富了学习分析领域的研究内容与研究方法,并对未来研究提供了指引。研究同时发现,个别学习者的注意轨迹受线索影响不大,可以推测学习者被线索诱发前,就已将视线转移到相应元素。因此,对于不同类型学习者眼动指标的对比研究,是后续研究的重点。此外,研究分别验证了线索与数据可视化两种因素对学习的影响,并未检验其交互作用,这些有待后续研究充实与完善。

[参考文献]

- [1] Betrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning[A]. The Cambridge handbook of multimedia learning[C]. Cambridge: Cambridge University Press:287-296.
- [2] Davis, F. D. (1993). User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts[J]. International Journal of Man-Machine Studies, (3):475-487.
- [3] Ebner, M., Kinshuk, Wohlhart, D., Taraghi, B., & Kumar, V. (2015). Learning Analytics J. UCS Special Issue[J]. Journal of Universal Computer Science, (1):1-6.
- [4] Jamet, E. (2014). An eye-tracking study of cueing effects in multimedia learning[J]. Computers in Human Behavior, (1):47-53.
- [5] Jamet, E., Gavota, M., & Quaireau, C. (2008). Attention guiding in multimedia learning [J]. Learning and Instruction, (2):135-145.
- [6] Jeung, H., Chandler, P., & Sweller, J. (1997). The role of visual indicators in dual sensory mode instruction[J]. Educational Psychology, (3):329-345.
- [7] Koning, B. B. De., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F., (2007). Attention cuing as a means to enhance learning from an animation[J]. Applied Cognitive Psychology, (6):731-746.
- [8] Koning, B. B. De., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2010). Attention guidance in learning from a complex animation: Seeing is understanding[J]. Learning & Instruction, (2):111-122.
- [9] Kriz, S., & Hegarty, M. (2007). Top-down and bottom-up influences on learning from animations[J]. International Journal of Human-Computer Studies, (11):911-930.
- [10] Kühl, T., Scheiter, K., & Gerjets, P. (2012). Enhancing Learning from Dynamic and Static Visualizations by Means of Cueing[J]. Journal of Educational Multimedia & Hypermedia, (1):71-88.
- [11] Liu, S. H., Liao, H. L., & Pratt, J. A. (2009). Impact of media richness and flow on e-learning technology acceptance[J]. Computers & Education, (3):599-607.
- [12] Lorch, R. F. Jr. (1989). Text signaling devices and their effects on reading and memory processes[J]. Educational Psychology Review, (1):209-234.
- [13] Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning[J]. Learning and Instruction, (3):257-274.
- [14] Marzano, R. J., Pickering, D., & Pollock, J. E. (2001). Classroom instruction that works: Research-based strategies for increasing student achievement[M]. Association for Supervision and Curriculum Development.
- [15] Molina, A. I., Redondo, M. A., Lacave, C., & Ortega, M. (2014). Assessing the effectiveness of new devices for accessing learning materials: An empirical analysis based on eye tracking and learner subjective perception[J]. Computers in Human Behavior, (1):475-490.
- [16] Park, Y., & Jo, I. H. (2015). Development of the Learning Analytics Dashboard to Support Students' Learning Performance [J]. Journal of Universal Computer Science, (1):110-133.
- [17] Ponce, H. R., López, M. J., & Mayer, R. E. (2012). Instructional effectiveness of a computer-supported program for teaching reading comprehension strategies [J]. Computers & Education, (4), 1170-1183.
- [18] Ponce, H. R., & Mayer, R. E. (2014). Qualitatively different cognitive processing during online reading primed by different study activities[J]. Computers in Human Behavior, (30):121-130.
- [19] Posner, M. I. (2016). Orienting of attention: Then and now [J]. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, (10):1864-1875.
- [20] Raaij, E. M. V., & Schepers, J. J. L. (2008). The acceptance and use of a virtual learning environment in China[J]. Computers & Education, (3):838-852.
- [21] Rubio, S., Díaz, E., Martín, J., & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods [J]. Applied Psychology, (1):61-86.
- [22] Schüller, A., Scheiter, K., Rummer, R., & Gerjets, P. (2012). Explaining the modality effect in multimedia learning: Is it due to a lack of temporal contiguity with written text and pictures [J]. Learning and Instruction, (2):92-102.
- [23] 孙崇勇, 刘电芝 (2013). 认知负荷主观评价量表比较[J]. 心理科学, (1):194-201.
- [24] Sweller, J., Merrienboer, J. G. V., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design[J]. Educational Psychology Review, (3):251-296.
- [25] Tsang, P. S., & Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings [J]. Ergonomics, (3):358-381.
- [26] 王伟 (2013). 单一或是复合:从“信息设计”看设计研究走向[J]. 文艺研究, (9):154-156.

(编辑:魏志慧)

Information Architecture of Learning Analytics Dashboards via Meta-analysis of the Eye Movement Data

ZHANG Qi¹, WU Fati² & LAI Song³

(1. School of Smart Education, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China;

2. School of Educational Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The “growing focus on measuring learning” has become an important trend in the field of educational technology. As a learning tool taking visualization as the core, it is vital to have effective information architecture in the learning analytics dashboard interface. Learning Analytics Dashboard (LAD) application captures traces of learning activities to form large amount of data which can be analyzed to find its meaning and visualize the results in order to promote awareness, reflection, and sense-making. Effective information architecture design converts the abstract and complex to the concrete and simple by amplifying human cognition. However, only a few case researches considered these principles. Further, no case attempted to investigate the relationship between the visualization information and users’ reactions. This paper focuses on the application of LAD, and explores the validity of different cueing and data visualization forms in LAD architecture from the perspective of “higher” research. A total of 36 subjects were randomly divided into three groups; the eye movement test was performed. The usefulness of this technique lies in the hypothesis that there is a link between visual scanning behavior and cognitive activity in a given subject. For example, a gaze of longer duration (fixations) on an image area generally indicates an increased difficulty in interpreting its content. Also, Eye tracking can realize the authentic learning process. We develop a series of high-fidelity prototypes to simulate the real interactive environment, complete the information retention test (RT) questionnaire, usage intention (UI) test questionnaire and cognitive load (CL) test questionnaire, and expand the meta-analysis. The research summarizes the rules of the information architecture of LAD from three aspects: Firstly, the cueing lead to the control visual guidance by automatically capturing the attention, which increase the fixation duration and the fixation count in the area, so as to enhance the learners’ information retention. The clipping of the cueing will enhance the effect on the fixation duration, the fixation count, and the memory. Secondly, the appropriate form of data visualization can reduce the fixation duration and the fixation count, lower the cognitive load and increase the intention of usage. The superposition of different data visualization will also have the enhancement effect. Thirdly, the radar plot and the scatter plot have the advantage in presenting the multidimensional numerical value of the learners. Compared with the combination of the line graph and the histogram, the combination of the same type of line graph is more suitable as a visual presentation of data trends. Cluster-like bar graphs are more suitable for visualization of individual data comparisons than stacked bar charts.

Key words: learning analytics dashboard; information architecture; cueing; visualization; eye movement analysis