

Virtual Reality Teaching Platform

Shenghuai Xu Shengzhe Tang Yuhao He Zeyu Lu Xingzhuo Chen

Shanghai University of Engineering Science, School of Aviation, Shanghai, 201620, China

Abstract

Regarding the prominent issue of excessively high costs and difficulties in large-scale adoption of VR technology in the current education field, this study aims at exploring a novel approach to realize the value of VR education with minimal resource investment possible. It proposes and constructs a low-cost VR teaching solution based on smartphones. By reusing personal equipment and key technologies such as 3D-printed headsets to achieve core functionalities, 3DoF head tracking, in teaching scenarios, while cost per device (excluding the phone) is only around 400 RMB. The system adopts a three-layer structure of "hardware-software-content", which makes it much easier for students in developing areas to achieve public VR education. Thus, the system has a significant potential for promotion and educational equity.

Keywords

virtual reality; educational technology; low-cost design; smartphone; immersive learning

虚拟现实教学平台

徐盛怀 汤晟喆 何宇昊 鹿泽宇 陈星卓

上海工程技术大学航空运输学院, 中国·上海 201620

摘要

针对当前教育领域VR技术应用成本过高、难以大规模普及的突出问题。本研究旨在探索以最小资源投入实现VR教育核心价值的新型路径, 提出并构建了一套基于智能手机的低成本VR教学解决方案。通过聚焦核心功能、复用用户资源及适配教学场景的设计原则, 采用3D打印头显外壳、智能手机复用及3DoF头部追踪等关键技术, 将单台设备成本(不含手机)控制在400元级别。系统采用"硬件层-软件层-内容层"三层架构, 该方案能有效降低VR教育应用门槛, 为资源匮乏地区提供了普惠型教学实践路径, 具有良好的推广价值与教育公平意义。

关键词

虚拟现实; 教育技术; 低成本设计; 智能手机; 沉浸式学习

1 引言

随着教育信息化2.0时代的深入推进, 虚拟现实(VR)技术凭借其独特的沉浸式体验特性, 正在全球教育领域展现出前所未有的应用前景与巨大潜力。然而, 当前专业级VR设备的采购成本普遍较高, 动辄数千元甚至上万元的硬件投入, 以及伴随而来的高昂年费与维护支出, 构成了阻碍其大规模普及与应用的主要经济瓶颈。根据市场调研数据统计, 目前适用于教育场景的主流VR头显设备平均价格超过2000元每台, 若以常规班级规模配置计算, 单次投入成本往往高达10万元以上, 这一数字显著超出了大多数普通中小学及部分高等院校的年度设备预算范围。

不仅如此, 现有的VR系统普遍存在较强的封闭性和技术壁垒, 内容定制与二次开发的复杂度较高, 对师资技术能力和学校IT支持提出了较高要求, 这使得许多资源相对

有限的高校, 以及经济条件欠发达的地区难以承担相应的综合成本。因此, 尽管VR教学在激发学习兴趣、提升认知效果方面优势明显, 其在实际教学环境中的推广仍面临重重现实障碍。

值得关注的是, 当前智能手机在高校学生群体中的普及率接近100%, 这些移动设备不仅具备足够的计算性能和高清显示能力, 有的甚至能支持运行基础级别的VR应用程序。在这一现实背景下, 本研究选题立足于“以学生兴趣为驱动、鼓励自主探究与实验、注重实践体验过程”的教育理念, 旨在探索一种能够以最小资源投入实现VR教育核心价值的新型路径。

具体来说, 本项目通过有意简化复杂的交互设计与高成本硬件依赖, 将研发重点聚焦于构建基础而有效的沉浸式学习环境, 力求在技术实现与成本控制之间找到最佳平衡点, 进而验证低成本VR教学解决方案的实际可行性与教育有效性。最终, 本项目致力于通过技术方案的轻量化与低成本化, 降低VR教学的应用门槛, 为资源分配不均的地区和

【作者简介】徐盛怀(2004-), 男, 中国安徽繁昌人, 从事飞行技术研究。

学校提供可行、易操作的普惠型 VR 教学实践方案，并为更广泛的教育主体提供一套可复制、易推广的轻量化参考模型，进一步推动 VR 技术在教育领域的公平与深度应用。

2 相关研究现状

近年来，低成本 VR 教育应用研究主要集中在三个方向：一是基于 Google Cardboard 的教学改造应用，如 Smith 等 (2017) 将其用于解剖学教学，虽成本控制在 50 美元以内，但交互体验受限^[1]；二是开源硬件优化方案，如 MIT 媒体实验室开发的 OpenSourceVR 项目，通过简化传感器配置将成本降至 300 美元，但仍远高于中国普通教育机构承受能力^[2]；三是云端渲染方案，如 NVIDIA CloudXR 技术，虽可降低终端成本，但对网络带宽要求苛刻（需 50Mbps 以上稳定连接），这对于网络环境复杂，可用带宽量小的教育网络环境中来说难以普及^[3]。

国内研究方面，王同聚 (2018) 系统分析了 VR 教育应用的技术路径，指出硬件成本控制是关键突破点^[4]；李华等 (2020) 提出“手机+简易头显”的教学应用模式，但未形成完整的系统解决方案^[5]。综合现有研究，缺乏一套兼顾低成本、良好用户体验和完整教学功能的 VR 教育系统，这正是本研究的核心切入点。

3 系统总体设计

研究遵循三项核心原则：首先是核心功能聚焦，将开发重点放在保障高质量的沉浸式视觉呈现上，优先确保基础观看体验的流畅与清晰，而将复杂的空间定位与手势交互功能暂时列为远期拓展目标，以降低初期开发难度；其次是用户资源复用，充分利用学生已有的智能手机作为核心计算与显示单元，避免额外采购高性能终端设备，显著降低了使用门槛与整体成本；第三是教学场景适配，内容设计主要针对“观察型教学”场景（如历史场景重现、微观结构观察、宏观现象演示等），充分发挥 VR 在视觉呈现方面的优势，同时明确规避因硬件成本限制而在操作交互类场景中可能存在的体验不足。这三项原则彼此支撑，共同构成了系统设计的底层逻辑，确保在有限成本约束下实现最优的教学应用价值。

传统 VR 设备的成本主要集中在高刷新率显示屏、高精度空间定位传感器和专用图形处理器等方面。为有效控制成本，本研究通过多个途径实现设备简化：显示单元复用学生自备智能手机屏幕（其典型分辨率已可满足 VR 内容清晰度要求）；交互方面舍弃了 6DoF（六自由度）空间定位功能，转而利用智能手机内置的陀螺仪实现 3DoF（三自由度）头部转动追踪，在保证基础沉浸感的同时大幅降低硬件复杂度；结构方面通过 3D 打印技术与模块化设计，自主加工头显外壳与光学镜片支架，显著降低生产开模与装配成本。这些关键技术策略有效将单台设备成本（不包括智能手机）控制在 400 元级别，为教育场景中的大规模推广奠定基础。

在体系架构上，设备采用“硬件层—软件层—内容层”三层结构：硬件层主要包括自制的 VR 头显（含光学透镜模块、舒适性头带及调焦机构）与用户智能手机（承担核心显示与计算任务）；软件层主要通过智能手机陀螺仪传感器以实现 3DoF 头部追踪功能集成、支持全景视频播放及教学资源管理的轻量应用系统；内容层则涵盖各类已开发的教学模块，并支持教师通过平台自行上传符合规范的 360° 视频资源。该架构层次清晰，各层之间通过标准化接口进行通信，既确保系统模块化与可扩展性，也便于后续维护与功能迭代。

基于实际教学需求的分析与多次原型测试，系统设定了如下关键技术参数：显示性能方面，视场角不小于 90°，以平衡沉浸感与设备体积，头显内部结构需兼容 5.5-6.5 英寸的主流智能手机尺寸；在体验方面，通过实际测试验证，连续使用时长超过 45 分钟（典型课堂时长）时，用户发生虚拟现实眩晕的概率低于 10%。这些参数在保障基本可用性与舒适度的同时，也避免因过高性能指标导致不必要的成本增加。

4 软件与内容开发

在软件层面，可基于 Unity 2020 引擎开发轻量级 3DoF 交互系统，整合智能手机陀螺仪与加速度计数据，采用卡尔曼滤波算法进行信号去噪与数据融合，建立稳定的头部姿态—画面视角映射机制。为进一步降低延时，可引入帧预测与异步渲染技术，通过预计算下一帧图像并结合延时补偿算法，将动作到显示的感知延迟控制在 0.2 秒以内，从而在普通智能手机性能条件下仍能满足实时交互的基本要求。

配套的内容管理平台应具备教师上传与管理教学资源的功能。上传的 360° 视频可自动进行畸变校正与左右分屏处理，以适配 VR 观看模式；平台还应提供课程编辑工具，支持教师在视频时间轴上嵌入知识点标签、插入测试题目，便于课堂互动与课后复习；同时，系统应集成学习行为分析模块，记录如观看时长、注意力分布、交互热点等数据，并自动生成学习报告，为教学效果评估提供依据。

内容开发应聚焦于需求较高的三类教学场景：理工实验、历史重现与科学现象演示。在项目试点阶段，团队已开发了如下典型示例：在理工实验类中，“牛顿力学模拟”展示运动定律的实际应用，“化学反应过程”提供 360° 观察实验变化的角度；历史类内容包括“古罗马斗兽场”和“丝绸之路”场景再现，增强历史情境的代入感；科学现象类则涵盖“太阳系行星运行”和“细胞有丝分裂”等微观与宏观现象的可视化表达。每个教学单元通常包括 8-12 分钟的沉浸视频、3-5 个交互式知识点环节和 5 道课后标准测试题。以“细胞分裂”单元为例，学生可自主选择视角观察细胞结构变化，系统在关键阶段自动暂停并弹出解析，最后以交互问答巩固学习内容。

5 系统测试与应用评估

通过在实验班级进行实际应用并收集用户反馈，共回收 221 份有效问卷。问卷统计显示，87% 的学生认为 VR 教学显著提升了学习兴趣与课堂专注度。实际采集的陀螺仪数据显示，学生平均注视时长明显增加，专注度从传统课堂的 65% 提升至 83%，增长率达 28%。在开放式反馈中，学生普遍评价 VR 教学“生动直观”“富有新鲜感”“能展现传统教学中难以触及的细节”，表明沉浸式体验对激发学习动机具有积极作用。

在知识掌握效果方面，在成果方面，通过详细的单元测试成绩对比分析，实验组学生的平均得分达到了 82.5 分，相较于未使用 VR 设备的对照组平均得分 76.3 分，提高了 8.1%。尤其在涉及“空间结构类知识”（例如有机分子的立体构型、天体运行的具体细节等抽象空间概念）的测试项目中，两组之间的得分差距进一步扩大，平均分差达到 12.3 分。这一结果充分表明，VR 技术在空间知识的可视化表征方面具备独特优势，能够有效帮助学生构建直观的空间认知模型，从而显著增强对复杂知识体系的理解与记忆，最终提升整体学习效果。

在成本效益方面，分析显示单台 VR 设备的年均使用成本（包括日常耗材更换及基础维护）仅约为 50 元，相比商用级 VR 设备（年均使用费加维护成本通常超过 800 元）降低了 93.75%。以一个 50 人规模的班级为例，若全面部署该低成本方案，初期投入购买就可节约 10 万元以上，预计三年内在维护上的总成本就可节约高达 11.2 万元。这一显著的成本优势，为教育机构在资源有限条件下推动 VR 技术的大规模应用提供了坚实的经济可行性与现实操作性。

6 局限性及未来优化方向

当前采用的 3DoF 方案仅支持视角的旋转控制，无法实现学生在虚拟环境中的自由移动，或对虚拟对象进行抓取、操作等更复杂的交互行为。由于交互能力有限，手机算力有限，该系统目前难以适用于化学实验操作、物理实验操作等强调学生进行及时、准确的操作，且对运算模块的速度与精度有高要求的实践类教学场景。其次，设备依赖性较强，不同品牌和型号手机的陀螺仪精度存在差异，可能导致用户体验不一致，例如部分低端机型可能出现响应延迟与跟踪不准的问题。最后，虽然和传统 VR 内容制作相比，已十分简便，但仍存在一定技术门槛，普通教师需掌握 360° 视频拍摄及后期处理技能。

为应对上述挑战，可实施多路径优化策略。例如可引入蓝牙手柄适配，以支持基础的点选和交互操作，逐步丰富系统的输入方式；借助云端计算与渲染能力，降低对终端硬件性能的依赖，从而保障高质量 VR 内容的流畅运行；开发基于 AI 算法，易于使用的移动端快速编辑工具，将普通全景视频便捷转换为 VR 教学资源，降低对使用者的技能需求。这些改进措施都可在小幅增加成本的前提下，显著提升系统功能与用户体验。

针对不同的教育应用场景，建议采取差异化实施策略。在高校教学中，本系统可作为专业 VR 设备的入门体验工具，帮助学生初步建立对虚拟教学平台的认知；在基础教育领域，则可优先于科学、历史等视觉化潜力较大的学科开展试点，逐步拓展应用范围，甚至通过云端共享课堂，将优质教学资源引入资源薄弱地区，从而提升社会整体教育公平性与资源覆盖水平。

7 结论与展望

综上所述，本研究通过技术创新与系统优化，成功构建出一套基于智能手机的低成本 VR 教学解决方案，有效降低了 VR 教育应用的经济与技术门槛。该平台已在多个实际教学场景中得到验证，表现出良好的适应性与实用价值，尤其为资源受限环境提供了促进教育公平的新途径。未来的研究将致力于提升交互自由度，探索轻量级 6DoF 实现方案，并持续优化跨设备兼容性。随着 5G 网络及边缘计算技术的发展，云端渲染有望进一步降低延迟、扩大覆盖范围。同时，可通过引入 AI 辅助内容生成工具降低教师参与难度，不断丰富 VR 教学资源生态，推动 VR 教育向更高质量、更广范围的方向持续发展。

参考文献

- [1] Smith, J., et al. (2017). Low-cost VR applications in anatomy teaching using Google Cardboard. *Journal of Educational Technology*, 45(3), 123-135.
- [2] MIT Media Lab. (2016). OpenSourceVR: A low-cost VR hardware optimization project. MIT Press.
- [3] NVIDIA. (2020). NVIDIA CloudXR: A cloud-based rendering solution for VR applications. NVIDIA Technical Report.
- [4] 王同聚. (2018). VR教育应用的技术路径分析与硬件成本控制研究. *现代教育技术*, 28(5), 45-52.
- [5] 李华, 等. (2020). “手机+简易头显”VR教学应用模式研究. *中国教育信息化*, 26(10), 78-84.