

基于动态知识图谱的个性化学习路径生成与优化模型研究

蔡迪, 范长英*, 付瑞, 张玉涛, 李晔
潍坊科技学院计算机学院, 山东潍坊

摘要: 数字技术正逐步渗透并重塑当下的教育实践, 为个性化发展带来全新的可能, 进而推动个性化学习的研究探索。针对个性化学习路径构建中存在的路径固化、资源关联性弱、动态调节不足等瓶颈问题, 研究提出了基于动态知识图谱的个性化学习路径生成与优化模型。通过构建“K-L-S-P四元支撑平台”, 实现知识语义建模、行为数据感知、智能路径生成与教学执行的闭环联动; 创新性设计“学-教-图三维协同机制”, 以学生实时行为为驱动源、教师策略为校准器、图谱依赖为约束网, 推动路径从静态推荐向动态导学跃迁; 提出“三阶段嵌入式优化流程”, 课前多源诊断锚定认知起点, 课中多模态反馈动态调节路径, 课后评估一重构一激励闭环激活持续学习。该模型可显著提升路径适配精度与学习效能, 为高校破解“规模化教育与个性化培养”矛盾提供智能化解决方案, 助力教育数字化转型从“知识呈现”向“能力引导”深化。

关键词: 动态知识图谱; 个性化学习路径; K-L-S-P平台; 三维协同机制; 嵌入式优化

A Study on Personalized Learning Path Generation and Optimization Model Based on Dynamic Knowledge Graphs

Di Cai, Changying Fan*, Rui Fu, Yutao Zhang, Ye Li

School of Computer Science, Weifang University of Science and Technology, Weifang, Shandong

Abstract: Digital technology is reshaping education and enabling new possibilities for personalized development, driving research in personalized learning. Current personalized learning path construction faces bottlenecks like path rigidity, weak resource correlation, and insufficient dynamic adjustment. This study presents a model for generating and optimizing personalized learning paths using dynamic knowledge graphs. By building the “K-L-S-P Quadruple Support Platform”, it achieves closed-loop linkage of knowledge semantic modeling, behavioral data perception, intelligent path generation, and teaching implementation. The “Student - Teacher - Graph Three - Dimensional Coordination Mechanism” is designed to transition paths from static recommendations to dynamic guidance. The “Three - Stage Embedded Optimization Process” involves pre-class diagnosis, in-class dynamic path adjustment, and post-class activation of continuous learning. This model can enhance path-fitting accuracy and learning effectiveness, offering an intelligent solution for universities to balance large-scale education and individualized teaching. It also promotes educational digital transformation from “knowledge presentation” to “ability guidance”.

Keywords: Dynamic Knowledge Graph; Personalized Learning Path; K-L-S-P Platform; Three-Dimensional Coordination Mechanism; Embedded Optimization

1 引言

随着智能技术的发展与普及,利用动态知识图谱构建以学习者为中心的个性化教学体系,已成为当前高校教育改革的重要课题。习近平总书记在党的二十大报告中指出,要全面提高人才自主培养质量,着力造就拔尖创新人才[1]。《中国教育现代化2035》也强调:“要创新人才培养方式,注重激发学生的创新精神与实践能力”[2]。为满足国家对创新型人才培养的迫切需求,致力于破解高校教学中个性化学习难落地、教师智能支持工具缺失等瓶颈问题[3]。本文聚焦“动态知识图谱+个性化学习路径”融合应用,以学习者认知能力、学习行为数据为核心驱动因子,构建动态知识图谱模型,在此基础上设计面向高校教学的个性化学习路径生成与优化策略,为新型教学模式改革和学生个性化学习探索提供新思路、新路径。推动知识图谱从“知识呈现”向“学习引导”的功能跃升,为实现真正意义上的“千人千面”教学提供理论基础与实践支撑。

2 背景与问题

2.1 现实困境

当前高校“一体化”“同进度”的教学模式越来越难以适应学生认知差异日益显著、学习路径多元化的现实需求。为实现因材施教与高效学习,推动教学系统从内容驱动向路径驱动、从静态教学向动态适配转型,个性化学习已成为高等教育教学模式变革的核心方向。然而,现阶段高校在推进个性化学习路径构建过程中仍面临多维度困境。高校教学路径普遍存在固化问题,难以适应学生在知识基础、学习能力与兴趣等方面的个体差异[5],限制了“因材施教”的实现。同时,教学资源虽丰富,但多以静态目录呈现,缺乏逻辑关联与图谱式组织,导致学生学习路径感知模糊。教学数据驱动能

力不足,反馈机制滞后,难以精准识别学生认知状态与节奏变化,教师调控缺乏依据。现有路径推荐多基于初始标签,缺乏行为数据驱动的动态调节能力,路径一旦设定便难以调整,降低了教学系统的灵活性[7]。这些问题严重制约了高校智能教学的高质量发展。

2.2 技术机遇

在教育信息化与人工智能技术深度融合背景下,以动态知识图谱(Dynamic Knowledge Graph, DKG)为核心支撑的新型个性化学习路径推荐技术,为破解上述难题提供了技术机遇[3]。动态知识图谱具备结构化、语义化优势,能够将教学内容转化为“知识点—关系—层级”的网络结构,重建知识之间的逻辑依赖,为个性化学习路径提供清晰的结构支撑[4]。其动态更新机制可基于学生测验、错题、点击路径等行为数据,实时调整节点权重与路径推荐优先级,实现“因学定图”。融合协同过滤、图神经网络等AI算法,图谱系统可实现路径的精准生成与动态优化,推动教学从静态推荐向智能协同转型[3]。随着高校教学平台的集成化发展,图谱系统已具备良好的落地条件,能够构建“图谱生成—路径推送—反馈采集—策略优化”的智能闭环,成为实现个性化教学的重要技术支撑。

2.3 知识图谱的应用瓶颈

知识图谱是一种思维可视化、结构化的重要表征方式,它不仅能够对教学内容、能力指标和知识关系进行可视化建模,更能在学习行为数据的驱动下进行实时更新,为个性化学习路径生成提供强有力的数据基础与逻辑支撑[6]。然而,当前高校教学中对知识图谱的应用仍停留在内容组

织和资源导航层面，尚未形成“学习者建模—路径生成—智能优化”的闭环机制。特别是在个性化学习路径设计方面，存在规划序列粒度粗、用户数据特征少等突出问题，限制了知识图谱在实际教学中的赋能效果[5]。

3 路径优化机制

研究深度剖析高校教学中的现实困境，基于动态知识图谱（DKG）技术支撑，以“K-L-S-P四元支撑平台”为底层架构，构建“学生认知主体（学）、教师策略主导（教）、图谱语义引导（图）”三维协同体系，深度发展“学习者认知发展需求、教学精准适配需求、路径持续优化需求”三域需求聚合范式，精准锚定高校个性化学习路径的精准生成与动态演进目标，贯穿课前诊断、课中调节、课后重构的教学全周期，强化路径效能评估与动态反馈机制，最终形成“数据驱动—图谱演化—路径适配—教学协同”的路径优化模型。该模型通过动态知识图谱的中枢作用，实现学习路径在节点权重可调节性、图谱结构自进化性、评估结果可反馈性三个维度的突破，为高校构建智能化、自适应的学习路径系统提供系统性解决方案。

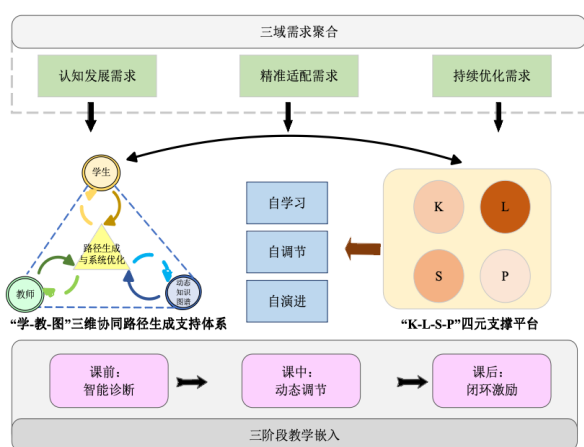


图1. 个性化学习路径生成与优化模型

4 个性化学习路径生成与优化的技术模型

4.1 “K-L-S-P” 四元支撑平台

研究设计了“K-L-S-P”四元支撑平台结构，

即Knowledge（知识图谱）、Learner（学习者画像）、System（路径推荐系统）与Platform（教学交互平台）协同联动的运行体系。其中，知识图谱作为平台的知识基础，通过语义建构和依赖分析形成教学内容的多维网络结构，支持路径结构的逻辑合理性与层级递进性；学习者画像依托多模态行为数据动态更新，用于驱动路径推荐系统进行差异化匹配与策略调整；系统则利用图神经网络和强化学习算法进行路径排序与生成，并嵌入教师干预节点，提升系统推荐的开放性和人本性；教学平台则承担数据采集、行为交互、资源调度、路径可视化展示等功能，是实现从数据到决策的执行场域。

该平台强调四元信息之间的实时流通与协同控制机制，系统可调用知识图谱与画像模型推荐路径，教师可查阅路径历史并干预系统推荐，平台可实时记录行为并转化为新的画像变量，形成“知识引导—系统生成—教师调节—平台采集—反馈优化”的教学闭环，显著提升路径适应性的精度与调节的响应速度，从而推动高校教学系统向“以数据为基础、以学生为核心、以平台为支撑、以教师为主导”的智能化结构跃迁。

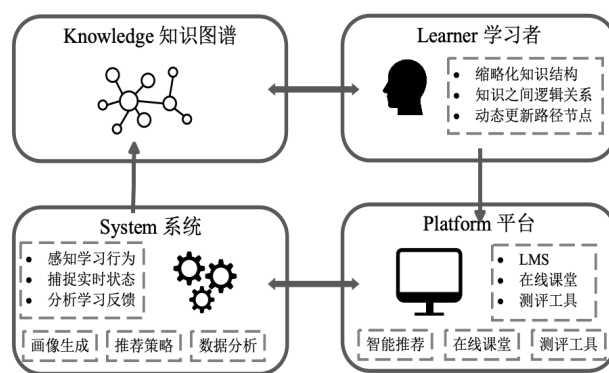


图2. “K-L-S-P” 四元支撑平台

4.2 “学-教-图” 三维协同路径生成支持体系

在教学场景中，个性化学习路径的智能生成不仅依赖于算法模型的驱动，更依托学生、教师与知识图谱三者之间的深度协同机制。通过引入“学-教-图”三维协同路径生成支持体系，实

现路径设计的人本逻辑与结构合理性融合。学生作为学习路径的主体来源，其在平台上的行为数据实时反馈给系统，动态完善其学习画像，进而驱动路径生成引擎精准识别其学习起点与路径进阶方式，确保推荐路径贴合其当前认知水平和个性化学习节奏。教师在系统中不再只是路径的使用者，更是扮演教学路径设计师与策略干预者的双重角色。教师可依据系统推荐结果，对路径起始点进行审校调整，插入关键节点任务、嵌入分层测评机制，或引导学生开展项目式、案例式协作任务，以提升路径内容的教学适配度与学习张力，确保每条路径在智能生成基础上具备明确的教学目标导向。

与此同时，知识图谱作为该协同机制的结构基底与语义引擎，为路径生成提供逻辑依赖关系、能力标签体系与语义跳转规则。通过图神经网络模型对路径节点进行权重评分与可达性排序，系统能够有效识别学习难点、认知断层与知识跳转障碍，从而动态调节路径结构，实现由“知识结构驱动”向“能力进阶引导”的路径逻辑升级，为高校精准教学提供了强有力的智能支撑与人本保障。

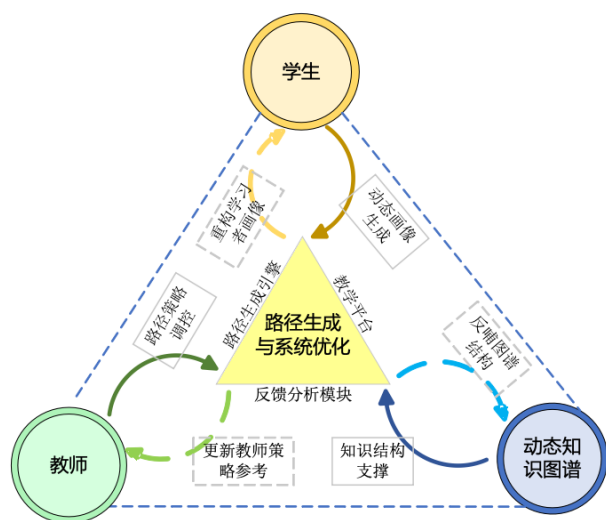


图3. “学-教-图”三维协同路径生成支持体系

4.3 路径优化实施流程与教学环节嵌入设计

在个性化学习路径系统中，仅有路径生成与推

荐机制是不足以支撑整个教学过程智能演化的。路径的可持续优化不仅要依赖知识图谱与学生画像的协同驱动，更需将推荐系统深度嵌入到“教—学—评”全过程，实现技术逻辑与教学流程的有机融合。

4.3.1 课前：数据融合与学情感知——个性化路径起点诊断机制

路径优化的前提在于准确识别学生的学习起点，这一过程的科学性直接决定了后续路径推荐的个性化精度。在课前阶段引入多源数据融合机制，结合平台历史学习行为数据、先修课程知识掌握情况、开课初期的智能问卷诊断、微测评系统结果及个体自述兴趣等，构建多维度学情画像。在系统整合这些异构数据的基础上，形成每位学习者的认知起点图谱，并自动匹配其在知识图谱上的当前站位，从而锁定最优路径切入节点。与此同时，教师可通过可视化界面查看系统生成的路径起点建议，对推荐路径结构进行必要干预或局部调整，如设定任务优先级、调整资源呈现方式、插入诊断型测验或小组热身任务等，以提升学生进入主路径学习前的认知准备度。此外，平台还将推荐的起点与该生画像中存在的能力弱项进行比对，确保路径从其学习“最近发展区”启动，增强其学习动机与初始投入感。

通过课前阶段的数据融合与起点诊断，个性化路径不再是基于普遍模型的推演结果，而是紧密贴合个体实际基础之上的量身定制制结构，为后续学习路径的顺利执行与持续优化打下认知基础和情境契合保障。

4.3.2 课中：多源反馈驱动路径动态演进——智能调节与资源推送策略

为实时响应学习行为变化所触发的路径适配需求，在课中阶段，系统通过学习行为采集模块持续记录学生在各路径节点上的任务完成时间、重复点击频率、视频跳读行为、测验得分与错误类型、认知负荷指标等变量，构建多模态行为反馈模型；同时融合学生对路径资源的满意度评价、自我感知

难度申报以及教师诊断性测评结果，形成动态反馈流。系统接收到反馈后，将依据路径推荐引擎中的调节模型，实时调整当前路径的节点排序、难度梯度、资源形式与进阶节奏。当学生学习信心连续下降时，系统还可触发“路径减负”机制，推送鼓励性资源或成功案例缓解其情绪压力。与此同时，教师也将在平台实时接收到学生执行状态异常提示，如路径进度滞后或关键节点掌握不足，教师可直接干预路径调整，或设定临时学习任务、组织小组研讨等补充性教学行为，从而实现“系统智能分析—平台策略推送—教师适时介入”的三方联动调节机制，使个性化路径在学习进程中持续贴合学生认知发展节奏，实现路径结构与资源安排的灵活演进与智能重构。

4.3.3 课后：评估—重构—激励闭环——路径可持续优化与学习行为激活

课后阶段是路径执行结果的集中反映期，也是路径优化持续演进的关键阶段。在路径表现评估方面，系统通过分析学习者完成路径的任务节点比例、平均学习效率、知识点转化质量、学习信心曲线与系统互动频率等指标，构建路径有效性多维评估矩阵；在结构策略重构方面，平台将依据路径评估结果，识别表现低效节点、资源适配性差节点与跳出率高节点，触发路径重构模块，自动生成结构调整建议，并推荐替代资源或分流路径供教师参考与选用，支持路径在下轮任务中持续迭代优化；在激励机制方面，系统将依据路径执行成效推送学习成长报告、微证书、能力进阶徽章等形式，增强学生对学习路径的参与感与价值感，同时鼓励学生对平台路径体验进行主观评价与建议反馈。

通过该闭环路径机制，学习者在完成阶段性任务后不仅获得认知提升，也收获成就激励，同时为后续学习路径的起点再定位提供实证支撑与数据基础，实现路径系统的可持续自优化和学生学习行为的持续激活。

5 结语

动态知识图谱作为教育数字化转型的核心使能技术，通过与教学逻辑的深度融合，为破解高校个性化学习路径的生成与优化提供了突破性解决方案。研究创新性构建“K-L-S-P四元驱动平台”，打通知识图谱（K）的语义建模、学习者画像（L）的多维感知、路径系统（S）的智能生成与教学平台（P）的交互执行全链路闭环；提出“学-教-图三维协同机制”，以学生实时行为为驱动源、教师策略干预为校准器、图谱依赖关系为约束网，实现路径设计从静态推荐向动态导学的范式跃迁；设计“三阶段嵌入式优化流程”，通过课前多源诊断锚定认知起点、课中实时调节响应学习反馈、课后闭环激励激活持续学习行为，形成教学全周期的自适应调控体系。未来，随着动态知识图谱在实际教学中赋能效果的提高，路径优化体系将加速高等教育从“规模供给”向“精准适配”的范式变革，为构建中国特色高质量教育体系提供可迁移的智能化支撑。

致谢

本文由以下基金项目资助：中国博士后科学基金（2024M752301）；山东省自然科学基金（ZR2023MF048）；山东省社会科学规划（2023JCXK017）；潍坊科技学院A类博士科研基金（KJRC2024006）。

参考文献

- [1] 中国政府网. 怀进鹏: 加快推进教育高质量发展奋力谱写贯彻落实党的二十大精神教育华章[EB/OL]. [2023-01-02].
- [2] 国务院办公厅. 中共中央、国务院印发《中国教育现代化2035》[EB/OL]. [2020-11-27].
- [3] 钱雨. 基于动态知识图谱的大学生深度学习活动设计与实践研究[D]. 华东师范大学, 2024.
- [4] 李悦辰. 基于学科领域知识图谱的个性化学习路径推荐研究[D]. 西安电子科技大学, 2023.
- [5] 陈露. 基于知识图谱的个性化细粒度学习路径规划[D]. 贵州大学, 2024.
- [6] 李双. 基于知识图谱的个性化学习路径推荐关键技术研究[D].

东南大学,2022.

- [7] Gao J, Liu Q, Huang W B. Learning Path Generator Based on Knowledge Graph[C]//Proceedings of the 2021 12th

International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning. Tokyo Japan: ACM, 2021: 27-33.

Copyright © 2025 by author(s) and Global Science Publishing Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access