

学龄前儿童使用有形和多点触控界面的眼动研究

李娜¹, 张智彬¹, 杨阳¹, 沙书红², 翁仲铭³

(1.天津电子信息职业技术学院, 天津 300350; 2.天津大学幼儿园, 天津 300350;
3. 天津大学 智能与计算学部, 天津 300350)

摘要: **目的** 比较有形用户界面 (TUI) 和多点触控界面 (MTI) 对学龄前儿童学习的影响。**方法** 开发“NUMBERS”学前数学游戏, 通过对比实验分析学龄前儿童使用 TUI 和 MTI 完成任务时的任务绩效、眼动追踪数据、情绪问卷和访谈结果, 以比较 2 种界面在认知、注意力、情绪等方面的影响。**结果** 当使用 TUI 版本时, 参与者进行了更多的探索; 使用 TUI 版本的参与者在操作卡片时注视时间较短; 使用 TUI 版本的参与者的注意力主要在屏幕上的出题区域和答题区域之间转移; 参与者对 TUI 版本的情绪问卷评分更高。**结论** TUI 相较于 MTI 来说, 能够激发探索欲、降低认知负荷、促进注意力集中、提高愉悦度, 进而对学龄前儿童的学习产生长远的积极影响。这些发现为 TUI 在学前教育中的应用提供了理论支持, 同时也为眼动追踪法在这一领域的应用提供了可能。

关键词: 有形用户界面; 多点触控界面; 学前教育; 有形教育游戏; 眼动追踪

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)16-0101-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.16.010

An Eye-tracking Study of Preschoolers' Use of Tangible and Multi-touch Interfaces

LI Na¹, ZHANG Zhi-bin¹, YANG Yang¹, SHA Shu-hong², WENG Zhong-Ming³

(1.Tianjin Electronic Information College, Tianjin 300350, China; 2.The Kindergarten of Tianjin University, Tianjin 300350, China; 3.College of Intelligence and Computing, Tianjin University, Tianjin 300350, China)

ABSTRACT: This paper compares the effects of tangible user interfaces (TUI) and multi-touch interfaces (MTI) on preschoolers' learning. A preschool educational game, "NUMBERS", is developed and the comparison experiment is used to analyze task performance, eye-tracking data, emotion questionnaires, and interview results of TUI and MTI. Therefore, the difference between these two interfaces are compared on cognition, attention and emotion. The study indicates that participants explore more using TUI. Meanwhile, the participants have fewer fixations while manipulating the playing cards and shift their attention mainly between the "question area" and "answer area" on the screen. Moreover, they have higher responses on the emotion questionnaire. Compared with MTI, the TUI can stimulate exploration, reduce cognitive load, improve concentration, and intensify pleasure, which positively impacts on the preschool learning. These findings provide theoretical support for applying TUI in preschool education and make the eye-tracking method applied in the preschoolers' learning field possible.

KEY WORDS: tangible user interfaces; multi-touch interfaces; preschool education; tangible educational games; eye-tracking

作为基础认知、社会/情感技能快速增长的时期, 学前期是促进儿童教育潜力发展的一个特别敏感的

时期^[1]。在各种早期干预措施中, 教育游戏以其娱乐性提升了学习动机和参与度, 在支持学龄前儿童增

收稿日期: 2022-03-12

基金项目: 首批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目 (YB2020020102)

作者简介: 李娜 (1983—), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向为职业教育、人工智能。

通信作者: 翁仲铭 (1970—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为人工智能。

强其想象力和促进其智力发展方面有非常重要的作用^[2]。随着互联网技术的进步和经济的发展,越来越多的家庭能够负担得起智能手机和平板电脑等移动设备,使学龄前儿童的家庭学习活动成为可能^[3]。然而,已经有很多家长和教育研究者对学龄前儿童使用移动设备进行学习表达了担忧^[4]。一方面,随着移动早教游戏应用的爆炸式增长,市场上的游戏同质化问题越来越严重,在某种程度上限制了学龄前儿童身心的全方面发展;另一方面,基于多点触控界面(Multi-Touch Interface, MTI)的移动教育游戏使学龄前儿童依赖电子产品、沉迷虚拟世界,减少了其与物理世界的互动^[5]。近年来,有形用户界面(Tangible User Interface, TUI)作为一种能够连接物理世界和虚拟世界的新兴交互形式,逐渐进入普通大众的视野^[6]。TUI允许用户操作实际的物体,利用数字传感器检测这些物体的属性并与数字信息进行交流^[7]。TUI引入了物理世界的丰富感官,使抽象的内容更容易被学龄前儿童接受,为提高他们的学习成果提供了新的机会^[8]。到目前为止,已经有很多为学龄前儿童设计的TUI教育游戏,并广泛应用于数学学习^[3]、编程学习^[9]、绘图^[10]等方面。

然而,目前仍然缺乏比较TUI和MTI对增强学龄前儿童学习潜力的定量研究。以前的认知科学理论证明,TUI与MTI相比可能存在优势,但是在促进学龄前儿童学习方面是否存在优势以及优势来自于哪里,还需要更多的实验证据。

1 有形和多点触控界面对比研究现状

从历史上看,幼儿常通过具体的物体来学习各种技能,因此TUI似乎是一种自然的学习形式。日常活动的物理直接性和熟悉性非常适合建构主义的学习方式,不仅可以增强学习者的动力,还可以帮助他们融入知识、态度和行为,从而有效地学习和表现^[5]。认知负荷理论表明,人们的工作记忆是有限的,因此无法处理超出其处理能力的更多信息。由于较高的认知负荷可能会阻碍学习者的信息处理过程,从而影响学习性能,所以应设计教学应用程序以避免学习者产生较高的认知负荷^[11]。

建构主义和认知负荷等理论表明,在性能和学习方面,TUI应优于MTI^[11]。人机工程学领域的研究人员已经提出了TUI可能存在的理论优势:提升空间技能、支持认知和学习、支持记忆和理解、促进学习和合作、提高愉悦感和参与度等^[5]。

2006年,Waldner等^[12]描述了一种有形图块系统(Tangible Tiles),并比较了该系统、商业触摸屏和真实纸张在这种交互模式下的使用情况,结果显示有形图块系统在支持协作和自然互动方面存在潜在优势。2011年,Schneider等^[13]提出了一种台式学习环境,并使用MTI或TUI观察物流学徒的任务表现。

根据研究发现,TUI能够帮助学徒更好地完成任务并获得更高的学习收益,使用TUI的小组可以更好地协作、探索更多的替代设计,并且使用TUI解决问题的过程更加有趣。2016年,他们通过眼动追踪法扩展了之前的研究结果,发现TUI可以增加关键节点的视觉注意力,这被认为是参与者任务表现和学习成果的重要预测因素^[14]。2018年,Garcia等^[15]提出了一种以平板电脑为载体的协作游戏化测验应用程序——Quizbot,比较了TUI和MTI 2个版本在支持用户体验和协作质量方面的差异,发现2个版本基本上都一样有趣且易于使用,并且可以有效地支持协作。

在以往对TUI和MTI的对比研究中,使用最多的研究方法包括:通过任务绩效分析任务表现;通过前后测成绩计算学习收益;通过问卷调查和访谈等定性方法来衡量用户的主观情绪等。由于这些研究都集中于成人和青少年人群,研究中所使用的定性方法对认知发展尚不成熟的学前儿童来说可能会有困难,眼动追踪作为一种可以监控认知负荷的非侵入性认知测量方法,在针对学龄前儿童的可用性研究中具有不可替代的位置^[16]。利用眼动追踪法比较TUI和MTI对学龄前儿童认知和学习的影响,具有新颖性和可行性。

2 有形和多点触控界面对比实验设计

2.1 “NUMBERS” 学前数学游戏的开发

本文开发了一个基于iPad的学前数学游戏“NUMBERS”,以基础数学运算为主要内容,分为TUI和MTI 2个版本。TUI版本利用OpenCV开源视觉库的资源,实现了从场景中识别卡片数字的功能。为了与幼儿园的教学进度相匹配,实验中只保留了加法和减法运算的关卡。实验目的是利用眼动追踪法比较TUI相对于MTI在促进学龄前儿童学习方面的潜力,从而为学前教育游戏的设计者提供参考,为更有教育意义的游戏设计提供认知和学习理论基础。

如图1所示,“出题区”“答题区”“反馈区”“卡片区”和“操作区”组成一组兴趣区(Area of Interest, AOI),这些区域嵌入了参与者与系统进行交互的数字信息和空间信息。每次游戏开始时,问题数字会出现在“出题区”,玩家需要从指定区域移动2张牌,使2张牌上的数字加起来等于问题数字。如果答案正确,玩家就可以进入下一题。玩家每次只能将2张牌同时移到“操作区”,超过2张牌将不被识别。此外,对2张牌的摆放顺序没有要求。当时间用完后,游戏结束,并显示游戏分数。

MTI版本和TUI版本唯一的区别就是移动卡片的过程不同。TUI版本需要将桌面上的卡片移动到能被iPad识别的区域,而MTI版本需要玩家用手指将数字卡片直接拖拽到答题框中。由于每个数字可以使

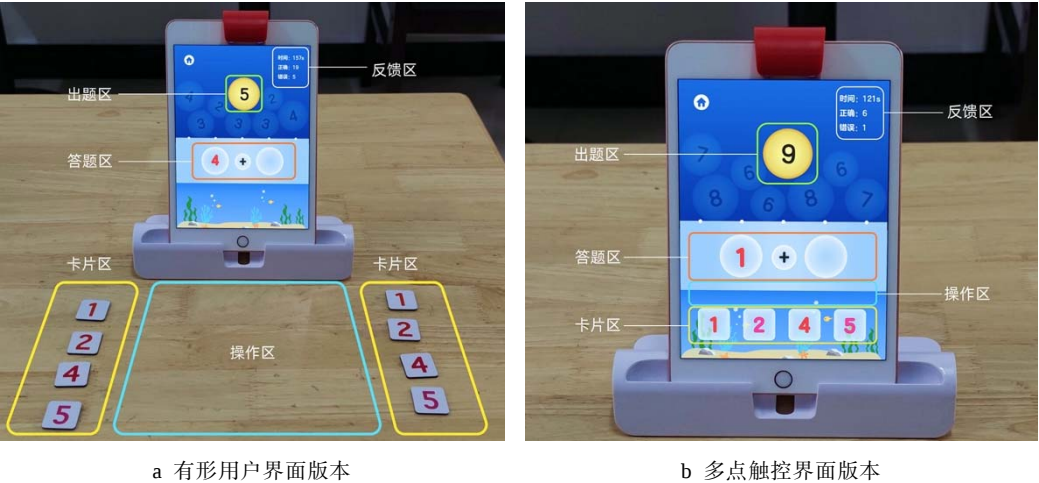


图 1 有形和多点触控版本的 AOI 划分
Fig.1 AOI division for the TUI and MTI versions

用 2 次, 为 TUI 版本提供了 8 张实体卡片, 印有数字“1”“2”“4”“5”的卡片各 2 张; 为 MTI 版本提供了 4 张虚拟数字卡片, 每张卡片可以移动 2 次。

本文总结了 TUI 相较于 MTI 版本在交互过程中的 2 个主要特性:

1) 物理操作性。TUI 版本允许幼儿使用抓握、移动和放置等物理动作对实体卡片进行操作, 而 MTI 版本需要用手指在屏幕上点击和拖放。相比于使用 MTI 时所需的精细手部动作, TUI 版本的物理属性使幼儿更容易对物理实体进行直接操作, 更符合幼儿的认知特点, 可能降低操作过程中的认知负荷, 从而实现更好的任务性能并激发更多的尝试。

2) 手眼同时操作特性。TUI 版本在空间上是多路复用的, 允许幼儿在查看屏幕的同时用双手移动卡片, 而不必始终盯着屏幕。这种手眼协调的操作使幼儿有机会专注于教学信息的内容而不是操作过程, 可能有助于幼儿集中注意力, 从而提高工作记忆。

以往的研究结果表明, TUI 在提高学习收益方面比 MTI 更有优势, 具体体现在提升任务表现、降低认知负荷、促进注意力集中和提高愉悦度等方面, 因此本文根据这 4 个方面提出以下假设:

假设 1: 学龄前儿童使用 TUI 版本比使用 MTI 版本解决问题的效果更好。

假设 2: 学龄前儿童使用 TUI 版本比使用 MTI 版本的认知负荷更低。

假设 3: 使用 TUI 版本能使学龄前儿童的注意力更集中于关键信息。

假设 4: 学龄前儿童使用 TUI 版本比使用 MTI 版本的愉悦度更高。

2.2 实验对象和实验流程

参与者是来自天津大学幼儿园的 28 名大班学生 (14 名男孩, 14 名女孩), 该幼儿园已同意参加本次实验。在签署同意书之前, 笔者将这项研究的目的告

知了参与者及其监护人。参与者的年龄为 4~5 岁 ($M=4.31, SD=0.41$), 所有参与者的视力正常或矫正正常。参与者被随机分为 T 组 ($n=14$) 和 M 组 ($n=14$), 2 个组别的人数相同、性别均衡。每个参与者都要经历 TUI 和 MTI 这 2 种实验条件, 这样的实验可以检验出不同实验条件下的细微区别。

采用“2 分钟纸笔符号和非符号数值比较测试”^[17]作为预测试来评估参与者的基本数学能力, 以保证参与者在基础数学运算方面没有显著差异。实验中采用顺序平衡的方法, 相应地改变实验条件出现的顺序, 以此减少顺序对实验的影响。T 组先用 TUI 版本完成任务, 再用 MTI 版本完成任务, M 组则相反。实验任务由 2 个部分组成: 第 1 部分是在“2”“3”“4”“5”4 个数字中随机选择一个数字来产生问题; 第 2 部分是在“6”“7”“8”“9”4 个数字中随机选择一个数字来产生问题。每一部分的时间限定为 3 min。正确和错误的答案数量将被记录在游戏日志中。参与者在实验过程中的双眼运动数据由 Tobii Pro Glasses 2 穿戴式眼动仪以 50 Hz 的频率进行跟踪和收集。参与者求助的次数和每次求助时提出的问题将被记录在一张观察记录表中。整个实验过程记录在视频和音频文件中。

在完成每个版本的任务后, 参与者完成“K-state”表情符号量表 (见图 2)。“K-state”表情符号量表是一个由表情符号组成的七点量表, 旨在测量参与者对产品的简单情绪反应^[18]。根据观察, 该量表在使用 2 个版本的游戏后, 对学龄前儿童的娱乐性评估是有效且可信的。

最后, 在实验结束后的第 2 周对每一个参与者进



图 2 “K-state” 表情符号量表
Fig.2 "K-state" emoji scale

行了一次 5 min 的半结构化访谈,让参与者用自己的语言描述使用 2 种版本进行游戏时的真实体验。参与者会被问及他们对每个版本的总体印象和喜好程度、每个版本的优缺点以及使用每个版本时遇到的困难。所有访谈均被抄录,然后由笔者进行独立分析。以下是访谈的大纲:

- 1) 你更喜欢哪个版本?为什么喜欢?
- 2) 你觉得这 2 个版本用起来有什么困难的地方?
- 3) 你愿意在家或者在课堂上使用哪个版本的游戏?

3 实验数据分析

对于预测试,所有参与者都在 2 min 内完成了所有符号和非符号数值的比较。对预测试的分数进行独立样本 T 检验,结果显示 2 组之间的前测分数无显著差异 ($P=0.270>0.05$)。Shapiro-Wilk 正态性检验显示 2 组的得分均正常 ($P=0.918>0.05$; $P=0.635>0.05$),表明该检验满足正态性假设。

3.1 任务表现数据分析

游戏日志记录了参与者在任务中答题的正确数和错误数,任务分数由两者相减得出。探索是指参与者试图将卡片向“答题区”移动,然后收回卡片的过程。通过解析 Tobii Pro Lab 记录的视频来统计探索次数。以交互方式作为因子,对任务分数和探索次数进行多变量方差检验 (MANOVA)。Levene 方差齐性检验结果证明了各组因变量的误差方差是相等的。如

表 1 所示,MTI 的任务分数均值为 19.679 ($SD=8.701$),大于 TUI 的均值 12.286 ($SD=6.468$),在 0.01 的水平下差异显著 ($P<0.01$)。TUI 版本的探索次数均值为 3.000 次 ($SD=1.388$),大于 MTI 版本的均值 1.714 次 ($SD=0.854$),在 0.001 的水平下差异显著 ($P<0.001$)。

3.2 眼动数据分析

根据以往对眼动与认知关系的研究,较长的注视持续时间代表更多的注意力和更高的认知负荷^[19],因此本文选择注视这个眼动指标来分析用户的认知过程。

3.2.1 AOI 总注视时长 (TDF) 对比分析

选择 Tobii Pro Lab 导出的“Duration of Fixations”作为每个 AOI 注视时长的原始数据,并将所有 AOI 上的注视时长记为 TDF (Total Duration of Fixations on All AOIs)。以游戏交互方式为因子,使用单因素方差分析 (ANOVA) 检验 TDF 存在的差异。Levene 方差齐性检验结果显示方差齐性。在 TUI 版本中 TDF 的均值为 112.862 s ($SD=25.932$),小于 MTI 版本的均值 132.760 s ($SD=23.715$),这种差异有统计学意义 ($P<0.01$)。

3.2.2 AOI 注视时长百分比 (PDF) 对比分析

热点图可直观地展示出被试者在刺激材料上的注意力分布情况,红色的区域代表目光注视时间最长、次数最多,黄色和绿色的区域代表目光注视时间较短、次数较少^[20]。如图 3 所示,TUI 版本和 MTI 版本的“出题区”都显示为红色,是注视最集中的区

表 1 任务表现的多变量方差分析结果
Tab.1 MANOVA results of the task performance

任务表现	TUI 版本		MTI 版本		F	Sig.
	均值	标准偏差	均值	标准偏差		
任务分数	12.286**	6.468	19.679**	8.701	13.025	0.001
探索次数	3.000***	1.388	1.714***	0.854	17.456	0.000

注: **表示 $P<0.01$; ***表示 $P<0.001$ 。

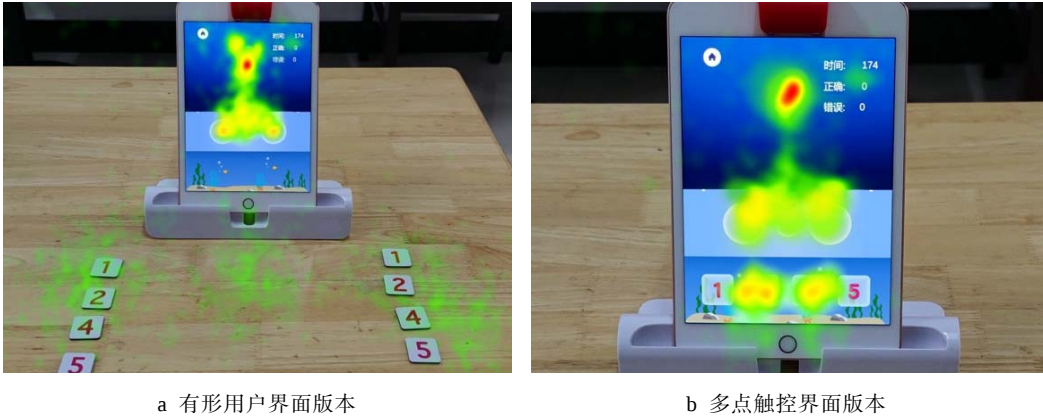


图 3 眼动热点图
Fig.3 Eye-tracking heat map

域。TUI 版本的注意力主要集中在“答题区”, 在“卡片区”的注意力较分散。MTI 版本在“答题区”和“卡片区”的注意力分布基本平均。

除了热点图之外, 本文还计算了每个 AOI 上的注视时长占有 AOI 注视时长的百分比, 记为 PDF (Percentage of Duration of Fixations)。以交互方式为因子, 通过多变量方差分析法 (MANOVA) 来检验 2 个版本在每个 AOI 上的 PDF 差异 (多变量方差分析结果见表 2)。可以看到, 2 个版本在“操作区”上的 PDF 无显著差异。在 TUI 版本中, 参与者在“出题区”的 PDF 均值为 24.682% ($SD=9.399$), 在“答题区”的 PDF 均值为 34.764% ($SD=10.529$), 显著高于 MTI 版本 ($P<0.01, P<0.05$)。MTI 版本在“反馈区”的 PDF 均值为 3.989% ($SD=4.171$), 在“卡片区”的 PDF 均值为 36.586% ($SD=12.687$), 显著高于 TUI 版本的 PDF ($P<0.05, P<0.01$)。

3.2.3 AOI 转移次数百分比 (PTA) 对比分析

除了注视时长, 注视轨迹也可以揭示用户的认知过程。图 4 显示了 2 个版本中 AOI 之间的注视转移情况, 5 个节点代表了 5 个 AOI, 节点之间连线上的数字表示 2 个 AOI 之间的转移次数占有 AOI 转移

次数的平均百分比, 记为 PTA (Percentage of Transitions of Two AOIs)。每 2 个节点之间的转移是双向的。

以游戏版本为因子, 对每个节点向外连出的 4 个方向上的 PTA 各进行一次多变量方差分析。如表 3 和图 4 所示, 在 TUI 版本中, 从“答题区”到“出题区”的 PTA 最具代表性 ($M=17.904, SD=5.510$), 从“出题区”到“答题区”的 PTA 次之 ($M=14.347, SD=5.308$), 均显著大于 MTI 版本的 PTA (2 个方向, $P<0.001$)。

此外, TUI 版本中从“卡片区”到“操作区”的 PTA ($M=8.050, SD=3.410$) 显著大于 MTI 版本 ($P<0.01$)。在 MTI 版本中, “答题区”和“卡片区”2 个方向的 PTA 分别为 18.343 ($SD=7.164$) 和 11.580 ($SD=5.192$), 显著大于 TUI 版本的 PTA (2 个方向, $P<0.001$), 从“答题区”到“出题区”的 PTA ($M=12.600, SD=3.670$) 虽然小于 TUI 版本中的 PTA, 但也发挥了重要的作用。图 4 还显示, 从“反馈区”到其他 AOI 的 PTA 在 2 个版本中都是最小的。此外, 在 MTI 版本中, “反馈区”和“卡片区”之间的转移次数更多 (2 个方向, $P<0.01$), 从“反馈区”到“出题区”的转移次数也更多 ($P<0.05$)。

表 2 PDF (%) 的多变量方差检验结果
Tab.2 MANOVA results of the PDF (%)

AOI	TUI 版本		MTI 版本		F	Sig.
	均值	标准偏差	均值	标准偏差		
出题区	24.682**	9.399	17.614**	7.659	9.505	0.003
答题区	34.764*	10.529	29.193*	8.342	4.817	0.033
反馈区	1.824*	1.857	3.989*	4.171	6.271	0.015
卡片区	26.414**	9.062	36.586**	12.687	11.917	0.001
操作区	12.331	5.790	12.624	15.148	0.010	0.921

注: *表示 $P<0.05$; **表示 $P<0.01$ 。

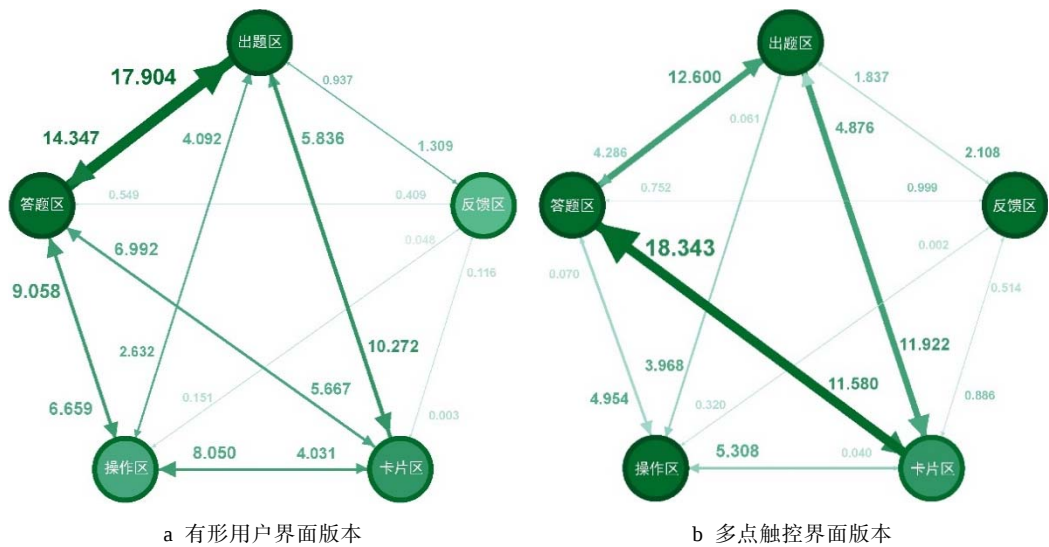


图 4 AOI 之间的转移
Fig.4 Transitions among AOIs

表 3 PTA (%) 的多变量方差检验结果
Tab.3 MANOVA results of the PTA (%)

来源 AOI	目标 AOI	TUI 版本		MTI 版本		F	Sig.
		均值	标准偏差	均值	标准偏差		
出题区	答题区	14.347***	5.308	4.286***	2.328	84.365	0.000
答题区	出题区	17.904***	5.510	12.600***	3.670	17.967	0.000
	卡片区	5.666***	2.229	11.580***	5.192	30.678	0.000
反馈区	出题区	0.937*	1.073	1.837*	1.573	6.267	0.015
	卡片区	0.273*	0.708	0.886*	1.059	6.479	0.014
卡片区	答题区	6.992***	4.559	18.343***	7.164	50.031	0.000
	反馈区	0.116**	0.262	0.514**	0.541	12.273	0.001
	操作区	8.050**	3.410	5.308**	3.334	9.254	0.004

注: **表示 $P<0.01$; ***表示 $P<0.001$ 。

3.3 参与者主观体两验分析

3.3.1 “K-state”表情符号量表分数对比分析

本文统计了各版本的“K-state”分数,并以交互方式为因子对“K-state”分数进行了单因素方差分析。结果显示,TUI版本的“K-state”分数均值为6.214($SD=0.738$),显著大于MTI版本的均值5.107($SD=0.832$)。

3.3.2 半结构化访谈结果对比分析

所有16名参与者都接受了采访。其中,9名参与者表示他们更喜欢TUI版本,5名参与者表示他们更喜欢MTI版本,2名参与者表示他们两者都喜欢或不知道。对于TUI版本,8名参与者表示更喜欢,因为直接用双手触摸卡片,使用起来更方便。3名参与者表示,TUI版本识别过程有延迟,影响了提问速度。对于MTI版,大部分参与者表示使用起来没有困难。有4位参与者表示,他们用手指拖动卡片到“答题区”有困难,因为手指需要与卡片精确对准,一旦手指松开一点,卡片就会弹回“卡片区”。此外,有4名参与者表示,看到“反馈区”的正确和错误提示数量使他们很紧张。还有2名参与者表示MTI版本太长,玩起来很无聊。

4 对假设的讨论

4.1 任务表现

假设1:学龄前儿童使用TUI版本比使用MTI版本解决问题的效果更好。

从任务表现结果来看,TUI版本的得分低于MTI版本,但两者之间的错误答案数量没有显著差异。根据访谈结果,主要原因可能是TUI版本的操作范围较大,识别时间延迟,导致答题时间较长。尽管如此,与MTI版本相比,TUI版本的探索次数更多,部分原因是参与者觉得在桌子上移动卡片更舒服,更愿意尝试将不同的卡片移动到识别区域,而参与者在使用

MTI版本移动卡片时更加谨慎。因此,根据上述结果,虽然TUI版本在此次实验中没有取得更好的任务表现,但可以使学龄前儿童更愿意尝试,这对长期学习是有利的。

4.2 认知负荷

假设2:学龄前儿童使用TUI版本比使用MTI版本的认知负荷更低。

眼动追踪结果显示,与MTI版本相比,TUI版本在“出题区”和“答题区”的注视时间较长,但在“反馈区”和“卡片区”的注视时间较短,表明参与者在使用TUI版本操作卡片时的认知负荷较低。访谈表明,MTI版本在“卡片区”的注视时间较长的原因可能是它需要更精确的操作和更多的注意力;参与者更关注“反馈区”,因为剩余的时间和错误答案的数量使他们感到紧张,这种压力促使参与者加快速度以获得更高的分数。此外,TUI版本在所有AOI上的总注视时间明显少于MTI版本,这意味着参与者在使用TUI版本时并没有太大的困难。因此,学龄前儿童使用TUI版本时认知负荷较低的假设是成立的。

4.3 注意力分布

假设3:使用TUI版本能使学龄前儿童的注意力更集中于关键信息。

根据TDF和PTA的结果可以看出,在TUI版本中,参与者的注意力主要在“答题区”和“出题区”之间转移,这可以解释为在TUI的互动过程中,参与者可以在看屏幕的同时双手同时移动卡片。在MTI版本中,参与者的注意力主要在“答题区”“出题区”和“卡片区”之间转移。其中,“答题区”和“卡片区”之间的转移次数最多,这可以解释为MTI版本的交互过程需要参与者用手指将卡片拖到“答题区”,他们眼球运动必须始终跟随手指运动。由于“答题区”和“出题区”是2个最重要的区域,包含了运算的关键数字信息,因此TUI更关注这2个区域将有助于提高学习效果。

4.4 愉悦度

假设 4: 学龄前儿童使用 TUI 版本比使用 MTI 版本的愉悦度更高。

本研究的“K-state”表情符号量表结果显示, 参与者对 TUI 版本评分更高。从访谈中笔者了解到, 喜欢 TUI 版本的参与者表示玩卡片很愉快, 因为他们可以很容易地拿着卡片移动; 而喜欢 MTI 版本的参与者表示, 触摸屏幕可以更快地得到正确的答案, 这让他们很开心。不喜欢 TUI 版本的参与者表示识别的过程不够快, 影响了他们的答题速度; 而不喜欢 MTI 版本的参与者表示, 他们对使用 MTI 感到紧张, 因为他们需要时刻盯着卡片, “反馈区”的信息会让他们感到紧张。结合“K-state”表情量表以及访谈结果可以看出, TUI 版本更能让幼儿感到愉悦, 更受他们的青睐。

5 结语

本文为学龄前儿童设计了一款基于平板电脑的数学游戏“NUMBERS”, 并通过眼动追踪法来比较 TUI 和 MTI 版本在提高学习效果方面的潜力。结果显示, 使用 TUI 会带来更多的探索、更低的认知负荷、更多对关键信息的注意力以及更高的愉悦度, 对学龄前儿童具有长期的积极影响。本文填补了学龄前儿童使用有形和多点触控界面对比研究领域的空白, 为设计用于幼儿学习的有形用户界面游戏提供了理论基础。未来, 笔者或将通过开展长期对照试验, 比较有形用户界面和多点触控界面对学龄前儿童学习的影响, 进一步检验探索、认知负荷、注意力和愉悦性等因素对长期学习效果的中介效应。

参考文献:

- [1] MCCOY D C, YOSHIKAWA H, ZIOL-GUEST K M, et al. Impacts of Early Childhood Education on Medium- and Long-Term Educational Outcomes[J]. *Educational Researcher*, 2017, 46(8): 474-487.
- [2] RAMANI G B, ROWE M L, EASON S H, et al. Math Talk during Informal Learning Activities in Head Start Families[J]. *Cognitive Development*, 2015, 35: 15-33.
- [3] YU Jun-nan, ROQUE R. A Review of Computational Toys and Kits for Young Children[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2019, 21: 17-36.
- [4] SAMARAKOON U, USOOF H, HALLOLUWA T. What they can and Cannot: A Meta-Analysis of Research on Touch and Multi-Touch Gestures by Two to Seven-Year-Olds[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2019, 22: 100151.
- [5] BAYKAL G E, ALACA I V, YANTAÇ A e, et al. A Review on Complementary Natures of Tangible User Interfaces (TUIs) and Early Spatial Learning[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2018, 16: 104-113.
- [6] ORANÇ C, KÜNTAY A C. Learning from the Real and the Virtual Worlds: Educational Use of Augmented Reality in Early Childhood[J]. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2019, 21: 104-111.
- [7] ISHII H, ULLMER B. Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms[C]// *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*. Atlanta, Georgia, USA. New York: ACM, 1997: 234-241.
- [8] XU D. Tangible User Interface for Children-an Overview Conference in the Department of Computing[C]. New York: ACM, 2005: 579-584.
- [9] PAPAVALASOPOULOU S, SHARMA K, GIANNAKOS M N. Coding Activities for Children: Coupling Eye-Tracking with Qualitative Data to Investigate Gender Differences[J]. *Computers in Human Behavior*, 2020, 105: 105939.
- [10] BLAGOJEVIC R, WHITELEY B, ZHEN S J, et al. TUI-geometry: A tangible user interface for geometric drawing on an interactive tabletop[C]//*Proceedings of the Annual Meeting of the Australian Special Interest Group for Computer Human Interaction*. Parkville VIC Australia. New York: ACM, 2015.
- [11] ZUCKERMAN O, GAL Z A. To TUI or not to TUI: Evaluating Performance and Preference in Tangible Vs. Graphical User Interfaces[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2013, 71(7-8): 803-820.
- [12] WALDNER M, HAUBER J, ZAUNER J, et al. Tangible Tiles: Design and Evaluation of a Tangible User Interface in a Collaborative Tabletop Setup[C]//*Proceedings of the 18th Australia conference on Computer-Human Interaction: Design: Activities, Artefacts and Environments*. New York: ACM, 2006: 151-158.
- [13] SCHNEIDER B, JERMANN P, ZUFFEREY G, et al. Benefits of a Tangible Interface for Collaborative Learning and Interaction[J]. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2011, 4(3): 222-232.
- [14] SCHNEIDER B, SHARMA K, CUENDET S, et al. Using Mobile Eye-Trackers to Unpack the Perceptual Benefits of a Tangible User Interface for Collaborative Learning[J]. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 2016, 23(6): 39.
- [15] GARCIA S F, JURDI S, JAEN J, et al. Evaluating a Tactile and a Tangible Multi-Tablet Gamified Quiz System for Collaborative Learning in Primary Education[J]. *Computers & Education*, 2018, 123: 65-84.
- [16] KLAIB A F, ALSREHIN N O, MELHEM W Y, et al. Eye Tracking Algorithms, Techniques, Tools, and Applications with an Emphasis on Machine Learning and Internet of Things Technologies[J]. *Expert Systems With Applications*, 2021, 166: 114037.
- [17] NOSWORTHY N, BUGDEN S, ARCHIBALD L, et al. A Two-Minute Paper-and-Pencil Test of Symbolic and

- Nonsymbolic Numerical Magnitude Processing Explains Variability in Primary School Children's Arithmetic Competence[J]. PLoS One, 2013, 8(7): 67918.
- [18] SWANEY-STUEVE M, JEPSEN T, DEUBLER G. The Emoji Scale: A Facial Scale for the 21st Century[J]. Food Quality and Preference, 2018, 68: 183-190.
- [19] KIM J E, NEMBHARD D A. Eye Movement as a Mediator of the Relationships among Time Pressure, Feedback, and Learning Performance[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2019, 70: 116-123.
- [20] LIAO C N, CHANG Kuo-en, HUANG Y C, et al. Electronic Storybook Design, Kindergartners' Visual Attention, and Print Awareness: An Eye-Tracking Investigation[J]. Computers & Education, 2020, 144: 103703.

责任编辑：马梦遥

(上接第 49 页)

- [108] SEIFI H, CHUN M, GALLACHER C, et al. How do Novice Hapticians Design? a Case Study in Creating Haptic Learning Environments[J]. IEEE Transactions on Haptics, 2020, 13(4): 791-805.
- [109] HAYWARD V, MACLEAN K E. Do It Yourself Haptics: Part I[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2007, 14(4): 88-104.
- [110] MACLEAN K E, HAYWARD V. Do it yourself Haptics: Part II [Tutorial][J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2008, 15(1): 104-119.
- [111] MOUSSETTE C, BANKS R. Designing through Making: Exploring the Simple Haptic Design Space[C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction. New York: ACM, 2011.
- [112] MARTINEZ M O, MORIMOTO T K, TAYLOR A T, et al. 3-D Printed Haptic Devices for Educational Applications[C]// 2016 IEEE Haptics Symposium. Philadelphia: IEEE, 2016.
- [113] GALLACHER C, MOHTAT A, DING S, et al. Toward open-source Portable Haptic Displays with Visual-force- Tactile Feedback Colocation[C]// 2016 IEEE Haptics Symposium. Philadelphia: IEEE, 2016.
- [114] SEIFI H, FAZLOLLAHI F, OPPERMANN M, et al. Haptipedia: Accelerating Haptic Device Discovery to Support Interaction & Engineering Design[C]// Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 2019.

责任编辑：陈作

(上接第 58 页)

- [25] DO H M, PHAM M, SHENG Wei-hua, et al. RiSH: A Robot-Integrated Smart Home for Elderly Care[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2018, 101: 74-92.
- [26] ABDI N, RAMOKAPANE K M, SUCH J M. More than Smart Speakers: Security and Privacy Perceptions of Smart Home Personal Assistants[C]// Proceedings of the Fifteenth USENIX Conference on Usable Privacy and Security. New York: ACM, 2019: 451-466.
- [27] HUANG Zhan-yuan, LIU Yang, FANG Ya-jun, et al. Video-based fall detection for seniors with human pose estimation[C]// 2018 4th International Conference on Universal Village (UV). Boston: IEEE, 2018: 1-4.
- [28] CHATTERJEE R, MAZUMDAR S, SHERRATT R S, et al. Real-Time Speech Emotion Analysis for Smart Home Assistants[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2021, 67(1): 68-76.
- [29] SADIKOGLU-ASAN H. 'User-Home Relationship' Regarding User Experience of Smart Home Products[J]. Intelligent Buildings International, 2022, 14(1): 114-130.
- [30] CURUMSING M K, FERNANDO N, ABDELRAZEK M, et al. Emotion-Oriented Requirements Engineering: A Case Study in Developing a Smart Home System for the Elderly[J]. Journal of Systems and Software, 2019, 147: 215-229.
- [31] WANG Ju, SPICHER N, WARNECKE J M, et al. Unobtrusive Health Monitoring in Private Spaces: The Smart Home[J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2021, 21(3): 864.

责任编辑：陈作