

《虚拟仿真技术在 5G 通信中的教学应用研究》

课题研究总报告

一、序言

GSMA 与中国信息通信研究院联合发布了《中国 5G 垂直行业应用案例（2020）》研究报告。报告汇集了中国领先的 5G 行业应用实践，涵盖教育、医疗等诸多领域。自 2019 年 5G 商用以来，这一新技术如何与教育真正结合，一直让人迷惑。而本次入选的“5G 云 VR 教育应用”、“中国慕课大会 5G+超远程虚拟仿真实验”均来自于实际操作的案例，并已进入商用阶段，标志着 5G+教育不再只是人们头脑中的幻想。我校也积极推动 5G 应用落地，并且加入了广东省教育研究院的“5G+智慧教育”课题的研究实践。

作为通信技术发展的最新阶段，5G 以更大的带宽、更高的网速，在应用领域可以衍生出完全不同于 4G 时代的产业，5G 网络的场景应用分为三波段：EMBB（高带宽）、MMTCL（大联接）、URLLC（高可靠&低延迟）。其中包括云计算、物联网、数字孪生等。在 5G 通信技术逐步成熟的今天，通信技术的进步，高质量的数据传输，给虚拟仿真技术带来了传输快、安全性高、真实感强等特点，已成为现代教育领域不可缺少的组成部分。原来老师黑板写，学生底下记的时代已经过去。各种层出不穷的虚拟仿真实训平台、虚拟仿真动画、网络课程，提升了现代教育的实力，改变了现代教育的理念，升华了现代教育的层次。一系列计算机虚拟仿真技术在现代教育的应用发挥着不可替代的作用。做好现在教育领域仿真技术的研究与应用，是对当代教育领域新的发展空间的拓展，具有划时代的意义。

现代教学方法有了很大的进步与发展，无论从形式还是内容都较传统教学有所提高。而对于实操技术性强的专业课，中职实训教学存在“高投入、高耗材、难观摩、难再现”问题，如遇疫情等特殊情况，实训教学效果更是无法保障。随着计算机技术，多媒体技术和网络技术的深入发展，虚拟技术逐渐由商业环境走向现代的教育教学领域。无论是幼儿园、小学、初中、高中、大学，还是各种各样的培训机构，都涉及到现代多媒体虚拟仿真技术的产物。大众对虚拟教学仪器环境和人类文明的认知不能仅仅局限于一般的浏览，在试验、教学仪器、管理、校园生活等因素基础上三维立体仿真教育系统应运而生。一个完整的虚拟校园教育体系真实、交互的特点正好是虚拟仿真技术的精髓和魅力所在，也将会对教育方式的变革起到极大推动作用，将会为教育事业增添强大的生命力。

二、理论依据

国务院印发《国家职业教育改革实施方案》第九条为“坚持知行合一、工学结合。”其中提到适应“互联网+职业教育”发展需求，运用现代信息技术改进教学方式方法，推进虚拟工厂等网络学习空间建设和普遍应用。

20世纪二、三十年代传到中国的“从做中学”理论中的三个核心命题是“教育即生活”、“教育即生长”、“教育即经验的改造”。在教育家杜威看来，“从做中学”充分体现了学与做的结合，也就是知与行的结合。美国教育家戴尔提出了视听教育理论《经验之塔》。戴尔把人类的学习经验按照抽象程度分为三大类十个层次（如图1所示）。他认为，经验之塔最底层的经验，是最直接最具体的经验，越往上层，则越趋于抽象；教育应从具体经验入手，逐步过渡到抽象；

教育不能停留在获得具体经验的阶段，而必须把具体经验普遍化，上升到概念，进一步指导实践。位于塔底层的直接经验，比中层的视听教具更能为学生提供较具体的、易于理解的经验。

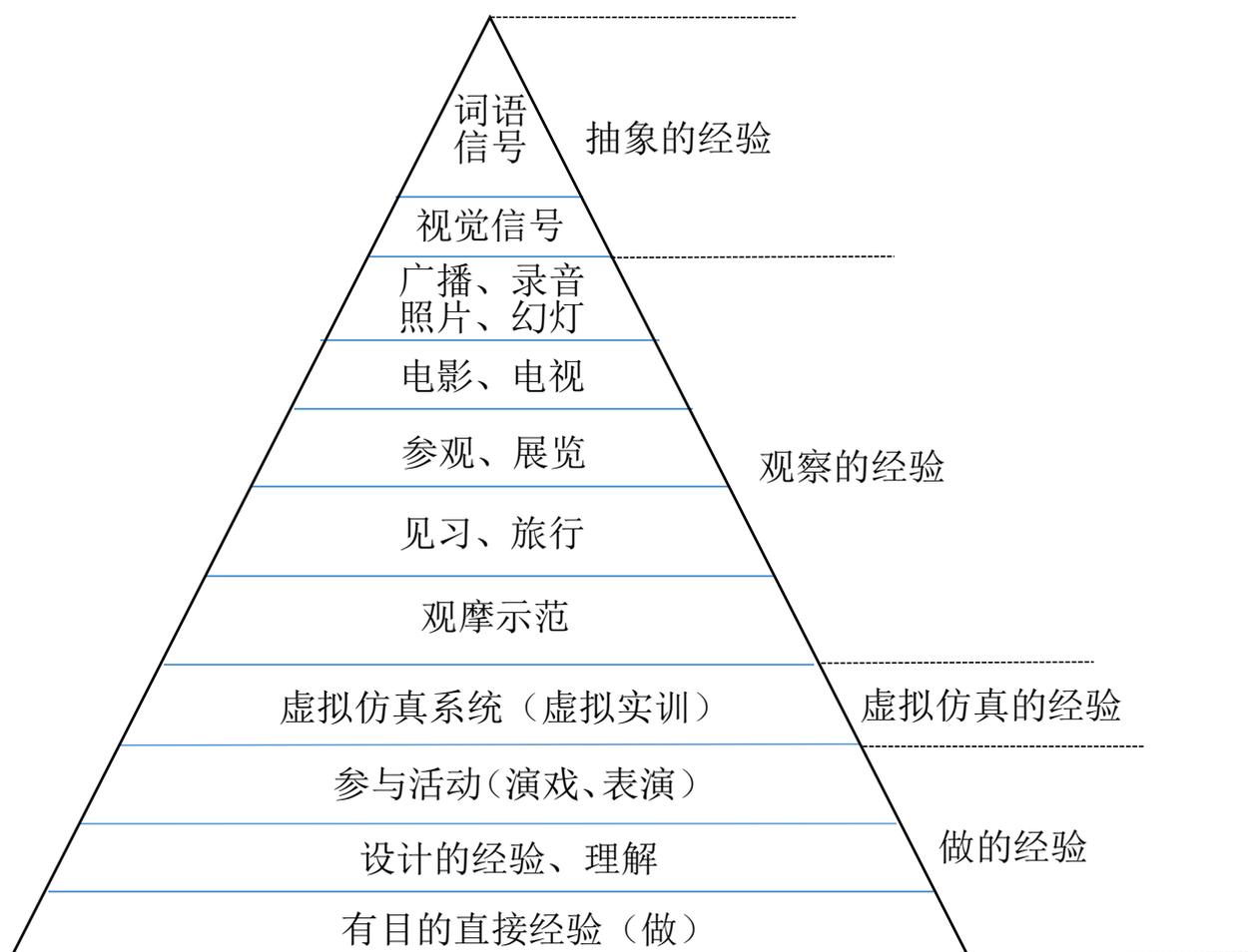


图 1 虚拟仿真经验处于“经验之塔”中的位置

三、研究方法

本研究主要采用课程观察法、问卷调查法和访谈法等方法展开。

(1) 实地考察法：通过项目实地方案考察，了解 5G+虚拟仿真教学的具体实施情况，记录师生的课堂教学行为，分析虚拟实训的教学效果以及虚拟仿真在教学中的作用与不足。

(2) 问卷调查法：通过对学生进行虚拟仿真教学反馈调查，了解学

生对知识技能的掌握程度以及对虚拟仿真教学的态度，分析电梯虚拟仿真教学的效果。

(3) 访谈法：通过对执教教师的访谈，了解中职实训教学中存在的问题，获得传统实训课堂与虚拟仿真实训课堂中学生的学习兴趣、态度以及技能的掌握情况，从而推测虚拟仿真给实训教学带来的变化；同时，获得教师对虚拟仿真教学的认识和看法，为进一步改善虚拟仿真教学提供建设性意见。

四、研究过程概述

5G 技术教育领域的应用

(一) “5G +远程课堂” 趣味交互

5G 技术具有高速率、低时延、大带宽等优势，为 AI、VR/AR、云计算、大数据等信息技术与教育教学的深度融合提供了强大的网络支持。其通信将不再仅局限于人与人，而是从人与人转向人与物的交流，甚至延伸到机器与机器的交互。5G 技术的超高网速带动了人工智能、VR 技术的快速发展。三者相辅相成，运用到智慧教育中，让学习有了更逼真的沉浸式体验感。

(1) 5G+AR/VR 远程直播更生动

5G+AR/VR，使远程教育更有趣、生动。教学内容海量共享、教学素材丰富多样，学生与教师相隔万里也能够充分互动，极大地提高了教学效率和教学质量。在多维度虚拟教育场景构建中，远程教学将 5G、全息远程技术、AR/VR 和课堂教学相融合，让学习者可以沉浸其中，有更真实的体验，提高了学生的专注度。教室要实现 5G 信号覆

盖，学生佩戴 VR 眼镜，心随景动，仿佛置身真实场景。5G 将以其高速率、大带宽、低时延的特性给师生带来更加身临其境的直播效果，仿佛亲临现场来感知环境、模拟场景、沉浸体验，大大缩短了知识与现实的距离。5G 还可以将远程学习与远程互动相融合，在模拟的真实场景中进行教学，升级学习体验，提升教学质效。例如，2019 年 4 月，网龙网络公司就为位于武汉和福州两地的学生，带来一堂别开生面的 5G 远程物理公开课，效果很好。

（2）“5G+AR/VR 教育”扶贫成本低

5G 远程教育成本不断下降。5G 远程直播，可以实现异地同步。5G 应用于教育扶贫，对于解决边远山区、贫困地区教育资源配置失衡、教育薄弱等问题，缓解教育资源贫乏，促进教育平等具有重要价值。5G 远程教育可实现远程直播、在线点播、异地教学，可点开全学科的海量精品教育课程资源，并与名师进行教学互动，提升学生的参与度和主动性，促进跨区域、智能化的教学交流。

（3）“5G+AI 教学”过程更懂你

5G+AI 使教学过程更懂你，也就是更贴心、更智能。智能化的教学过程体现在以下几个方面。

①丰富的教育内容。5G+AI 技术依托丰富的教学资源，根据学生的学习习惯、程度、爱好、特长等个人信息，制定出个性化的方案；丰富教学内容，延伸教学深度和广度，通过大数据分析，制定出适合学生的“学习计划、成才方案”。

②个性化的教学实施。5G 推动优质教育资源的共建共享。教学过程

中，教师利用摄像机、闸机等终端，采集视频、图像数据，通过 5G 的 AI 功能计算分析，可实现对学生的无感知服务和教学的精细化管理。例如，5G 有望提供沉浸式的 4K 游戏般的学习体验，提供诸如 AI 阅卷、AI 学习兴趣分析、AI 学习重难点突破、AI 教学互动等功能，5G 和 AI 技术结合，可以根据学生的喜好、学习习惯、薄弱环节等，推送个性化的学习帮助。借助全方位大数据分析，实现全智能化的教学过程，使网络成为“最懂你的人”，增加教学过程的趣味性、智能性。

③更智能的学习陪伴。智能学习机器人是智能学习终端的一个发展趋势，能提供更智能的学习陪伴，步步高学习机、小米智能音箱等都是很好的探索。利用 5G 网络和语音交互技术，智能学习机器人可以跟学习者主动打招呼，提供知识讲解、疑难解答、聊天、心理辅助等服务，并能根据人脸识别结果，迅速做出服务响应。

（二）“5G+课堂”创造实景教学

（1）5G+AR/VR 虚拟实训。2023 年 10 月，深圳市第一职业技术学校创建“5G+虚拟仿真”教学实践基地，将 5G 技术和虚拟仿真课堂教学相融合，打破了传统虚拟仿真课程教学中活动空间受限、终端设备单一的情况，使得同学们在校园中随时随地都可以开展自发性学习。并且依托 5G 技术，结合大数据、物联网和人工智能，构筑校园安全。5G 技术保证了安全和速度，为智慧教育提供了有效的技术支持。

（2）模拟高难度的、难以实现的场景教学。例如，用 VR 开飞机会怎么样？用 VR 模拟地震现场、消防场景会怎样？这些以前难以实现的

场景教学、模拟应急演练，都可以通过 5G +AR/VR 技术成功运用于实践教学领域，在身临其境中有效提升实训的真实感。

(3) 助力高精尖的专业培训。例如，如何把一辆“真”车拆装一遍？如何在较逼真的环境下练习飞机驾驶的技术？想试着做一些高成本、高风险的模拟操作、高精尖的专业培训，都可以通过 5G +AR/VR 来实现。

(4) 还原历史画面，再现特殊场景。通过软件建立三维模型，可以还原历史面貌、再现科普教学情境，比如模拟博物馆展览、史前时代、深海、太空等场景的科普教学。此外，还可以再现地震、消防等灾害场景。利用 5G 网络实现零部件的精准定位，可以对数控机床的运行数据进行实时精准采集。

(5) 模拟真人实训。借助 5G+AR/VR 技术，可以进行实时同步互动的教学。学生与模拟真人进行对话，专家可以“亲临”现场进行技术指导。因为没有时延，素材展现、授课、答疑、交流可以实时进行，极大地优化了教育体验、丰富了教学呈现，提高了学习质效。

(三) 5G 云 VR 教育应用案例研究

基于广东省教育研究院的 5G+云 VR 教育应用案例，从中发现更多 5G 场景下教育的创新机会。

该项目结合了广东省教育研究院的云资源、5G 网络设备、和领点科技（不方便加公司名称可以删除）的云渲染技术及虚拟仿真开发内容，打造出一套完整的，可以面向全省中小学的 5G+云 VR 教育方案，为学校构建了一个低成本、高带宽、课程资源丰富的 VR 教育课

堂，并且该项目不断在新增接入学校，丰富课程教学资源。

我校积极参与省教研院 5G+智慧教育平台，投入经费 75 万元建成“5G+智慧教育”专用教室，其中 50 万用于 5G+VR/MR 虚拟仿真的建设。

项目技术指引

一、系统拓扑

5G+VR/MR 扩大教学通过云、边、端架构，实现 VR/MR 数据在云端的计算和渲染，提升教学体验，提高教学效率。通过将 VR/MR 资源在云端存储和渲染，大大降低 VR/MR 学习终端的使用成本，丰富 VR/MR 学习终端的资源，对于沉浸式互动教学，虚拟仿真等应用场景带来全新的体验。

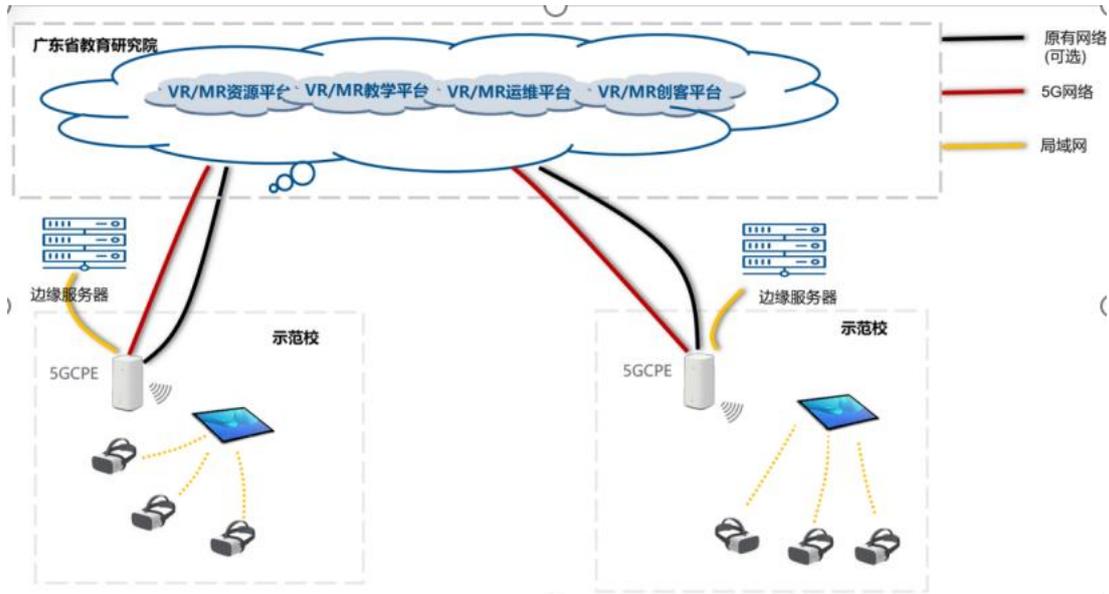
5G+VR/MR 云平台部署在华为公有云平台，充分利用华为公有云技术底座的优势，提供资源统一管理分发、VR/MR 课程制作、VR/MR 教学管理、统一运维等丰富功能。

学校端通过 5G CPE 与 5G+VR/MR 云平台互联，从云平台同步 VR/MR 资源，解决 VR/MR 资源固化在终端设备问题。5G CPE 采用双链路满足实际应用。

1. 学习终端通过 5G 访问云平台，当需要加载资源时，边缘如有该资源，则学习终端从边缘节点加载，节省 5G 流量。

2. 5G CPE 与边缘服务器断链时候，则 VR 设备仅从云平台获取资源。该机制保证只需 5G CPE+学习终端，就可到任意教室使用，无需插拔网线、配置网络。

3. 边缘服务器定时从云平台缓慢同步较大的资源。



二、网络部署

根据网络拓扑, 5G+VR/MR 扩大教学的网络部署主要涉及“云端”、“边缘”、“教室”三个层次。

云端

1. 云端部署在华为公有云上, 华为公有云规格要求:

1) 5G+VR/MR 云平台包含四个服务, 部署在四台服务器上;

2) 最少配置两台 8vCPUs、16GiB 内存、SSD 512G 存储的服务器, 分别用于部署运维平台、教学平台;

3) 最少配置一台 8vCPUs、16GiB 内存、SSD 1024G 存储的服务器, 用于部署资源平台;

4) 最少配置一台 16vCPUs、32GiB 内存、SSD 1024G 存储的服务器, 用于部署创客平台。

2. VR/MR 云平台对华为公有云的出口流量、带宽要求:

1) 每间 5G+VR/MR 教室, 通过搭载边缘服务器, 每节课产生下

行流量约 1.5G，上行流量 220M，推荐 5G CPE 带宽为下行 600Mbps，上行 10Mbps；

2) 需要根据实际学校数量，以及华为公有云的流量、带宽资费，购买合理的出口带宽或流量包。

边缘

边缘节点部署在学校机房，通过 10G 以太光口与学校接入交换机的 10G 口互联。学校需要对 5G+VR/MR 网络进行单独的隔离，避免被干扰，例如采用 VLAN 方式隔离。

教室

1. 5G CPE 插上 5G 流量卡，LAN 口和高密 AP 相连、WAN 口和学校交换机相连；

三、2. 将高密 AP 配置成 FAT AP 模式，设置独立的无线 Wi-Fi 信号、DHCP 地址池，学习终端和教学终端通过 AP 的 Wi-Fi 信号互联。当需要和云平台交互时候，则通过 5G CPE 和云平台相连。

5G+智慧教育标准化体系及核心技术标准

5G+智慧教育标准，基于 5G 网络，建设统一的云端支撑平台，构建高效智慧校园，利用 5G “万物互联”特性、5G+VR/MR 等进行创新应用，实现各类信息化设备的无障碍协同。研究基于包括 5G+VR 的不同智能终端在 5G 智慧教学环境下的接入与布局，VR 数据在云端的计算和渲染等，推动 5G 技术在教育领域的垂直应用，实现 5G+智慧教育产业化发展。

面对教育新型基础设施标准规范推行现状，切实贯彻执行国家、

行业已有标准，结合广东省重点领域研发计划“5G+智慧教育”项目业务特点，全面开展标准体系建设工作，满足广东省 5G+智慧教育项目的顶层设计、“5G+智慧教育”项目建设。实现 5G 智慧教育项目标准化工作的统一制定、统一建设、统一管理、统一使用。

（一）数据传输标准

5G 通信技术拓宽了数据传输的信道，扩大了数据传输的容量，因此，应完善对 5G 通信传输数据控制标准的设计，以协调好数据传输效率与安全性之间的关系，尽可能构建统一、规范的通信规则，实现对 5G 通信的全过程管理，提升 5G 通信网络基础框架建设水平。

（二）流程标准

5G 通信技术相比于以往的通信技术，整个信息通信效率更快，网络工作更加稳定，并且还可以进一步控制网络延迟问题，对提高人们的信息通信质量，以及推动我国信息化技术的快速发展打下了重要的基础。为了充分保证 5G 通信技术可以更好的为人们服务，需要对整个 5G 网络进行科学合理的规划，充分明确 5G 网络规划设计工作中的相关工作，要点全面提高 5G 网络工程建设质量。

规划准备阶段

在 5G 网络规划准备阶段，主要是针对 5G 网络建设工作展开相关分析以及必要的技术准备，对规划设计工作中可能运用到的相关设备进行调整，同时需要对网络地址进行准确设定。在此工作中相关网络规划设计工作人员，需要对 5G 网络规划工作中所需要的各种工具和软件进行全面了解，同时对 5G 网络的地址选择问题进行进一步探索，

有效作出规划设计预测，为后续的正式网络建设工作打下良好的基础。

应用标准

1、5G+接入层标准

智慧教室和课堂均采用华为 AR 路由器，通过 LTE 和教育专网光纤接入。

1.1 前期配套

(1) 配电系统。机房要求市电级别不得低于三类市电，容量不低于 35KW。机房必须采用系统的综合防雷措施和联合接地方式。机房交流配电箱挂墙安装，不需占用机房面积。

(2) 空调系统。空调必须具备断电恢复自启动功能，每个机房应至少安装 2 台 3 匹空调。空调室内机靠墙安装，单台空调室内机占地面积 0.8 m²。

1.2 传输配套

(1) 直流电源系统。机房可选用组合式开关电源，电源系统容量建议不低于 -48V/600A，与无线专业共用，具备二次下电功能，保障传输设备后备时长要求。机房建设初期，按无线设备后备时长 2 小时，传输设备后备时长 5 小时进行规划。组合式开关电源单台面积需求为 0.8 m²。考虑网络的安全性，原则上一个机房内不宜放置过多组 BBU，建议组合式开关电源数量配置不超过 2 台。

(2) 电池系统。考虑到中远期传输设备配置的要求，机房蓄电池容量建议选择 1000Ah~2000Ah，满足 9~33KW 的设备功耗需求；对

于综合接入机房，考虑承重、占地面积等因素，建议采用能量密度较高的铁锂电池。铁锂电池组安装于电源柜内，单电源柜占地面积 1.6 m²。

1.3 无线设备

无线设备机架应采用上走线方式，应尽量保证电力电缆、信号电缆、尾纤及光缆走线的分离。按照典型配置，单机架尺寸 600mm(L)*600mm(W)*2000mm(H)，单机架面积需求为 1.6 m²。

1.4 承载设备

初期考虑 1 台 10GE PTN 设备及 OLT 设备下沉的电源需求，满足无线 C-RAN 5~10 个 BBU 集中部署的需求；后期可根据业务发展按需下沉 OTN，提升机房的机房带宽提供能力。承载设备机架单机架面积需求为 1.6 m²。

5G+VR 教学基础标准

VR 技术发展迅速，带来前所未有的沉浸式体验。但内容制作成本高、开发创作门槛高、兼容性差、采集 VR 画面时画面变形以及用户的凝视数据采集困难。针对这些问题本项目从以下标准进行规避和改进：开发 WebXR 程序标准接口；研发矫正图像畸变标准算法；提出凝视数据采集标准算法。

WebXR 程序标准接口

WebXR 是一种用于在浏览器中渲染 3D 图形的程序编程接口 (JavaScript API)。利用 JavaScript 编写虚拟现实应用，实现 Web 页面访问，将虚拟现实的技术带到 Web 领域，其主要优点如下：

(1) 降低体验门槛。WebXR 可通过 Web 页面访问，不用下载与安装，降低设备门槛；

(2) 扩展 VR 的应用范围。WebXR 基于 Web 技术和浏览器，借助 web 技术的便捷性，为 VR 创作提供更简单的方案，让更多的 VR 开发者开发广告营销、虚拟购物、全景漫游等应用成为可能；

(3) 跨平台。随着 5G 的普及，利用 Web 跨平台属性，只需浏览器就能访问 VR 应用，为 VR 应用提供更广阔的前景。

术语和定义

GB/T 36352-2018 《信息技术 学习、教育和培训 教育云服务：框架》和 GB/T 36348-2018 《信息技术 学习、教育和培训 虚拟实验 框架》界定的以及下列术语和定义适用于本案例应用。

1 VR 云边缘节点 (VR cloud edge node)

现场侧部署的服务器，提供存储、计算、网络等资源，将 5G+VR/MR 扩大教学应用部署到边缘服务器，以减少网络传输和多级转发带来的宽度和时延损耗。

2 教师终端 (Teacher terminal)

教师使用的教学控制系统和设备，提供统一打开或关闭学习终端中 VR/MR 课件、监控 VR/MR 学习终端画面、监控 VR/MR 学习终端状态、同步 VR/MR 学习终端中课件资源能力，使得 VR/MR 学习终端在教学能够得到统一控制。

3 学习终端 (learning terminal)

学生佩戴在头部并提供给学生虚拟现实/混合现实感觉和体验的

显示设备和系统，提供网络自动连接、VR/MR 资源同步、纯净的学习桌面系统、接受教师终端控制功能。

4 教研终端 (teaching and research terminal)

教研人员使用的教学控制系统和设备，所有匹配该教研终端的学校，其 VR/MR 学习终端都可以接收到教研终端的控制指令，从而能够在 VR/MR 学习终端看到统一的教学内容。

5 5G CPE (Customer Premise Equipment)

现场侧部署的 5G 无线终端接入设备，通常配备一个 5G SIM 卡安装槽和若干个千兆以上 LAN/WAN 口，内置 5G 天线用于接受 5G 信号，并将高速 5G 信号转换成 Wi-Fi 信号或者宽带，提供高速网络接入服务，具有移动性和灵活性的特点。

6 高密 AP (High density Access Point)

现场侧部署的 Wi-Fi 路由器，支持 802.11ax 标准的 OFDMA 功能，将 WLAN 信道分为多个更窄的子信道，每个用户占用一个或多个子信道。通过 AP 调度多个用户可以同时接收、发送报文，减少用户间的竞争和退避、降低网络延时、提高网络效率，在人员密度较高的场景也能保证较大的平均速率。

(1) 原有 VR 教学方式难以满足教学需要：

调查表明，VR 技术能够在传统中小学教育中，为学生提供沉浸式学习体验，虚拟实境化的教学可增强学生对知识的理解度。

VR 教学效果对比调查（国内调查参考）

但是在 VR 教育引入 5G 技术之前，已进行的各种实践模式存在多

种挑战：

- PCVR 教学方式：采用一台 PC 单机支持一路 VR 设备的方式，必须以有线方式连接 VR 设备，学生体验不佳。对学校来说，PC 硬件的采购，线路设计，部署及日常维护工作繁重，且资源闲置时无法实现校间共享。
- 一体机 VR 教学方式：教育内容直接在无线 VR 一体机上运行（基于手机处理器），虽解决了无线和移动性问题，但一体机自身运算能力弱，以至画面简陋，流畅度差。
- 云 VR 教育+宽带方式：采用 VR 云平台部署，通过 FTTX 宽带连接教室，可实现无线轻量化 VR 设备教学，但普通宽带的带宽稳定性及时延抖动指标差，难以满足商用长期稳定运行要求。
- 云 VR 教育+专线方式：采用 VR 云平台部署，通过专线连接教室，可实现无线轻量化 VR 设备教学。专线带宽及时延性能优良，但部署工期长，且由于 VR 教学带宽要求很高（每个 VR 教室至少需 600Mbps 下行带宽），专线租用成本非常高昂。

（2）5G 云 VR 教育方案为学校提供了真正可持续化规模运行的 VR 教学模式：

5G 云 VR 课堂

VR 教室内根据学生规模布置若干课桌，每课桌配置一路无线 VR 一体机（带互动手柄）及一路显示器（同步显示 VR 内容），每个课桌安排 4-5 名学生，在学习课程时轮流进行 VR 内容体验。

所有教室内 VR 设备的运行状态及课程播放均由任课教师通过移

动端 APP 对云 VR 教育平台进行远程控制。教师按授课需要选取相应的 VR 课件内容，VR 教育云平台收到指令后对该课件进行实时渲染计算并向学生的 VR 设备流化推送。这种方式既有效保证了课程进度，同时也实现了学生对 VR 设备使用的高度可控。

- **硬件维护简单，可用性高：**学校仅需对 VR 头戴设备等进行日常管理，维护难度及强度很小。VR 云平台配置冗余硬件资源以保障高可用度运行，硬件故障不影响学校课程开展。
- **无线连接方式增强使用体验：**每台 VR 头戴设备均以无线方式，通过 5G 网络从 VR 云平台获取运行内容，学生使用体验好。课堂整洁线缆少，环境安全。
- **无缝的内容更新升级：**所有课件内容升级更新或新增课程的部署均于非上课时间在 VR 云平台上进行，升级更新对教学安排无影响，学校亦无需提供人力进行配合。
- **无需考虑硬件升级或兼容性：**所有新引入的课件均预先在云平台上调试到最佳运行状态，再投放给各学校使用。由于渲染运算在云端进行，故校方无需顾虑运行效果或硬件兼容性问题，引入新课件也不会对学校有硬件升级需求。
- **软硬件资源共享：**基于 VR 云平台部署的业务模式支持同一组软硬件资源被多个学校的 VR 教室共享，提高资源利用率同时降低使用成本。VR 云平台的软硬件资源可根据其支持的教学点数量及开课率的变化，进行按需平滑扩容调整，而该过程不会对学校授课安排造成影响。

- 5G 网络：VR 的全景视频流及 3D 音效等传输都要消耗大量的数据流量，无法通过 4G 网络满足，而 5G 高带宽和低时延的特性更好地满足了 VR 业务需求。配合 5G 网络优化，可提供长期稳定的大带宽连接性能，满足 VR 教室中大量 VR 设备同时运行的带宽要求，同时具备一定的移动性。
- 边缘计算：引入边缘计算（MEC）技术，使应用内容从核心网下沉到基站侧以使用户就近访问，可满足 VR 内容传送所需的低时延及高吞吐量指标。
- QoE 优化：引入 AI 进行动态带宽预测并指导 VR 云平台进行码率优化。在云端与终端之间引入人工智能技术，将降低应用对网络的依存度，通过人工智能技术根据网络环境自动调节显示质量，保证稳定质量运行。

为了进一步了解学生的学习情况，对 380 名学生进行了问卷调查。通过对问卷进行统计分析可知：首先，经过 5G 云 VR 教学后，以上的学生表示已经掌握所学知识。

表 5-1 课堂掌握程度问卷调查统计

内容 \ 掌握程度 \ 人数	掌握程度				
	非常熟悉	熟悉	一般	不熟悉	非常不熟悉
内部结构	198	122	41	19	0
工作原理	161	178	29	11	0
安装流程	263	107	10	0	0

其次，90%以上的学生表示希望能够继续进行虚拟仿真教学，而80%左右的学生表示愿意在其他专业进行虚拟仿真教学，80%以上的学生表示虚拟仿真教学能提高他们的自学能力和问题解决能力；最后，通过对学生“最希望虚拟仿真教学在哪些方面进行改善”的调查可知，的学生希望学校能够提供更多的虚拟仿真设备。学生希望能够提供自主学习的机会。

表 5-2 虚拟仿真教学意愿调查统计

比例 问卷	意愿程度				
	非常愿意	愿意	不确定	不愿意	非常不愿意
是否愿意在工业机器人专业进行虚拟仿真教学	60.6%	29.3%	7.5%	2.6%	0%
是否愿意在其他专业进行虚拟仿真教学	52.7%	33.8%	10.9%	2.6%	0%

六、总结与展望

从实际应用效果分析，云 VR 教育模式提高了学生的学习兴趣和对课程知识点的吸收。未来，除了云 VR 技术和 5G 网络的支持，在教育行业的具体业务结合方面要继续深化：

- 课程内容方面：商用化的 VR 教学课件内容必须足够丰富且为现有

教材量身定制，能够完全融入教学计划，达到只改革教学模式而不增加学生的课程负担的效果，才容易被学校接受。完善 VR 教学课件针对各地各版本教材及教纲的开发，使方案具备更大的可推广性。

- 授课模式：对任课教师进行 VR 教学的培训，使其能够根据 VR 教学内容重新编排授课流程，在不增加课程长度的情况下，用 VR 课件对原有课程中的部分平面内容进行替换，以实现教学模式改革。
- 从网络和终端方面：规模化部署支持云 VR 教育平台的各边缘云计算节点（含基于 AI 的 QoE 保障能力），实现每个边缘云节点对若干个学校就近的业务能力覆盖（如 5 公里范围内），并能通过云化方式实现资源共享以持续降低运营成本。
- 产品方面：持续推动 VR 一体机等终端产品的 5G 产品化。5G 被誉为全球新一轮科技革命产业变革的代表核心技术之一，也是实现万物互联、人机交互的战略性信息基础设施。5G 网络下的智慧教育可以提高教学效率，节约时间，扩展空间，方便随时随地学习，通过人工智能还可以实现教育自动化。我们要顺应 5G 发展趋势，紧抓 5G 发展机遇，以推动 5G 与智慧教育的发展为目标，促进教育体系的不断优化和教育模式的全面提升。