

眼动追踪技术在现代物理教学中的应用 ——以竖直上抛运动为例

田 伟

(上海理工大学 理学院, 上海 200093)

摘要: 在物理教学情境下, 探讨了眼动追踪技术这一源于神经解剖学的发展而产生的独特技术方法的应用价值, 提出了运用作为物理教学新工具和新技术的眼动追踪技术开展物理教学的几种应用方向, 重点阐述了眼动追踪技术是如何作为一种现代化可视工具诊断参与者不同思维方式的。此外, 还着重解释了利用眼动追踪软件分析眼动追踪数据是如何作为一种研究方法应用在物理教学中的。

关键词: 眼动追踪技术; 物理教学; 热点图; 扫描路径

中图分类号: G 640 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-895X(2017)01-0083-04

DOI: 10.13256/j.cnki.jusst.sse.2017.01.016

Application of Eye-tracking Technology in Modern Physics Teaching —Take the Vertical Throwing Motion as an Example

Tian Wei

(College of Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: This paper explores a new technique for the study of physics teaching which is derived from the development of neuroanatomy, it is called eye-tracking. This paper presents a few application directions of eye-tracking technology as a new tool and new technology in physics teaching. The article focuses on the analysis and interpretation of how eye tracking data is used as a research method in physics teaching by analyzing the eye-tracking software.

Keywords: eye-tracking; physics teaching; heat map; scan path

认知科学是一门跨学科交叉科学, 它可以和许多学科进行缔结, 比如: 认知心理学、神经生物学、精神哲学、人工智能和物理学^[1]。眼动追踪技术的应用属于认知科学的范畴, 它作为一个现代化的试验工具和研究方法, 将会变得越来越流行^[2]。它的优点很多, 比如: 设备成本较低、日益多样化的趋势、适用于教育等诸多领域等。此

外, 利用眼动追踪技术还可以开展对学习过程的分析研究, Lai 等人在这方面就曾做过深入的研究^[3]。眼动追踪技术应用于物理教育方面的研究最为广泛和频繁, 如 Kekule^[4], Madsen 等^[5-6], Ohno 等^[7], Smith 等^[8], Andrzejewska 等^[9]。

现代化的眼动追踪技术基于红外 LED 和高分辨率摄像传感器, 它们分别用于照射人眼和记录眼

收稿日期: 2016-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10874118)

作者简介: 田 伟 (1977-), 男, 讲师。研究方向: 理论物理。E-mail: tianwei@usst.edu.cn

球反射的光线,然后,由图像处理算法根据这些原始数据计算瞳孔的位置,再由专用软件利用屏幕等参照物的位置信息确定用户所注视的具体位置。眼动追踪技术的软件控制系统主要用于控制四象限检测器(检测被检眼的相对运动方向)。四象限检测器的输出由微处理器在三个软件子系统的控制下进行。第一软件子系统控制定位马达;第二软件子系统识别瞳孔图像;第三软件子系统是眨眼检测软件系统。这三个软件子系统协同工作,确保能对受试者眼球的运动进行准确追踪。

本文所关注的焦点是参与者眼球运动的特征,需要撷取的参与者眼球运动中最重要参数是视觉场景路径分析的测定,这被简称为扫描路径。其中,眼睛所停在特定的视觉场景元素被称为视点;眼球运动被称为扫视,即连续视点之间的方向和距离;此外,眼动追踪研究还包括对瞳孔大小的变化进行分析等。

一、数据可视化的类型

现代眼动追踪技术提供了许多不同数据可视化的类型。如:测量速度。时下的眼动追踪技术可以在1250 Hz的高频下采样数据,并能对之进行精确的分析。概括起来,眼动追踪数据可视化在物理教学上的应用可以表现在如下几个方面。

(1) 热点图(Heat map)或其黑白底片:无论是图片或视频,屏幕的视点和参与者眼睛的平均注视时间是我们关注的焦点。在热点图上,计算机屏幕显示的幻灯片被覆盖有不同的颜色,如从白色(无视点)开始依次贯穿蓝、绿、黄、橙、红,相继表示最长视点时间的短长。它不仅可用于说明所有参与者观察的一般趋势,而且也可用于对群体和个体进行特定分析。

(2) 扫描路径(Scan path):学生观看图片或视频的视觉路径。扫描路径图可以清晰地显示连续的视点和扫视(连续的视点之间的方向和位移)。

(3) 网格AOI(Gridded Area of Interests):呈现平均(或总)停留时间、平均(或总)视点数、平均(或总)次数或其他数据。

(4) 定义的AOI(Defined Area of Interests):研究者根据研究目标而确定的幻灯片中的特定区域。它们可以以各种方式成形。它们可能以图片、视频、序列图等形式衬托关键性能指标(Key Performance Indicators, KPI)而出现。

二、例证研究:竖直上抛运动

试验邀请了53名志愿者参加这项研究,2人由于技术问题和语言问题被排除在外,实际参与者为51人,参与者需解决的任务如下:

竖直上抛物体(忽略空气阻力的影响)的速度 v 和时间 t 的函数图像应该是图1中的哪一个呢?(此表述为任务文本)

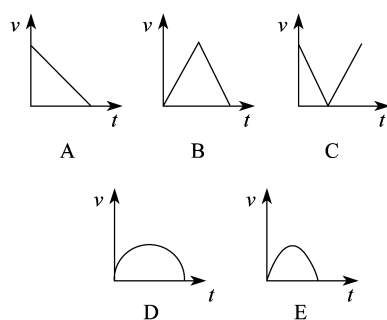


图1 竖直上抛运动的速度 v 与时间 t 图形选项

Fig.1 v - t graphics of the vertical throwing motion

竖直上抛运动的速度 v 和时间 t 函数为: $v = v_0 - gt$,其中 g 为重力加速度, t 为时间, v 为瞬时速度, v_0 为初速度。

这是一个可视化的常识:竖直上抛的物体速度先减小,直到它停止,然后速度值再上升。选项中只有一个图显示了这种速度变化的特征。

排除不正确的图形也可以完成试验目标。该运动包括上升和下降两个阶段:因为被上抛的物体必须下降(消除A),再根据其他特征,如初始速度的值、函数的单调性、零点的意义等可遴选出正确答案。

三、分析

尽管幻灯片可以较好地展示竖直上抛问题,但热点图无疑是更好的选择,因为它可以用更精确的方式展示平均视点时间(见图2(a)热点最大区域是1600~2000 ms的范围),而不是焦点图(图2(b))。热点图可以显示出参与者最感兴趣的幻灯片区域和统计出哪个区域占据了参与者最长的视点时间,这也就指出了参与者最感兴趣的主题或元素。

根据参与者的扫描路径(见图3),可以归纳出参与者解决竖直上抛问题的三种不同任务解决策略:

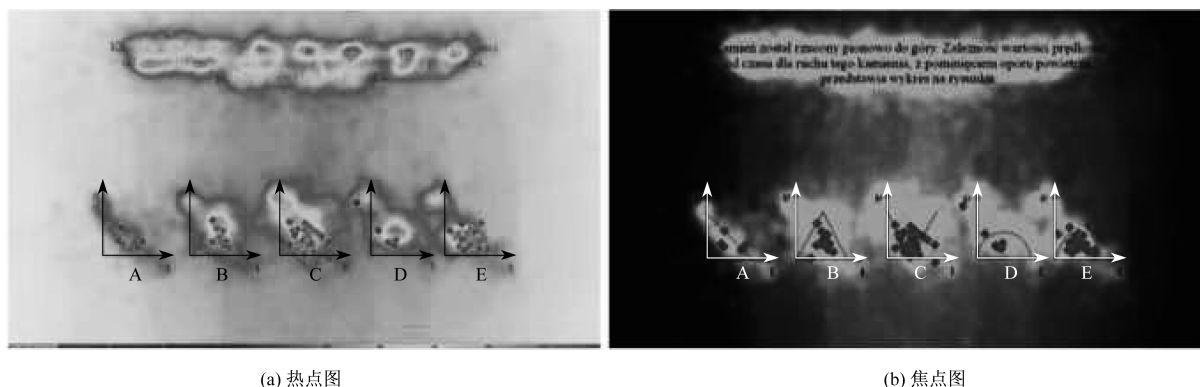
策略1 (S1): 分析所有图形并排除那些不正确的选项;

策略2 (S2): 根据任务的文字描述, 先在头脑中想象出任务中所述的图形, 随后选出正确答案;

策略3 (S3): 结合竖直上抛物体在其运动期间的速度与时间的关系, 以及掌握的线性函数知识, 从而聚焦在分段线性函数图形 (A, B, C 选项) 上, 再遴选出正确的选项, 这更倾向于数学思维。

利用眼动追踪软件, 可以很容易地得出 S1, S2, S3 三种不同类型参与者在时间上定义的 AOI 顺序, 根据 AOI 顺序, 可以一目了然地知道这三种不同思维方式的参与者分别花在任务文本及选项 A, B, C, D, E 上的时间长短。以 S1 为例, 从眼动追踪软件提供的数据可以看出, 具有 S1 思维

方式的观察者完成任务所花时间的比例: 任务文本为 40%, 选项 C 为 11.6%, 选项 B 为 4.7%, 选项 D 为 16.4%, 选项 E 为 12.4%。其中, 花在选项 B, D 和 E 的视点时间比例为 33.5%。正确答案应为选项 C, 这就说明 B, D 和 E 占用了太多的宝贵时间, 做了不少无用功。这样, 作为教师就可以有的放矢的帮助学生提高解题速度。从软件分析中可以看出, S2 思维方式的参与者花在任务文本及所有选项 A, B, C, D, E 上的总时间约占 S1 思维方式参与者花费总时间的 1/3, 而具有 S3 思维方式的参与者所花时间更短, 约为 S2 思维方式的 5/6。从某种意义上讲, 这是对参与者思维方式的追踪, 倘若教师掌握了学生解题的思维模式, 这就是知己知彼, 故分析眼动追踪数据作为一种研究方法, 对物理教学起着非常重要的作用。

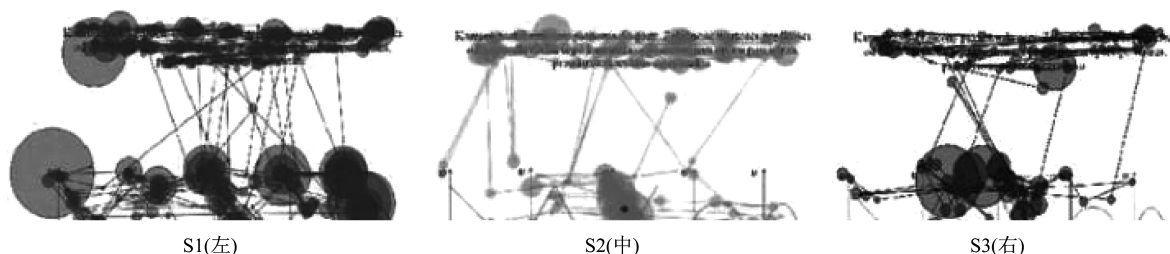


(a) 热点图

(b) 焦点图

图2 针对 51 名参与者的热点图和焦点图

Fig. 2 Heat map and focus map for all 51 participants



S1(左)

S2(中)

S3(右)

图3 针对 51 名参与者的扫描路径:S1(左),S2(中),S3(右)

Fig. 3 Scan paths for all 51 participants: S1 (left), S2 (middle), S3 (right)

上述为时间上定义的 AOI 顺序, 它区分了不同思维方式对解题时间的影响。眼动追踪软件同样可以展示出所有不同学科思维方式的 KPI, 也就是 KPI 定义的 AOI 顺序, 它可以展示所有不同学科思维方式的“平均”KPI。这里分别以空白区域 (white space)、文本 (wording)、选项 C (graph c, 正确

答案选项) 为例进行阐述。所有 S1, S2 和 S3 三种不同思维方式的参与者在空白区域上的时间分别为: 进入时间 (entry time) 6 169 ms, 停留时间 (dwell time) 885.1 ms (2.5%), 命中率 (hit ratio) 47.6/51 (93.3%), 回视点个数 (revisits) 2.7, 回视者 (revistors) 35/49, 平均视点时间 (average

fixation) 180.6 ms, 视点数 (fixation count) 4.3; 花在任务文本上的时间分别为: 进入时间 505.7 ms, 停留时间 16 944.3 ms (45.8%), 命中率 50/51 (98%), 回视点个数 4.8, 回视者 50/51, 平均视点时间 205.8 ms, 视点数 70.5; 花在选项 C 上的时间分别为: 进入时间 8 424 ms, 停留时间 3 999.6 ms (10.1%), 命中率 50/51 (98%), 回视点个数 6.2, 回视者 50/51, 平均视点时间 241 ms, 视点数 14.5。根据软件还可以简单地计算出所有 S1, S2, S3 三种不同思维方式的参与者所花的“平均”视点时间的比例: 文本为 45.8%, 选项 C 为 10.1%, 选项 B 为 8.2%, 选项 D 为 9.6%, 选项 E 为 7.6%, 选项 A 为 3.9%, 空白区域为 2.5%。可见, 除了文本外, 参与者花在选项 C 上的注视时间最长, 而 C 恰为正确答案选项, 试验结果与正确结果一致。因为人们一般会在确定答案后而再进行二次及以上的再确认。

四、局限性与适用范围

(一) 局限性

任何教学工具的应用都不可能完美无缺, 笔者认为, 非常有必要在此讨论利用眼动追踪技术开展物理教学应用的局限性。眼动追踪技术是一种用来研究学生注意力并提供其眼球运动相关数据的工具, 然而, 眼动追踪技术只能告诉教师, 学生在看什么, 而不是在想什么。可以观察到学生在目视教师讲课, 但可能已经走神, 说不定内心已经为即将付诸实践的周末计划而遐想连篇呢, 但学生目视教师讲课这个动作却会被机器贴上专注听课的标签。另外, 在特定的角度, 眼睛的图像收集数据可能会缺失 (尽管机器仍然编码, 除非它不能确定任务的主题是什么, 否则机器将视编码输入为无数数据)。此外, 虽然不是非常重要, 在视频和音频之间因技术问题会存在随着记录继续而逐渐增大的时间延迟。最后需要非常认真地对待霍桑效应 (Festinger 和 Katz, 1953)^[10]。这是一个影响受试者改变其正常行为的重要效应, 受试者会倾向于表现出他们的最好行为, 因为他们知道自己就是试验的一部分。虽然这对科学研究可能会有一定的不利影响, 但对教学来说在某种意义上可被视为是对学生的一种正向约束, 故其未必是一个坏现象。

(二) 适用范围

在实证研究的基础上, 可以得出眼动追踪技术在物理教学上适用于如下几个方面:

- (1) 可以识别出认真阅读任务文本的人和答案随机的人;
- (2) 可以客观、准确地记录参与者从阅读任务文本开始到选择出答案的分析任务的各个阶段;
- (3) 可以识别出参与者聚焦的关键词、句子和符号;
- (4) 可以体现出物理解题方法的个体研究差异;
- (5) 体现出解决任务和选择答案的差异化思维方式;
- (6) 眼动追踪数据分析方法的应用范围: 阅读质量和阅读方式的分析, 区分文本和用于信息处理的符号 (视点的数量和持续时间、重访、停留时间), 区分解决任务的不同策略, 比较解决任务的不同策略, 可以单独比较样本数据, 可以分组比较样本数据, 区分屏幕的特定区域的分析次序, 提供精确的数值数据 (例如, 视点的数量和持续时间、重访次数和专注区域的停留时间)。

五、总结

抛开竖直上抛问题概括而言, 目前眼动追踪技术是一种唯一可以为我们提供机会以确定在物理课堂上何处、何时、以及确定什么主题是参与者的视觉焦点的可行的工具, 而其他教学研究方式仅是在使用外在的方法 (观察、笔记分析、访谈等) 进行研究。此外, 眼动追踪技术也是唯一可供研究者使用的可以较客观地调查学生如何看待所学物理课程的技术。不仅如此, 眼动追踪技术还可以帮助记录学生阅读物理问题信息的顺序, 他们喜欢花多长时间阅读该信息, 他们关注的物理问题信息焦点是什么等问题。笔者认为, 将来利用眼动追踪技术开展更加深入的物理教学应用尝试, 可能将会采取分类、分层的方式进行, 如从分解参与者的性别、年龄、民族、在教室中所处的位置、物理是否是高考科目和相关专业课程成绩角度进行等。

参考文献:

- [1] Varela F J, Thompson E, Rosch E. The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience [M]. Cambridge: MIT Press. 1991.

(下转第 90 页)

的表现、小组讨论结果来进行总结和评估,并且为以后的案例教学进行经验总结,根据采取的模式不同而评估方法也有所不同,课内案例教学将学生的参与度、活跃程度以及创新性等作为依据给予评价;课外案例教学则是根据每个小组所提交的成员自评、互评表以及小组讨论过程记录表等作为依据来给予评定,并且将此作为期末学生学习成绩的依据。

三、结束语

在专业物理教学中采用案例法教学是一种新的尝试和探索。任何一种教学方法都不是万能的,如何将案例教学与传统教学、实践教学、多媒体教学、网络教学等融合,使教学效果达到最优状态,进一步提升教学质量和水平,值得所有专业教师深入研究与探索。

参考文献:

- [1] 赵凯华.物理教育与科学素质培养[J].大学物理,1995,14(8):2-6.

- [2] 李川勇,王慧田,宋峰,等.中国大学生物理学术竞赛及其对培养学生综合能力的作用[J].大学物理,2012,31(5):1-4.
- [3] 张晚云,曾交龙,陆彦文,等.依托大学生物理学术竞赛培养高素质创新人才[J].大学物理,2011,30(6):35-37.
- [4] Leenders M R, Erskine J. A Case research: the writing process[J]. Journal of Education Psychology, 1978: 14-15.
- [5] 张立彬,郑先明,李广平.哈佛大学物理教育状况研究[J].大学物理,2011,30(1):56-61,65.
- [6] 陆俊元.案例教学法的本质特征及其适用性分析[J].中国职业技术教育,2007(28):22-24.
- [7] 周雨青,张玉萍,董科.大学物理教学中引入“案例教学”模式的实践[J].中国大学教育,2011(10):52-54.
- [8] 宋青,俄燕,张磊.案例教学在大学物理教学中的探索与实践[J].兰州交通大学学报,2014,33(5):160-162.
- [9] 罗会仟.超导“小时代”之七——冻冻更健康[J].物理,2016,45(3):198-202.
- [10] Mankowsky R, Subedi A, Först M, et al. Nonlinear lattice dynamics as a basis for enhanced superconductivity in YBa₂Cu₃O_{6.5}. Nature, 2014, 516(7529): 71-73.

(编辑: 巩红晓)

(上接第86页)

- [2] Soluch P, Adam T. Ometodologii badań eyetrackin-gowych [J]. Lingwistyka Stosowana, 2013(7): 115-135.
- [3] Lai M L, Tsai M J, Yang F Y, et al. A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012 [J]. Educational Research Review, 2013 (10): 90-115.
- [4] Kekule M. Students' approaches when dealing with kinematics graphs explored by eye-tracking research method [C] // Proceedings of the Frontiers in Mathematics and Science Education Research Conference. Famagusta: FISER, 2014: 108-117.
- [5] Madsen A M, Larson A M, Loschky L C, et al. Differences in visual attention between those who correctly and incorrectly answer physics problems [J]. Physical Review Special Topics, Physics Education Research, 2012, 8(1): 010122.
- [6] Madsen A, Rouinfar A, Larson A M, et al. Can short duration visual cues influence students' reasoning and eye movements in physics problems? [J]. Physical Review

Special Topics Physics Education Research. 2013, 9(2): 020104.

- [7] Ohno E, Shimojo A, Iwata M. Analysis of problem solving processes in physics based on eye-movement data [C] // The Conference of International Research Group on Physics Teaching (GIREP) European Physical Society ~ Physics Education Division (EPS PED). Wroclaw: University of Wroclaw, 2015: 67.
- [8] Smith A D, Mestre J P, Ross B H. Eye-gaze patterns as students study worked-out examples in mechanics [J]. Physical Review Special Topics Physics Education Research, 2010, 6(2): 020118.
- [9] Andrzejewska M, Stolińska A, Biasiak W P, et al. Edukacja a nowe technologie w kulturze, informacji i komunikacji [M]. Warszawa: Wydawnic two Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. 2015: 273-288.
- [10] Festinger L, Katz D. Research Methods in the Behavioral Sciences [M]. New York: Dryden, 1953: 137-172.

(编辑: 巩红晓)