

教育专网中边缘计算与 5G 融合的低延迟教学系统设计

殷洁 阮雅骏

杭州国领科技有限公司, 浙江省杭州市, 310051;

摘要: 随着信息技术的快速发展, 5G 网络与边缘计算成为推动教育信息化转型的关键技术。传统远程教育系统在实时性与交互性方面存在一定局限, 难以满足多样化、高并发、高质量的教学需求。本文围绕教育专网场景, 深入探讨边缘计算与 5G 融合技术在低延迟教学系统中的应用与架构设计, 从网络架构优化、教学数据处理机制、智能资源调度等方面出发, 构建面向未来教育模式的新型教学平台。研究表明, 该系统可有效提升教学实时性、稳定性与用户体验, 对教育公平与智能化发展具有积极推动作用。

关键词: 教育专网; 边缘计算; 5G 通信; 低延迟; 智能教学系统; 实时互动

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 03. 046

引言

新一代信息通信技术正深刻改变教育场景的构建方式。特别是在“双减”政策与教育公平理念的推动下, 教育信息化正在向智能化、高效化方向迈进。5G 通信的高带宽、低延迟优势与边缘计算的就近处理能力相结合, 为教学过程的实时交互与智能调度提供了技术保障。在此背景下, 教育专网的建设成为连接校园、教师、学生和教育管理部门的重要基础设施。与公网相比, 教育专网更强调网络资源的可控性、安全性与专属性, 更适合构建面向未来的智慧教学系统。

本文致力于设计一个基于 5G 与边缘计算融合架构的低延迟教学系统, 围绕教育专网的场景特性, 提出软硬件结合的系统构建方案, 从网络层、平台层到应用层全面优化教学体验与资源效率。通过模拟与实证分析, 验证该系统在多个教学场景中的稳定性与时效性, 期望为新一代教育网络环境提供切实可行的系统性参考。

1 教育专网环境下的技术融合基础

1.1 教育专网的发展现状与技术特征

教育专网是服务于全国各级教育机构的信息传输专用网络系统, 具备安全性高、连接稳定、资源独立的特点。随着教育资源的云端化与教学内容的多样化, 传统教育专网面临带宽不足、响应延迟高等技术瓶颈。为提升其承载能力, 逐步引入 5G 通信技术与边缘计算架构。当前教育专网的部署主要集中于省级与地市级网络节点, 向学校末端辐射, 构成多层次、多网段的复合型结构。此结构便于接入多样终端设备, 但在遇到视频直播、AR 课堂等高实时性教学应用时, 存在传输路径长、

服务延迟高等问题, 亟需通过边缘计算与 5G 接入技术进行优化。

1.2 5G 网络的低延迟机制解析

5G 通信技术以“高带宽、低时延、广连接”为核心特征, 在教育场景中表现出显著优势。尤其是 5G 独立组网架构 (SA) 中, 引入了超密集小基站部署、网络切片技术、边缘计算协同等机制, 有效压缩了数据处理路径。具体而言, 5G 中的 uRLLC (超可靠低延迟通信) 服务可将端到端时延压缩至 1ms 级别, 极大增强了远程互动教学、虚拟实验等场景的响应性。与边缘计算结合后, 部分数据可直接在边缘节点处理, 实现教学数据“本地即时处理、本地即时响应”, 进一步提升系统性能。

1.3 边缘计算对教育应用的支撑能力

边缘计算通过在接近数据源的节点进行计算、存储与处理, 能有效减轻核心服务器压力, 降低通信负载, 提升处理效率。在教育专网中引入边缘节点, 可构建校园本地的“微数据中心”, 就地处理课堂数据流、视频会议、AR 资源请求等任务。此外, 边缘计算还可支持本地化 AI 分析与模型推理, 如学生行为识别、学习进度分析、考勤与安防等场景, 构建多功能一体化教育终端。通过边缘计算平台与云端教育平台协同运行, 可实现教学资源动态调度、内容个性化推送, 提升教育服务的智能化水平。

2 基于边缘计算与 5G 融合的教学系统架构设计

2.1 系统总体架构与逻辑分层

为了让教学系统能够满足实时稳定还能扩展的要

求,这个系统用了三个层两个端的架构模型,具体说有边缘层、核心层和应用层,再加上对应的教师和学生两边的设备一起工作。边缘层主要放在学校或者教育场所的网络点上,像教学楼的网关还有校园服务器这些地方,它主要是负责把教学数据在本地收集起来,先简单处理然后马上反应,这样数据传的路线就变短了。核心层是建立在教育专有网络的云平台上,里面有存课程内容、管用户账号、分析教学行为记录这些功能块,还要负责整个网络里的内容分配和安全控制。应用层就是最后老师和学生操作的地方,包括各种设备的屏幕显示和功能操作,靠5G网络快的特点,让用户操作能马上得到反馈。教师这边设备是控制课堂的主机,可以用来传课件、管课堂、做批注互动、发作业这些,它的网络连接优先走边缘节点,这样指令反应就能很快。学生这边设备重点是学习者的使用感受,能看视频、实时做题、分小组讨论、记笔记这些,所有数据交换都先走本地的边缘节点处理,这样就不会像以前那种集中架构经常出现卡顿、延迟或者数据堵住的问题。通过这种架构方式,整个教学系统从云管理到边缘计算再到终端操作形成了有效循环,让教学实时性和系统扩展能力都得到了很大提高。

2.2 教学数据处理机制优化

在5G网络支持下,教学数据表现出高流量、高频次、多元化的特点。传统架构已经很难跟不上现在教学对数据即时性和稳定性的需要。所以本文提出用“边缘预处理加云端分析”作为核心的数据处理流程,通过把数据处理任务先放到网络边缘节点,能够明显提高整个系统的反应速度和承载能力。在教学过程里,比如语音收集、图片识别、传感器数据这些需要实时处理的内容,系统会先在边缘节点做简单分析和压缩处理,提取出重要特征信息(像人脸识别结果、语音转文字、操作路径轨迹这些),再把整理好的数据传到云平台做后面存储和详细分析。在直播课程时,边缘节点能对视频进行自动调整画质和分辨率,根据网络情况调整数据包的大小和编码方式,保证学生在网络不好的情况下也能有比较不卡顿的观看效果。还有在AR/VR教学时,边缘节点负责图像生成和部分场景模拟的工作,这样就不会因为学生手机或设备性能不够导致操作延迟或者画面卡顿。通过这种处理方式,不仅让数据处理速度变得更快了,还让教学系统更好应对各种复杂情况,符合现在教育数字化的现实要求。

2.3 智能资源调度与网络协同策略

为了保证整个教学系统在不同用户数量、上课时间和教学任务变化时都能正常运转,系统把智能调度模块和网络协调方法这两个东西结合起来用。那个智能调度模块通过分析以前上课记录的数据、访问量大的时间段和服务器位置的分布情况,可以提前算出来接下来系统会有多大压力,然后用5G网络的切片功能把资源灵活分配。系统会把不同类型的教学任务(比如直播视频、在线做题、同步批改作业)分出来不同重要等级,让调度系统安排去最近的边缘服务器或者更厉害的主服务器运行,很多人用的时候重要功能也不会卡。系统用了多线路传输技术(MPTCP),让数据可以同时走几条路,这样传输更稳定不容易丢包,某条网线坏了或者太堵,马上就能换别的线路,不会耽误上课。配合能感知网络质量的动态路由技术,系统会给老师和管理员这些重要用户更高的网速权限和更短的延迟要求,特别是在考试、答辩或者视频面试这种需要及时响应的时候,这个办法能让网络更好控制服务更靠谱。最后搞出来一个既省资源、反应又快还能保证教学重点的多方面配合机制,让教学系统变得更聪明更灵活,碰到突发情况也能扛得住。

3 融合系统的教学场景应用与效能验证

3.1 远程互动课堂的低延迟体验

远程互动教学属于现代教育里面最常见的一种应用情况,它对系统的实时性还有互动性有很高的需求。比如说某市区的小学数学同步课堂系统,他们在各个学校都安装了边缘计算的一些节点,并且通过教育专网建立了用5G的交互平台,真正做到了让不同地方的学生能在同一课堂上课。在上课的时候,老师用5G的教学设备发送讲课的东西,互动题目和视频讲解,学生那边就能同时收到声音图像还能马上答题或者用语音问问题。根据多轮实地测试与数据监测显示,在正常运行状态下,从教师端发出指令到学生端接收并完成反馈的整个过程,其平均端到端延迟仅为18~22毫秒,即便在日常教学高峰(如上午9点与下午2点)系统并发用户达到千级规模时,整体延迟也未超过50毫秒,依然处于高效低延迟水平。这一表现大大优于传统的视频会议平台,其延迟常在200毫秒以上,易出现语音重叠、画面错位与响应滞后等问题。新系统中,学生能够实时看到教师书写板书、操作多媒体内容的全过程,视觉体验流畅、语音同步准确,而教师也能通过回传数据第一时间

掌握学生作答情况、互动活跃度及课堂状态,从而及时调整教学策略,提升课堂效率与针对性。

为解决区域教育资源不均、教学调度复杂等问题,该系统还引入了网络拓扑感知与智能调度模块。在跨校或跨区域授课时,系统会实时检测各边缘节点的负载状态、网络质量与终端密度,自动选择与主控教室地理位置最近、网络路径最短、带宽资源最优的节点执行教学内容的分发任务。这样可以避免数据绕行远程服务器或核心平台带来的额外延迟与通信负担,实现教学内容在本地网络内的快速传输与分发。即使在某一节点出现临时故障或资源拥堵,系统也能在毫秒级完成备用节点切换,保障教学不中断,稳定性极高。这种低延迟和高互动的教学模式,特别适合像语文数学英语这样互动多的科目,有效缩小了不同地方的教育差距,让好的教育资源能够更公平地被分享。

3.2 实验教学与虚拟仿真的渲染优化

实验教学和虚拟仿真在 STEM 教育中是必须要有的部分,可是以前的在线教育平台在图形处理、三维模型渲染还有实时反馈这方面有点不足。现在用了 5G 加上边缘计算的教学系统就解决了这个问题。比如说有个中学做的虚拟化学实验平台,他们用边缘节点来处理液体混合啊、化学反应这些过程的建模和渲染,学生那边的设备只用显示结果,基本上不需要自己计算。有次上课做盐酸和氢氧化钠中和反应的模拟实验,学生在自己设备上点试管和试剂的动作马上就能处理完,边缘节点立刻显示出溶液变色和发热的过程,延迟最多 30 毫秒,和真实实验差不多。学生不用去实验室就能‘真实’地明白复杂的反应原理,这样不光安全环保,还让教学变得更快更有意思。还有像物理实验或者生物解剖这些复杂的流程,系统也能用边缘节点来做主要渲染,把计算任务从学生设备转走,解决以前教育设备带不动的问题。这种‘计算放在边缘、显示在终端’的方式肯定以后是虚拟教学的发展方向,特别是对那些实验器材缺少、设备条件差的西部农村学校特别好用。

3.3 教育评估与数据决策的智能化升级

除了上课直播外,融合系统还能在教学评估和管理决策方面表现出很强的智能潜力。通过边缘计算和人工

智能算法一起处理的能力,系统不需要增加终端设备的压力,就能自动收集学生学习的数据,比如考勤情况、答题正确率、发言次数、眼睛看屏幕轨迹等多方面数据,建立全面学习图像。老师那边下课后就能立刻生成每个学生的学习报告,根据学生注意力变化、互动情况和知识掌握程度,对讲课内容进行调整和推送个性化辅导建议。另外学校管理部门能用平台的大数据功能,跨不同班级、年级甚至学校比较教学质量、资源使用率和学生学习状态,给地方分配教育资源和制定政策提供数据支持。比如有个区教育局用这个平台发现,郊区学生看视频卡顿率和答题延迟都比城里学校高,所以决定加快在偏远学校装更多边缘节点,改进教学网络的布局。这种用数据来推动教育管理的能力,正是融合系统和以前传统平台不一样的重要优点,对实现教育公平和管理现代化有很大帮助。

4 结语

边缘计算与 5G 技术的深度融合,正为教育专网系统的革新注入新的活力。本文从技术基础、系统设计到场景应用,系统阐述了低延迟教学系统的构建路径与实施成效。实验证明,该系统不仅大幅降低了教学过程中的通信延迟,提升了用户交互体验,还具备良好的可拓展性与可复制性。未来,随着 AI、大数据等技术的进一步集成,教育网络将朝着更加智能、个性、实时的方向演进,为推动教育公平与质量提升提供有力支撑。

参考文献

- [1] 贾维刚,游文字,李伟. 5G 移动通信技术应用及其发展前景探索[J]. 中国新通信. 2021, (1).
- [2] 邢西深,李军. "互联网+"时代在线教育发展的新思路[J]. 中国电化教育. 2021, (5). DOI: 10.3969/j.issn.1006-9860. 2021. 05. 008.
- [3] 董卫. 浅谈中小学信息技术教学微课视频类型[J]. 考试周刊. 2021, (37).
- [4] 赵娟. 物联网环境下的边缘计算技术分析[J]. 科教导刊-电子版(上旬). 2020, (8).
- [5] 朱毅,何柏儒. 教育信息化背景下面向智慧教育的教育管理模式研究[J]. 电子元器件与信息技术. 2020, (10). DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455. 2020. 10. 063.