

联想智慧教育技术白皮书

(2023 版)

Lenovo

目 录

第一章 智慧教育技术的发展背景	3
1. 1 政策背景	3
1. 2 科技助力实现高效公平优质的教育教学	6
1. 3 科技让“因材施教”成为可能	9
第二章 联想智慧教育的关键技术	11
2. 1 课堂协同互动	12
2. 2 虚实融合教学	17
2. 3 超清课堂直播	22
2. 4 教育文档识别	28
2. 5 板书手写识别	35
2. 6 知识森林导学	40
2. 7 教学质量评价	46
第三章 联想智慧教育技术方案与应用实践	52
3. 1 备授课软硬件一体化方案	52
3. 2 虚实融合远程课堂方案	56
3. 3 沉浸式实验课堂方案	61
3. 4 智慧阅卷方案	63
3. 5 人工智能教育方案	66
3. 6 虚拟助教方案	69
3. 7 数据驱动评价	72
3. 8 区校一体化云平台方案	75
第四章 未来展望	78
参考文献	81
一般法律告知	83
权利声明	84

第一章 智慧教育技术的发展背景

1.1 政策背景

随着计算机和网络的出现与普及，人们逐渐从工业时代步入了信息时代，以工业化革命为主的工业经济开始逐渐转变为信息管理为主的知识经济，也就是所谓信息化社会。信息化浪潮汹涌而来，驱动教育发展即将步入一个全新的历史时期。智慧教育，已逐步成为国家战略、社会共识，智慧教育对未来教育模式的探索，破解制约教育发展难题，推动教育领域全面改革，抢占现代教育制高点，引领教育信息化创新发展，服务全民终身教育，培养面向 21 世纪创新型、智慧型、实践型人才，助推实现中国教育梦都具有强烈的现实需求和重大意义。

2022 年 9 月 20 日，教育部部长、2030 年教育高级别指导委员会领导小组成员怀进鹏在联合国教科文组织 2030 年教育高级别指导委员会会议上的讲话中指出要以数字化为杠杆，撬动教育整体变革，推动数字教育资源共建共享、互联互通，赋能教师和学习者，探索教育数字治理方式，实现教育更加包容公平更高质量发展。

智慧教育是当前教育信息化研究的热点问题和关键问题。在大数据时代，诸如大数据、云计算和移动互联网等新一代信息技术的开发和应用对教育和教学产生了深远的影响。信息技术与学科教学的集成在深化，从基于物联网技术的智能教室到智慧课堂，再到智慧教育，教育的互动和沟通的能力不断增强，提高了教育的合理性和科学性。事实上，基于新信息技术和传统课堂模式转换等新兴信息技术的学习

行为的分析和改进已成为“互联网+”时代课堂教学发展的必然趋势。

虽然与发达国家相比，我国的教育信息化相对较晚，但从 2012 年以来，教育信息化领域的政策集中出台，政府对此的关注度迅速提升。2012 年 3 月《教育信息化十年发展规划（2011-2020 年）》对未来 10 年的教育信息化建设提供了指导意见和总体方向，明确指出“推进信息技术与教学融合。建设智能化教学环境，提供优质数字教育资源和软件工具，利用信息技术开展启发式、探究式、讨论式、参与式教学，鼓励发展性评价，探索建立以学习者为中心的教学新模式”，同年 9 月刘延东关于全国教育信息化工作电视电话会议确定了“三通两平台”的教育信息化发展导向，即“宽带网络校校通、教学资源班班通、网络学习空间人人通；加强数字教育资源公共服务平台、教育管理信息系统平台的建设”。2012-2015 年是教育信息化发展的应用驱动阶段，“三通两平台”建设取得较为显著的成效，在环境创新、方法创新、教师培训创新、机制创新等方面奠定了发展基础，为下一阶段促进信息技术与教育的融合创新提供了重要支撑。而后 2016 年 6 月发布的《教育信息化“十三五”规划》则给教育信息化概括了八个主要任务：完成“三通工程”建设、实现公共服务平台协同发展、不断扩大优质教育资源覆盖面、加快探索数字教育资源服务供给模式、创新“网络学习空间人人通”建设与应用模式、深化信息技术与教育教学的融合发展、深入推进管理信息化以及紧密结合国家战略需求，从服务教育自身拓展为服务国家经济社会发展。2017 年 7 月国务院《新一代人工智能发展规划》中提到应利用智能技术加快推动人才培

养模式、教学方法改革，构建包含智能学习、交互式学习的新型教育体系；开发智能教育助理，建立智能、快速、全面的教育分析系统；建立以学习者为中心的教育环境，提供精准推送的教育服务，实现日常教育和终身教育定制化。而后 2018 年 4 月教育部发布《教育信息化 2.0 行动计划》，进一步强调要积极推进“互联网+教育”，坚持信息技术与教育教学深度融合的核心理念，坚持应用驱动和机制创新的基本方针，建立健全教育信息化可持续发展机制，构建网络化、数字化、智能化、个性化、终身化的教育体系，建设人人皆学、处处能学、时时可学的学习型社会，实现更加开放、更加适合、更加人本、更加平等、更加可持续的教育。2019 年初，国务院印发《中国教育现代化 2035》，强调要重视重大科技创新对社会变革的影响，重视互联网、人工智能等新技术发展对教育形态的重塑，并明确提出加快信息化时代教育变革，着重从智能化校园建设、智能化教学、管理与服务平台建设、规模化教育与个性化培养结合的培养机制、数字教育资源共建共享机制等方面，提出了从信息化角度推进教育现代化的发展思路。该文件明确了教育信息化的主要工作方向，即智能化教育教学、因材施教的个性化培养、优质教学资源的共建共享，以及智能化校园。2020 年 3 月，教育部发布《关于加强“三个课堂”应用的指导意见》，提出促进信息技术与教育教学实践深度融合，推动课堂革命，创新教育教学模式，促进育人方式转变，支撑构建“互联网+教育”新生态，发展更加公平更有质量的教育，加快推进教育现代化。2021 年 7 月教育部等六部门关于推进教育新型基础设施建设、构建高质量教育支

撑体系的指导意见指出：坚持创新引领。深入应用 5G、人工智能、大数据、云计算、区块链等新一代信息技术，充分发挥数据作为新型生产要素的作用，推动教育数字转型。

而在 2012 年 2 月，美国教育部委托 SRI 国际教育技术中心发布了《International Experiences with Technology in Education》的研究报告，调查了澳大利亚、奥地利、比利时、加拿大、智利、丹麦、英国、爱沙尼亚、芬兰、法国、冰岛、以色列、日本、荷兰、新西兰、挪威、葡萄牙、新加坡、韩国、瑞典以及中国香港特别行政区共 21 个国家及地区的教育信息化发展状况。研究发现，大部分参与国家和地区都提出教育信息化战略，计划将技术融入中小学教育。

纵观我国和世界各国制订的教育信息化发展计划，可发现在新的历史阶段，国家对教育信息化的发展愈加重视。而从我国近十年的教育政策不难看出，利用信息化手段实现教育系统性、整体性、协同性和颠覆性变革是贯穿始终的主线，其中增强课堂互动、建设智能教学环境、提供个性化导学服务、探索创新教学模式，实现减负增效以及优质教学资源的均衡化则是重要方面。

1.2 科技助力实现高效公平优质的教育教学

尽管教育信息化相关政策日渐明朗，基于历史、经济等方面原因，在实践“公平优质”教育愿景的过程中，仍面临诸多挑战。我国地域广发展不均衡导致各省市、城乡不同地区甚至同区不同校间教育水平差距明显，教师个人教学经验及水平的不同也带来了教学质量的差异，

而庞大的在校生数量也使得优质教育资源供给缺口很难填补，教育资源均衡问题是教育发展中需面对的很重要的挑战。《国家中长期教育改革和发展规划纲要》把推进教育均衡发展问题作为各项工作的重中之重，以均衡教育促进教育公平。各级各类教育单位都在为如何实现基础教育均衡发展研究各种举措。信息技术的发展，尤其是智慧教育的出现，为推动基础教育向高水平均衡发展提供了一个有效举措。智慧教育以信息化的赋能和加持为主要动力，以开放、共享、交互、协作作为基本特征，作为一种新型的教育形态，综合解决了传统教学过程中存在的问题，增强了课堂决策分析和互动能力，提高了课堂教学质量和效率。智慧课堂对传统教学产生了“革命性”的影响，在教学实践中具有重要的特色和应用价值。

传统教学方式中，教学资源源自教师的个人素养和能力，依托于教学团队的合力，所以形成较大差异，造成教学资源从来源上就不均衡。智慧教育利用多媒体、新技术和智能设备，如高速率、低时延、高密度的 5G 通信技术，使得物理空间之间的直连成为可能，实现同步授课、远程控制，基于 4K/8K 超清直播技术以及虚实融合的显示能够创造和展示各种趋于现实的学习情境，增进师生间、学生间的立体化沟通交流，利用平板工具和高效的传播和视频编码技术实现虚实融合的教学模式，课堂协同互动，有利于开展协作、探究学习，实现学习者知识意义的建构。

同时，智慧教育使课堂形态发生了重大变革。新技术、新媒体和智能终端为学习者提供了丰富的认知工具与支撑环境，为师生建立了

更为开放的教室，更为开放的课堂活动。教学者可以通过手中的任意移动终端设备（手机、平板电脑）实现教学，同时学习者也可以按照实际需求对学习内容进行选择。传统的课堂已经变成数字化的“体验馆”和“实验场”。智慧教育也使得教育突破了地域的限制，更多的人可以接受到更加平等高效的教育，推动社会公平有序的发展。充分发挥智慧教育的关键技术，利用云计算拓展教育资源与教育服务的共享性，利用物联网拓展教育数据的采集渠道和方式，利用大数据提高教育管理、决策与评价的智慧性，利用泛在网络增加教育网络与多终端的连通性，利用增强现实、虚拟现实技术增强教学交互与虚拟空间的体验性，提高教育服务的针对性。最大限度的促进城乡、校际、师生之间教育均衡公平，提高教育质量。

联想公益基金会在推动科技助力实现高效公平优质的教育教学做出不懈努力，以 IT 助力乡村振兴为使命，以乡村教育信息化为切入点，借助联想的技术、产品及相关资源，开展相关领域的公益探索，2019 年至今，先后帮助四川、西藏自治区、云南、甘肃等“三区三州”等欠发达地区数十所学校建成百余间智慧教室，惠及师生 1.5 万人。同时，联想积极开展针对欠发达地区学校、学生的志愿服务活动，“联想萤火虫课堂”先后走进内蒙古、贵州从江、青海湟中等地，并通过夏令营、冬令营等活动，让更多孩子有机会走进城市、感受最新科技。由联想志愿者开发的以 STEM 为核心的兴趣课堂，寓教于乐，为孩子们开阔了视野，丰富了知识。

1.3 科技让“因材施教”成为可能

传统教育在课堂上教师无论用什么教学方法都只能适应一部分学生的学习，班级授课制中主要以授课为主，学生的交流受到限制；学生的自主性、独立性及其个性化学习方式未能够得到充分发挥。随着科技的发展，智慧教育的出现将改善传统教育的不足，其多样化的教学方式、即时的反馈系统和灵活的互动较传统有所改善，并能够照顾到个别学生的个性化学习。智慧学习是在各种智慧环境中开展的完全以学习者为中心的学习活动，让学生自己学会自由支配时间、自主学习，学生不仅能够即时获取自己所需的资源、信息和服务，还能够享受到个性化定制的资源和服务。无论课上课下、校内校外都可以随时在教育云平台上进行学习，进度快慢完全由自己掌握，学习困难的孩子可以反复观看学习。XR 等虚实融合新技术将引发学生互动学习的新体验，改变学生的学习观念，使得学习过程更加轻松高效。通过智慧学习，不断发掘学生的兴趣爱好，发挥学生潜能，凸显智慧学习个性化、高效率、沉浸性、持续性、自然性等基本特征，能够帮助学习者不断认识自己、发现自己和提升自己，从而激发学生更多的兴趣性、主动性、个性化学习，培养学生创新学习意识与创新实践能力。在智慧教育所构建出的智能型的学习环境中，教师可以通过智能评价及时调整教学方式方法，学生可以在课堂上或者课外进行多样化的学习交流与讨论。

传统教育中老师往往不知道学生具体知识掌握情况，便会在布置作业时希望每个知识点的各种题型都照顾到，所以在最终作业布置时

往往会出现题量大的情况，使得学生永远都有做不完的题，老师也有批改不完的作业。这样不仅减少了学生自主学习的时间，还花费了教师大部分的精力，减少了教师的备课和对学生的关心时间。在智慧教育中，教师智能终端能够根据学生的学习反馈分析结果自动生成相应习题，教师只需要进行检查然后对学生进行推送。学生做好后直接由智能终端进行传送提交，智能阅卷能够辅助教师进行相应的阅卷与分析，教师只需要了解情况改善教学策略。学生的智能终端也会根据学生具体情况，为学生推送相应的自主学习练习题，并自动评改。这样智能化的布置作业，就能打破题海战术，不需要将已经做过的题，或非常简单的题反反复复的做，节约出大量时间，并且有针对性的进行知识的巩固。

个性化的教学成果最终可以利用教学质量评价系统进行评价，在学生方面从德智体美劳多维度量化，进行全过程综合量化分析；在教师方面对教学质量进行实时反馈和评价，以改造和重新设计课堂教学方式、方法、手段，提升自身教学水平。

第二章 联想智慧教育的关键技术

在信息化浪潮之下，智慧教育正在从理念与模式向落地与实践转变，并逐步走向规模化发展。在学术领域，“互联网+教育”领域的学术研究共同体正在呼吁教学组织方式、学校形态、教育供给模式和在线教育新业态的发展和创新。社会现实也同时呼吁着教育服务模式的深刻变化。结合国家教育信息化行动计划相关政策文件的指引意见，联想智慧教育核心技术经过多年积累，突破智能化教学环境建设、高效教学工具及优质教学资源的提供、交互式教学开展和智能化教学评价构建、虚实融合教学体验创新等的关键技术环节，在课堂互动、因材施教、减负增效等方面形成一系列布局，通过交互及 AI 两个技术平台，结合大屏、笔记本、平板等硬件设备，为学生、老师、家长以及技术人员提供以“教与学”为核心的教学、练习、考试、评价等多方位智能化支持服务及解决方案。

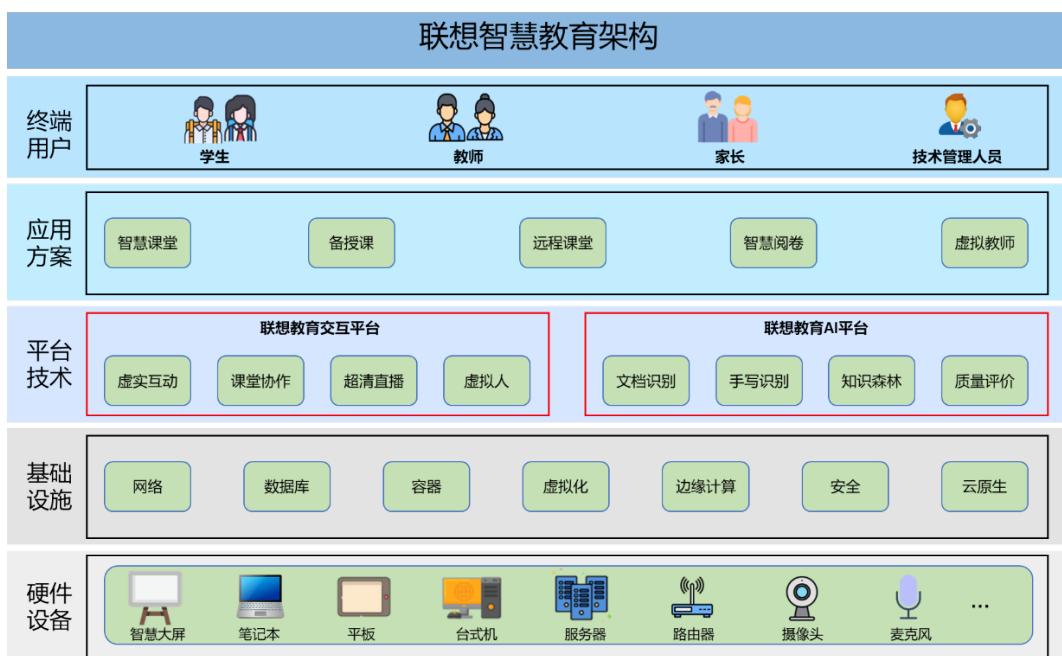


图 2-1 联想智慧教育架构图

联想智慧教育核心技术也获得多项认可，包括参与国家科技创新2030—“新一代人工智能”重大项目等多个重点研发项目，入选教育部、工信部示范项目。2020年，“交互式智慧课堂关键技术及应用”获人工智能学会吴文俊人工智能科技进步二等奖；2021年，“多模态环境感知及适配交互技术与应用”获北京市科学进步奖二等奖。本章中将围绕这些关键核心技术逐一展开。

2.1 课堂协同互动

2.1.1 基本概念和发展趋势

平板智慧课堂是以提高教学效率、提升教学质量的整体教学系统，它让课前备课、课中上课和课后复习三大环节无缝对接。在课中上课时，系统通过教师屏幕内容广播、随机抽取学生答题、抢答、板书截图发送、课堂测试等教学必备功能，实现教师和学生间零距离交流，调节课堂氛围，增强学生的互动性和积极性，进一步提升了教学效率和教学效果。在师生的交互过程中，教师屏幕内容广播因时延要求低、网络传输数据量大、视频画面质量要求高，是最具挑战的技术点。

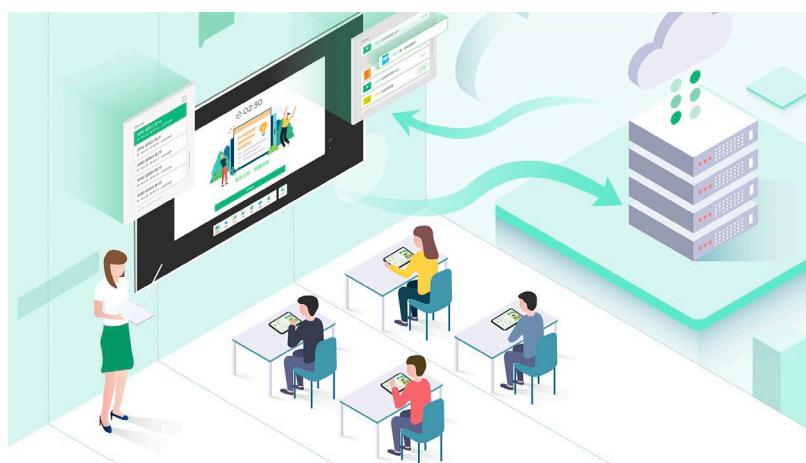


图 2.1-1 平板智慧课堂示意

当前业界厂商有两种方案来实现屏幕内容广播功能：

第一，基于单播传输方案。无线信号很容易受干扰，因此 WLAN 丢包是非常常见的问题。为减轻物理层丢包引起传输层的处理延迟，WLAN 在物理层设计了重传和确认机制，从而保证了数据的及时并可靠到达。此种重传和确认机制只能针对传输数据是单个接收设备情形。因此，使用单播传输方案时，教师主机需要将每一帧屏幕数据分别发给每一个平板设备。每一台设备都能收到完整的视频帧数据，画面质量优异。

第二，基于多播传输方案。对于单播方案，当接收者变多，需要每一个接收设备单独传输，则物理层带宽压力加大，此时需要更加高性能的路由和平板设备且容易增加屏幕内容分享时延，因此一些厂商使用多播传输方案。物理层广播数据可以同时被多个终端接收。当接收设备数量变多，其物理层带宽需求并不发生变化，从而避免单播传输方案的问题。但由于广播数据在物理层无重传和确认机制，在无线信号受到干扰的时候，存在视频帧丢失或花屏问题。

2.1.2 技术难点和挑战

综合分析业界的屏幕广播方案，对于第一种基于单播传输方案，它具体画面质量高的优点，但需要更高性能的路由和平板设备且屏幕内容分享时延较大；对于第二种基于多播传输方案，它有设备性能要求低，网络时延低的优点，但它有视频帧丢失或花屏的缺点。

如何实现在低性能设备上多用户（50-60）使用时，同时达到高视频质量和传输低时延，可从如下两个问题入手。

第一，如何减少对 WLAN 物理层网络带宽的需求且保证传输可靠性。课堂师生互动中，学生平板通过 WLAN 进行数据交换，教室的无线接入点存在巨大的带宽压力。在多个设备同时有数据传输需求的时候，物理层传输带宽快速下降(平板设备连接数量从 10 增大到 60 时，从无线路由器到平板的传输数据带宽降低 50%)。因此，减少物理层带宽的需求并能保证可靠性，对降低设备性能的依赖意义重大。

第二，如何提高视频的压缩效率。传统的视频编解码器通常被设计成处理摄像机捕获的自然环境。而教师的屏幕内容视频表现出不同的信号特征和不同的人类对失真视觉敏感度；同时传统的视频都是以固定视频帧率进行采集和编码，但在实际教学过程中，很多时候教师主机屏幕内容变化很慢且都是部分区域变化。因此，传统的采集和视频编解码方式的效率低下。

2.1.3 技术方案及先进性

针对这两个问题，提出了相应的解决方案：可靠的双通道混合传输方案和端到端的视频编码优化方案。

(1) 可靠的双通道混合传输方案

在教师屏幕内容广播的时候，所有的学生实际上接收的内容都是相同的。在有线网络情况下，使用网络组播协议来传输相同内容的视频给多个设备是合适的，但由于 WLAN 本身物理层采用的是 CSMA/CA（载波监听多路访问/冲突避免）机制，容易受到其它无线同频设备干扰，同时无线信号也随着传输的路径变长而衰减，信号不能正确接收是常见的事情。对于某一设备丢失的数据包，可以单独通过单播传

输，对应于应用层即是使用 TCP 协议单独传输。因此，联想提出的方案就是组合使用 TCP 协议和 UDP 的组播协议进行屏幕内容数据传输。TCP 协议在 WLAN 的物理层对应为单播传输，只有一个设备接收对应的数据，可靠性高。UDP 的组播在 WLAN 的物理层对应广播传输，可以有多个设备接收数据，但不可靠。在教师主机传输每一个视频帧的时候，通过 UDP 组播发送一次视频帧数据。如若个别设备未能接收到完整数据则单独使用 TCP 重新补发，从而保证所有的设备都能完整可靠地接收到视频帧数据。由于未能正确接收数据的设备毕竟是极少数，因此能节省大量物理层带宽需求。

(2) 端到端的视频编码优化方案

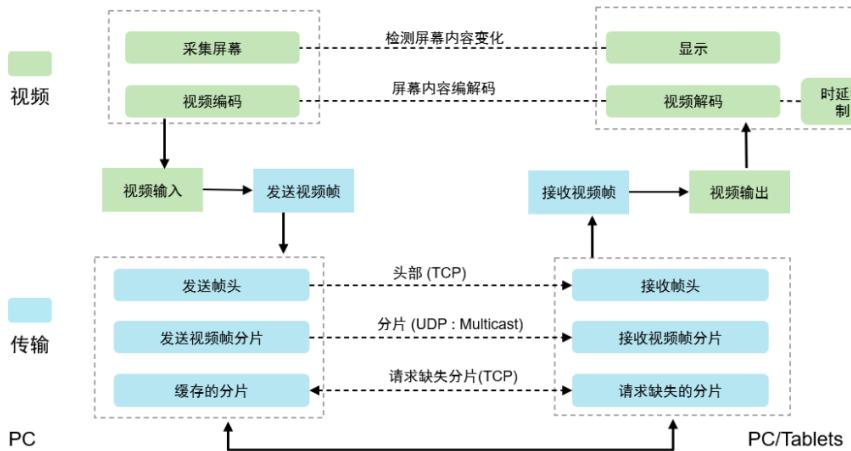


图 2.1-2 屏幕广播系统架构

提高视频编码效率，可进一步减少网络带宽的需求。当前使用两种手段来提高编码效率，第一，采用可变帧率编码方式。常见的视频帧率都是固定的，而在无线环境的屏幕投影中，最好采用可变帧率，当检测到屏幕内容变化后再编码，无变化时无需编码，从而减少相同的编码帧，降低网络带宽，减少网络时延。第二，采用屏幕内容编码

技术。在多种屏幕内容场景中平均能节省 60% 的码率，其中的帧内块拷贝编码和调色板编码是最能提升视频编码效率的技术。

通过可靠的双通道混合传输方案和端到端的视频编码优化方案，最终让平板智慧课堂教师主机屏幕内容分享给 60 个学生时，端到端的时延低于 50 毫秒，同时无视频花屏和丢帧的现象。该方案在视频质量、传输时延和设备价格等指标上优于业界方案。

2.1.4 未来发展路径

在教师屏幕内容分享时，存在大量的数据从单一教师主机分发相同内容到不同的学生平板，根据测试数据表明此时存在 WLAN 的传输带宽下降 50% 问题，联想使用前面的可靠的双通道混合传输方案解决了这一问题。在课堂上，还存在学生之间两两传输不同内容的互动场景，此时场景从屏幕内容分享的一对多传输，变成了多对多传输。如果学生平板同时发送这样的数据，会导致 WLAN 的传输带宽下降 80%。如何解决多对多场景下数据的高效传输，是智慧课堂的一个难点和方向。

对于屏幕内容编码标准，它最开始是通过 HEVC 的扩展实现的。而常见的 AVC 和 HEVC 解码器没有这个扩展，需要自己实现屏幕内容的编码端和解码端，这导致屏幕内容编码只能在自有封闭的系统里运行，不能与业界互通。新一代的 AV1 和 VVC 编码标准，已经将屏幕内容编解码作为标准的一部分，为屏幕内容编解码技术的互通提供了基石。当前 AV1 是一个开源友好的视频编码标准，并且已经内置于 WebRTC 开源平台，被基于 Chromium 的浏览器原生支持。因此，基于

AV1 的屏幕内容编解码技术是一个很有前景的研究方向。

2. 2 虚实融合教学

2. 2. 1 基本概念和发展趋势

在线教育是人们接入教育元宇宙的基本方式，从诞生之初就承担着改造传统线下教育的使命。纵观当下的在线教育和线下教育，存在着效率和效果的矛盾。在线教育在打破时间和地域界限进行高效率教学的同时，牺牲了线下课堂教师对学生耳提面命的沉浸式效果。新冠肺炎疫情的出现加速了在线教育的推广和普及，也暴露了在线教育的诸多问题，比如容易走神、损伤视力、答疑滞后等。后疫情时代，学生重返课堂，在线教育与线下教育也进入了融合发展的阶段。

沉浸式教育是人们体验教育元宇宙的主要途径，AR、VR 是其关键技术。业界和学界近几年致力于通过 AR、VR 等技术提供沉浸式学习体验^[1]，相关机构也率先进入了对教育元宇宙的探索，未来只要带上眼镜或头显即可进入在线虚拟教学空间进行学习和训练。当前，VR 教育已落地很多院校，基于头戴式设备的 VR 教室在给学生带来虚拟现实体验的同时，也带来一些问题，比如佩戴不适、交流不畅、头晕恶心等。这些问题的解决有待技术的进一步提高，也使联想开始关注其他形态的 AR、VR 设备用于教育场景的可能性。

构建教育元宇宙不仅要将在线教育与沉浸式教育相结合，提升在线教学的临场感与沉浸感，实现效率与效果的统一，还要把在线教育与线下教育，虚拟空间与实体课堂有机融合，构建虚实一体的未来教

学空间。联想基于中远距离大幅面 AR、VR 探索将其用于教育元宇宙的设计方案与最佳实践，融合在线教育和线下教育，物理课堂与数字内容，提升教学的临场感与沉浸感，探索虚实融合的教育元宇宙。

2.2.2 技术难点和挑战

AR、VR 是人们体验元宇宙的关键技术。纵观 AR、VR 的相关设备与方案，可以按照与人眼距离的远近进行划分。AR 眼镜与 VR 头显距离人眼最近，车载 HUD、镜面显示等设备的距离适中，CAVE、全息投影等方案则距人更远。随着设备与人的距离越远，显示幅面尺寸也会越大，以满足沉浸观看的需要。相较近距的头戴式设备，中远距离的设备能够提供裸眼虚拟现实和增强现实的体验，适合多人共同观看，也不会影响人与人之间的交流和沟通。

将中远距离大幅面 AR、VR 引入元宇宙构建体系，并融入人们的生活环境，能够在头戴设备之外提供更加多元的沉浸体验选项。其难点在于如何在不给教师和学生穿戴或绑定额外设备的前提下在教学中提供沉浸互动体验，让数字世界与物理世界有机融合，从而使人们不再必须头戴设备才能体验元宇宙，而是可以通过融入生活环境的各类设备直接感受数字空间。数字内容也会适应不同环境设备特点以恰当的方式呈现。另外，数字世界与生活环境的融合也使人们可以用更加自然的方式和元宇宙进行互动，而无需借助手持控制器或穿戴设备。

联想探索虚实融合的教育元宇宙，设计并构建虚实融合的教学系统。输入系统基于体感、手势等自然人机交互技术，输出系统采用中远距大幅面沉浸式显示，构造虚实融合的教学系统和方案。

2.2.3 技术方案及先进性

联想设计并构建了三个虚实融合的教学系统。在每个系统的设计中都引入不同类型的沉浸显示设备，构建适应其显示特点的交互技术，并探索应用到教学场景的最佳实践。综合沉浸显示的技术特点和教学场景的功能特点，构建的虚实融合教学系统分别为全息讲台教学、全息讲桌教学和远程拟真教学。

全息讲台教学和全息讲桌教学引入全息投影膜和佩珀尔幻象等伪全息显示技术以增强临场感与沉浸感。相较基于光的干涉和衍射原理记录并重现三维物体光波信息的全息三维显示技术^[2]，伪全息显示虽未完全重现三维物体的空间信息，但通过边缘消隐造成显示浮空等效果能够带来一定程度的空间感和立体感，且技术成熟可大规模应用。远程拟真教学在学生端基于全息讲台系统，在教师端引入大幅面弧形投影，提升远程教学两端的沉浸感和临场感。

2.2.3.1 全息体感交互技术

全息讲台的交互方式包括触控交互与体感交互。触控交互引入激光雷达扫描投影平面，手指触摸投影幕的地方激光反射回来，通过分析反射的激光信号计算手指的位置信息，进而在投影平面模拟单击、双击、滑动等触控交互。体感交互利用深度摄像头获取人体的轮廓骨骼等信息，基于空间标定参数将人体三维数据映射到投影幕所在空间，进而与全息投影平面显示的数字内容叠加融合。

全息讲台体感交互技术的实现可分为两步。第一步是标定深度摄像头与全息投影幕的位置关系，第二步是将摄像头采集的人体三维数

据变换到全息投影幕的屏幕空间，进而与屏幕中的虚拟物体和内容形成互动。

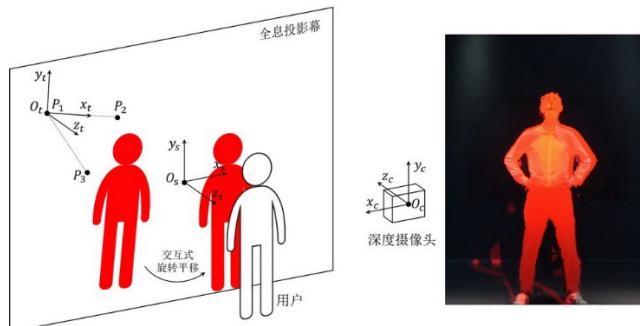


图 2.2-1 全息讲台体感交互技术

从学生角度看，渲染出来的教师轮廓画面与透过投影幕看到的教师身体实际轮廓重合。在大部分应用场景中，渲染的轮廓画面不会显式地呈现，而是用于全息讲台体感交互的后台计算，这样学生会看到教师在用自己的身体与虚拟内容互动。图为一些全息讲台体感交互示例。



图 2.2-2 全息讲台体感交互示例

2.2.3.2 全息手势交互技术

全息讲桌的显示结构为金字塔式，能够从四面椎体的不同角度观察三维物体的不同侧面，这种呈现形态非常适合多人沟通与交流。金字塔表面反射显示器画面带来的成像纵深感使用户在视觉上

认为呈现的三维物体位于金字塔的中心，带来一定程度的空间感与沉浸感。交互设计借鉴了人们在日常生活中操作真实三维物体的方式，采用虚拟手隐喻，在金字塔三维空间构建用户手的虚拟化身，对三维物体进行旋转、缩放、选择和重置等操作。如图 2.2-3 所示，全息讲桌教学系统设计并实现了一整套三维交互手势。



图 2.2-3 全息讲桌教学交互技术

2.2.3.3 多模融合交互技术

远程拟真教学采用基于手写、手势、体感、语音的多模态自然人机交互技术，为教师远程授课提供丰富的互动体验。教师端授课电脑采用二合一形态笔记本，显示屏在需要时可以分体作为平板独立使用，方便教师手持并用触控笔进行书写，而写的内容在学生端以板书呈现。授课电脑外接手势交互设备，让教师可以对虚拟场景中的三维对象进行旋转、缩放、选择、重置等操作。教师端还引入深度摄像头，使教师能够基于空间位置与三维场景进行交互，也可以基于骨骼运动跟踪驱动虚拟数字形象与远端学生互动。通过语音识别，可以方便教师完成一些控制操作，也可以作为语音助手辅助教学过程。

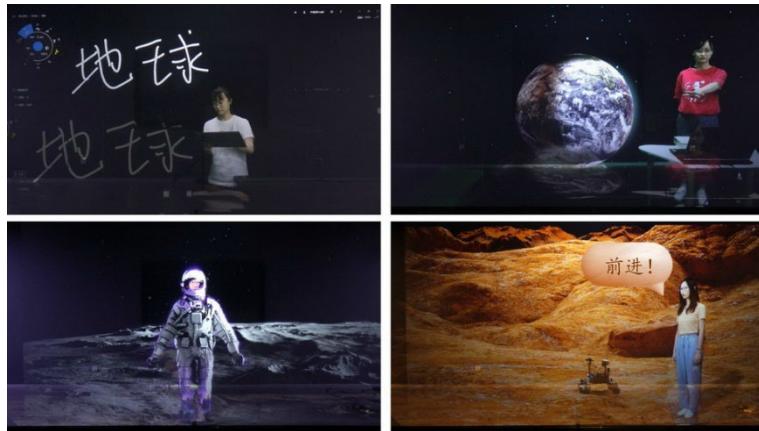


图 2.2-4 远程拟真教学交互技术

2.2.4 未来发展路径

除了教育，虚实融合技术也将扩展到更多的场景中。未来数字世界与物理世界将互联互通、无缝切换，让两个世界中的“人机物”能够互相感知、理解、通讯，从而在虚实融合呈现的 3D 空间下进行协同互动，是一种超现实空间的计算与交互，提供无边界沟通、无边界协作、无边界创作的融合体验。

超现实空间是后疫情时代线上线下混合学习/办公模式新常态下体验升级的终极目标。从设备形态来看，超现实空间计算会包括 3D 笔记本/一体机/大屏、3D 动捕设备、全息投影、沉浸式 CAVE 等，而交互方式则会有 3D 手势/体感控制、人眼视线跟踪、触觉反馈、味嗅觉模拟等，至于应用场景则可能覆盖 3D 内容创作、3D 内容消费、3D 游戏娱乐、虚拟实验、视频会议、远程教学等。

2.3 超清课堂直播

2.3.1 基本概念和发展趋势

2020 年 3 月 16 日，教育部发布了《关于加强“三个课堂”应用

的指导意见》，要求到 2022 年，全面实现“专递课堂”、“名师课堂”和“名校网络课堂”这三个课堂。“专递课堂”强调专门性，让师资资源丰富的学校帮扶农村或城乡师资薄弱学校，推动区域、城乡、校际差距有效弥合，推动实现教育优质均衡发展，实现教育公平。“名师课堂”强调共享性，主要针对教师教学能力不强、专业发展水平不高的问题，通过组建网络研修共同体等方式，发挥名师名课示范效应，探索网络环境下教研活动的新形态，以优秀教师带动普通教师水平提升，使名师资源得到更大范围共享，促进教师专业发展。“名校网络课堂”强调开放性，主要针对有效缩小区域、城乡、校际之间教育质量差距的迫切需求，以优质学校为主体，通过网络学校、网络课程等形式，系统性、全方位地推动优质教育资源在区域或全国范围内共享，满足学生对个性化发展和高质量教育的需求。

2.3.2 技术难点和挑战

其中“专递课堂”和“名师课堂”是一场多人、多教室共同参与的大型音视频互动场景，面临的关键问题是：“看得清，听得明，传得快”。

看得清：当前“专递课堂”和“名师课堂”主要以教育大屏为显示终端，屏幕分辨率都高达 4K，甚至 8K。这样高质量的视频画面，需要占用较高的网络带宽。为了帮助用户节省带宽资源，可使用更高压缩率的编码标准。同等质量的视频，新一代的编码相比 AVC 编码可节省至少一半带宽资源。同时只有满足一定的编码码率，视频质量才可能得到保证。根据国家广电总局 4K 超高清电视视频质量标准，

对于 4K30 帧的电视节目码率需要达到 25Mbps。这个视频编码的要求是针对 AVS2 编码提出的，因此如果选用压缩效率比 AVS2 更高的视频标准，同时也能达到 25Mbps 的码率，可以说是达到了国家广电超高清的视频质量要求的。将这个 4K 超高清的电视视频标准应用到实时音视频领域，也是一个极大的挑战。当前实时音视频通用软件提供商，基本没有能满足这个要求的厂商。即便是在专属的会议主机设备上，编码码率都小于 10Mbps。因此，如何达到广电级的视频质量，这是超高清直播课堂一个挑战。

GB

信息技术 高效多媒体编码
第 2 部分：视频

GB/T 33475.2—2016 Information technology—High efficiency media coding—Part 2: Video

表 B.9 级别 8.0.30 和 8.2.30 的参数限制

参 数	级 别	
	8.0.30	8.2.30
每行最大样本数	4096	4096
每帧最大行数	2304	2304
每秒最大帧数	30	30
每帧最大条带数	128	128
亮度样本速率	283115520	283115520
最大比特率(位每秒)	25000000	100000000
BBV 缓冲区大小(位)	25001984	100007936
解码图像缓冲区大小(图像)	Min(56623104/(MinCuWidth × MiniSize × MinCuHeight × MiniSize), 16) - 1	

图 2.3-1 广电总局 4K 超高清电视视频质量标准

听得明：在教育场景下，远程双方需要实时语音互动，会遇到双讲问题。双讲主要指在远程语音交互场景中，互动双方或多方同时讲话，其中一方的声音会受到抑制，从而出现断断续续的情况。这是由于其中一人的声音，被对方的回声所掩蔽。这就要求在回声消除算法上寻找平衡点，既不能产生回声，又不能抑制人声。在教育场景下，

另外一个重要的问题是完全自由的对话体验。不管是学生或老师在一个标准的教室里，在任何位置、任何方向都能与远端的师生对话。声音的采集还受到建筑物的装饰材质、空间大小、播放设备布局等的影响。因此，如何在如此大面积并且不统一的物理环境、任意的位置都能进行清晰的语音互动，是超高清直播课堂另外一个技术挑战。

传得快：根据国际通信联合会 ITU-T G. 114 标准，为保证通话双方的有效性和体验，音频传输的单向延迟必须小于 400ms。然而 TCP/IP 协议栈在网络层是提供尽力而为的服务，在链路质量差、设备带宽满、不同运营商之间传输数据时，数据丢包是常有的事情。由于 TCP 有丢包退避机制来减轻网络拥塞，当发生连续多次丢包后，就会产生非常大 (>800ms) 的延迟。因此，如何降低音视频端到端的延迟是超高清直播课堂的第三个技术挑战。

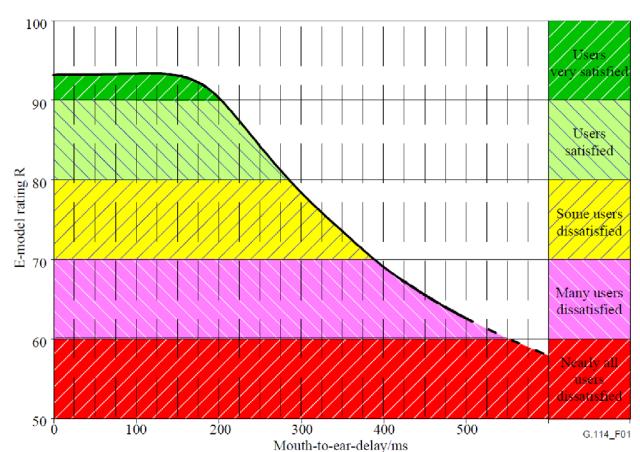


Figure 1/G.114 – Determination of the effects of absolute delay by the E-model

图 2.3-2 ITU-T G.114 标准

2.3.3 技术方案及先进性

针对超高清直播课堂所面临的视频高质量编码、音频清晰采集和音视频传输低时延等问题，联想使用如下创新技术解决这些挑战。

第一，基于成熟的 WebRTC 框架和 RFC 7798 标准，新添压缩率更高的视频格式的支持，能有效提升画面质量。WebRTC 是事实上的实时音视频通信标准，在实时音视频的框架集成了优秀的算法来解决弱网问题，丢包问题和网络抖动问题。通过将新的视频压缩编码格式引入 WebRTC，提升了 WebRTC 的视频质量，减少了网络带宽的需求。

第二，针对大空间、全方位、自由式的语音交互方式所面临的挑战，开发了物理介质环境自适应的音频 AI 处理算法，实现异地之间沉浸式、自然语音交互。AI 技术是一个基础工具，可以用于音频处理的方方面面。比如检测当前音乐、啸叫等类型，也可以进行常见的音频 3A 增强处理，甚至进行空间音频编码与渲染。通过把 AI 引入对声音的噪声、混响、回声、杂音等处理，在鲁棒性、语音保真等方面得到很大的提高。同时使用 AI 对说话人的位置进行空间定位，在特定的方向进行声音增益，实现了大空间的任意位置的语音采集。

第三，统一抽象的视频编解码框架，充分发挥了设备潜能，提升了编解码速度，降低了音视频端到端的时延。WebRTC 本身在视频编解码方面对视频格式支持有限，原生都是使用软件进行编解码。当视频分辨率增大到 4K，码率增大到 25Mbps 时，编解码时延超过 150ms。而业界有些的开源实现项目都是基于特定的硬件来实现自身平台的视频硬件编解码。通过对视频编解码的抽象，支持了业界所有的 GPU 型号，并与 WebRTC 对接，从而加快了视频编解码速度，降低了端到端的时延。

通过以上技术创新，达到业界领先的技术指标：

表 2.3-1 技术指标表

技术指标项	技术指标值
最大视频分辨率	3840×2160
最大视频帧率	60FPS
最大视频码率	25Mbps (达到广播电视行业 (GB/T 33475.2-2016) 4K 超高清视频质量)
最大端到端音视频时延	≤400ms
单麦克风采集范围	支持 5 米*8 米清晰语音采集

联想超高清实时音视频技术，不仅技术性能指标领先于业界厂商，同时相比于传统几万甚至几十万的昂贵视频会议定制主机方案，该技术复用了教室现有的通用计算主机，无需额外会议专属主机设备，极大地降低了部署复杂度并减少 30% 方案成本。

2021 年，基于该技术的联想大型沉浸式未来黑板——HoloBoard 成功入围国际“教育界的奥斯卡”大奖——“重构教育奖”(Reimagine Education Awards) 的决选名单。基于该技术的方案已经成功部署在西安电子科技大学及华中师范大学，推动两所高校建成全球首个 5G+4K+全息混合现实课堂。



图 2.3-3 效果示意

2.3.4 未来发展趋势

当前基于超高清的课堂直播已经慢慢开始普及，在画面质量上已经变得越来越好，但是当前师生所看的内容都是固定位置的摄像头拍摄画面，师生并不能自由地根据个人的喜好来选择观看角度。在 2022 年的北京冬奥会上，北京大学陈宝权教授带领的团队使用 42 台超高清相机，首次开启了自由视点的奥运项目直播，为观众带来了“沉浸式”的线上观看体验。当前这项技术主要在云端进行图像融合和编解码，针对的是视频点播场景。如果能将自由视点的技术引入课堂直播，必将为师生带来更好的互动体验，提升教学效果。但在引入过程中，面临如何减少所需要的摄像头数量、如何对多个超高清摄像头数据进行高效率融合编码、如何进行实时虚拟视点插入等众多难题，这是联想目前在超清课堂直播探索的方向。

2.4 教育文档识别

2.4.1 基本概念和发展趋势

文字是人类使用符号来记录表达信息的方式和工具，是人类最伟大的最具影响力 的发明之一，是人类智慧的结晶。在现在的信息化社会中，随着数码设备，智能手机等具有拍照和摄像功能的电子设备的普及，大量的文字以文档图像的形式保存下来。文字识别是将图片或视频中的文字自动转换成可编辑文本的技术。随着深度学习技术的发展，文字识别技术得到了突破性的进展，其性能和效率都得到了极大的提高。并且文档识别技术逐渐发展成为一项基本的算法能力，作为

底层的技术支撑，赋能上层不同的业务应用。

随着 2020 年发改委将人工智能基础设施列入“新基建”范畴，文档识别技术无疑将迎来新的发展机遇。通过文档识别技术，可以高效地进行教育文档的电子化，自动化智能阅卷，错题自动提取等技术，助力学校和教育机构能力升级，从人工智能角度提升学生的学习效率、提高教师的工作效率。

2.4.2 技术难点和挑战

(1) 面向教育文档的文字识别

首先教育场景下图像的来源会有以下形式：扫描文档，手机拍照，屏幕截图等等。图像来源多样导致在不同场景下获取的图片有较大差别。扫描图片通常分辨率高，图片清晰；而拍照图片通常容易出现运动模糊，纸张扭曲、倾斜和阴影问题。另外教育场景下存在长短文本较多，文本方向多样的问题，还有常见的书本翻页导致的弯曲文本现象，如图 2.4-1 所示。

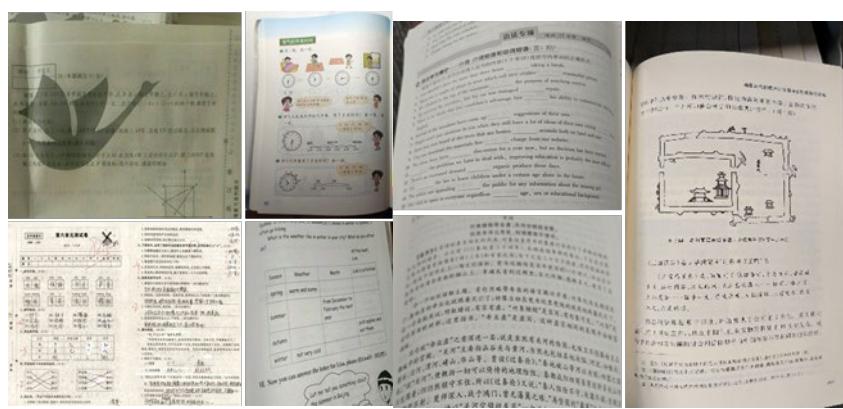


图 2.4-1 弯曲文本

通常打印体文本识别任务会包含两个部分：一是文本行检测，二是文本识别。

文本行检测是打印体文字识别的基础也是文档识别的关键。现有的技术主要分为基于传统方法和基于深度学习的方法。基于传统比如 Top-Down 和 Bottom-Up 方法，此类方法的优势是处理速度快，不足是只支持规则布局，不支持复杂的文档布局和复杂背景的情况，并且准确率依赖于人工设置的参数。另一种是基于深度学习模型进行的文本检测，优势是不依赖于文本布局格式，支持复杂布局和复杂背景，不依赖人工设置参数；但基于深度学习模型场景迁移能力差，不能支持公式与文字混排、打印体试题与手写答案交叠等情况。

对于文字识别，目前的主流方法是基于深度学习的 CNN+LSTM 模型。并在最后引入 CTC 损失函数或者注意力机制的方式，来实现端对端的不定长序列识别。但是单一解码器不能兼顾教育场景中的长短文本和多种语言的混合识别。

(2) 面向公式与文字混排的公式识别

不同于常规文档，教育文档尤其是数理化等理科文档中存在大量公式内容。然而，公式本身存在着较为复杂的拓扑结构，需采用不同于普通文本的识别方法进行处理才能够正确恢复其结构及含义，因此，准确完整地将公式从整体文档内容中提取出来，与普通文本内容区分开是教育文档识别非常重要的一步。

传统的公式检测算法，利用投影法、规则定义法等获取公式区域的特征，多个特征组成特征向量来区分普通文本行和公式，需要较为丰富的先验知识。随着机器学习及深度学习的兴起，在目标检测方法基础上增加滑动窗口、注意力机制等改进措施的深度学习方

法被用于实现对于文档中公式的提取，但由于本身特征不丰富且尺度变化大，尤其是内嵌公式与普通文本的区隔不明显，公式检测仍旧是目前业界尚未完全解决的一项难点。

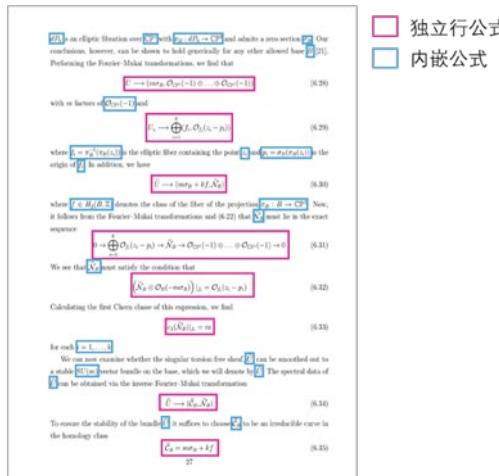


图 2.4-2 公式检测示意

对于检测为公式的区域，需要进行公式识别。公式识别的发展包括两个阶段，第一阶段依托传统图像处理方法，将公式识别任务分解为符号识别和结构识别，通过分步处理或联合优化，生成语法树；第二阶段依托深度神经网络，将编码-解码框架引入公式识别，而其中解码器的发展也经过了两个阶段，包括序列解码器和树解码器。目前，序列解码器被广泛应用在公式识别领域，且获得了远优于传统方法的性能，树解码器尚处于探索发展阶段，识别准确率需要提升。

2.4.3 技术方案及先进性

(1) 面向教育文档的文字识别

针对文本检测和识别现有技术的问题，结合教育场景下文档图像的特点，联想提出了基于多任务的文本检测模型，以及 CNN+增强自注意力机制相结合的字符串识别模型。

基于多任务的文本检测模型使用基于语义分割的方法首先通过卷积神经网络进行特征提取，然后将特征向量分别送入语义分割分支和目标检测分支。其中基于语义分割分支加入了对于单行文本开始和结束位置的监督，以避免不同长度文本行开始和结束位置检测不准的情况；另外，目标检测分支可以对独立或者较短文本进行更有效的检测；最后，综合两个分支的结果作为模型输出。流程效果如下图所示。

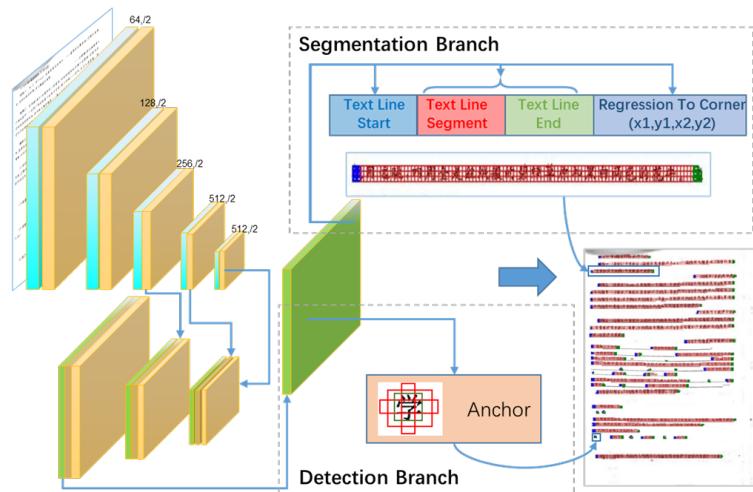


图 2.4-3 流程效果

CNN+增强自注意力机制相结合的字符串识别模型，首先使用卷积神经网络提取图像特征，再使用多头自注意力机制提取特征序列关系，有效提升字符识别精度（模型处理流程如图 2.4-4 所示）。增强自注意力机制是注意力机制的变体，可以减少当前字符串内距离较远信息的依赖，更有效地捕捉特征内部相关性。在处理长文本串识别时，较远的特征对当前字符识别的贡献有限，应该让注意力更关注相对较近距离的特征。

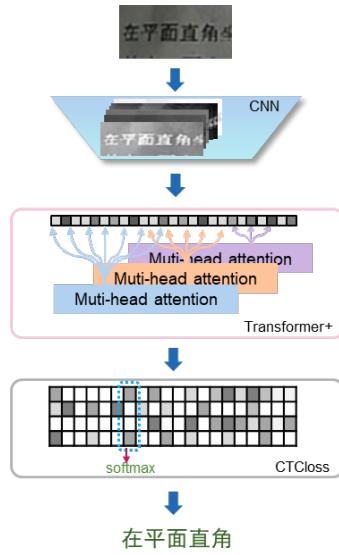


图 2.4-4 模型处理流程

面向教育文档的文字识别技术，在 2020 年国际模式识别大会 (ICPR2020) 竞赛中，获得了图表信息提取竞赛中打印体文本识别赛道冠军，并且在 2019 年中国模式识别学术大会 (PRCV2019) 的面向教育文档的 OCR 技术挑战赛中获得冠军，证明了该算法模型的先进性。

(2) 面向公式与文字混排的公式识别

针对公式难以被完整且高准确率检测的问题，联想基于自动生成普通文本区域和公式区域的预分类方法，结合单阶段和双阶段目标检测模型融合技术，从数据及模型两方面入手，充分发挥数据标注监督作用并融合单阶段和双阶段模型特点，有效地解决单一模型漏检或多检的问题，高准确率的完成了对于独立和嵌入文本的公式的检测。

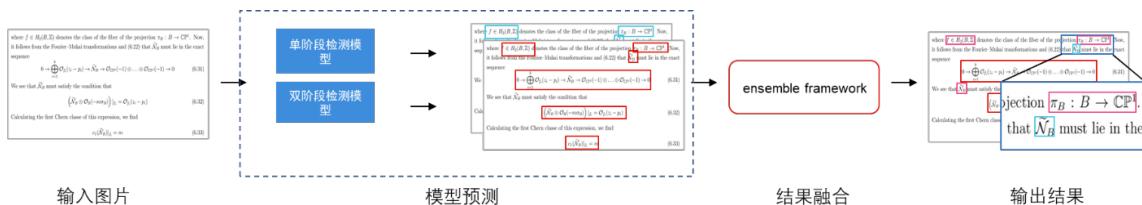


图 2.4-5 公式检测方案流程

针对公式识别的问题，首先对公式结构进行初步分析，分解为若

干水平块，用于对不同结构的公式图像设定不同输入尺寸。然后送入卷积神经网络提取图像特征。对于公式图像，图像信息分布不均匀，有很多空白信息，不同区间的图像信息的重要性是不一样的，基于此，提出使用空间权重加权单元，对卷积神经网络的输出特征进行特征学习，学习每个区间块的权重值，增强有效特征的表示，削弱无效特征的影响。之后再用 transformer 解码器进行解码，生成 Latex 结果，transformer 解码器由自注意力和交叉注意力模块构成，可以相对有效地解决长依赖问题，整个模型结构如图 2.4-6 所示：

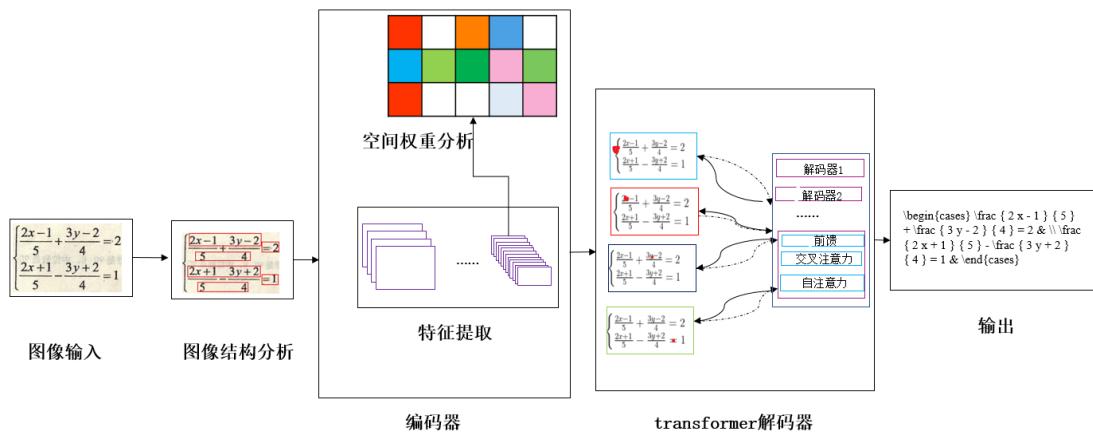


图 2.4-6 公式识别框架图

面向公式与文字混排的公式识别技术，在 2021 年国际文档分析与识别会议 (ICDAR2021) 的公式检测竞赛中获得亚军。

2.4.4 未来发展路径

尽管近些年目前教育文档识别技术已经有了明显的发展，并且在多个教育场景中落地，比如自动阅卷，试题电子化，指查指译，智能错题本等，但是从技术发展看还是有需要明显提升的方面。

首先是对于数据的强依赖。教育文档本身从数据获取和标注的难

度都很大，如何进行有效的数据合成以及如何利用大量未标注真实数据都是未来的研究热点。另外教育领域文档识别的预训练模型还处于空缺状态。目前大规模预训练模型已经在包括 NLP 领域广泛使用以及在版面分析也有公开的预训练模型，但是还没有面向教育文档的预训练模型。最后一个 是多任务学习，目前的处理 pipeline 还是分阶段模型的组合，文本识别、版面分析、公式识别还是分离的模型，存在整体效率问题和关联错误问题，多任务模型可以更好的解决这类问题。

未来面向教育的文档识别技术，会发展出针对性的预训练模型和多任务学习的方式，提升整体的识别率和泛化能力。

2.5 板书手写识别

2.5.1 基本概念和发展趋势

教育大屏是教学过程中的核心设备。老师通过在教室前方的教育大屏设备，完成向学生展示教学内容，显示教案，书写板书重要的教学活动。在板书书写方面，比传统黑板的优势在于，教室的手写内容，包括文字、公式和图形可以被教育大屏实时识别并且展示，有效的提升了教学效率。上述提到的识别书写内容的技术，就是联机手写识别技术。

根据采集数据的形式不同，识别技术可分为联机识别和脱机识别。联机识别通过记录笔尖运动的轨迹并进行分析，从而识别所书写的语言信息或者图形信息，进而识别为文字或者图形编码。联机手写识别被广泛用于众多触屏设备，如智能手机、智慧教育大屏、智能会议白

板、电子手表、电子墨水屏等。

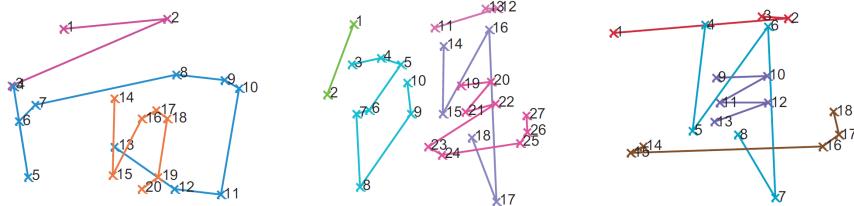


图 2.5-1 联机手写识别^[3]

现阶段，根据识别内容的不同，联机手写识别技术主要分为：手写文字识别，手写公式和手绘图形识别，这些技术在教学过程中都发挥着重要作用。

联机手写文字识别主要用于识别教师书写的文本内容，包括板书、评语等。而公式识别主要用于理科教学中的不同种类公式的识别。

2.5.2 技术难点和挑战

联机手写识别的研究曾在 1990 年代末达到顶峰，最近几年引起关注是因为以下几个原因：1. 移动设备的巨大增长，绝大部分配备了触摸屏，可以轻松地记录联机手写输入，特别是很多智能设备配备了触控笔，联机手写识别的应用场景也随之增长；2. 有些文字使用软键盘输入很困难，甚至没有标准的键盘输入，这些文字更适合用手写直接输入；3. 语音识别、深度学习、机器翻译和 OCR 等相关领域的技术进步，可以应用到联机手写识别中，从而使得识别准确率大大提高，联机手写识别的应用价值也随之提高。在教育中，随着教育智慧化的推广，智慧教育大屏普及度也在快速增长，同时学生在平板上手写答题越来越普遍，对于联机手写识别的需求也在相应增长。



图 2.5-2 联机手写文字识别在教育中的应用示例

相比于打印体文字，手写文字在书写时随意性较大，没有明确的规范，如书写笔画容易变形，连笔、笔画存在歧义，缺笔等现象常常发生，大大增加了识别难度；不同的书写者手写的文字在书写风格上差异较大，如汉字还存在差异较大的字体风格如草书行书楷体等；文字中常常存在相似字或是辨别难度较大的文字或是字母，尤其是手写体的不规范性和各异性又大大增加了识别难度，如英文中“C,c”，“0,o”，中文中的“已，己”，“菜，菜”等；联机手写文字数据量对于模型训练仍然存在较大挑战，充足且丰富的训练数据对于识别模型的准确率和鲁棒性至关重要，但是实际当中收集大量的样式丰富的联机手写数据存在较大难度。

教育等领域中，手写公式识别也有着广泛的应用。相比于文本数据，公式数据的呈现需要通过专门的语言和一些编辑器，所以人们更倾向于用手写来直接输入，这样更为方便快捷。在教育行业，公式是很重要的信息载体和知识，因此手写公式识别对于教育行业非常重要。

之前大多联机手写文字和公式识别方法都是采用分割或是基于LSTM的网络模型方案的方法。

基于字符分割的方法，通过事先对笔画的分割，寻找最优路径，

然后基于路径进行识别。此类方法对于笔画分割的精确程度要求很高，并且容易形成错误累计，对于复杂的场景识别率不高；基于 LSTM 的方法将笔画序列作为输入，使用 LSTM 编-解码的方式，直接输出识别结果，此类方法可以得到准确率较高的识别结果，但是没有充分应用语言模型的信息。

2.5.3 技术方案及先进性

为了解决上述问题，提出了一种基于全局和局部特征相结合的模型结构 GLRNet 并且加入语言模型 TransLM^[4]。原始手写轨迹点经过预处理及特征表示，产生特征向量输入到 GLRNet，在该模型提取不同时间步上特征的局部和全局关系，从而使得模型具有较高的特征提取有效性和计算效率，提取的特征通过分类层输出预测结果，之后 GLRNet 的预测结果送入到 TransLM，TransLM 结合语言文本信息给出最终的预测概率值。

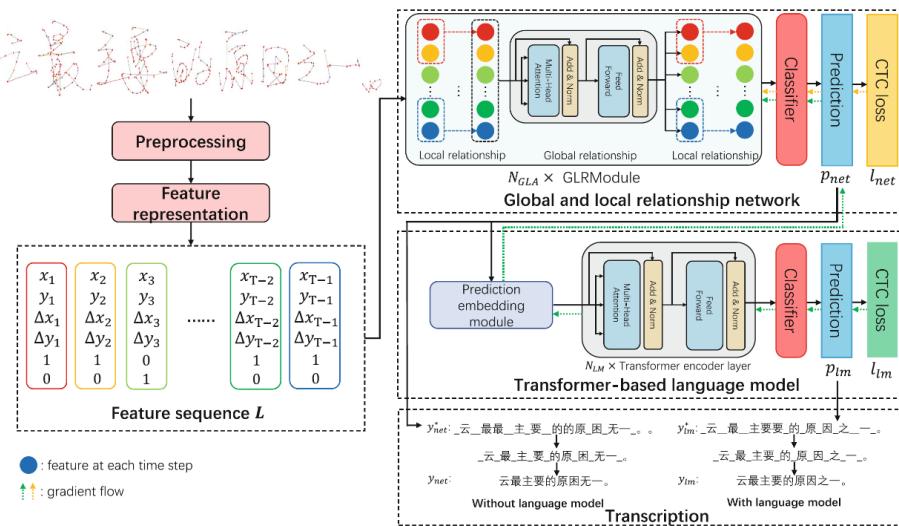


图 2.5-3 手写文字识别流程

在公开数据集 ICADAR2013 中文联机手写识别比赛测试集^[5]上将联想方法与现有方法进行了对比测试，该数据集包括 3432 条联机手

写文本行数据。结果对比维度包括准确率、运行速度、和存储占用情况。从结果中可以看出，在不加语言模型及加入语言模型的方法对比中，联想方法的编辑距离准确率(AR, CR)均优于业界方案，而且运算速度明显高于其他方法，并且在语言模型的空间占用远远小于其他语言模型的方法，充分证明了所提方法的特征提取能力及语言模型的速度、精度、空间占用上的优势。

表 2.5-1 在 ICDAR2013 竞赛数据集上与现有方法对比结果^[4]

Method	Without language model				With language model			
	AR	CR	Footprint	Speed	AR	CR	Footprint	Speed
Zhou et al. [32]	—	—	—	—	94.06	94.76	—	—
Zhou et al. [33]	—	—	—	—	94.22	94.76	—	—
Sun et al. [20]†	89.12	90.18	—	—	93.40	94.43	—	—
2C-FCRN+impLM [28]	88.88	90.17	109.5 MB	15.2 ms	95.46	96.01	174.9 MB	22.1 ms
2C-FCRN+imp & staLM [28]	88.88	90.17	109.5 MB	15.2 ms	96.06	96.58	751.2 MB	856.9 ms
VGG-DBLSTM [5]	87.49	87.98	39.5 MB	16.6 ms	97.03	97.29	153.9 MB	—
CharNet-DBLSTM [5]	87.10	87.71	19.1 MB	13.7 ms	96.87	97.15	133.5 MB	—
Liu et al. [13]	91.36	92.37	24.5 MB	18.4 ms	94.89	95.70	600.8 MB	1589.5 ms
GLRNet (ours)	91.24	91.81	26.9 MB	7.0 ms	—	—	—	—
GLRNet+TransLM (ours)	95.05	95.46	26.9 MB	7.0 ms	97.36	97.63	73.4 MB	11.9 ms

对于手写公式，其规整度上远远不及打印体公式，不同书写者的书写习惯、变形、连笔、断笔、潦草程度都为识别带来了巨大的挑战 GLRNet 可以通过在手写文字和手写公式上不同数据集的训练，均达到高准确率，证明的此方法有较强的泛化能力。

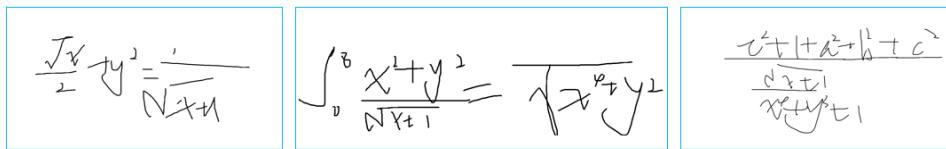


图 2.5-4 联机手写公式样例

在 CROHME2014 联机手写公开数据集上与业界中性能先进的联机手写公式识别方法进行对比测试，该数据集包括 986 条公式，共 6 千个符号。测试结果如表 2.5-2 所示，不管是完全匹配的准确率，还是编辑距离的准确率，联想方法都明显高于其他方法，充分证明了所提

方法的有效性。

表 2.5-2 在 CROHME2014 数据集上的测试结果

方法	完全匹配准确率(%)	AR 编辑距离(%)
WAP ^[6]	44.42	81.60
TAP ^[7]	55.37	88.47
PAL ^[8]	39.66	79.23
DenseMSA ^[9]	52.80	84.22
SRD ^[10]	56.60	89.77
Ours	58.23	91.12

2.5.4 未来发展趋势

目前在人工智能以及教育信息化 2.0 的大背景下，行业智能化是总体趋势。近些年联机手写文字识别已经取得了很大进展，但是在教育领域仍然存在没有得到很好解决随意书写多种元素识别率不高问题，以及不同元素之间关系匹配难的问题。解决方法的主要方向包括，建立联机识别整体处理的 pipeline，实现从续写元素分类，分块识别，关系重建的整体模型的整体流程，并且还需要结合 NLP 和知识图谱等技术，提升识别目标与场景的关联性判定和识别率。

2.6 知识森林导学

2.6.1 基本概念和发展趋势

近年来，国外学术界与工业界针对在线教育在智能导学环节存在的问题，开展了一系列在线教育研究与应用。主要涉及学习规划和内容推荐。现有学习规划方法主要考虑了学习风格、掌握程度、时间约束、知识背景和学习目标等因素，且规划集中在“课程”粒度；其中，一类方法采用“单课程+评估”的迭代策略，另一类则一次性输出课程序列，并开展基于路径的评估。佐治亚理工、Civitas Learning 公

司等机构研发了个性化教学内容推荐或自适应学习，并在大规模学生群体中进行应用。现有研究均侧重于数据挖掘、协同过滤等单一机器智能。

我国长期以来重视在线教育和人工智能技术相融合，围绕在线教育理论、关键技术和应用方面开展了一系列工作。例如，在智能导学方面，西安交通大学与清华大学分别提出了基于课程级、篇章级的学习规划和路径生成方法，并在各自大学网络教学平台中应用。同时西安交通大学也开展基于知识图谱的个性化导学等研究工作。

在智能导学方面，机器智能擅长模式发现，不擅长高阶推理，且现有方法还没有打通学习规划、内容推荐、辅导答疑等多个环节，不能提供知识引导的、可解释的智能导学服务，导致学生认知过载易迷航。目前的研究趋势是结合在线教育中各环节的单点技术能力，形成综合智能导学解决方案。

2.6.2 技术难点和挑战

知识森林导学的目标是利用人工智能技术赋能在线教学平台，减少教师的重复性工作，如教学资源管理、试题标注、出题测评等，实现教学过程的精准化与个性化。

传统在线教学平台在智能导学方面主要面临三个痛点。第一，异构知识难融合。教育平台存在大量第三供应商提供的教学资源，但是这些资源的知识体系互相独立，各碎片化知识也相互独立，缺少知识关系，导致形成数据孤岛，给平台资源管理带来了困难。

第二，知识标签难匹配。用户有多空间融合学习的需求，例如

作业环节，一般教师会要求学生线下完成纸质作业，再拍照上传到教学平台。识别并自动标注学生上传试题的题型、难度、知识点等标签，是打通物理空间与在线学习空间界限的主要手段，拍照上传的试题资源包含多种模态的数据，如文本、公式、示意图等，如何利用多模态信息得到更准确的识别结果是主要的技术挑战。

第三，学习服务难匹配。如何根据学生的知识画像，匹配符合学生认知水平的试题、课程、学习资料等资源是实现个性化学习的核心技术，传统的行业解决方案一般采用推荐系统为学生匹配学习资源，但是推荐的内容往往千篇一律，缺少新颖性。生成式人工智能可以缓解该问题，但是生成过程的可解释、特征可控制是面临的主要技术挑战。



图 2.6-1 在线教育平台智能化面临的 3 个主要难点

2.6.3 技术方案及先进性

为解决上文提到的三大业务挑战和技术难点，提出了“知识森林导学”解决方案。该方案由三个核心引擎组成：知识体系化引擎、资源标签化引擎和学习个性化引擎。针对“异构知识难融合”问题，提出基于知识森林的数据融合算法，构建统一的融合知识体系，打破数

据孤岛。以融合知识体系为基础，打造自动标注引擎，解决大规模多标签分类难题。在打通学习资源和精准自动标签标注的基础上，实现“生成式”学习资源匹配系统，基于学生认知水平和学习进度生成试题，解决“学习个性化”问题。

(1) 知识融合

为了解决三方知识体系相互独立、知识碎片化和知识关系缺乏的难题，提出了以点对点匹配度为基础的体系融合算法。以语义匹配模型为基准，应用实体消歧和指代消解技术，对图谱化知识网络进行数据融合。联想联合西安交通大学，提出知识森林构建技术，以主题分面树生成和碎片-分面树的映射技术为核心，解决了知识补全的问题。基于学科语料库的知识依赖关系挖掘技术被引入^[11]，可以得到跨学习顺序的知识点长距离依赖关系。

表 2.6-1 知识融合前后知识体系的提升

	融合前	融合后
知识粒度	3 级	6 级
交叉覆盖率	64%	100%
准确率	/	98%
知识关系占比	31%	95%
知识碎片挂载率	0.57	0.69

经统计，采用知识融合更新后，原有知识体系在知识粒度、三方体系覆盖率、知识关系数量方面均得到了提升，达到了业内领先水平（如表 2.6-1 所示）。

(2) 自动标注

为了解决学习资源标签标注难题，进而实现多空间融合学习的目

标，提出了知识标签自动标注技术。该技术针对教育场景下的文本语义理解难题做了以下创新：提出使用针对教育文本的多阶段预训练模型，更好地对教育文本进行语义表征。使用加入跨模态信息融合的模型，结合资源中的文本、公式、图片等多模态信息进行预测。对多标签层次结构建模，提高分类准确性。

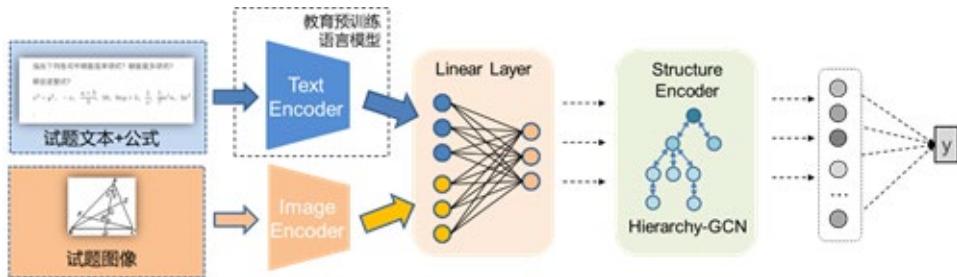


图 2.6-2 自动标注算法流程

在自建基础教育多标签分类数据集上与现有方法进行了对比测试，该数据集包括百万级多标签试题数据，标签规模约 2000+。结果对比维度包括准确率、召回率、F1 和运行速度。对比的方法中包括传统序列方法、预训练模型、层次建模模型等。从结果中可以看出，联想算法优于业界方案，达到了业界领先水平。

表 2.6-2 知识自动标注算法性能对比

方法	Precision	Recall	F1	Speed
TextRCNN ^[12]	83.35	68.2	75.02	15ms
BERT ^[13]	84.15	71.23	77.15	279ms
HiAGM ^[14]	79.48	74.64	76.98	93ms
HiMatch ^[15]	77.56	75.66	76.6	34ms
Ours	80.53	75.35	77.85393	25ms

(3) 问题生成

为了根据学生认知水平自适应的生成测评试题，需要解决试题生成可解释、试题难度可控制、试题类型长尾效应等难题。针对以

上挑战，联想主要完成以下创新：研发推理链的可视化呈现技术，增强了试题生成的可解释性；应用基于推理步骤的多跳问题生成技术实现了难度可控的问题生成；提出一种基于元学习的问题生成算法，应用小样本学习技术解决了问题生成面临的数据缺乏问题。

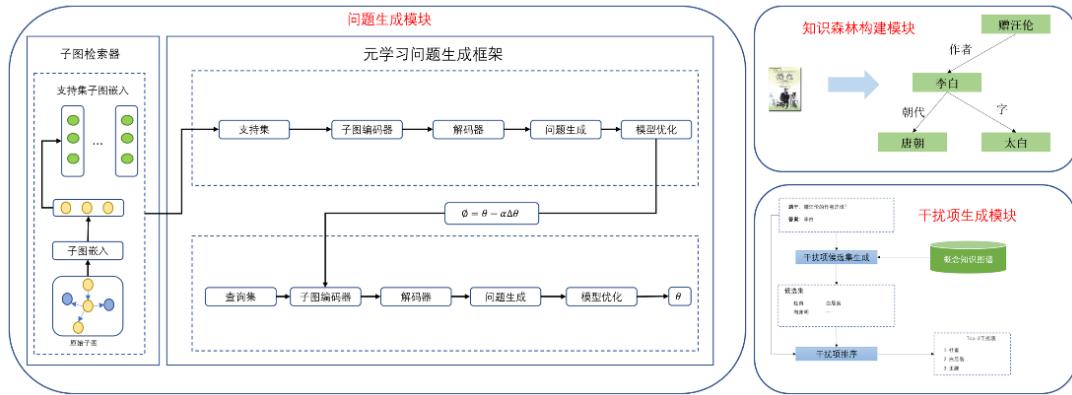


图 2.6-3 问题生成模型框架

为了验证问题生成技术的先进性，在自建的教育问题生成数据集上与业界领先的算法进行了对比测试。并从客观和主观两个维度对算法性能进行了评价。对于客观评价，使用 BLEU-4、Rouge-L 以及 METEOR 三个客观评价指标。对于主观评价，使用 CSAT（客户满意程度）作为衡量指标。CSAT 由算法内容精度和算法性能精度加权平均计算得到。测试结果表明联想的算法在主观和客观评价指标上均达到了业内先进水平。

表 2.6-3 问题生成算法性能对比

方法	客观评价			主观评价		
	BLEU-4	Rouge-L	METEOR	内容精度	性能精度	CSAT
DCMQG ^[16]	0.44	0.59	0.50	0.80	0.76	0.78
Guiding the growthig ^[17]	0.44	0.60	0.51	0.80	0.77	0.78
OneStop QAMakers ^[18]	0.45	0.62	0.53	0.81	0.78	0.79
Ours	0.47	0.64	0.55	0.85	0.91	0.88

2.6.4 未来发展趋势

随着技术的发展，信息技术的呈现形式也发生着变化，智能化的趋势变得越来越凸显。智能导学系统和适应性学习系统等智能化的教育技术是未来的发展趋势。未来，联想的知识森林解决方案将继续沿着深度和广度两个方向发展。“深度”方向，知识体系融合技术可从点融合和体系融合分开判别的模式发展为端到端自动处理的智能算法方案。自动标注将从试题的自动标注扩展为全类型教育文档的自动标注。问题生成将从支持逻辑性较强的理科拓展到支持全学科。“广度”方向，知识森林智能导学方案将进一步研究虚实结合学习环境下的智能导学技术方案。

2.7 教学质量评价

2.7.1 基本概念和发展趋势

教学质量评价是指对老师的学术业务水平、教学方法、教学态度等进行评价。教育测量学的基本内容之一如何评价教学质量，还没有统一的标准一门课程的教学质量，与诸多因素密切相关，如各课程的教学质量、本门课程各个教学环节的互相配合、教师的教学效果、学生的素质及学习态度等。

在数字化信息时代背景下，“教”与“学”都被赋予新的时代内涵。政策引导下的教育教学评价体系改革，让以往以成绩结果评价为教学质量评教的唯一标准的模式成为过去，期望实现全过程综合性评价。全过程综合评价，核心是破解面向学生德智体美劳的全

方位量化评测与全过程建模、分析和评价、面向教师教学的全过程评价，有效支撑个性化学生发展和教师教学能力发展。通过创建教学质量实时监测大数据平台，精准采集全部课堂全过程状态数据；基于此数据，结合自然语言处理、大数据深度学习与模式识别技术，分别从教学评教文本、课堂图像中，提取教学质量评价特征，从而评价课堂教学质量，发现具体课堂问题和问题课堂。面向学生，基于教学质量实时监测大数据平台，从大数据中分析挖掘出涵盖学业、第二课堂等特性，建立学生精准画像，预测学业走势、定位网络沉溺与经济困难等，实现精准帮扶。

2.7.2 技术难点和挑战

传统的教学评价指标主要依靠专家采用人为设计方式完成，存在一级指标易主观难量化，又难以指导发现新细粒度二级指标的问题。为了满足教育教学全过程综合评价，就必须在不断挖掘新的一级特征指标的同时，自动发现和完善二级指标。现有对评教文本的挖掘主要采用观点挖掘技术，观点挖掘是自然语言处理和机器学习领域的热门研究，也是主流的文本分析研究方向，其按照研究对象分为两大类，第一类观点挖掘研究包含方面提取和方面情感分析两个任务，其中，方面指文本片段；第二类包含侧面分类和侧面情感分析两个任务，其中，侧面指高层语义主题。观点挖掘技术主要关注带有情感极性的实体，往往会忽略对以推荐、提示等、具有委婉、祈使、条件等语法语气的建议类信息的识别和提取。例如对于“老师板书很清晰，但作业批改很不及时，不过整体教得挺好的，

学习资料如果能再多提供一些就更好了。”这个评教文本，观点挖掘会关注“板书”和“作业批改”这两个实体和其情感倾向，往往会丢失后半段情感倾向不明确、情感强度弱的建议信息。而现有的建议类挖掘是二分类任务，即仅判断评教文本是否包含建议表达或是否包含建议语句，无法自动挖掘具体的细粒度建议并反馈。

2.7.3 技术方案与先进性

为解决以上的业务挑战和技术难点，提出了“乐学评教”解决方案。该方案通过教学质量实时监测大数据平台，精准采集全部课堂全过程状态数据；并基于此数据，结合自然语言处理、大数据深度学习与模式识别技术，分别从教学评教文本、课堂图像中，提取教学质量评价特征，自动挖掘发现新评价指标，对二级指标提出优化建议；并基于评价数据可信度技术，对精准采集全过程状态数据进行分析，解决全过程综合评估难的问题，帮区域和学校建立健全教育质量评价方法，丰富评价维度，打造个性化评教体系。

(1) 评教指标挖掘

联想基于多注意力融合的评教文本细粒度建议挖掘方法，将评教文本细粒度建议挖掘定义为从文本中挖掘建议动作词、建议实体词和对应的高层教学评价指标。在挖掘建议词组的过程中，通过建议增强组件、词信息增强组件和句法上下文增强组件，有效地克服了序列标注模型易受噪声影响、难整合词组信息和易忽略句法依赖关系的难题。具体来说，建议增强组件通过卷积神经网络捕捉文本的字符级特征，词信息增强组件和句法上下文增强组件通过字-词交互图帮助字符捕

获词汇的边界和句法最近的上下文语义信息；同时借助多任务框架提取建议词组的高层教学评价指标。有助于帮助多方位了解课堂，提供有效反馈给教师，促进其提升教学质量。

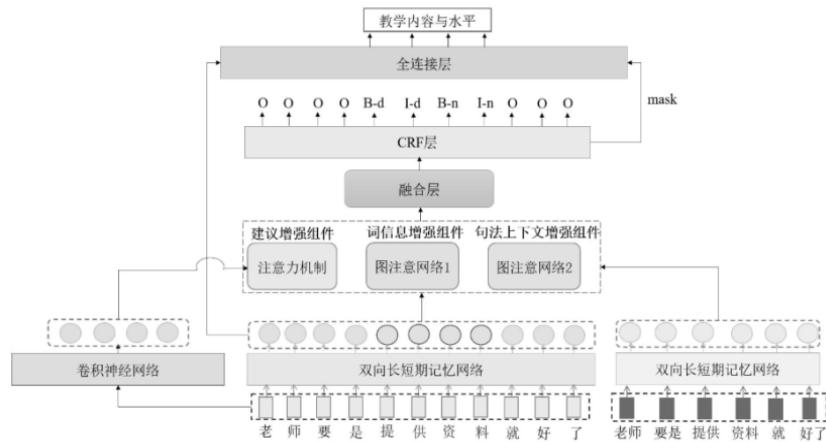


图 2.7-1 评教指标挖掘框架图

(2) 基于评价数据可信度的教学评价

现实评教主体在评教过程中存在各种行为偏差，导致评教信息失真，产生评教信息不能真实反映教师教学水平与效果，以所有评价真实可靠为前提的评教方式难以适应当下复杂的评教环境，使评教逐渐形式化。同时，传统评教方法并未考虑不同评价主体关注度不同对评教结果的影响。

联想基于教学评价数据可信度的教学质量综合评价方法，从多源评教数据，历史评教数据和评价主体行为数据中提取特征，采用机器学习的方法对单条评教数据进行可信度分析，同时结合基于课程类型和评价主体关注度的教学质量评价指标权重自适应调整，实现多指标融合课程教学质量综合评价。

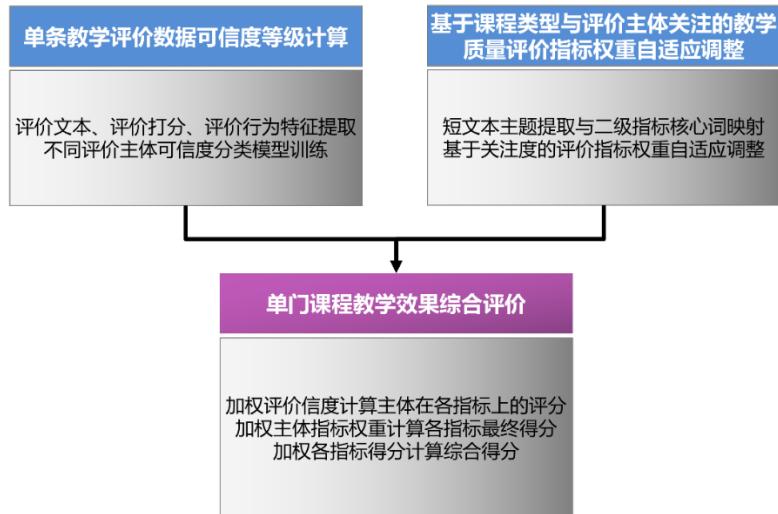


图 2.7-2 基于评价数据可信度的教学评价框架图

首先对单条教学评价数据进行可信度等级分类。根据主体不同，分别学生评价可信度等级分类模型，和督导同行评价可信度等级分类模型；然后基于多级教学评价指标体系结构，针对每一类型的课程，据不同评价主体各自的关注度，对原有的不同主体的评价指标权重进行自适应调整；最终针对每门课程，根据评价可信得分、自适应调整的基于课程类型和评价主体关注度的指标权重计算该门课程最终的课堂教学质量得分，并降序排列所有课程得分，选出前 L% 为优秀课。

2.7.4 未来发展路径

学生全过程综合评价趋势：依据校内学生行为、师生互动、生生互动等数据，结合学生参加社团、帮扶、获奖、竞赛、体测活动、课业成绩等数据，利用边缘计算、深度学习等技术，构建学业、德育、体质、志愿活动等全要素学生画像和群体画像，形成面向德智体美劳全要素、过程性的模糊定性智能综合评价；同时还对学生的学业归因进行分析，通过分析第一课堂、第二课堂以及毕业生就业数据，结合

学生选择的学业目标、个体经历以及能力素质量化评估结果等，结合学生个体的画像及分析，预测其在关键事件场景下学业任务或目标的达成概率，分析诊断学生学业中存在的问题，对其学业目标或学业过程做出适当的调整，并推荐课程计划/竞赛任务/学业榜样等，支撑学生学业个性化发展。

教师教学全过程综合评价趋势：通过构建边缘计算的分布式局域化课堂实时处理分析中心，对教师课堂教学高清多路视频实时采集分析，实现对教师课堂教学的“伴随式采集”和“即时化分析”，并将课堂的可视化分析结果反馈到当前教室的教师辅助教学与分析的屏幕上，供老师查看教室内学生群体与个体的整体学习状况；同时利用伴随式采集的多源大数据，自动发现课前、课中、课后各阶段采集数据中新的教学评价指标，完善教学评价指标体系；基于此指标体系，结合伴随式采集的多源数据、历史评教数据和评价主体行为数据，形成课堂、课程全过程教学质量评价方法。

第三章 联想智慧教育技术方案与应用实践

3.1 备授课软硬件一体化方案

3.1.1 方案介绍

联想备授课软硬件一体化解决方案，包括备授课 5.0 教师备授课一体化软件，教师云空间以及联想智慧教育大屏组成。备授课 5.0 一体化软件设计面向小初高学段，是一款专业服务老师的备课、授课一体化教学软件，针对信息化教学场景，提供丰富学科资源、课件制作软件、理化虚拟仿真实验、微课录制等多项功能，让教师可以一站式完成备授课全流程；教师授课系统包含数字白板、课件批注、互动工具、及板中板四项核心场景功能面向老师备课和授课的不同场景，适配各类终端。不受空间及终端限制，备课时可搭载教师机、家用机，授课可完美适配大屏和黑板通过软件提供精准优质的教学资源、丰富的学科工具、多元授课互动工具、虚拟仿真实验、英语听说练习等，让教师备课更高效，授课更精彩。



图 3.1-1 备授课 5.0 及智慧教育大屏



图 3.1-2 备课 PPT 插件

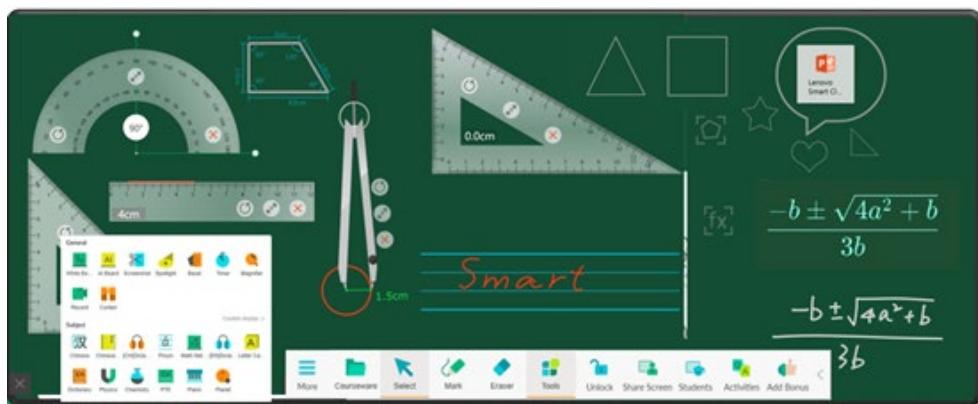


图 3.1-3 智能白板

3.1.2 方案架构

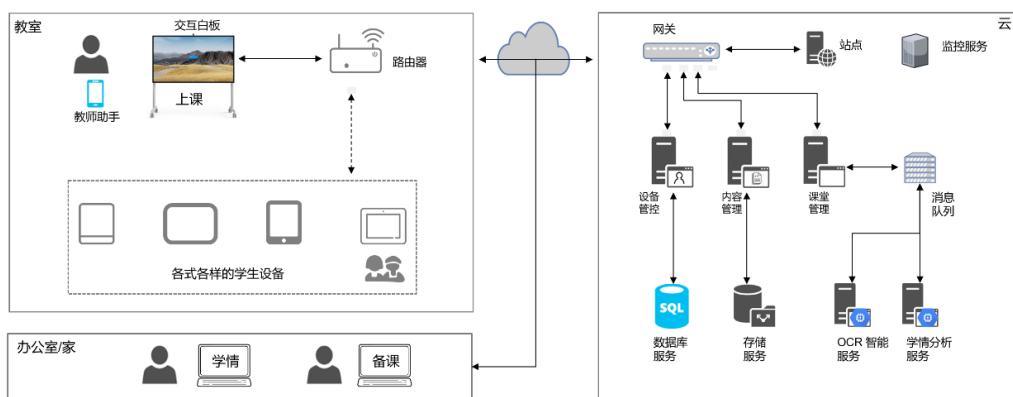


图 3.1-4 联想备授课架构图

教师使用联想备授课软件在办公室或家完成上课所需的内容准备，所有内容将保存在云端。

教师到教室使用联想备授课软件，从云端下载上课的内容。上课过程中可使用教师助手应用辅助教学过程。教师使用丰富的互动工具与学生进行互动。学生使用学习终端与教师实时互动，并将个性化学情数据传入云端。

教师在课后可查看教学质量和学生的学情数据。

3.1.3 方案价值

备课端软件实现零门槛备课，帮助教师减负增效，一站式教学资源覆盖小学到高中，涵盖各学科教材版本，包括课件、学案、教案、试卷、微课素材等，支持老师在平台中一站式备齐所有资源。备课插件适配 PPT 与 WPS，帮助教师一键开启备课，无需培训即可轻松上手，各学科工具、课堂互动模板、虚拟实验、微课一键插入本地云端双存储、脱离软件、断网可改可用，在不改变教师原有的备课、教学习惯，云端资源自动匹配章节、知识点，即选即用，可以有效降低教师备课压力，以前教师备课需要几天时间搜集素材，如今几个小时就能完成。

授课端智能白板助力教师上好课，自带手写文字智能识别、汉字卡片及快速检索，智能白板可实现连续手写文字，自动 AI 识别，并可一键转换为汉字卡片，查看每个汉字的偏旁部首、拼音、笔顺等，并可一键搜索百度百科、百度汉语、百度网页等链接，让授课更便捷。业内领先的低延迟技术手写技术与笔记美化技术，使得教师流畅书写、五指擦除，随写随擦、双指移动无线板书、套索区域擦除让教学与批注更流畅，让白板教学更便捷。课堂活动模板一键插入让课件动起来，提升教学趣味性与学生参与度。

此外，通过题库、错题本资源智能下发作业或考卷，教师完成作业或试卷批阅后，利用 OCR 技术扫描、智能分析试卷，统计错题并进行学情统计，将学生错题汇入错题集，同步生成学情报告，供教师教学参考，减少教师统计分析时间。

3.1.4 典型案例



图 3.1-5 苏州跨塘实验小学

作为苏州市教育信息化示范学校，跨塘实验小学紧跟国家教育革新的节奏，不断创新教学方式。联想备授课解决方案已经在跨塘实验小学多个年级的十几个教室中落地使用，通过海量优质教学资源、丰富的学科工具、多样的课堂活动模块，帮助老师们显著减轻备课负担，提升课堂效果。



图 3.1-6 教师用软件快速备课

“过去，我们的教师在备课时，教学资源较为零散，教师之间也缺乏课件共享的平台，备课耗时耗力。现在，联想的备授课解决方案不仅提供了海量共享教学资源库，方便教师随时调取课件、快速备课，还全面将备、教、练、考等教学环节有机融合，打造了一种全新的信息化教学体验。”——来源于跨塘实验小学杨老师。

3.2 虚实融合远程课堂方案

虚实融合的远程课堂可分为本地的全息讲台教学和在线的远程拟真教学。

3.2.1 全息讲台教学

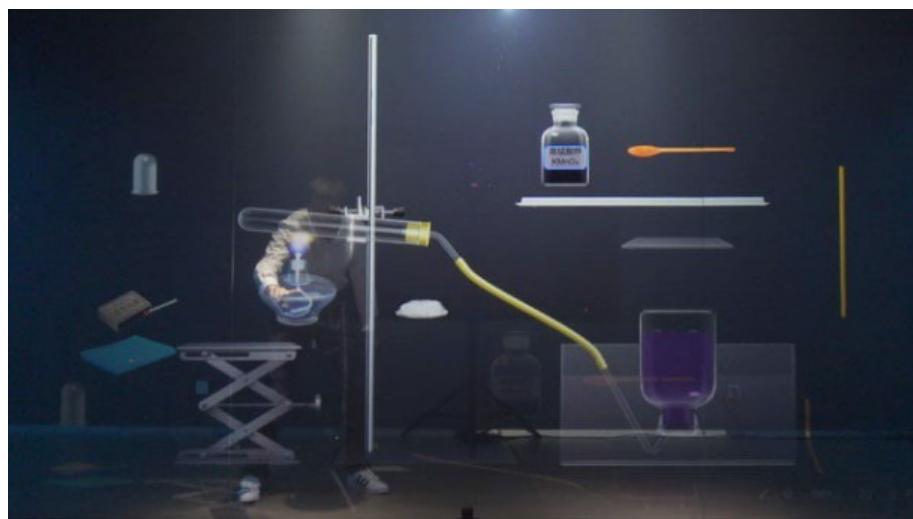


图 3.2-1 全息讲台教学

3.2.1.1 方案介绍

全息讲台教学通过全息投影构建虚实融合的演讲与教学空间。教学内容以三维全息的方式呈现在全息投影幕上，教师在投影幕后方通过触控和体感等方式和虚拟内容互动，并与其身体叠加融合形成混合现实的效果。

3.2.1.2 方案架构

如图 3.2-2 所示，在教室前端搭建全息讲台系统。作为主体的全息投影幕在玻璃基材表面贴合半透半反效果的全息投影膜，笔记本电脑的内容画面通过前置投影仪投射在幕上，而学生透过玻璃也能看到后方的教师。激光雷达位于投影幕后表面的下方，通过激光扫描获取投影平面各点的位置信息，使教师可以触屏与投影画面进行互动。深度摄像头位于投影幕后约 2 米处，实时采集幕后教师的深度图像，分析人体轮廓与骨骼信息，使教师通过体感与投影画面进行互动。深度摄像头与全息投影幕的位置关系提前进行标定，能够将摄像头采集的物理空间教师人体与投影幕显示的数字空间内容画面对应融合到一起，形成虚实融合的效果。



图 3.2-2 全息讲台教学环境与硬件系统

3.2.1.3 方案价值

图 3.2-3 为将全息讲台用于地理、天文、物理、化学等课程的互动教学场景。大规模对比实验表明，全息讲台能够有效提高学生的专注度、参与度与学习效率。



图 3.2-3 全息讲台教学场景

3.2.2 远程拟真教学



图 3.2-4 远程拟真教学

3.2.2.1 方案介绍

远程拟真教学尝试增强远程教学的临场感，探索在线教育、沉浸式教育与线下教育的虚实融合。目前，远程课堂教学通常配备摄像头、麦克风等设备，将教师的声音、画面和课件实时传递给远端教室，并在大屏、投影等设备上呈现。远程拟真教学引入大幅面全息投影膜和弧形投影幕，提升教师端授课和学生端听课的临场感和沉浸感。通过将教学双方所处物理空间在虚拟环境中融合连通，使教师仿佛亲临课堂现场，让学生感觉教师就在眼前。

3.2.2.2 方案架构

如图 3.2-5 所示，远程拟真教学可分为教师端和学生端。学生端的硬件方案与全息讲台基本相同，但增加了广角摄像头和麦克风用于

学生和教室环境的音视频采集，扬声器用于远程教师的声音回放。教师端采用大幅面广视角弧形投影幕，通过融合左右两台投影仪的视频信号呈现宽幅画面，一比一再现远程教室和学生的场景，提升教师授课的临场感。教师端同样布置摄像头、麦克风和扬声器用于音视频的采集和回放。教师背后采用绿色背景墙面，通过绿幕抠像技术处理摄像头采集的教师影像，实时获取教师的前景轮廓画面。教师用笔记本电脑演示授课内容，通过将内容画面与教师的轮廓影像融合渲染，最终呈现在学生端的全息投影幕上，提升学生上课的空间感与沉浸感。除了笔记本电脑的键鼠操控和手写交互，教师端还引入深度摄像头和手势交互设备支持体感和手势互动。教师端和学生端均有一台计算机用于音视频的采集、编解码和网络传输。

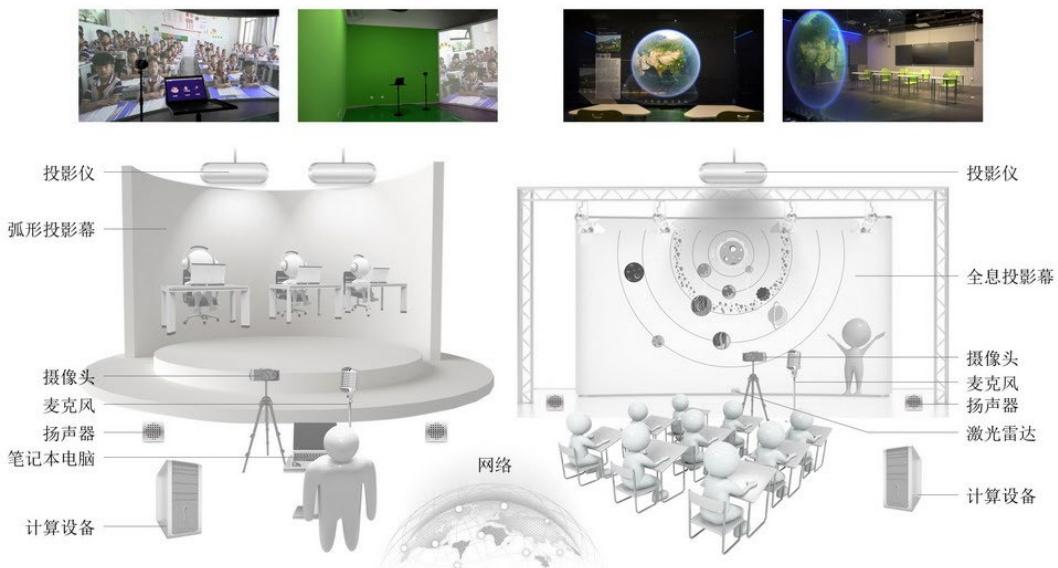


图 3.2-5 远程拟真教学环境与硬件系统

3.2.2.3 方案价值

远程拟真教学构建系统级服务，并兼容已有的教学工具与软件。当教师在操作各类应用与内容时其前景影像会叠加在应用桌面之上，

并与之融合实时传递到远端课堂。通过引入手势、体感等交互方式，系统也支持教师构建三维场景并与之互动，为虚实融合的教学提供更多选项。图 3.2-6 为一些远程拟真教学场景。



图 3.2-6 远程拟真教学场景

3.2.2.4 典型案例

虚实融合远程互动教室落地西安电子科技大学和华中师范大学，可以实现北京、西安和武汉三地的联合教学。如果北京的教室作为教师端，西安和武汉的教室作为学生端，那么北京的教师就能够在北京、西安和武汉远程重现并进行虚实融合的教学。

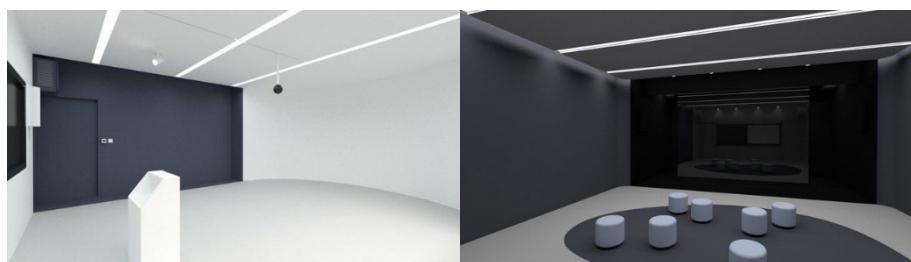


图 3.2-7 西安电子科技大学互动教室



图 3.2-8 华中师范大学互动教室

3.3 沉浸式实验课堂方案



图 3.3-1 沉浸式实验课堂全息讲桌教学

3.3.1 方案介绍

沉浸式实验课堂全息讲桌教学基于佩珀尔幻象呈现具有空间纵深感的三维教学内容，使教师与学生能够通过手势与三维空间中的对象进行互动。

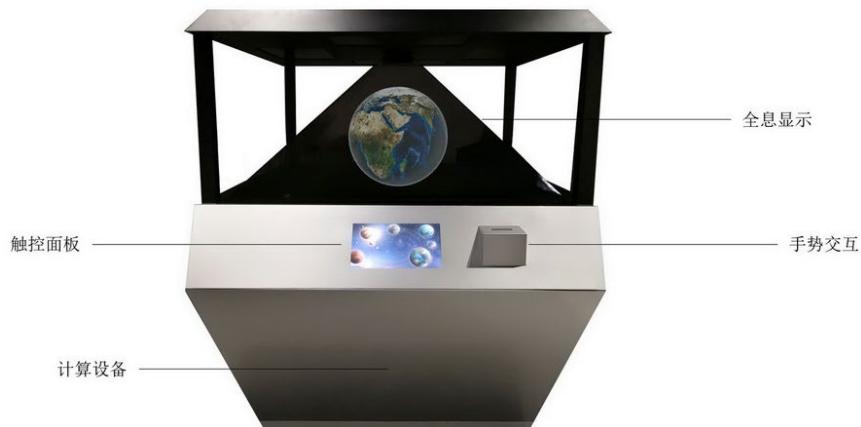


图 3.3-2 全息讲桌教学硬件系统

3.3.2 方案架构

如图 3.3-2 所示，全息讲桌由全息显示、手势交互设备、触控面板、计算设备等部分组成。全息显示基于佩珀尔幻象，由半透半反玻璃构成四面锥体，通过反射顶部显示器的画面形成具有空间纵深感的三维影像。触控面板用于三维内容的导航与选择。手势交互设备能够

识别用户的手势并映射到全息空间与三维内容互动。计算设备是软件系统运行的平台。

3.3.3 方案价值

图 3.3-3 为将全息讲桌用于心脏疾病医疗教学和肝脏疾病医疗教学等职业教育以及知识森林可视化和虚拟实验等 K12 教育的场景。全息讲桌将课程知识体系以生动直观的方式在师生面前展现开来，激发学生探索知识的欲望，也满足老师对某些知识点的演示讲解需求。对于需要结合实验环节才能更好掌握的知识点，全息讲桌引入虚拟实验，提供三维互动知识学习。

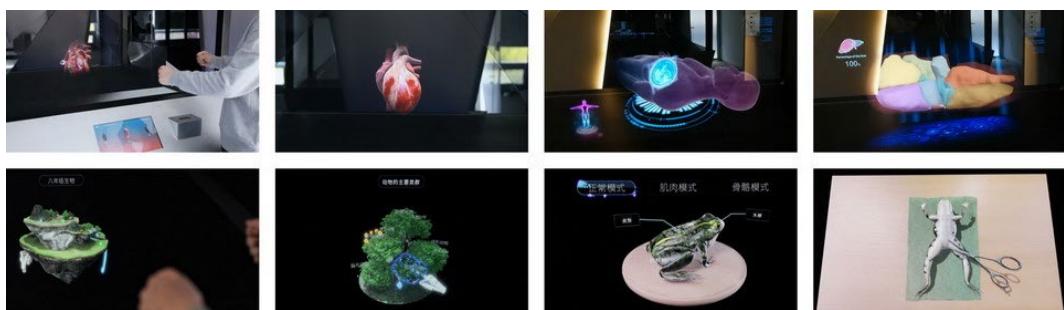


图 3.3-3 全息讲桌教学场景

3.3.4 典型案例

全息讲桌目前已落地西安交通大学、深圳罗湖未来学校等机构，为师生提供知识森林可视化和虚拟实验互动教学体验，并收到师生非常积极的反馈。



图 3.3-4 深圳罗湖未来学校

3.4 智慧阅卷方案

3.4.1 方案介绍

联想聚焦千万教师日常担负大量试卷批阅工作下的迫切减负需求，利用人工智能技术为教师提供多学科、多题型、基于开放试卷、纸笔考试的有痕批阅解决方案，辅助教师阅卷合分眷分、错题管理、学情分析等过程，提升教师阅卷以及考试、教学、管理效率，提升学生个性化学习效率。

联想人工智能阅卷系统将人工智能技术应用于面向通用纸笔考试的阅卷工作，提供教师端、管理员端、学生端、扫描客户端的多平台软件方案，打造一体化的人工智能阅卷体验，提升教师针对常态化教学的手工阅卷和学情分析效率、学生日常考试管理和错题管理效率。支持 PC 端网页版和移动端微信公众号、小程序的多种访问方式，使阅卷过程更加灵活便捷。

3.4.2 方案架构

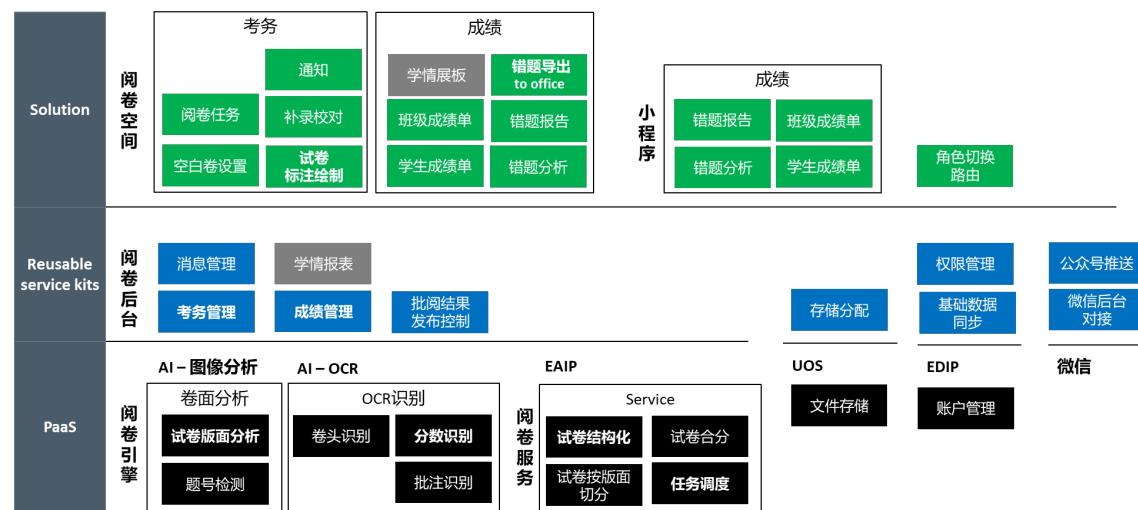


图 3.4-1 智能阅卷架构图



图 3.4-2 智能阅卷整体方案

在教师端，教师可创建、设置和完成智能阅卷任务并发布成绩，针对每次阅卷任务自动合分眷分、生成班级成绩单和错题报告，针对多次考试、多个班级进行错题管理和学情分析。在学生端学生可查收教师端发布的考试试卷，查看分数详情、错题报告，针对多次考试进行错题管理和个人学情分析。

针对教师创建的阅卷任务，管理员可辅助进行空白试卷设置、扫描检查、成绩校对等步骤。

3.4.3 方案价值

原始试卷留痕，无需制作题卡：支持教师无约束手写批注的检测识别，基于原始纸质试卷先阅后扫，无需单独制作答题卡，且保持原卷留痕，便于日常考试精准化教学。

开放试卷阅卷，不依赖自组卷：基于试卷全版面分析技术，自动根据空白卷分割题目、卷头信息，生成试卷版式，支持各种类型 A3 开

放试卷的阅卷任务。不依赖自组卷和自制题卡，使用场景更加灵活自由。

提供移动应用，随时随地阅卷：除 PC 端网页应用外，方案另提供移动端小程序、公众号应用，方便教师、学生随时随地及时关注阅卷进程和结果，解决试卷分析时间长、教师在电脑前等待的问题。

精简教师操作，确保可用易用：管理员可远程辅助教师完成复杂设置操作、异常试卷处理、成绩审核校对，确保教师端极简化操作体验。算法支持后台智能文档校正，使阅卷过程更智能、易用性更强。

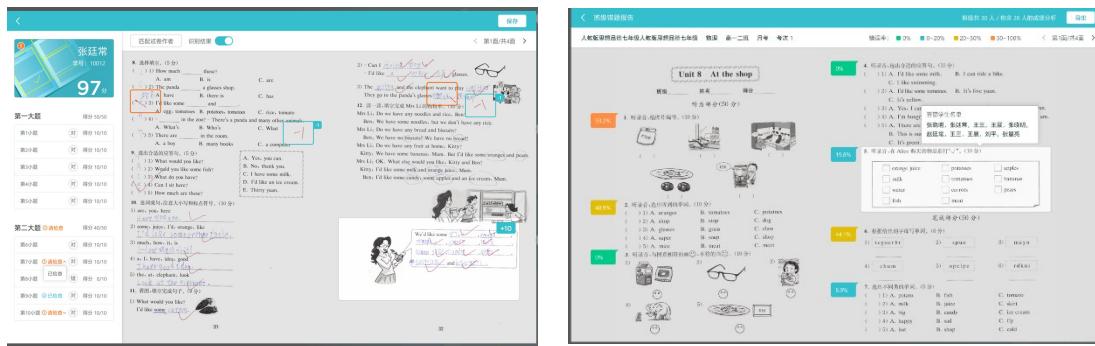


图 3.4-3 阅卷系统页面展示

3.4.4 典型案例

基于人工智能技术智能阅卷方案已经在多个学校开始试用，包括中关村外国语小学，西城区奋斗小学，北大培文学校（安徽蚌埠）小学部，延安市安塞区初级中学等。学校的老师在使用后认为，对于目前带班学生多，难以掌握学生考情的情况，考前用的错题组卷功能，纸质空白卷上标出错误率和错题学生名单功能，自动阅卷后的统计报告功能，以及自动错题统计功能，都会减少教师负担，提升教学效率。



图 3.4-4 核心功能

3.5 人工智能教育方案

3.5.1 方案介绍

联想人工智能教育解决方案，提供了面向小学、初中、高中信息技术课所需的软件（多种编程工具和人工智能模块）、实验用品（人工智能专用PC和硬件套机）、课程（教学资源和学习资源）、教学平台、师培等内容，是专为学校设计的完整的信息技术教室和信息技术实验室解决方案。

图 3.5-1 人工智能教学平台

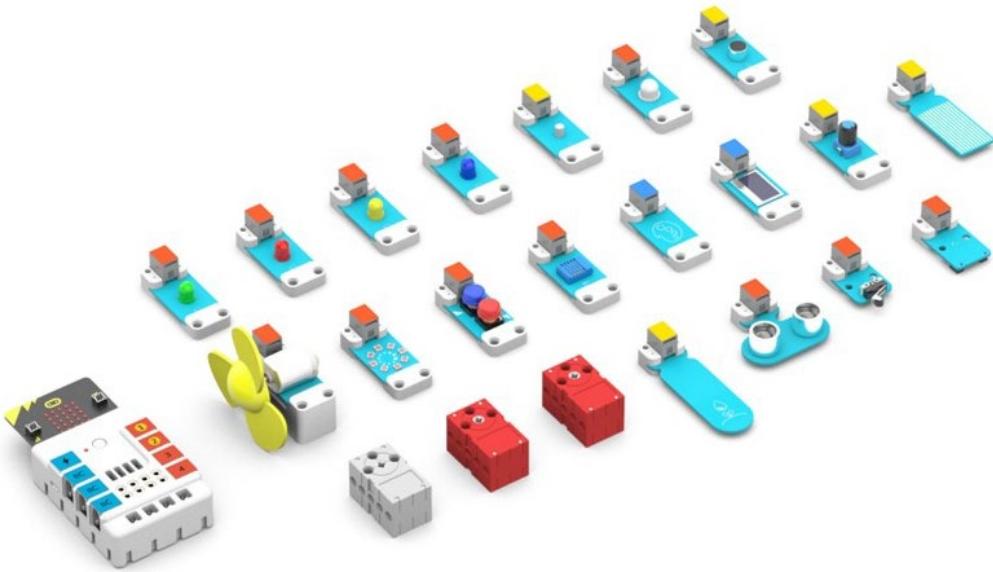


图 3.5-2 硬件套件

3.5.2 方案架构

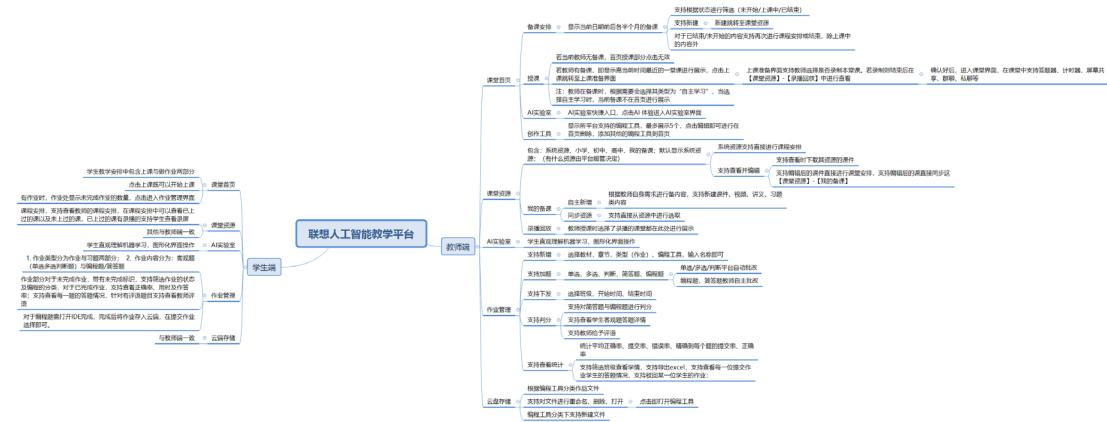


图 3.5-3 人工智能教学平台架构图

教师及学生可使用人工智能教学平台根据需求实现包括适用于小学生的图形化编程和面向青少年的代码编程在内的授课及学习，配合硬件套件使用，可进一步体验编程和硬件控制的结合，实现各场景下的设备功能。结合人工智能模块（语音识别、人脸识别、天气预报等）了解智能场景设备的工作原理，实践简单智能系统的设计，从工程设计、数据和变量、计算思维等方面对学生进行培养。此外教学平台支持教师备课、授课、课堂资源、AI 实验、作业管理、云盘存储等

教学功能。支持学生上课、课堂资源、AI 实验室、作业管理、云盘存储等功能。

3.5.3 方案价值

联想人工智能教学产品解决方案由软件、实验用品（实验用计算机、硬件套件）、课程（教学资源、学习资源）、教学平台、教师培训等多个组成部分。其中，软件由教师端、学生端两部分组成，学生端支持在线编程，为产品部署提供了足够的自由度。教学平台支持六种主流的人工智能教学所需的编程语言。包括适用于小学生的图形化编程和面向青少年的代码编程。符合由具象到抽象的教学和学习规律，和各地教材对编程语言的要求。

硬件由教学专用 PC 和教学专用硬件套件（机械结构件和电子件）两部分组成，除现有的套件外，还会随着各省市新课纲的发布，持续更新实验套件。内容方面，通过参与教研院、课标组的顶层设计，以青少年心理发展路径为指导，研发了人工智能实验室的完整课程体系，可随各省市教委的课程标准深度定制。教学平台写入人教版高中信息技术课教师指导手册。功能上满足授课、师培、竞赛等不同场景需求，也是人工智能赛事使用平台。

3.5.4 典型案例

在教育部教育装备研究与发展中心等国家单位的指导下，联想人工智能教育方案助力宁波杭州湾搭建了普通高中人工智能实验室样板间，融合展示、体验、互动、教学为一体，推动中小学人工智能实验教学，以全面落实信息技术课程标准的实施，探索师生信息素养全面提升的

途径和机制。



图 3.5-4 杭州湾普通高中人工智能实验室

3.6 虚拟助教方案

3.6.1 方案介绍

联想结合虚拟数字人技术和人工智能技术打造了虚拟助教方案，提供教学、练习、作业、考试、辅导等功能，可以实现“智能辅助—教师教学”、“教师监督—智能教学”、“人机协同双师教学”三种教学模型，帮助教师提升教学效率，增加教学的趣味性和互动性，提升课堂学习的效果，帮助提升整体学习体验。

联想围绕教育场景打造了能听能说、生动形象、亲和互动的虚拟助教系统，集成智能人机交互技术，以自然、流畅沟通为前提，结合语音识别、语义理解、语音合成技术，在符合随堂教学场景为目标的驱动下，以教学知识数据和对话场景数据为基础，构建符合教学设计要求的对话管理模型和交流规则体系，实现跨模态的人机交互辅助教

学。利用联想自研的虚拟人形象驱动技术，以音频和标记文本作为输入，通过人工智能内容生成技术，实现虚拟助教拟人化的口唇合成效果，辅以高兼容性的图像渲染技术和高还原性的语音合成技术，基于情感语义空间技术实现从语音到面部表情、肢体动作生成的情感表现，综合图像、语音和动作多个维度提升虚拟形象的真实性，增强教学活动的沉浸感。

3.6.2 方案架构

如图 3.7-1 所示，虚拟助教方案是整合了硬件设备、通用技术、关键技术、核心服务的综合解决方案。其中接入设备包括 PC 教师机、Web 云服务、教学互动大屏、虚拟教学环境等。关键技术包括内容生成、知识森林导学、内容理解等，打造了基于虚拟人的作业、授课、练习、答疑等功能，可针对课后练习、远程授课、个性化辅导等多种典型教学场景实现基于虚拟助教的虚实互动教学。



图 3.6-1 虚拟助教方案架构图

3.6.3 方案价值

当前教育领域面临的主要问题集中体现在以下几个方面：第一、

工业社会时代大规模无差别的集中式教育培养模式难以适应当今信息社会所需要的创新型个性化人才培养的需求。第二，教育资源不均衡导致教育公平性不能得到很好地解决。第三，教育信息尤其是远距离在线教育的教育信息的真实性得不到保障，教育成果尤其是在线教育的社会认可度有待提高。第四，教育的阶段性培养模式难以满足信息时代所需的终身教育的需求。第五、由于信息社会知识的生命周期缩短，学校教育知识更新慢，从而诱发学科危机和专业危机，以及教育成本与教育收益失衡等一系列的新问题。

元宇宙时代，虚拟助教的出现能够在一定程度上缓解上述问题，首先，创造虚拟助教的价值主要是打破物理空间的限制，提供更多的沉浸感、参与感和互动性，在线下教学方面，虚拟助教的价值主要体现在提升教师和学生的课堂教学和课后学习的使用体验，提升教学效果。在线上教学方面，虚拟助教可以针对网络学习、在线解题等教育场景需求，植入平板或智慧教学屏等中小型硬件设备，为学生提供一对一的专属授课和辅导服务。虚拟助教不仅能够降低生产教学内容的人力成本，更能有效提升授课可信度，激发学生的学习兴趣。在解决教育资源不均衡方面，虚拟助教使名师不再遥远，教育成本将大幅度下降，优质教育资源通过虚拟化、拟人化、数字化，更容易传播到教育资源匮乏的地区，有利于实现教育的公平性。

3. 6. 4 典型案例

2022年8月31日，主题为“服务合作促发展 绿色创新迎未来”的中国国际服务贸易交易会（简称“服贸会”）在北京开幕。

在本次大会上，联想打造了 240 平米展台，充分展示了基于端-边-云-网-智新 IT 技术架构下的全栈产品、服务及解决方案，这也是联想技术创新与服务转型成果的一次集中亮相。此次服贸会上联想虚拟助教培训师作为参展产品之一在“行业智能与服务”展区亮相。



图 3.6-2 联想虚拟助教培训师亮相服贸会

3.7 数据驱动评价

3.7.1 方案介绍

联想乐学评教，是为中、小学打造的一款软硬件一体化的校园评教解决方案，方案基于文本内容挖掘、大数据技术及创新评价管理方式，通过个性化配置，帮助学校建立健全教学质量评价方法，丰富评价维度，打造符合校情的个性化评教体系。

方案采用本地私有化的部署形式，分为单校级私有化方案和区域级私有云方案：



图 3.7-1 联想乐学评教单校级私有化方案

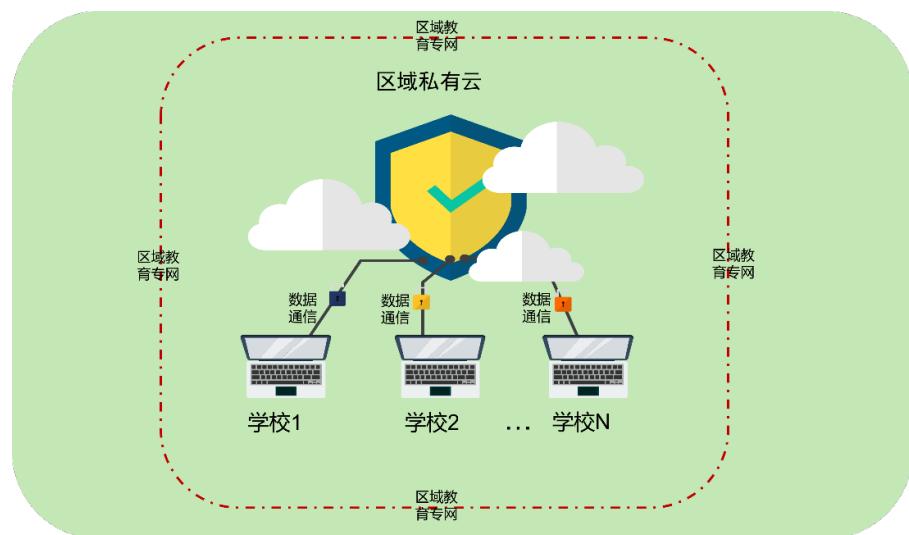


图 3.7-2 联想乐学评教区域级私有云方案

3.7.2 方案架构

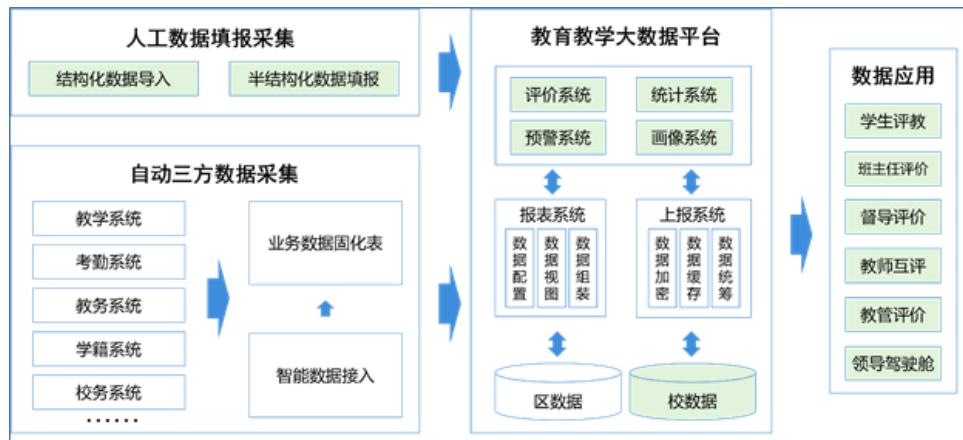


图 3.7-3 联想乐学评教架构图

学生、督导、教管和教师使用联想乐学评教系统，基于学校个性化的评教指标体系完成对教师教育质量的主客观评价并形成多维度评价报。所有评价内容存储于学校指定的私有化服务器上；同时还支持与考勤、教务、学籍等三方应用对接，实现数据自动汇聚。

区域领导和校方领导通过领导驾驶舱，可从学校、学科、年级、个人等多维度查询或导出评教报告，学科教师也可以根据收到的个人评价报告来提升调整自己的教学方式方法。

3.7.3 方案价值

从传统的纸质评教升级成无纸化信息评教，通过利用伴随式采集的多源大数据，自动发现数据中新的教学评价指标，完善教学评价指标体系，并基于此指标体系，结合 5G 伴随式采集的多源数据、历史评教数据和评价主体行为数据，形成一种全过程教学质量评价方法，有效地提升了学校评教工作效率，原来传统每学期需要近一个月完成的评教工作，现在不到一周就能完成；

评价数据可信度分析技术，对教学评价数据进行可信度等级分类后得出评价可信度得分，并对不同主体的评价指标权重进行自适应调整，最后根据评价可信得分、自适应调整的指标权重计算最终结果。在评教过程中，有效地降低了因评教者的行为偏差导致的评教信息失真问题，确保不会因个别低可信度的数据影响最终评教结果的公正性。

3.7.4 典型案例

自 2021 年起，西安交通大学附属中学采用联想乐学评教系统作为学校官方评教系统。基于学校原有评教指标体系，以简捷高效的信

息化采集能力，伴随式采集多源评教数据，解决学校评教信息采集难、数据错误等问题；并基于采集数据自动挖掘发现新评价指标建议，帮助学校不断完善评价指标体系，确保评教工作的科学性和合理性；相较于传统的评教方式，联想乐学评教极大地提升了学校评教效率与准确性，使每学期集团校近 2 万名师生完成 500 余场次的评教工作，不到一周就能完成，整个评教周期缩短了四分之三。



图 3.7-4 西安交通大学附属中学评教现场

3.8 区校一体化云平台方案

3.8.1 方案介绍

联想智慧教育区校一体化平台可解决区域或学校教育信息化领域的多个长期问题，形成一个可迭代进化、持续发展壮大的综合应用服务平台，有利于实现“政府搭台、企业参与、学校使用”的推进策略，避免过去教育信息化过程中普遍遇到的信息孤岛、重复投资、重复建设而且应用效率不高的问题。云平台有利于全面提高教职员工作效率、效益，同时也将加快区域或学校教育队伍的培训和整体水平的提高，助理构筑教育均衡化、现代化、数字化的管理体系，推进信息技术与教育的深度融合，促进区域或学校的教育向均衡、优质、智

慧等方向跨越式发展。

3.8.2 方案架构



图 3.8-1 智慧教育区校一体化平台整体架构图

智慧教育区校一体化平台定位为区县教育信息化的枢纽和核心，通过顶层设计，统筹县、校两级一体化建设，建设智慧教育区校一体化平台，解决之前分散建设造成的内容重复、数据孤岛等问题，建设内容包括 1 个中台，2 个前台，3 个中心。通过区校一体化平台的建设，帮助实现本地教育理念更新、教育模式变革、教育治理提升，全面推进区域互联网+教育大平台规模化应用，构建与当地经济社会和教育发展水平相适应的教育信息化体系，支撑引领教育现代化发展。

3.8.3 方案价值

联想智慧教育一体化云平台可帮助教育部门提升在顶层设计、统一管理、建立区域标准规范等方面的能力，提高决策效率，最终提升地区教育信息化应用能力。为构建兼具优秀包容性和扩展性的教育信息化综合平台提供基础支撑。

联想智慧教育一体化云平台能将学校日常工作所需的应用、工具进行有效整合，提供一站式工作台，大大提高日常工作效率，帮助教师快速上手，实现常态应用，最终推动学校信息化教学水平不断提高，对学校的品牌建设和名校品牌起到良好的推动作用。

3.8.4 典型案例

田字格公益致力于打造符合“乡土人本教育”理念的教育信息课程，通过1+N方式，用实验校带动村小，全面推动乡土人本教育。通过联想区校一体化云平台，为田字格公益搭建了服务教学、管理为主的“田字格智慧教育云平台”，信息化赋能1所典范校，19所种子校教学质理提升；在解决正常授课中保护课件、课堂教学评价、监管统计等需求之外，将有力支撑田字格模式的复制推广。



图 3.8.2 人民日报报道联想田字格未来村小项目

第四章 未来展望

经过教育信息化 1.0 和 2.0 的建设，我国数字技术与教育经历了起步、应用、融合、创新四个阶段，目前正处于融合与创新并存的时期，而在 2022 年初，“教育数字化战略行动”一词出现在教育部文件中，发出了我国教育数字化转型动员令。如果说以信息化为特征的数字教育上半场，解决了从教学内容的数字化到个体知识的便捷可及，那么以教学和管理模式重塑为代表的教育转型下半场，则需要数字化的进一步催生，需要回答如何打破数据孤岛、提升师生参与度、将日常获取的大数据应用于改进教学和评价等诸多新问题。基于当前联想的技术探索路径，在课堂互动、因材施教、减负增效等方面基于 AV1 的屏幕内容编解码技术，自由视点引入课堂直播、摆脱对于数据的强依赖的文档识别以及大规模预训练和多任务模型，端到端自动处理的智能知识体系融合方案以及虚实结合学习环境下的智能导学技术方案，面向德智体美劳全要素、过程性的模糊定性智能综合评价及学生学业个性化发展支撑，教师课堂教学的“伴随式采集”和“即时化分析”以及课堂、课程全过程教学质量评价等，都是很有前景的探索方向。

此外，2021 年，随着一些头部互联网公司先后入局元宇宙，引爆了各界对元宇宙新纪元的构想，人类也进入了主动开拓元宇宙的时代。元宇宙尚无统一定义，各界人士从不同角度也都有自己的理解。在联想看来，元宇宙是物理世界和虚拟世界的融合，在这样的元宇宙里，

虚实两个世界的信息获得了整合和相互增强，从而实现了 $1+1>2$ 的效果。一方面，新冠肺炎疫情的出现使人们逐渐适应了在线办公、在线学习等生活方式，为将来迎接更加完善的在线虚拟数字生活进行了铺垫，打下了社会基础。另一方面，人工智能、AR、VR、5G、边缘计算、物联网、区块链等新兴技术在过去十年的集中爆发也为构建更加完善在线虚拟数字空间提供了可能，奠定了技术基础。

元宇宙在网络环境中构建人们工作、学习、社交、娱乐的沉浸化虚拟空间，并发展全新的数字经济与文化体系，这是网络与虚拟的融合。但元宇宙并不仅仅是虚拟空间，还要与物理世界和实体经济打通，才能发挥更大的价值，这是虚拟与现实的融合。虚实融合将贯穿在整个元宇宙的构建过程之中，并辐射到元宇宙数字生活的方方面面，而这样的虚实融合也将能够给教育带来新的变革，开启更加沉浸式教育体验的新纪元。如图所示，作为未来教育的重要形态，构建教育元宇宙的关键路径是在线教育和沉浸式教育的融合，而在线教育与线下教育，虚拟空间与实体课堂的融合是完善教育元宇宙的重要过程。

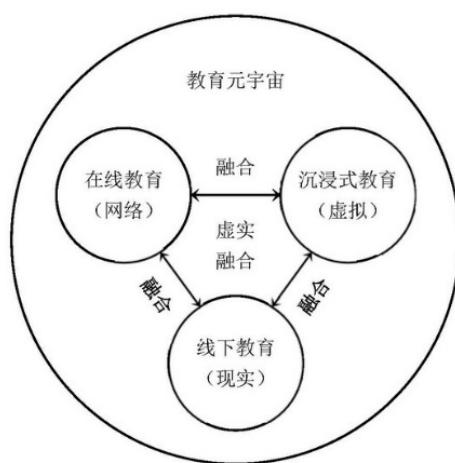


图 4-1 虚实融合的教育元宇宙

虚实融合作为元宇宙概念的重要特征，将成为未来计算发展的重要主题。人与计算机的二元关系将拓展为人、计算机与环境的三元关系，而人机交互将在这个过程中扮演非常重要的角色。虚实融合的沉浸互动技术将包括对人的感知与互动，对环境的感知与互动以及对社会的感知与互动(人与他人的互动)。沉浸互动的方式也趋于自然，由穿戴到裸眼，从手持到手势、体感、眼动、表情、语言等多模态交互方式。未来，计算无处不在，而数字空间与物理世界将有机融合，人类将生活在一个虚实融合的数字新纪元。

当然，元宇宙的发展尚处早期阶段，未来教育也充满想象，比如在教学中引入虚拟数字人，或是将远程教师与本地教师融合在同一空间进行虚实双师教学，将会带来更加丰富与多元的虚实融合教学体验。

参考文献

- [1]. 黄奕宇. 虚拟现实(VR)教育应用研究综述[J]. 中国教育信息化, 2018(1):11-16.
- [2]. Gabor D. A New Microscopic Principle[J]. Nature, 1948, 161(4098):777-778.
- [3]. Zhang X Y, Yin F, Zhang Y M, et al. Drawing and recognizing chinese characters with recurrent neural network[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2017, 40(4): 849-862.
- [4]. Peng D , Xie C , Li H , et al. Towards Fast, Accurate and Compact Online Handwritten Chinese Text Recognition[C]. International Conference on Document Analysis and Recognition. Springer, Cham, 2021.
- [5]. Liu C L , Yin F , Zhang X Y . ICDAR 2013 Chinese Handwriting Recognition Competition[C]. International Conference on Document Analysis and Recognition. IEEE Computer Society, 2013.
- [6]. Zhang J , Du J , Zhang S , et al. Watch, attend and parse: An end-to-end neural network based approach to handwritten mathematical expression recognition[J]. Pattern Recognition, 2017:196-206.
- [7]. Zhang J , Du J , Dai L . Track, Attend, and Parse (TAP): An End-to-End Framework for Online Handwritten Mathematical Expression Recognition[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2018, PP(1):1-1.
- [8]. Xu-YaoZhang, Cheng-LinLiu, Jin-WenWu, et al. Image-to-Markup Generation via Paired Adversarial Learning[J]. Springer, Cham, 2018.
- [9]. Zhang J , Du J , Dai L . Multi-Scale Attention with Dense Encoder for Handwritten Mathematical Expression Recognition[C]. 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2018.
- [10]. Zhang J , Du J , Yang Y , et al. SRD: A Tree Structure Based Decoder for Online Handwritten Mathematical Expression Recognition[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2020, PP(99):1-1.
- [11]. 郑庆华、刘均、魏笔凡、张玲玲. 知识森林: 理论、方法与实践, 科学出版社, 2021.
- [12]. Lai, S., Xu, L., Liu, K., et al. Recurrent convolutional neural networks for text classification[C]. In Twenty-ninth AAAI conference on artificial intelligence, 2015.
- [13]. Devlin, Jacob et al. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding[C]. NAACL, 2019.
- [14]. Zhou J , Ma C , Long D , et al. Hierarchy-Aware Global Model for Hierarchical Text Classification[C]. Association for Computational Linguistics. 2020.
- [15]. Chen H , Ma Q , Lin Z , et al. Hierarchy-aware Label Semantics Matching Network for Hierarchical Text Classification[C]. The 59th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2021). 2021.
- [16]. Kumar V, Hua Y, Ramakrishnan G, et al. Difficulty-controllable multi-hop question generation from knowledge graphs[C]. International Semantic Web Conference. Springer, Cham, 2019: 382-398.
- [17]. Cheng Y, Li S, Liu B, et al. Guiding the growth: Difficulty-controllable question generation through step-by-step rewriting[J]. arXiv preprint

- arXiv:2105.11698, 2021.
- [18]. Cui S, Bao X, Zu X, et al. OneStop QAMaker: Extract Question-Answer Pairs from Text in a One-Stop Approach[J]. arXiv preprint arXiv:2102.12128, 2021.

一般法律告知

本文件是为中国大陆地区提供的产品和服务而拟定的。联想可能未在其他国家或地区提供本文件中提及的产品、服务或功能。联想可能随时停止某特定产品或服务的供应。产品和服务信息可能会被随时修改，恕不另行通知。本文件内容仅供参考，不构成联想的承诺或要约，我们将对文件内容尽合理努力进行审核，但不能排除文件可能仍然存在编辑或印刷错误。联想按“现状”提供本文件，不附带任何保证，无论是明示的还是默示的，包括适销性和适用于特定用途的默示保证。如可适用法律不允许排除某些类型交易中的明示或默示的保证，则此时上述排除可能不适用于您。

本文所述技术、产品及内容会不时更新，联想研究院可能会随时对本白皮书内容相应进行补充和修改，请读者关注最新版本。如有任何意见或建议等请按本白皮书提供的联络方式与我们联系。

未经联想事先书面授权，任何人士不得以任何方式对本文件的全部或任何部分进行复制、抄录、删减或将其编译为机读格式，以任何形式在可检索系统中存储、在有线或无线网络中传输，或以任何形式翻译为任何文字。

本文件图示及功能描述仅为说明目的提供，仅供参考，产品均以实物为准。本文件提及的某些部件、功能和特征仅用于说明目的，可能仅适用于某些特定型号的产品。除非另有明确指明，否则本文件的任何内容都不是对产品具体规格和配置的描述。如需了解产品规格和配置，请查阅产品的相关规格文件或向产品销售商咨询。本文件的任

何内容均不构成对联想产品保修政策的修改。提及的技术性能指标基于特定环境测得，在其他运行环境中获得的指标数据，可能会因设置和环境有差异。标称存储容量仅代表规格，因功能占用，实际可用容量低于标称值。

所提及的软件及互联网服务根据相关许可和/或服务协议使用。使用网络功能可能消耗数据流量并发生服务费，由网络服务商根据其标准收取。产品某些基于网络的功能可能由第三方网络服务支持，此类第三方服务包括其内容非由联想提供、保证和支持，并可能随时终止或变更。使用第三方服务受第三方服务条款及隐私权政策的约束，此类条款可能与联想的规定不同，使用相关功能和服务前，请仔细阅读该第三方条款。第三方服务及其内容不受联想控制，联想对其不承担任何责任。

权利声明

以下文字及徽标是联想集团所属企业的商标。联想集团所属企业的商标。

“联想”、“Lenovo”

提及的其他商号、产品或服务名称可能是联想或其他公司的商标并由其各自权利人拥有。

版权所有©2023 联想集团所属企业和/或其许可方，保留所有权利。