

AI赋能“光纤-虚拟”双闭环光通信教学模式构建与实践

张美玲, 陈玫玫, 霍佳雨, 陈威成, 孙雅东

吉林大学通信工程学院, 吉林 长春 130000

DOI:10.61369/ETI.2026030032

摘 要 : 在新时代背景下, 新一代信息技术与高等教育的深度融合已成为教学改革的核心驱动力, 这对工科专业课程的实践创新能力培养提出了更高要求。光通信技术作为“东数西算”“新基建”等国家战略的底层支撑, 其传统教学模式面临着实验条件受限与高阶能力培养不足、课程内容与人工智能技术融合滞后、育人评价维度单一与个性化发展缺失等突出问题。因此, 深入探究 AI赋能“光纤-虚拟”双闭环光通信教学模式的构建与实践, 具有极为重要的理论意义与现实价值。本文以人工智能深度赋能与虚实双闭环协同为核心, 提出重构光通信原理课程教学体系, 开发基于 AI大模型的虚拟仿真实验平台, 构建“理论→虚拟推演→物理验证→反馈优化”的闭环学习链条, 并建立基于多源学习数据的三维能力画像模型, 实现个性化精准育人。研究表明, 该模式能够有效打通理论与实践的割裂壁垒, 提升学生工程实践能力与交叉创新思维, 为新时代新工科人才培养提供可推广的范式。

关 键 词 : 光通信教学; 人工智能; 虚实双闭环; 个性化育人; 新工科

AI Empowering the Construction and Practice of "Optical Fiber - Virtual" Dual-Closed-Loop Optical Communication Teaching Model

Zhang Meiling, Chen Meimei, Huo Jiayu, Chen Weicheng, Sun Yadong

College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130000

Abstract : In the context of the new era, the deep integration of new-generation information technology and higher education has become the core driving force for teaching reform, which places higher demands on the cultivation of practical innovation abilities in engineering professional courses. Optical communication technology, as the underlying support for national strategies such as "East Data West Computing" and "New Infrastructure Construction", faces problems such as limited experimental conditions and insufficient cultivation of high-level abilities, lagging integration of course content with artificial intelligence technology, single evaluation dimensions for education and lack of personalized development. Therefore, in-depth exploration of the construction and practice of the AI-enabled "fiber-optic-virtual" dual-closed-loop optical communication teaching model holds extremely important theoretical significance and practical value. This paper focuses on the deep empowerment of artificial intelligence and the collaborative dual-closed-loop virtual-real integration, proposing to restructure the teaching system of optical communication principles, develop a virtual simulation experimental platform based on AI large models, construct a closed-loop learning chain of "theory → virtual deduction → physical verification → feedback optimization", and establish a three-dimensional ability profiling model based on multi-source learning data to achieve personalized and precise education. Research shows that this model can effectively break through the barrier of the separation between theory and practice, enhance students' engineering practical abilities and cross-innovation thinking, and provide a promotable model for the cultivation of new engineering talents in the new era.

Keywords : optical communication teaching; artificial intelligence; dual-loop of virtual and real; personalized education; emerging engineering

引言

随着第五代移动通信技术、第六代移动通信技术、数据中心及人工智能等领域的飞速发展，光通信技术已成为国家信息基础设施的核心支撑。与此同时，“东数西算”工程与“新基建”战略的深入推进，对光通信人才的工程实践能力、交叉创新思维及科技报国情怀提出了更高要求。然而，当前高校光通信原理课程的教学实践却面临着多重困境。一方面，光模块、光器件及核心测试设备价格高昂，实验设置存在显著局限性，学生难以接触到复杂系统设计等高阶能力训练任务，导致其对抽象理论的理解长期停留在公式推导层面，无法建立起“理论—器件—系统”的完整知识链路。另一方面，课程内容与人工智能等前沿技术的融合明显滞后，诸如神经网络均衡器、数字孪生光网络等先进技术鲜少被纳入教学体系，光通信与人工智能“各自为政”，学生解决光域问题的方法和思路受到严重限制，与企业的实际研发需求形成脱节。此外，传统评价方式僵化，缺乏学习行为数据的有效支撑，教师难以及时定位学生的知识盲区，更无法动态捕捉学生在复杂工程问题解决及创新能力表现中的差异化特征，进而导致个性化引导长期缺位。针对上述问题，本文提出一种 AI 赋能的“光纤—虚拟”双闭环光通信教学模式，旨在通过人工智能技术与光通信核心场景的深度融合，构建虚实协同、数据驱动的教学新生态，为复合型光通信人才培养提供系统化的解决方案。

一、传统光通信教学面临的核心困境

（一）实验条件受限与高阶能力培养不足

光通信原理课程兼具深厚的理论性与鲜明的工程实践特征，其传统教学长期受制于硬件资源的硬性约束。光模块、光纤器件及核心测试仪表价格极为昂贵，且实验室开放时段与设备容量有限，导致学生人均有效实验时长严重不足，难以支撑充分的动手训练。更为关键的是，现有实验内容多停留在验证性层面，学生只需按照既定步骤完成光功率测量、眼图观测等基础操作即可获得学分，而涉及复杂光通信系统设计、链路整体优化、故障智能诊断等高阶能力培养的任务则几乎缺失^[1]。这使得学生虽能记忆公式、完成理论习题，但面对实际系统集成任务时往往无从下手，无法建立起从基础原理到器件特性再到系统整机的完整知识链路，理论与工程实践之间形成明显断层，工程思维能力培养效果低下，难以满足产业对高素质光通信人才的迫切需求。

（二）课程与 AI 技术融合滞后

当前多数光通信原理课程的教学内容更新速度显著滞后于技术发展的实际步伐，课程体系仍高度聚焦于基础原理的讲授，而对人工智能等前沿技术的融入严重不足。尽管神经网络均衡器、数字孪生光网络、智能路由调度等 AI 技术在光通信领域的应用已日趋成熟并展现出巨大潜力，但上述内容在现有课程体系中鲜少涉及，教学实践仍然将光通信与人工智能作为两条平行线分别讲授，二者处于“各自为政”的割裂状态。这种知识结构的脱节导致学生缺乏“光域问题建模—AI 算法优化—系统验证”的全链条训练机会，其解决光域问题的方法创新能力和跨学科思维受到严重限制^[2]。更为严峻的是，这种滞后使得高校人才培养与企业的实际研发需求之间形成明显鸿沟，毕业生难以快速适应产业岗位对“光+AI”复合能力的迫切要求，产教脱节问题日益突出，课程改革已刻不容缓。

（三）育人评价维度单一与个性化发展缺失

在传统光通信教学体系中，育人评价维度单一与个性化发展缺失的问题尤为突出。现有评价机制过度依赖期末考试成绩与标

准化实验报告，考核内容长期集中于基础概念记忆和简单公式推导，而对学生的工程实践能力、跨学科创新思维及复杂系统调优能力缺乏有效的量化手段。由于缺少对学生实验操作轨迹、仿真参数调试逻辑及团队协作贡献等过程性行为数据的系统采集与分析，教师难以精准定位不同学习者在“理论—器件—系统”知识链路中的具体薄弱环节，更无法动态捕捉其在故障诊断、链路优化等开放性任务中表现出的差异化潜能。这种“千人一面”的粗放式评价体系，既掩盖了学生在创新活跃度、动手偏好等维度的个体差异，也导致后续教学干预缺乏针对性，严重制约了学生个性化成长路径的构建与高阶工程素养的培育。

二、AI 赋能“光纤—虚拟”双闭环教学模式构建

（一）双闭环融合教学体系架构设计

为解决传统教学中理论与实践割裂的问题，本文提出“光纤—虚拟”双闭环融合教学体系，其系统构成如图1所示。该体系以人工智能大模型平台为智慧中枢，同时打通虚拟仿真闭环与物理实验闭环。在虚拟闭环侧，基于 DeepSeek 等 AI 智能模型开发光通信基础原理模拟实验平台，设计“光在光纤中的全反射”“马赫—曾德尔调制器工作原理”等多个交互式实验场景，生动形象地展示光学基础现象，帮助学生建立直观的物理图像^[3]。在物理闭环侧，基于真实光纤器件并结合 Intelligent Fiber Transmission Simulation 搭建可编程实验平台，覆盖光信号调制、传输、检测全流程，构建模块化的光通信系统原型。两个闭环之间通过数据接口实现双向互通：虚拟推演结果可下发至物理设备进行实时验证，物理实验数据亦可回传至虚拟平台进行深度分析与可视化呈现，从而形成“理论→虚拟推演→物理验证→反馈优化”的完整闭环学习链条。该设计突破了传统实验教学受限于硬件成本与场景单一的瓶颈，使学生在有限的实验资源条件下，仍能获得复杂系统设计与调优的充分训练。

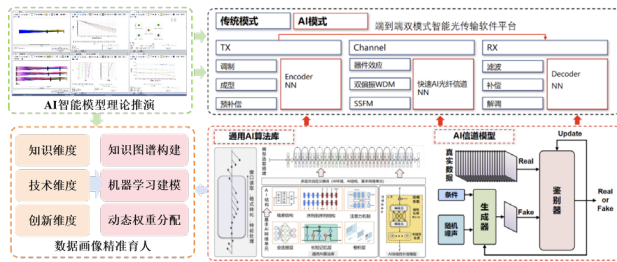


图1 光纤-虚拟双闭环光通信教学平台系统构成

（二）AI算法嵌入虚拟仿真平台

在双闭环体系中，虚拟仿真平台不仅是理论知识的可视化载体，更是AI算法赋能教学的核心引擎。本文将神经网络、数字孪生等AI算法深度嵌入虚拟仿真平台，使其具备光链路设计优化、故障诊断、性能预测等智能功能。学生在虚拟环境中搭建光通信链路后，平台可调用内置的神经网络模型对链路参数进行自动优化，例如在给定误码率约束下搜索最优的光发射功率和调制格式。同时，数字孪生模块基于实时仿真数据构建光链路的虚拟镜像，支持学生开展“如果—怎么办”式的探索性实验，例如模拟光纤断裂、放大器失效等故障场景，并观察系统响应与恢复过程。虚拟仿真结果与硬件操作结果可实现实时交叉验证，当两者出现偏差时，平台自动触发分析机制，将偏差数据反馈至AI模型，由模型生成可能的误差原因及改进建议。这一设计使得学生能够在无风险、低成本的虚拟环境中反复试错，深入理解光通信系统中的非线性效应、色散管理等复杂机理，同时建立起“仿真先行、硬件验证”的工程习惯。

（三）数据驱动的虚实交互闭环机制

虚实双闭环的核心在于数据的双向流动与持续迭代。虚拟仿真平台的操作日志完整记录了学生的每一步操作，包括参数设置调整、链路拓扑修改、故障排查路径等，这些行为数据被实时采集并结构化存储。当学生完成虚拟仿真实验并切换至物理实验平台时，其最优虚拟配置可一键下发至真实光器件，实现软硬件的无缝衔接。物理实验的实测数据，例如实际眼图质量、误码率曲线等，将自动回传至虚拟平台，与仿真预期结果进行逐点比对。基于比对结果，AI模型生成“仿真—实测差异分析报告”，指出可能存在的原因，如器件非理想特性、环境噪声干扰等，并引导学生进行针对性改进^[4]。改进后的物理实验数据再次反馈至虚拟平台，用于校准仿真模型参数，使得虚拟环境的保真度在迭代中不断提升。这一闭环机制不仅显著缩短了“设计—实现—验证”的工程周期，更重要的是，学生在反复的“推演—验证—反思—再推演”过程中，逐步内化了复杂工程问题的系统化解决方法，实现了从知识接受者到主动探索者的角色转变。

（四）虚实协同的教学资源库与支撑平台建设

双闭环教学模式的高效运转离不开系统化的教学资源库与稳定可靠的支撑平台。本文构建了涵盖基础原理层、系统设计层与综合创新层的三层递进式教学资源库。基础原理层聚焦光通信核心概念的可视化呈现，包括光纤传输模式动态演示、调制器工作原理动画、光放大器增益曲线交互图表等，所有资源均支持学生自主调节关键参数并实时观察结果变化。系统设计层提供典型光

通信链路模板，如点对点传输系统、波分复用系统、光接入网络等，学生可直接调用模板进行参数修改与性能分析，降低入门门槛。综合创新层则汇聚企业级案例与前沿技术专题，包括相干光通信、光纤传感、AI均衡器设计等拓展内容，供学有余力的学生开展深度探究^[5]。在支撑平台方面，本文采用云端部署与本地实验台相结合的混合架构。云端平台负责虚拟仿真计算、学生数据存储与AI模型推理，支持学生随时随地进行虚拟实验；本地实验台则通过标准化接口与云端平台对接，实现虚拟配置向物理设备的可靠下发。平台还集成了微信公众号服务模块，教师可通过公众号推送实验任务、发布学习提醒，学生可实时查询个人能力画像、接收AI虚拟导师的个性化学习建议。

三、个性化教学方案设计与精准育人实践

（一）多源学习数据采集与三维能力画像

个性化教学的前提是对学生能力状态的精准感知。本文构建了覆盖知识维度、技能维度和创新维度的三维能力画像模型，其数据来源包括虚拟仿真平台操作日志、物理实验报告、代码开发记录、项目协作记录等多源异构数据。知识维度关注学生对光通信核心知识点的掌握程度，包括光纤传输原理、光调制技术、光检测技术、光网络架构等关键指标，通过虚拟实验中的概念选择题、参数设置合理性、故障定位准确率等进行量化。技能维度考察学生的实验操作规范性、代码开发能力及仪器使用熟练度，数据来源于物理实验的操作时序记录、仿真脚本的代码质量评估等^[6]。创新维度则聚焦学生解决复杂问题的策略多样性和跨学科融合能力，本文定义了“创新指数”量化标准：方案复杂度 = 光器件种类 × AI算法数量 × 性能提升率，以此综合评价学生在开放型任务中展现的创造性。聚类分析算法被用于识别学生群体特征，将学生分为“理论强—实践弱”“创新活跃—基础薄弱”“均衡发展”等类型，为后续差异化干预提供依据。

（二）AI虚拟导师与个性化学习路径生成

基于三维能力画像和知识图谱，本文引入AI大模型平台构建虚拟导师角色。该虚拟导师首先梳理光通信领域的知识图谱，量化知识点之间的逻辑关系，例如“光纤色散”与“光均衡器设计”之间存在前驱—后继关系，“调制格式选择”与“光信噪比预算”之间存在强耦合关系。结合教学大纲，对每个知识点设置知识维度、技能维度和创新维度的评价准则。当学生完成一轮虚拟仿真与物理实验后，其行为数据和结果数据被输入至大模型，由模型模拟企业工程师角色，分析学生的知识薄弱点和能力短板。关联规则挖掘算法（Apriori）被用于发现知识点之间的连带薄弱环节，例如发现“光放大器原理”掌握不佳的学生，往往同时在“光信噪比计算”上表现较差。基于上述分析，AI虚拟导师为不同类型学生生成个性化学习路径：对于基础薄弱学生，推荐“微课视频+虚拟仿真验证”组合，例如先观看光纤传输损耗原理动画，再完成对应的仿真参数调试任务；对于学有余力的潜力学生，则开放企业级挑战项目，例如华为光模块功耗优化实战任务，要求其在限定功耗预算下最大化传输距离。学习路径并非一

成不变，而是根据学生的阶段性能力画像动态更新，例如学生完成基础光器件实验后，系统自动推送进阶的“AI驱动的光网络优化”项目，实现螺旋式上升的培养过程。

（三）动态评价体系与教学效果迭代优化

传统评价体系的“一考定终身”模式难以适应个性化教学的需求，本文构建了基于过程性数据的动态评价体系。该体系采用层次分析法确定知识、技能、创新三个维度的指标权重，并允许根据课程阶段和学生类型进行动态调整。例如在课程初期，知识维度的权重较高，侧重考查学生对基础概念的理解；进入综合设计阶段后，创新维度的权重显著提升，鼓励学生开展探索性实验和跨学科方案设计。每次虚拟仿真实验和物理实验完成后，系统自动生成学生个体的能力雷达图，直观展示其在各个知识点和技能点上的表现，并与班级平均水平进行对比。教师可基于雷达图快速识别需要重点关注的学生，以及班级整体的共性薄弱环节，从而调整课堂教学节奏和内容侧重。更为重要的是，动态评价体系支持长周期的能力发展追踪，例如对比学生在学期初与学期末的三维能力画像，可精确量化其不同维度上的提升幅度。这些量化数据不仅用于学生个人的学习反馈，也被聚合为课程层面的教学效果评估指标，反哺下一轮教学设计与平台功能优化。经过一轮完整学期的教学试点，以同期平行班级为对照组的对比实验

表明，实验班级在复杂系统设计任务中的完成质量、跨学科方案创新能力以及学习主动性等指标上均显著优于对照班级，验证了AI赋能双闭环教学模式的有效性。

四、结语

本文针对光通信原理课程教学中存在的理论与实践割裂、课程与AI技术融合滞后、育人评价单一等核心问题，提出并系统构建了AI赋能的“光纤—虚拟”双闭环教学模式。该模式以人工智能大模型为智慧中枢，打通虚拟仿真与物理实验两个闭环，实现了“理论→虚拟推演→物理验证→反馈优化”的全链条学习体验。在此基础上，通过多源学习数据采集与三维能力画像、AI虚拟导师个性化学习路径生成以及动态评价体系构建，形成了数据驱动的精准育人机制。研究与实践表明，该模式有效提升了学生的工程实践能力、交叉创新思维和自主学习动力，为光通信课程教学改革提供了一条可复制、可推广的新路径。未来工作将聚焦于平台功能的持续优化，扩大教学试点范围，并探索该模式在“通信+AI”“光学工程+智能制造”等交叉领域的迁移应用，助力新工科课程体系建设与高素质复合型人才培养目标的实现。

参考文献

- [1] 陈锦锋. 国内首次聚焦 F5G 全光通信如何赋能社会价值全面提升? [N]. 通信信息报, 2021-11-03(003).
- [2] 郭心悦, 杨宇帆. 可见光通信系统中基于星座点裂变的非等概率星座研究 [J]. 通信学报, 2025, 46(11): 322-331.
- [3] 李保金. 光通信概念板块业绩抢眼 AI算力成核心引擎 [N]. 经济参考报, 2025-11-03(005).
- [4] 李万晨曦. AI算力需求驱动 A股光通信板块业绩向好 [N]. 证券日报, 2025-05-07(B02).
- [5] 高超. AI时代的光通信创新“秘籍” [N]. 通信产业报, 2024-12-23(011).
- [6] 赵云帆. 炬光科技5.8亿瑞士跨境收购落地布局汽车投影照明与 AI 光通信 [N]. 21 世纪经济报道, 2024-01-18(009).