

增强现实(AR)技术的教育应用综述*

蔡 苏^{1,2} 王沛文² 杨 阳² 刘恩睿²

(1.北京师范大学 未来教育高精尖创新中心;
2.北京师范大学 教育学部 教育技术学院, 北京 100875)

[摘 要] 增强现实(AR)是虚拟现实(VR)技术的延伸。基于增强现实的交互手段给教育者提供了新的方式表达给学习对象,也用最贴近自然的交互方式为学习者搭建一个自主探索的空间。增强现实技术具有五方面的特性,它在教育中的应用潜力主要体现在:抽象的学习内容可视化、形象化;支持泛在环境下的情境式学习;提升学习者的存在感、直觉和专注度;使用自然方式交互学习对象;传统学习与新型学习相结合。增强现实技术的教育应用涵盖着课堂学习(学科分类)和课外非正式学习,目前在国内外的教育中已经有了不少实践,并初步形成了基于角色扮演、基于位置和基于任务的三类增强现实学习环境教学方式。当然,增强现实技术教育应用也还面临着一些挑战和发展机遇。

[关键词] 增强现实;AR;虚拟现实;VR;学习环境;非正式学习;游戏化学习

[中图分类号] G434 [文献标识码] A [文章编号] 1672-0008(2016)05-0027-14

DOI:10.15881/j.cnki.cn33-1304/g4.2016.05.003

当前,微软、谷歌、苹果、Facebook等IT巨头都在布局虚拟现实(Virtual Reality,简称VR),虚拟现实也许是下一个颠覆人类生活的新技术之一。增强现实(Augmented Reality,简称AR)是虚拟现实技术的延伸,它可以用来模拟对象,让学习者在现实环境背景中看到虚拟生成的模型对象,而且这一模型可以快速生成、操纵和旋转。

这种基于现实世界、由虚拟数据增强的交互手段,给教育者提供了全新的方式表达给学习对象,也用最贴近自然的交互方式为学习者搭建一个自主探索的空间。这对于抽象内容的教学,很具有启发意义。正是由于增强现实的这些特点,使得它在教育领域具有很大的发展潜力与应用空间。

一、增强现实的特性以及教育潜力

计算机科学与教育技术领域的研究人员给予AR的定义多种多样。Milgram, Takemura, Utsumi和Kishino^[1]通过广义和狭义两个维度定义了“增强现实”:广义上是指“增强自然反馈的操作与仿真的线索”;狭义上注重技术方面,认为AR是“虚拟现实的

一种形式,其中参与者的头盔式显示器是透明的,能清楚地看到现实世界”。也有学者根据其功能或特性来定义AR,例如,Azuma^[2]认为,AR可以被定义为一个满足三个基本特征的系统:真实和虚拟世界的融合、实时交互、虚拟和真实物体在3D空间中的精确注册。

在教育领域,尽管基于AR技术的虚拟学习环境是一个新生事物,但是它的某些特征符合教育理论上的一些观点。比如:(1)行为主义认为学习是刺激—反应(S-R)联结公式,由刺激得到反应而完成学习^[3]。在AR虚拟学习环境中,学习者与环境交互,而且能迅速得到反馈结果,并根据反馈结果决定下一步的操作,建立知识和反应之间的链接;(2)AR虚拟学习环境中包括丰富的建构工具包和表现场所,并强调学习者自己更多的控制,这样既符合皮亚杰“把实验室搬到课堂中去”的设想与实践^[4],又符合建构主义学习理论中关于“学习是一种真实情境的体验”的观点^[5]。

AR诸多引人注目的特点都可以运用到教育领域,当它结合多重类型的技术时,可以发挥更大的潜

*基金项目:本文受北京市教育科学“十三五”规划青年专项课题“增强现实游戏在自闭症儿童生活技能习得的应用及影响研究”(编号:CCHA16120)资助。



能。基于以运用到教育为目的的 AR 研究视角,我们把 AR 教育系统的特点和功能分为五个方面。

(一)将抽象的学习内容可视化、形象化

首先,AR 通过让学生亲自接触 3D 模型来增强学习体验。AR 能使学生利用 3D 模型来增强对现实情境的视觉感知能力^[6]。学生能够通过多种不同的视角来观察 3D 模型,从而增强对现实事物的理解。Kerawalla, Luckin, Seljeflot 和 Woolard^[7]演示过一个基于 3D 增强现实技术的天文学教学例子:老师和学生运用白板、投影、网络摄像头、增强现实空间和虚拟 3D 模型等教学用品来观察;同时,通过旋转虚拟 3D 地球来探究地球和太阳、白天和黑夜的关系。AR 系统能够通过使用微粒、向量、符号等虚拟元素,让学习者用肉眼观察诸如气流或磁场这类抽象科学概念和难以观察到的现象。Fjeld 和 Voegtli^[8]利用 AR 技术让学生选择化学元素来构成 3D 分子结构模型,还能够任意旋转分子模型。Clark, Dünser 和 Grasset^[9]曾利用一个基于普通纸张、具有 3D 内容的图画簿,让孩子们观察到即时弹出的 3D 模型,以此将书中的内容形象化。磁场是看不见、摸不着但又是客观存在的,Cai, Chiang, Sun, Lin 和 Lee^[10]选择初中物理中的磁场与磁感线作为教学内容,利用 AR 和 Kinect 设备,制作了体感教学软件将磁场可视化,并可由学习者通过手势与磁场进行实时自然交互。实证研究表明,采用这款基于增强现实的体感教学软件,能够很好的提升学生学习的效率和效果。这些增强现实的元素所产生的可视化效果,能够大大加强学生对抽象概念和不可见现象的感知。

(二)支持泛在环境下的情境式学习

在拥有移动设备、无线网络和本地注册技术的支持下,移动 AR 系统能够在真实环境中的电脑仿真技术、游戏、模型和虚拟物体的帮助下,使无处不在的合作式和情境式学习得到加强^[11-12]。这个系统的特性包括便捷性、交互性、情境性、连通性以及个性化^[13-14]。一些移动设备上的增强现实游戏就是基于支持课外学习而设计的,如,《Environmental Detectives》^[15-16]和《Mad City Mystery》^[17]。在《Environmental Detectives》中,学生会利用一个平板电脑去实施侦测、收集特定地点的数据、分析和解读数据以及最后根据各种关系得出结论。Squire 和 Klopfer^[18]指出,让学生在真实空间中玩虚拟游戏,能够提升学生对环境的感知,能够促使他们结合所有环境因素做出明智的决定。有学者提出,在移动环境下运用手持设备会导致学生

注意力不集中,从而增加任务被中断的几率^[19]。但由于 AR 系统能够检测到学生的当前位置和工作状态,从而及时发出任务提醒和待选项来促进学生的注意力集中。这些嵌入式的提醒功能可以减少任务被中断的几率,从而起到支配学生注意力的作用^[20]。而且,当学生连接网络的移动设备在进行面对面的互动时,它的社会交互性也被增强^[21]。

(三)提升学习者的存在感、直觉和专注度

Bronack^[22]提到类似教学游戏和虚拟空间这种增强现实软件和其它沉浸式学习媒体,能够让学习者有某种存在感,能够增强他们的直觉,让他们专注其中。首先,AR 能够给学习者一个特殊的空间,让他们感觉到跟其他人同处一个位置。这种存在感可加强学生对学习社区的认知^[23]。其次,一个 AR 系统通过提供即时反馈和语音或非语音的提示来培养学生的直觉^[24]。由于直觉对培养学习中的情感价值非常重要,而 AR 又恰恰能够将学习者、虚拟元素或信息以及某些特性在一个真实环境中融合到一块,所以,AR 在培养学习者直觉方面有巨大潜力。最后,像 AR 这样的沉浸式媒体,能够给学习者带来一种身临其境的感觉,而这种感觉也是一个人在综合而真实的体验中所拥有的主观感受^[25]。Dede^[26]也提到,沉浸式的环境能够使学习的内容变为真实世界中的问题和环境成为可能。在“311 日本地震”后,针对福岛核电站发生的核事故,Chang, Wu 和 Hsu^[27]提出一项研究,旨在支持学生在核能应用和放射污染等社会科学问题上的学习:几个九年级的学生假定他们的校园位于核电站 12 公里远处,在发电厂发生氢气泄露事故的第一天,用 Android 系统设备来收集虚拟的辐射放射值等数据。这项研究发现,学生对 AR 活动的认知和对原子核态度转变有重大关联,也证明了 AR 可能会影响学习者对现实世界问题的情感态度。

(四)使用自然方式交互学习对象

一些使用传统多媒体技术,如,flash 实验是无法模拟出“真实体验感”的。例如,中学数学概率知识点中有一个经典的抛硬币实验,科学证明,抛硬币抛出正反面的概率是各 50%,抛硬币确实可以通过 flash 动画模拟过程,并统计随机正反面的结果。但 flash 的画面全部都是计算机生成的虚拟画面,和学生所处的现实环境没有任何关联。同时学生也会疑惑,计算机随机的正反面结果,会不会是预先设定好的程序。而且通过 flash 的点击按钮,学生也没有真正现实环境中抛硬币的感觉。但用 AR 技术就可以既迅

速地记录统计结果,又能以真实“抛”硬币的方式体验玩游戏的临场感^[28]。又如,基于 AR 的凸透镜成像实验,学生以手直接操作虚拟的蜡烛、透镜来改变物距,观察不同的实验现象,这种非鼠标、键盘操作的自然交互方式,与做真实实验的感觉基本是一致的^[29]。

(五)把正式学习与非正式学习相结合

“连接”(CONNECT)项目利用 AR 和其他技术手段,建立一个虚拟的关于科学的主题公园环境^[30],它分为学校模式和博物馆模式。活动内容分虚拟和现实两种,包括对科技博物馆的走访、课程前后的参观以及试验和建模等。在这项计划中,学生通过对虚拟和传统博物馆的参观,利用 AR 技术将学校中所学到的科学知识与之相联系,以此增强学生对试验、模型等事物的形象化程度。“连接”项目最新的一项评估表明,学习环境一定会影响学生固有的学习动机,它可能是对科学知识的学习,或者是对一些有认知冲突的概念的理解。

不过,上述某些特性和功能可能并不是 AR 所独有的,其它领域,如,移动学习环境也可能具有类似的技术或概念。因此,为了开发并实现 AR 更多的功能,最重要的是要探索如何将 AR 的这些用途运用到不同的教学方法中,从而实现相应的教学目标^[31]。

二、AR 教育应用的解决方案与工具

目前,国内外已经有多家技术公司提供了软件开发方面的 AR 解决方案和工具,使得全球众多开发者参与到 AR 应用开发中来。开发者不需要自己搭建系统架构,也不用理解底层 SDK 复杂的实现方式,只需要将 AR 模块嵌入到已有的业务逻辑中,就可以通过现成的开源代码或者平台工具,设计并开发属于自己的 AR 软件产品。

(一)Z Space

Z Space 是一款全新的 3D 显示屏,由美国加州 Infinite Z 公司开发,它可以跟踪用户的头的转动和手的动作,实时调整所看到的 3D 图像,并允许用户操控一些虚拟物体,就好比他们真正存在。其特点是:(1)高速头部追踪让学生和 3D 物体之间能够进行顺畅的互动;(2)利用虚拟现实操作笔,让学生可以通过笔式操作进行学习;(3)利用触屏让 Z Space 和 Windows 应用使用起来更直观(如图 1 所示)。

根据美国最新的《新一代科学教育标准》,Z Space 开发出了包含 2-12 年级多门学科的课件,课件分布



图 1 用户通过 Z Space 操纵虚拟物体

在六款软件之中,老师可采用软件自带课件实施教学计划,也可创造性地开发新课程。Z Space 不仅可以成为满足课标的教学工具,还为学生老师提供了丰富的素材资源^[32]。在美国本土已有上万的学生正使用 Z Space STEAM(科学、技术、工程、艺术、数学课程)实验室课件来进行学习。在通常情况下,学校都会采购一套 Z Space STEAM 实验室课件,包括 12 台学生使用的虚拟现实工作站和一台教师使用的工作站,每个工作站都有配备一个互动操作笔和不同的教育软件。

(二)Metaio

Metaio 是由德国大众的一个项目衍生出来的一家虚拟现实初创公司,现已被苹果公司收购。专门从事增强现实和机器视觉解决方案,产品主要包括 Metaio SDK 和 Metaio Creator。Metaio SDK 支持移动设备的 AR 应用开发,它在内部提供增强现实显示组件 ARView,该组件将摄像机层、3D 空间计算以及 POI 信息的叠加等功能全部封装在一起,用户在使用增强现实功能时,只需要关注用户操作的监听器即可,摄像机层、3D 空间计算、图形识别以及空间信息叠加等逻辑,完全由 ARView 组件自己处理。Metaio Creator 相对于 Metaio SDK 来说,使用门槛更低,用户无需掌握移动开发技术,就可以通过 Metaio Creator 用户图形接口中简单的点击、拖拽、拉伸等方式,控制软件中组件的功能,以构建出自己的增强现实结果,如图 2 所示。

目前,用 Metaio SDK 和 Metaio Creator 开发出的程序,支持 Android OS、IOS 和 Windows 等主流移动设备操作系统。Metaio 官方虽然没有像 Z Space 一样为教育领域提供通用的 AR 教学工具,但已有学者开发出基于位置服务的 AR 教育应用,并探究其在帮助学生快速熟悉校园、了解校园文化的效果^[33]。



图2 通过 Metaio SDK 在书本上显示虚拟 3D 模型

(三) Wikitude

Wikitude 是由美国 Mobilizy 公司于 2008 年秋推出的一款移动增强现实开发平台,支持 Android、iOS、Black Berry 以及 Windows Phone 多个手机智能操作系统。Wikitude SDK 是一款优秀的增强现实开发工具包,它能够帮助开发人员减小增强现实应用程序开发的复杂性。目前,Wikitude SDK 支持载入真实的物理环境、向 AR 环境中添加虚拟物体、支持用户与虚拟物体的交互、响应用户的位置变化、AR 环境中信息提示、从本地或网络加载资源等功能,如图 3 所示。



图3 通过 Wikitude 在现实场景中显示建筑坐标信息

目前,已有学者将 Wikitude 运用在语言教学等文科课程教学领域。英语学习就是其中一个典型的应用场景——学生通过扫描写有英语单词的卡片,查看和单词内容相关的可交互内容(如,三维模型)等,这种学习方式特别适用于学龄前儿童和英语初学者^[34]。AR 技术还可以和其他新技术结合,如,GPS 等结合使用。校园导览就是其中的一个典型应用案例:“活动先锋队”是一款基于 LBS 和 AR 的北师大校内活动导览应用,在这个案例中实现了对校内建筑物的识别,并实时展示与该建筑或地点相关的校内活动信息^[35]。

(四) ENTiTi

ENTiTi Creator 是由以色列一家创业公司 Waking App 开发的一款 AR 作品制作工具,易学易用是它的最大特色。用户可以使用 ENTiTi 平台上传图片和视频以及相应的动作指令,并通过简单的逻辑串联,就可以轻松创建出包含 3D 图像、动画或者游戏的 AR/VR 内容,如图 4 所示。该平台不需要任何编程,完全依靠鼠标拖放就能完成整个创建过程。ENTiTi 是基于云计算的平台,可以在线 3D 视角查看内容,并自动适配各种终端,比如,手机或平台电脑、三星 Gear VR 盒子、Vuzix 智能眼镜等。开发者通过它所发布出来的 AR 内容,只需要通过一个叫作 ENTiTi View 软件的入口,就可以轻松访问。这意味着全球所有开发者所开发出的成千上万的 AR 内容,只需要一个软件即可全部浏览。



图4 使用 ENTiTi Creator 在图形化界面中创建 AR 作品

三、AR 教育应用的具体案例

近年来,借助于各种各样的 AR 开发与制作工具,AR 在教育领域的应用案例也越来越多。在设计人员和开发人员的共同努力下,AR 在教育中的应用涵盖了各个种类的主题与内容,从具体的学科领域到非正式学习,都已有大量成功的应用案例。

(一) 学科领域

1. 数学

数学在世界各国的教育体系中都是最重要的学科之一。数学学科本身极其强调数形结合,而 AR 技术擅长展示抽象立体三维图形,因此,AR 在数学教育中的应用非常丰富。

在学前教育阶段,就有学者尝试使用 AR 技术帮助学生了解数学、学习基本的数字和计数规则。来自马来西亚的研究者就将 AR 内容制作成“魔法之书”用于小学生的计数相关知识学习,用情境化的故事教学模式和 AR 技术充分调动学生的积极性,如

图 5 所示。这种方式提供了全新的学习体验,证明 AR 技术可在学前教育中发挥作用^[36]。



图 5 学前教育阶段的数学 AR 魔法之书

在小学教育阶段,数学已经是主要学习科目之一。这一阶段学生的抽象思维能力相对较弱,在学习过程中的注意力也难以集中,但此阶段的学生具有一个突出特征:对于新鲜事物的好奇心强烈。因此,很多研究者采用 AR 技术进行小学数学教育的尝试。例如,韩国研究者充分吸收了韩国游戏界的丰富开发经验,将其融合进数学教学过程中,借助 AR 手段丰富游戏和学习的体验,大大增强了小学生学习过程中的趣味性,结果表明,游戏化的 AR 学习受到了学生的欢迎,调动了学生学习积极性^[37]。

进入中学后,AR 技术的应用研究从提升学生学习的主动性、强调学习的趣味性转而更加关注数学思维的培养和具体的学习效果。从中学阶段开始,学生逐渐接触更多抽象的、难以理解的数学概念,对于学生探究能力和数学思维能力的要求也越来越高。在强调数形结合的数学思想的相关内容中,AR 技术的运用具有天然的优势。例如,在学习函数图像时,学生可以借助 AR 技术多角度观察实时生成的函数图像,如图 6 所示。这对于学生形象化思维的培养和对教学内容的理解有着显著的帮助^[38]。有学者认为,



图 6 使用 AR 技术的函数图像学习

这样的应用可以改变未来数学的学习范式^[39]。

在高等教育中,同样有 AR 技术的应用案例。例如,在立体几何教学中,根据三视图唯一的原理利用 AR 技术将 2D 图形与 3D 直观图形相结合,免去传统教学中手工制作模型的麻烦,这一类的应用展示了 AR 在几何学科应用中的巨大优势^[40]。通过分析发现,AR 在几何概念学习中,有助于学生空间思维能力、几何水平以及对几何学习积极性的提升^[41]。其实从本世纪初 AR 技术初具雏形时开始,就不断有将其运用于几何教学中的尝试,从最早如图 7 所示的实验室环境中基于特殊设备的 AR 几何教学应用^[42],到之后尝试将 AR 技术与 3D 眼镜等专业设备结合构建协作式、沉浸式的学习环境,研究认为,其有利于学生的学习^[43]。随着技术的不断发展,AR 也越来越从个人电脑转向了移动设备,成本不断降低,这对于数学教育领域中 AR 技术的进一步推广无疑是有利的。



图 7 借助于 3D 眼镜实现的早期 AR 几何教学应用

2. 物理

物理学科除了同数学一样强调图形、图像的灵活运用外,还强调实验过程以及基本概念的准确理解,而这些特性也使物理学科教学很容易找到和 AR 技术的结合点。早期的物理教学相关领域的 AR 应用,主要关注点在于计算机技术本身对于物理研究的促进作用,这一时期 AR 仅作为一种展示的手段,还未过多关注 AR 技术对于教与学过程的促进作用。所选择的教学内容也是高等教育中的工程领域,如,利用 AR 环境来提供三维可视化的教学材料^[44]。

随着技术的发展,AR 也开始走向一些更加基础、浅显的教学内容,例如,在用于中学阶段运动学与经典力学的教学中,来自罗马尼亚的研究者使用 TriVision 头戴显示器作为显示设备,使用 AR 技术对机械运动进行模拟,帮助学生学习运动学知识,该研究证明了 AR 作为一种教学手段在物理教学中的

可行性^[45-46]。

弗吉尼亚理工大学的研究人员展示了 AR 技术在力学教学中的应用^[47]。如图 8 所示,它利用一个为电脑游戏所开发的物理引擎,来实时模拟在力学领域的物理实验,学生可以积极主动地在一个三维虚拟世界中创建自己的试验并研究它们。在实验前、中和结束后,该系统提供了多样化的工具,用以分析目标物体的受力、质量、运动路径等物理量。

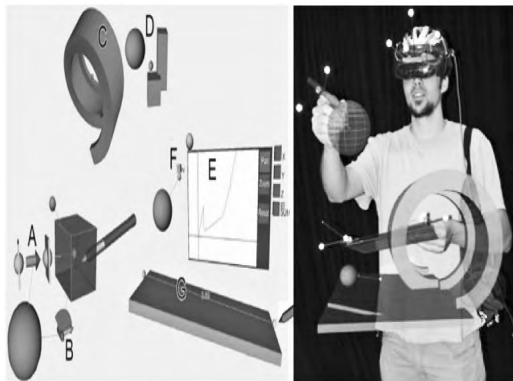


图 8 AR 在物理仿真教学实验过程中

来自美国路易斯安那州立大学的学者,则将 VR 和 AR 技术在物理教学(主要是电磁学、力学和工程)中的应用模式进行了对比,认为无论是 VR 还是 AR 都能提升现有的教学手段,促进学生学习的质量,为此提倡将 VR 和 AR 技术与现有的科学研究软件,如,Matlab、Simulink 等进行整合^[48]。来自西班牙的研究者使用平板电脑上的 AR 电磁学实验模拟软件,并与传统的教学模式进行了对比,认为 AR 有潜力在物理基本概念的教学中发挥更多作用^[49]。

除了在中学阶段以验证和探究为目的的简单实验,AR 在真正的物理实验室中也发挥了作用。如图 9 所示的虚实结合实验设备,就是典型的一种应用案例。AR 技术可以弥补基于 VR 技术的虚拟实验室和远程实验室缺乏真实感的缺陷;同时,又降低了实

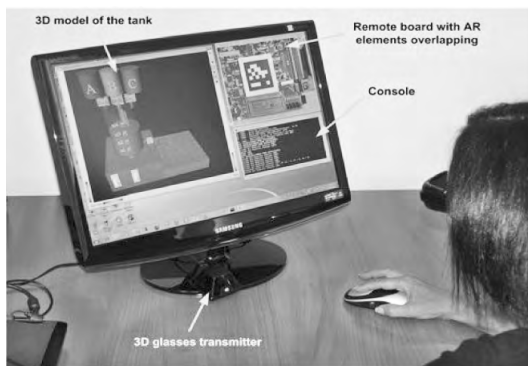


图 9 虚实结合的物理实验室

验室运行的成本^[50]。虽然,这一类基于 AR 技术的远程实验室还存在很多不足之处,但其低廉的成本对促进教育公平带来了更多的可能性^[51]。

物理学的核心内容不仅有可见的实验教学,还有很多难以直接观察的物质对象,例如,电场、磁场等“场”的概念。但借助于 AR 技术和体感技术,就可将磁场可视化^[52]。还有的应用不借助头戴显示器,直接使用特制的条形磁铁道具和一台个人电脑,就能实现磁感线可视化并观察磁场的种种变化规律,在学生学习了磁场相关知识时是非常有用的工具^[53]。Cai, Chiang, Sun, Lin 和 Lee^[54]还将 AR 技术与微软 Kinect 体感交互技术相结合,研究表明,基于 AR 的体感教学软件,能够帮助学生理解磁场和磁感线等抽象的概念和物理规律。同时,AR 技术不仅在提高学习成绩上有效,在改善学生的学习兴趣方面也有不错的效果(如图 10 所示)。



图 10 使用 AR 技术展示的可交互的磁感线

Cai, Chiang 和 Wang^[55]的研究发现,虽然使用 AR 与否对初中学生学习物理凸透镜成像实验的影响并不显著,但参与实验的教师认为,使用 AR 对成绩较低的学生具有更大的影响(如图 11 所示)。由此可以看到,AR 技术对于缩小传统课堂中学生之间的差距具有一定的作用。



图 11 AR 凸透镜成像实验

此外,还有将 AR 情境下的游戏教学运用于学龄前儿童(4-6 岁)的物理启蒙学习的尝试,学生通过在布置有 AR 识别标记的教室中做游戏,以游戏

化的方式帮助儿童对力、摩擦等概念形成初步的认识^[56]。与之类似的还有将体感自然交互技术和 AR 技术结合,让青少年在运动中学习物理知识^[57]。

3. 化学

同物理一样,化学学科也强调实验,并且涉及大量无法直接观察到的内容(如,分子、原子结构等),这让 AR 在教学中有较多的用武之地。最早尝试使用 AR 进行分子结构相关教学的学者,将 AR 视为一种展示内容的手段,将传统的 3D 演示系统、手持 PC (当时智能手机还未普及)上的 AR 以及头戴显示器上的 AR 进行了对比,并最终得出了手持 PC 是在增强教学中最适合的展示设备^[58-59]。这一结论到了今天已被迅速发展的移动智能设备和其上大量的移动 AR 应用所证实。Cai, Wang 和 Chiang^[60]设计了若干个初中化学物质结构的虚实融合操作实验,学生可以自然交互方式对虚拟出来的微观世界中的分子、原子进行操作,并可进行组合、创作,实验表明,这种交互方式能极大的提升学生学习兴趣和对物质微观结构的理解(如图 12 所示)。



图 12 使用 AR 模拟原子和分子结构

4. 生物

Chiang, Yang 和 Hwang^[61]将基于地理位置的 AR 运用于中学生物科学的探究学习环节,学生被分成不同小组后前往不同的探索区域,利用基于地理位置的 AR 应用学习相关的生物知识并上传,如图 13 所示。当其他小组成员来到同一地点时,可以查



图 13 借助 AR 了解生物特性

看已有的分享内容,这样的应用不仅丰富了学生的学习体验,也充分发挥了各种新技术的作用。

5. 地理

地理学科的 AR 应用,可分为辅助课堂教学和辅助野外教学两类。前者主要通过扫描图片或标识码反馈实物模型或现象反映,对知识进行具象化的呈现,从而帮助学习者加深对知识的理解;后者则主要用于根据学习者的地理位置,提供相应指导信息以及帮助学习者进行路线查询。

Hsiao 和 Chang^[62]开发了一个增强现实的天气系统 Weather observers,可以帮助学习者学习地理学科中关于大气系统的知识。该系统包括教室活动、家庭活动、博物馆活动等教学环节,在每一环节运用 AR 技术进行不同的知识呈现。在教室活动中,学习者可以通过任意组合两个或多个图片得到不同的天气。在博物馆活动中,通过对图像的扫描,可以获得影响天气变化因素的模型,如图 14 所示。研究表明,该系统可提升学习者对地理学习的兴趣和学习效果。



图 14 Weather observers 教室和博物馆活动呈现结果

Wang, Elzakker 和 Kraak^[63]等人开发了支持地理田野调查的移动 AR 工具,以帮助学习者在野外实习中收集数据和查看地图,如图 15 所示。



图 15 移动 AR 田野调查使用实景

6. 语言

语言方面的增强现实教育应用主要集中于词汇

http://dej.zjvtu.edu.cn

学习方面。词汇学习类的应用主要通过扫描反馈实物,来促进学习者对单词的理解和记忆。或通过对实物的扫描反馈相应单词,来促进学习者在不同场所中灵活学习。

Barreira, Bessa, Pereira 和 Adão^[64]开发了一个用于学习同一词语在不同语种中的表达的应用——MOW。目前,MOW 被用来在小学阶段进行各语种中动物单词的教学。如图 16 所示,MOW 中有三种卡片:动物、国旗和单词。在增强现实技术下,当学习者选择动物和国旗的卡片就会得到动物在该国语言下的单词;当学习者选择正确的单词和动物配对时就可以呈现动物的 3D 模型。这个应用可以帮助学习者更好地掌握多门语言。

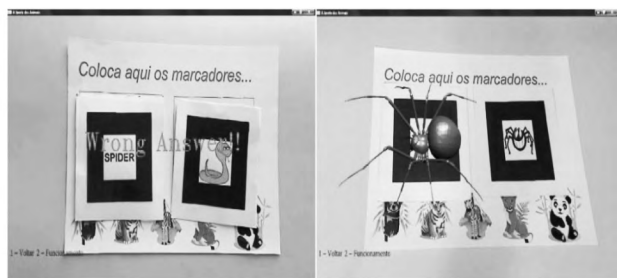


图 16 MOW 学习界面

另外,北京师范大学开发的“快乐记单词”软件^[65]和 Bhadra, Brown, Ke, Liu^[66]为西方学龄前儿童开发的识字游戏“ABC3D”,皆是通过用移动终端扫描单词,呈现出相应的实物模型和语音,帮助儿童进行词汇的拼写和发音学习,如图 17 所示。这两个应用都可以显著提升学习者的学习兴趣和学习效果。



图 17 “快乐记单词”界面和“ABC3D”界面

Santos, Lübke, Taketomi, Yamamoto, Rodrigo, Sandor 和 Kato^[67]将 AR 技术融入词汇教学程序中,学习者通过扫描实景可以获得相关的词汇进行学习,如图 18 所示。该研究结果表明,增强现实技术使学习者注意力更加集中并对学习更加满意。



图 18 Santos 的应用界面

(二) 职业培训、医学与工程教育

1. 职业培训

增强现实技术在职业教育领域中应用广阔,为一些受客观条件限制而难以开展或危险性高的实验、培训等,提供了逼真的模拟实验机会。对于一些学习过程中需要接受三维信息的学科,AR 技术起到了展示实体信息的作用,它可使学习者更为方便的获得立体化模型,为学习者打造连续性的学习体验。

Martín-Gutiérrez, Luís Saorín, Contero, Alcañiz, Pérez-López 和 Ortega^[68]展示了一项帮助工科学生提高空间能力的增强现实应用。如图 19 所示,他们设计了一本可以呈现 3D 模型的书籍 AR-Dehaes 帮助学生完成虚拟化的任务,试图在一个短期的补习课程内提高他们的空间技能。一个由 24 名大学新生参与的实验证实了该训练在提高学生空间能力上,具有可测量的积极效果。

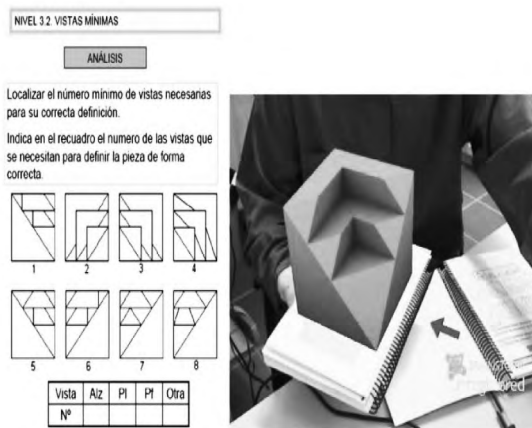


图 19 AR-Dehaes 案例:选择最少的正交视图定义一个对象

2. 医学

增强现实技术可在医学领域发挥独特作用,可帮助医学学习者建立对人体系统的立体动态概念、观察内部活动、模拟手术实践等。微软在 AR 眼镜

(Hololens)的发布会上,就展示了其在医学教育领域的潜力:只需随手一拨,就可以得到不同层次的人体结构,还可以单独观察某一器官的运动,如图 20 所示。LL, HH, N 和 R^[69]为医学学习者开发了一个叫 Gunner Goggles 的原型。在学习者看书时可通过 AR 技术呈现链接、视频或模型,帮助学习者建立对所学内容的实体概念。



图 20 Hololens 人体结构展示

3. 工程教育

Anastassova, Panëels 和 Souvestre^[70]为工程教育开发了 E2LP 系统。这个系统不仅可以通过摄像头显示真实信息和叠加的虚拟信息,还可以通过一个触觉指针在显示屏中显示出操作的位置。工程教育领域的师生可以通过这一个系统进行实验示范,或对复杂任务的解决进行开放性的探索,如图 21 所示。这个系统对于一些复杂的实验来说,是一个很好的体验工具。



图 21 E2LP 总界面和学生界面

(三) 非正式学习领域

1. 图书出版

Billinghamst 和 Kato^[71]最早利用 AR 技术设计了一套儿童读书,取名为 Magic Book,它将书本内容制作成动画并以 AR 的形式叠加在书本上的不同单元里。Magic Book 将计算机设备隐藏起来,用户只需

要翻阅书本来改变故事内容与场景,利用 HMD 来观看书本内容,不需要额外去操作指令按键,这样的互动更接近人的自然阅读行为。近年来,使用 AR 技术进行阅读辅助的应用得到了更多的发展,所涉及的图书出版领域也越来越广。AR 技术融入图书,不仅拓展了书中世界的维度,而且可以帮助提升读者的阅读兴趣和空间想象能力。

蔡苏、宋倩和唐瑶^[72]实现了一个增强现实概念演示书,他们选取了中学物理中的单摆、牛顿第一定律、牛顿第二定律等实验进行虚实结合展示,学习者只需通过简单的设备,即能直观感受到平面书籍中所描述的实验场景,增强了学习者的兴趣。

Nd, Ryffel, Magnenat, Phane, Marra, Nitti, Kapadia, Noris, Mitchell 和 Gross^[73]运用 AR 技术对故事进行整合,开发了可让学习者自主讲故事创造情节的交互式图书,如图 22 所示。该应用有利于发展学习者的叙事能力和创造性思维。此外, Nd 团队还开发了一个增强现实涂色画本 Coloring Book,在学习者对书中的线稿进行涂色后,可反馈带所涂颜色的 3D 模型,如图 23 所示。使用增强现实的画本,极大激发了学习者的创造力。



图 22 交互式图书叙事界面图



图 23 Coloring Book 界面图

Al-Ali, Bazzaza, Zemerly and Ng^[74]开发了移动交互图书应用 My Vision AIR,在图书中运用增强现实呈现相应的图画、模型或视频,增加了阅读的趣味性。Cheng 和 Tsai^[75]制作了 AR 立体书,通过对故事中画面的扫描就可以呈现相应模型实景,改变了父母辅助儿童的阅读方式,促进亲子间共享关系的建立,如图 24 所示。



图 24 母亲辅助孩子阅读的立体书

2. 科技馆/博物馆

近年来,AR、VR 技术用于博物馆、科技馆或一些名胜古迹的展示已非常普遍。根据所发挥作用的不同,它分为展览式和导览式。前者是定点展览,参观者可以在固定的地方对应用进行体验,AR 技术的运用帮助呈现部分不易或无法真实展示的实物,丰富展出内容和形式;后者采用移动设备,在不同的展出位置给予不同的反馈,包括介绍、知识链接、模型、游戏等。AR 技术帮助整合了不同形式的资源,带给参观者更全面的游览体验。

比如,中国科技馆中的“天工开物”和“祖国山河”两个项目,应用增强现实技术可为参观的游客提供了一个良好的增强现实学习环境。“天工开物”的主体是一本大型魔法书,游客翻阅图书时,摄像头将自动扫描标识码,在显示器上形成相应历史文物的 3D 虚拟模型。这种方式让游客能够更直观的认识华夏时期的各种工具,并能够通过手动调整,对 3D 模型仔细观察,充分了解历史文物知识。“祖国山河”项目是一个中国地图拼图游戏,游客可以将某一省市的拼图置于摄像头下,系统会识别拼图上标识的信息,据此在拼图上叠加代表该省市的自然或人文景观的虚拟三维物体,并实时显示在屏幕上。当转动拼图时,所叠加的三维物体会同时在屏幕上做相对应的转动,可以更全面的观察三维物体。同时,在屏幕右侧会显示相应省市的民俗文化、地域特色等相关介绍。游客也可以将拼图一块块安装在大地图底板上,拼出一幅完整的中国地图。该项目借助增强现实

技术,使游客在游戏当中了解到我国各地区的民俗文化及地域特色,寓爱国主义教育于趣味游戏当中,同时使观众对增强现实技术有更直观的感受。

在台北故宫博物院的“纪念郎世宁来华 300 年”特展中,运用平板扫描画中的一部分,可以看到对画中花瓶和花卉的复原模型,如图 25 所示。AR 技术为欣赏画作的游客营造了穿越时空的体验,更充分表现出画作与实物的异同,体现出画作的艺术价值。在高雄的生活与科技博物馆中,游客进行全身扫描和选择台湾地区传统民族服饰后,AR 技术会呈现出游客身穿传统服饰的影像,从而帮助游客更直观地感受台湾地区的传统服饰,了解台湾地区的民族区域文化。



图 25 郎世宁画的 AR 显示效果

台南大学数位学习科技学系硕士郭俊峰^[76]以台南市的赤崁楼古迹为游戏互动据点,将虚拟世界与真实世界融合,融入科技性、文化性及游戏性等元素来设计“赤崁楼随境游戏活动”。使用无标记扩增实境技术(AR 在台湾地区被称为扩增实境)作为游戏内容开发工具,借此连结虚拟与现实环境,使参与者在游戏中进行更直观的探索,提升了参与者主动探索的意愿与动机。

四、增强现实学习环境的教学方式

根据上述这些应用案例,我们可以把增强现实学习环境的教学方式大致可以分为三类:基于角色扮演的的方法、基于位置的方法以及基于任务设计的方法。这三类教学方式不具排他性,在某些场合可以综合使用。通过使用适当的指导性方法,增强现实环境可以开发与预期的学习目标相一致的情境支持,同时影响学生学习的内容和方式。

(一) 基于角色扮演的 AR 教学

基于角色扮演的教学方式,通常让学习者在 AR 环境中扮演不同的角色,例如,多人参与的仿真模

拟、角色扮演等。这种方式通常与基于移动平台的AR、多人AR或者基于游戏的AR相关,它让不同角色的学习者在动态的系统里,对交互的内容进行操作,以强调学生之间的交互与合作。因此,学生之间的交互会影响这个系统的结果,以此考证基于AR的技术手段对学习的影响效果。

(二)基于位置的AR教学

基于位置的教学方式,更注重学习者和物理环境的交互,所以,具有地点登记技术的基于移动平台的AR是用于这种方式的常见案例。使用这些方式的AR环境能够充分利用移动技术的优势,通过移动装置和地理定位系统,当学习者到达确切的位置时,就有了将信息联系起来的途径^[77]。学生在“现实中”的感觉会更真实,不像在虚拟环境中在他们内心总有一个“这是虚拟的”潜在意识或暗示。因此,当在自己熟悉的真实环境中,对相关问题作出知情决策成为重要的学习目标时,学生就能够在第一时间获取基于当前地点的学习内容和周边环境信息,并能够通过同伴分享的方式进行认知强化^[78]。

(三)基于任务的AR教学

1. 基于游戏

基于游戏的学习,包括角色扮演、挑战活动、争夺空间以及系统中嵌入真实的资源和工具^[79]。游戏通常包括一个或一系列任务,具有娱乐、挑战和好奇心相结合的特征。例如,在 *Outbreak@ The Institute* 的AR游戏中^[80],学生一起合作来防止一种传染性病毒的进一步扩散。学生可以选择医生、医药技术人员和公众健康专家等不同角色扮演,并可以通过与虚拟角色之间的交互来收集真实信息,或通过从植入在系统中的真实资源和工具获取虚拟数据。

2. 基于问题

基于问题的学习,通常被用来促进自主学习、自我鼓励、解决问题的手段以及知识应用的技巧^[81]。学生在解决问题的任务之前进行游戏,基于游戏的和基于问题的活动都被包括在这种学习的模块内。在AR虚实融合的学习环境中,真实生活中的问题解决和游戏中的问题解决之间的界限变得模糊。

五、AR技术教育应用的挑战和展望

大量的实证研究的分析和讨论表明,AR技术在学习支持和教学上具有很大的潜力与应用前景。但也应该看到,AR技术在教育领域的应用过程中,尚有多种问题需要解决,已有的研究在研究设计和证

据的有效性方面都有其局限性。

比如,在传统的教学中,通过学生的阅读、老师的讲解,配合3D实物模型(如,一个网球,一根细线和一个手电筒)来学习太阳系的相关知识。研究该项目的学者分析了两堂课中老师的提问以及课后对老师的采访内容。他们发现,老师们能够意识到3D虚拟教学所带来的好处,他们认为,AR可以让学生轻易接触到平时难以接触到的物体。不过,Kerawalla, Luckin, Seljeflot 和 Woolard^[82]并没有研究过AR带来的虚拟3D学习体验,相对于真实环境下的3D模型操作是否大有裨益。更早期的两个化学教学的研究,可能更能够说明问题。Copolo 和 Hounshell^[83]就得出过结论,学生在用计算机和实物模型结合时的学习效果,远胜只用其中的任何一种。Wu, Krajcik 和 Soloway^[84]也认为,课堂教学中应该将计算机和实物模型结合使用,因为不同的学生对于不同类型的模型和符号会有不同的偏好。但我们仍需要更多的证据来支撑一个观点,即虚实融合的AR环境要好过真实环境中的实物模型或纯虚拟环境的虚拟模型。

可见,相比其他更成熟的技术在教育中的研究,目前,AR在教育中应用的研究总体尚在早期阶段,许多研究处于开发、易用并初步实现AR工具阶段。而且,AR教育应用的实证研究还处于相对比较简单、短期、小样本的探索设计阶段。一些研究在发展的早期阶段依赖于学习者自我陈述的可用性、偏好和效率来评价学习效果。例如,ARSC的研究^[85]、构建3D^[86]等。此外,目前研究所采用的方法主要是基于设计的研究^[87]和案例研究^[88-90],只有少数采用了准实验设计,如,运用增强现实的3D物理实验^[91],增强现实代数几何教育^[92],增强现实成人科学教育实践^[93],以及语言听说学习环境^[94]等。因此,还需要提供更多AR具有教育价值的证据,需要进一步控制和进行综合评价,包括大量样本和有效的仪器。

我们认为,未来的研究需要不断拓展,包括深入分析AR环境如何支持学习和教学,如何为研究者创造了机会去重新概念化一些重要的教育观念,如,语境、真实性和参与度等。这些AR环境强调学习者不同角色的参与,可以增强存在意识、直接浸入。例如,AR角色扮演让学生觉得东西在那里,并提供全面、真实的体验,这种体验只能在混合现实中实现。这些学习经验,可能会导致新的行为形式、情感和认知的参与^[95],而且在教育研究中恰恰需要被随时记录和不断地理论化。



此外,当前很多 AR 系统主要是教授科学、工程和数学等,其实 AR 的潜力可以拓展到更深的领域,比如,有特殊需求的学生、终身的学习者。Zhu, Cai, Ma 和 Liu^[96]就尝试使用自然交互设备结合 AR 技术训练自闭症儿童的精细动作和认知能力,实验证明具有比较好的效果。

纵观国际上对教育中的 AR 技术应用研究,大多尚属于经验性研究,其中以行动研究为主,体现在具体的案例教学中,包括具体教学活动的组织、实行以及学习效果测试等。换言之,现阶段对 AR 技术教育应用的研究,国内外均建立在经验型研究的基础上,都处于起步阶段。在这方面,国内外的差距不太大。因此,如果我们能够结合我国的具体教育实践,将教育、学习领域中的 AR 应用所遇到的问题逐个解决,并且对其在教学过程中所呈现的规律不断进行深入探究,经验型的研究可能会产生抽象的、系统的理论体系。从这一点来看,AR 学习环境带给我们的不仅仅是一个技术平台或工具,更可能是一种新的教学模式和方法的孕育。

[参考文献]

[1]Migram P., Takemura H., Utsumi A., et al. Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum[J]. *Spie*, 1994, 2351(34): 282-292.

[2]Azuma R. T.. A survey of augmented reality [J]. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1997, 6(4): 355-385.

[3]Watson J. B.. Psychology as the behaviorist views it[J]. *Psychological Review*, 1913, 20(2): 158.

[4]Oiaget J.. The stages of the intellectual development of the child[J]. *Educational Psychology in Context: Readings for Future Teachers*, 1965:98-106.

[5]Jonassen D. H.. Thinking technology: Toward a constructivist design model[J]. *Educational Technology*, 1994, 34(4): 34-37.

[6]Arvanitis T. N., Petrou A., Knight J. F., et al. Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities [J]. *Pers Ubiquit Comput*, 2009, 13(3): 243-250.

[7][82]Kerawalla L., Luckin R., Seljeflot S., et al. "Making it real": Exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science[J]. *Virtual Reality*, 2006, 10(3-4): 163-174.

[8]Fjeld M., Voegtli B.. Augmented chemistry: An interactive educational workbench[J]. *Proceedings of International Symposium On Mixed and Augmented Reality*, 2002:259-260.

[9]Clark A., D.Nser A., Grasset R.. An interactive augmented reality coloring book[J]. *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 2011:259-260.

[10][54]Cai S., Chiang F.-K., Sun Y., et al. Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction[J]. *Interactive Learning Environments*, 2016:1-14.

[11]Broll W., Lindt I., Herbst I., et al. Toward next-gen mobile AR games[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2008, 28(4): 40-48.

[12][88]Dunlevy M., Dede C., Mitchell R.. Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2009, 18(1): 7-22.

[13][15][18][79][89]Squire K., Klopfer E.. Augmented reality simulations on handheld computers[J]. *J Learn Sci*, 2007, 16(3): 371-413.

[14][16][77]Klopfer E.. Augmented learning: Research and design of mobile educational games[M]. *Mit Press*, 2008.

[17][23]Squire K. D., Jan M.. Mad City Mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2007, 16(1): 5-29.

[19]Nagata S. F.. Multitasking and interruptions during mobile web tasks [J]. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting*, 2003, 1341-1345.

[20]Roda C., Ythomas J.. Attention aware systems: Theories, applications, and research agenda[J]. *Computers in Human Behavior*, 2006, 22(4): 557-587.

[21]Birchfield D., Megowan-Romanwicz C.. Earth Science Learning in smallab: A design experiment for mixed reality[J]. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 2009, 4(4): 403-421.

[22][31]Bronack S. C.. The role of immersive media in online education [J]. *Journal of Continuing Higher Education*, 2011, 59(2): 113-117.

[24]Kotranza A., Lind D. S., Pugh C. M., et al. Real-time in-situ visual feedback of task performance in mixed environments for learning joint psychomotor-cognitive tasks[J]. *IEEE International Symposium on Science & Technology*, 2009:125-134.

[25][26]Dede C.. Immersive interfaces for engagement and learning[J]. *Science*, 2009, 323(5910): 66-69.

[27]Chang H. Y., Wu H. K., Hsu Y. S.. Integrating a mobile augmented reality activity to contextualize student learning of a socioscientific issue[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2013, 44(3): E95-E99.

[28]Li S., Shen Y., Wang P., et al. A case study of teaching probability using augmented reality in secondary school[M]. *Proceedings of the 24th International Conference on Computers in Education*. India, 2016.

[29][55][91]Cai S., Chiang F.-K., Wang X.. Using the augmented reality 3D technique for a convex imaging experiment in a physics course [J]. *Int J Eng Educ*, 2013, 29(4): 856-865.

[30]Sotiriou S., Bogner F. X.. Visualizing the invisible: augmented reality as an innovative science education scheme[J]. *Adv Sci Lett*, 2008, 1(1): 114-122.

[32]Lederman N. G., Lederman J. S.. The next generation science standards: implications for preservice and inservice science teacher education[J]. *Journal of Science Teacher Education*, 2014, 25(2): 141.

[33]Wang P., Oytang S., Zhang X., et al. A Study on Campus Cultural Learning and Navigation System Using Mobile Augmented Reality and Location Based Services[C]// *E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education*, 2014.

- [34][65]He J., Ren J., Zhu G., et al. Mobile-based AR application helps to promote EFL children's vocabulary study [C]//2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies, 2014.
- [35]Pei L. S., Cai S., Shi P. F.. Mobile campus touring system based on AR and GPS: A case study of campus cultural activity[M]. Indonesia: 21st International Conference on Computers in Education, 2013: 518-526.
- [36]Chien C.H., Chen C-H., Jeng T-S.. An interactive augmented reality system for learning anatomy structure[C]//AO S I, CASTILLO O, DOUGLAS C, et al. International Multiconference of Engineers and Computer Scientists, 2010: 370-375.
- [37]Lee H. S., Lee J. W.. Mathematical education game based on augmented reality[J]. Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, 2008: 442-450.
- [38]Salinas P., Gonz Lez-Mend Vil E., Quintero E., et al. The development of a didactic prototype for the learning of mathematics Through Augmented Reality[J]. Procedia Computer Science, 2013 (25):62-70.
- [39]Barraza Castillo R. I., Cruz S. Nchez V. G., Vergara Villegas O. O.. A pilot study on the use of mobile augmented reality for interactive experimentation in quadratic equations[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015.
- [40]Banu S. M.. Augmented reality system based on sketches for geometry education[C]//International Conference on E-learning & E-technologies in Education, 2012.
- [41]Liao Y-T, Yu C-H, Wu C-C. Learning geometry with augmented reality to enhance spatial ability [C]// International Conference on Learning & Teaching in Computing & Engineering, 2015.
- [42][86][92]Kaufmann. Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality[J]. Computers & Graphics, 2003, 27(3): 339-345.
- [43]Kaugmann H., Schmalstieg D.. Designing immersive virtual reality for geometry education[C]//The Virtual Reality Conference, 2006.
- [44]Liarokapis F., Mourkoussis N., Prytridis P., et al. An interactive augmented reality system for engineering education[C]//The 3rd Global Congress on Engineering Education, 2002.
- [45]Baritz M., Cotoros D., Morau O.. Virtual and augmented reality for mechanism motion modeling in technical applications [C]// The 7th WSEAS International Conference on Signal Processing, Computational Geometry & Artificial Vision. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 2007.
- [46]Baritz M., Cotoros D., Moraru O.. Virtual and augmented reality used to simulate the mechanical device[J]. Annals of DAAAM & Proceedings, 2007:3-61.
- [47]Kaufmann H., Meyer B.. Simulating educational physical experiments in augmented reality[M]. ACM SIGGRAPH ASIA 2008 educators programme. Singapore; ACM, 2008: 1-8.
- [48]Ye Z., Mohamadian H., Stubblefield M0, et al. Technical practice on virtual reality and augmented reality for electrical and mechanical engineering education[C]// The 2008 WSEAS Conference on Education and Educational Technology, 2008.
- [49]IB EZ M. B., DI Serio A., Villar N. D., et al. Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness[J]. Computers & Education, 2014(71):1-13.
- [50]Andujar J. M., Mej AS A., Marqez M. A.. Augmented reality for the improvement of remote laboratories: an augmented remote laboratory [J]. Education, IEEE Transactions on, 2011, 54(3): 492-500.
- [51]Borrero A. M., M. Rquez J. A.. A pilot study of the effectiveness of augmented reality to enhance the use of remote labs in electrical engineering education[J]. Journal of science education and technology, 2012, 21(5): 540-557.
- [52]Mannus F., Rubel J., Wagner C., et al. Augmenting magnetic field lines for school experiments [C]//The Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium, 2011.
- [53]Matsutomo S., Miyauchi T., Noguchi S., et al. Real-time visualization system of magnetic field utilizing augmented reality technology for education[J]. Magnetics, IEEE Transactions on, 2012, 48(2): 531-534.
- [56]Enyedy N., Danish J. A., Delacruz G., et al. Learning physics through play in an augmented reality environment[J]. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 2012, 7 (3): 347-378.
- [57]Hsiao K-F, Chen N-S, Huang S-Y. Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents[J]. Interactive Learning Environments, 2012, 20(4): 331-349.
- [58]Asai K., Kobayashi H., Kondo T.. Augmented instructions—a fusion of augmented reality and printed learning materials[C]//Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2005.
- [59]Asai K., Kondo T., Kobayashi H., et al. Augmented instructions for learning molecular structures[C]//The Proc EUROMEDIA, 2006.
- [60][90]Cai S., Wang X., Chiang F-K. A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course[J]. Computers in Human Behavior, 2014(37):31-40.
- [61]Chiang T. H., Yang S. J., Hwang G-J. Students'online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities[J]. Computers & Education, 2014, 78:97-108.
- [62]Hsiao H. S., Chang C. S.. Weather observers: a manipulative augmented reality system for weather simulations at home, in the classroom, and at a museum[J]. Interactive Learning Environments, 2016, 24(1): 1-19.
- [63]Wang X., Elzakker C. P. J. M. V., Kraak M. J.. User requirements analysis for a mobile augmented reality tool supporting geography fieldwork[M]. Springer International Publishing, 2016.
- [64]Barreira J., Bessa M., Pereira L. C., et al. MOW: Augmented Reality game to learn words in different languages: Case study: Learning English names of animals in elementary school [C]//The Conference on Information Systems & Technologies, 2012.
- [66]Bhadra A., Brown J., KE H, et al. ABC3D ??? Using an augmented reality mobile game to enhance literacy in early childhood[C]// The 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2016.
- [67]Santos M. E. C., L. Bke A. I. W., Taketomi T., et al. Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning[J]. Research & Practice in Technology Enhanced Learning, 2016, 11 (1): 1-23.
- [68]Mart N-Guti Rrez J., LU S. Saor N. J., Contero M., et al. Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students[J]. Computers & Graphics, 2010, 34



(1): 77-91.

[69]LL W., HH W., N. B., et al. Gunner goggles: Implementing augmented reality into medical education[J]. *Studies in health technology and informatics*, 2016, 220:446-449.

[70]Anastassova M., PAN ELS S., Souvestre F.. Methods for user involvement in the design of augmented reality systems for engineering education[M]. Springer International Publishing, 2016.

[71]Billinghurst M., Kato H.. Collaborative augmented reality[J]. *Communications of the ACM*, 2002, 45(7): 64-70.

[72]蔡苏, 宋倩, 唐瑶. 增强现实学习环境的架构与实践[J]. *中国电化教育*, 2011(08): 114-9+33.

[73]ND F., Ryffel M., Magnenat S., et al. Augmented creativity: bridging the real and virtual worlds to enhance creative play [C]//The SIGGRAPH Asia 2015 Mobile Graphics and Interactive Applications, 2015.

[74]AL-ALI H, Bazzaza M. W., Zemerly M. J., et al. My vision air: An augmented interactive reality book mobile application [C]//The 2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2016.

[75]Cheng K. H., Tsai C. C.. The interaction of child - parent shared reading with an augmented reality (AR) picture book and parents' conceptions of AR learning[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2014.

[76]郭俊峰. 社群网站与扩增实境融入史地随境游戏之成效研究 [D]. 台南: 国立台南大学. 2016.

[78]DE Lucia A., Francese R., Passero I., et al. A collaborative augmented campus based on location-aware mobile technology[J]. *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*, 2012, 10(1): 55-73.

[80]Rosenbaum E., Klopfer E., Perry J.. On location learning: Authentic applied science with networked augmented realities[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 2007, 16(1): 31-45.

[81]LIU T. Y.. A context-aware ubiquitous learning environment for language listening and speaking [J]. *Journal of Computer Assisted*

Learning, 2009, 25(6): 515-527.

[83]Copolo C. E., Hounshell P. B.. Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry[J]. *Journal of Science Education and Technology*, 1995, 4(4): 295-305.

[84]Wu H. K., Krajcik J. S., Soloway E.. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom[J]. *Journal of Research in Science Teaching*, 2001, 38(7): 821-842.

[85]EL Sayed N. A. M., Zayed H. H., Sharawy M. I.. ARSC: Augmented reality student card An augmented reality solution for the education field[J]. *Comput Educ*, 2011, 56(4): 1045-1061.

[87]Klopfer E., Squire K.. Environmental detectives—the development of an augmented reality platform for environmental simulations [J]. *Etr&D-Educ Tech Res*, 2008, 56(2): 203-228.

[93]Hsiao K. F., Chen N. S., Huang S. Y.. Learning while exercising for science education in augmented reality among adolescents[J]. *Interactive Learning Environments*, 2012, 20(4): 331-349.

[94]Liu T. Y.. A context-aware ubiquitous learning environment for language listening and speaking[J]. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2009, 25(6): 515-527.

[95]Wu H. K., Huang Y. L.. Ninth-grade student engagement in teacher-centered and student-centered technology-enhanced learning environments[J]. *Science Education*, 2007, 91(5): 727-749.

[96]Zhu G., Cai S., Ma Y., et al. A series of leap motion-based matching games for enhancing the fine motor skills of children with autism[C]//The Advanced Learning Technologies (ICALT), 2015 IEEE 15th International Conference on, 2015.

[作者简介]

蔡苏, 博士, 北京师范大学教育学部硕士生导师, 研究方向为虚拟现实和增强现实在教育中的应用、先进网络教学平台、STEM教育; 王沛文, 北京师范大学教育学部硕士研究生; 杨阳, 北京师范大学教育学部本科生; 刘恩睿, 北京师范大学教育学部硕士研究生。

Review on Augmented Reality in Education

Cai Su^{1,2}, Wang Peiwen², Yang Yang²& Liu Enrui²

(1. Beijing Advanced Innovation Center for Future Education, Beijing Normal University;

2.School of Educational Technology, Faculty of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875)

[Abstract] Augmented Reality (AR) is an extend of Virtual Reality. The presentation of AR, which is based on real world scenes and enhanced by virtual data, provides a more intuitive and natural way to teach and interact with information, and creates a powerful space for exploration. The features of AR, as well as the potential in education are: (1) visualizing abstract learning content; (2) supporting contextual learning in ubiquitous environment; (3) enhancing learners' immersion, intuition and concentration; (4) interacting learning objects in a natural way; (5) combining traditional and new learning style. There are many case studies of AR application from discipline classification and informal learning, in which the instructional approaches can be classified into three major categories: role-based, locations-based and tasks-based. Of course, the application of AR technology in education is facing a number of challenges and opportunities.

[Keywords] Augmented reality; AR; Virtual reality; VR; Learning environment; Informal learning; Game-based learning.

收稿日期: 2016年7月3日

责任编辑: 陶侃