

基于认知诊断理论的智慧学习模型构建研究—S-GPP-E模型的提出与验证

张良 李颖 孙明勇 郑凯峰

山东省青州市范公亭南街 12 号高新技术研究所, 中国·山东 青州 262500

摘要: 针对专业基础课程教学中“学员三不懂”与“教员三不知”的双重困境, 本研究构建了基于认知诊断理论的 S-GPP-E 智慧学习模型。该模型通过文献分析法与德尔菲法, 确定了学习者感知、学科知识图谱、学习者画像、学习路径、学习评价五个核心要素, 建立了“数据采集→认知诊断→映射生成→路径推荐→评价反馈”的闭环运行机制。模型以认知诊断为关键引擎, 将学员的微观认知状态精准映射到宏观知识图谱上, 形成个性化“认知坐标”, 进而生成多层次教学策略。研究结果表明, S-GPP-E 模型能够有效破解传统教学中的诊断与干预脱节问题, 为人工智能赋能教育提供了可操作的理论框架与实践路径。

关键词: 认知诊断; 智慧学习模型; 知识图谱; S-GPP-E; 个性化学习

Research on the Construction of a Smart Learning Model Based on Cognitive Diagnosis Theory – Proposal and Validation of the S-GPP-E Model

Zhang Liang, Li Ying, Sun Mingyong, Zheng Kaifeng

High-tech Research Institute, No. 12, Fangongting South Street, Qingzhou City, Shandong Province, China Shandong Qingzhou 262500

Abstract: In response to the dual predicament of "three ignorances" among both learners and instructors in the teaching of professional basic courses, this study constructs a smart learning model based on cognitive diagnosis theory, namely the S-GPP-E model. Through literature analysis and the Delphi method, five core elements - learner perception, subject knowledge graph, learner profile, learning path, and learning evaluation - were identified, and a closed-loop operation mechanism of "data collection → cognitive diagnosis → mapping generation → path recommendation → evaluation feedback" was established. The model takes cognitive diagnosis as the key engine, precisely mapping the learners' micro-cognitive states onto the macro knowledge graph to form personalized "cognitive coordinates", and then generating multi-level teaching strategies. The research results show that the S-GPP-E model can effectively solve the problem of disconnection between diagnosis and intervention in traditional teaching, providing an operational theoretical framework and practical path for artificial intelligence to empower education.

Keywords: Cognitive diagnosis; Smart learning model; Knowledge graph; S-GPP-E; Personalized learning

0 引言

随着人工智能、大数据等智能技术的飞速发展, 教育领域正经历着从传统经验型教学向数据驱动精准型教学的深刻变革。然而, 在专业基础课程教学实践中, 仍存在显著的教学困境: 学员陷入“三不懂”困境——不懂问题对应的核心知识点、不懂错误的深层成因、不懂自身的能力缺口; 教员面临“三不知”困境——不知学员真实掌握状态、不知学员认知障碍所在、不知如何实施精准干预。

现有研究虽在智慧学习模型构建方面取得了一定成果, 但多侧重于学习环境的构建或学习资源的推荐, 未能

将认知诊断的深度评估能力与知识图谱的结构化表征能力进行有效融合。认知诊断研究提供了精细的“诊断显微镜”, 但缺乏与课程宏观知识体系的整合; 知识图谱研究提供了宏观的“课程地图”, 但缺乏对学习者动态认知状态的感知能力。这种“断裂带”的存在, 严重制约了人工智能技术在教育领域的深度应用。

为此, 本研究聚焦“如何构建一个既能量化学习目标又能精准刻画学习者的智慧学习模型”这一核心问题, 引入认知诊断理论, 构建 S-GPP-E 智慧学习模型, 旨在实现从传统经验型教学向数据驱动精准型教学的转变。

1 理论基础

1.1 认知诊断理论

认知诊断理论旨在测量或评价个体内在的知识结构与加工技能,其核心在于建立观察分数与测量对象认知特征之间的关联。认知诊断的本质工作是判断学员个体是否掌握测验所涉及的认知属性,主要包括认知属性、属性层级关系、Q 矩阵三个核心要素。

认知属性是学员在正确完成测验题目时所需的知识和技能,属性之间存在相互独立或相互关联的层级关系,常见的属性层级关系包括直线型、收敛型、发散型和无结构型四种。认知属性的层级关系实质上是一种学习进阶次序,反映了理论上知识学习的必然路线。

1.2 知识图谱理论

知识图谱最初源于科学计量学,通过图示化方式展现知识的结构关系,其通用表达形式为三元组 $G=\{E,R,S\}$ 。当知识图谱应用于教育领域时,便衍生出学科知识图谱的概念。学科知识图谱不仅是对学科知识的静态结构化描述,更是一种能够动态关联知识、问题与能力的“能力量化表征工具”。

本研究构建的学科知识图谱包含三层结构:知识图示描述学科基本概念、公式、原理等知识点及其关联关系;问题图示系统梳理学科核心问题集,建立问题与问题之间的关联关系;能力图示凝练学科关键能力,建立能力与能力之间的关联关系。通过这一“知识-问题-能力”三层架构,实现了从抽象知识到具体问题、再到核心能力的贯通。

2 S-GPP-E 模型构建

2.1 模型构建思路

模型是对现实世界中事物内在结构与关系的抽象化表达。学习模型构建的目的在于通过特定视角科学把握学习过程的本质及其逻辑结构。学习模型构建是对学习过程核心特征、内在机理和运行规律的抽象描述。构建工作包括模型构成要素提炼、模型结构建立和模型特征分析三个环节,其基本思路如图 1 所示。

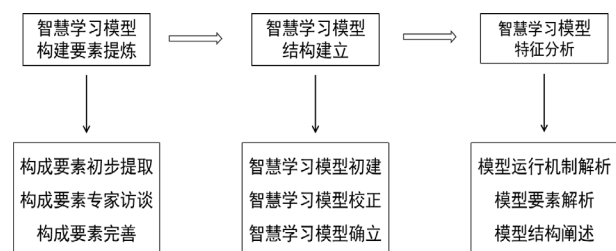


图1 智慧学习模型构建基本思路

2.2 模型构成要素提炼

基于文献分析法,本研究初步提取了智慧学习模型的构成要素,包括学习者、学科知识图谱、学习者画像、学习路径、学习评价五个一级要素。为进一步确保构成要素的科学性与合理性,本研究采用德尔菲法进行多轮专家匿名咨询,邀请来自本校及山东科技大学共计 12 位专业基础课程教学专家参与调查。

经过两轮专家咨询,意见逐步趋于集中统一,最终确立了学习模型的构成要素体系,包括:学习者感知、学科知识图谱、学习者画像、学习路径、学习评价五个一级要素,以及相应的二级要素。具体如下:

学习者感知:涵盖学习活动中的多元主体,包括学习者、助学者、管理者三个二级要素。

学科知识图谱:包括知识体系、问题体系、能力体系三个二级要素。

学习者画像:包括学习特征数据、学习行为数据、学习结果数据三个二级要素。

学习路径:包括学习活动、学习方式、学习状态三个二级要素。

学习评价:包括学习诊断、学习导引、学习分析三个二级要素。

2.3 模型确立

基于上述要素体系,构建了基于认知诊断理论的学习模型,命名为 S-GPP-E 模型(抽取五个核心要素英文首字母:Student Perceptions, Graph, Portrait, Path, Evaluate)。模型结构分为支撑层、服务层、关键层和应用层四层结构,各层相互关联、协同作用,如图 2 所示。

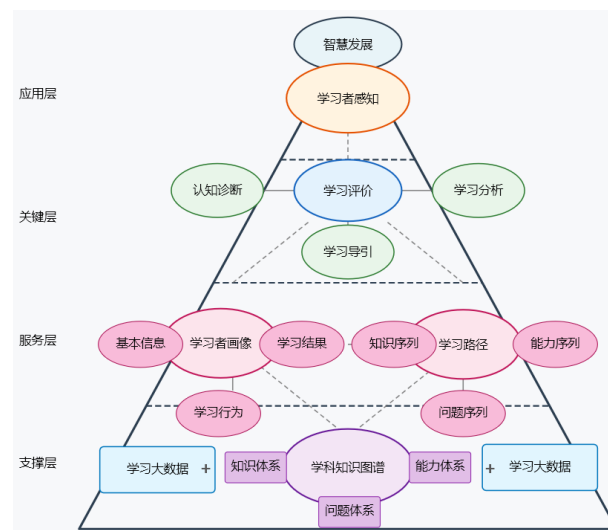


图2 人工智能支持下的智慧学习模型(S-GPP-E模型)

学科知识图谱作为核心支撑,为学习者画像、学习路

径推荐、学习评价提供基础;学习大数据贯穿全程,驱动模型运行。模型以认知诊断的关键引擎,将学员的认知状态精准映射到知识图谱上,形成个性化“认知坐标”,进而支持学习诊断、学习导引和学习分析,最终促进学习者群体智慧发展。

2.4 模型要素解析

2.4.1 学习者感知

学习者感知涵盖学习活动中的多元主体,包括学习者、助学者、管理者。学习者是学习活动的主体,其认知状态、学习行为和结果数据是模型运行的核心输入;助学者依据模型提供的诊断结果和学情分析,调整教学策略,实施精准干预;管理者负责维护学习环境、保障数据安全、协调资源配置。

2.4.2 学科知识图谱

学科知识图谱是模型的“关键支撑”,包括知识图示、问题图示和能力图示三层结构。通过“知识→问题→能力”的三层映射,学科知识图谱实现了学科能力目标的量化表征。学员在问题解决过程中的表现,可以通过映射关系转化为能力维度的得分,为认知诊断提供结构化框架,如图3所示。

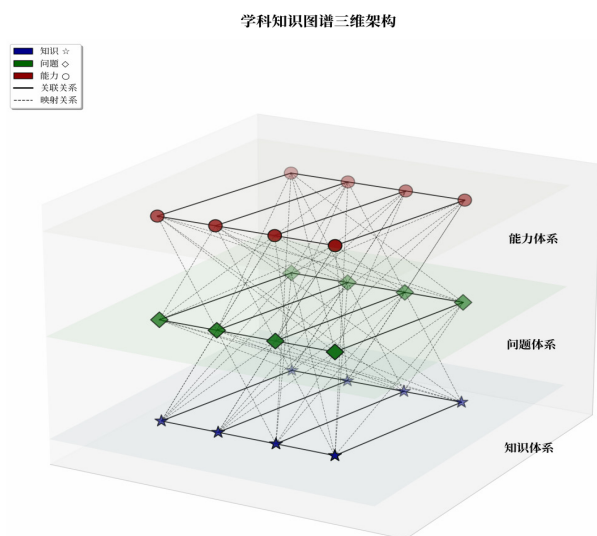


图3 S-GPP-E模型中学科知识图谱概念图

2.4.3 学习者画像

学习者画像是基于多维数据对学习者的精准建模,是实现个性化学习服务的核心组件。在本研究中,学习者画像的构建依托学科知识图谱,涵盖学习特征数据、学习行为数据和学习结果数据三个维度。学习结果数据是本研究现阶段重点构建的内容,基于学科知识图谱,学习者的学习结果可形式化表达为在各知识节点、问题节点、能力节点上的掌握程度向量,如图4所示。

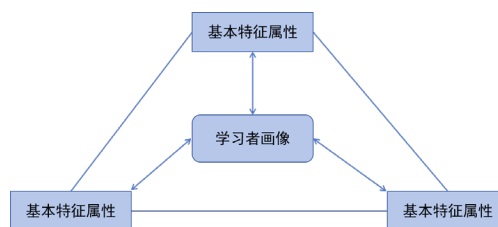


图4 S-GPP-E模型中学习者画像模型图

2.4.4 学习路径

学习路径是模型实现个性化学习推荐的“核心产出”,包括学习活动、学习方式、学习状态三个二级要素。基于学科知识图谱中知识点的前驱后继关系,结合学习者画像中的认知诊断结果,模型为学员推荐连续性的个性化学习路径。路径从当前薄弱知识点出发,按照知识依赖关系依次排列推荐学习的内容和活动,实现从碎片化知识推荐向系统化路径规划的转变。

2.4.5 学习评价

学习评价是模型实现精准教学反馈的“关键引擎”,包括学习诊断、学习导引、学习分析三个二级要素。学习诊断基于认知诊断模型,结合学员在知识图谱关联问题上的作答数据,精准判断学员对各认知属性的掌握概率;学习导引基于诊断结果与映射生成的认知坐标,生成面向学员的个性化学习策略和面向教员的精准教学策略;学习分析生成学习目标达成度、知识掌握与能力发展等分析报告,为学员自我认知、教员教学决策、管理者宏观调控提供数据支持。

2.5 模型运行机制

S-GPP-E模型的运行遵循“数据采集→认知诊断→映射生成→路径推荐→评价反馈”的闭环机制:

数据采集:学员在学习过程中产生的行为数据和结果数据被实时采集,并与学科知识图谱中的知识节点、问题节点建立关联。

认知诊断:基于认知诊断模型,对学员在问题上的表现进行分析,输出其对各认知属性的掌握概率向量。

映射生成:将认知属性掌握概率通过属性-知识点对照表映射到知识图谱上,生成学员个性化的“认知坐标”,并根据知识依赖关系推理出相关联的薄弱环节。

路径推荐与策略生成:依据学员当前的认知坐标,结合知识图谱的前驱后继关系,生成连续性的个性化学习路径,推荐相应的学习资源与活动。同时,聚合班级学员的认知坐标,生成班级学情分析报告与教学建议。

评价反馈:通过学习诊断、学习导引和学习分析,对学员的学习过程和结果进行动态评价,将反馈信息再次输

入模型,驱动新一轮学习循环。

3 模型应用与验证

3.1 应用背景

本研究以《现代工程图学》课程为载体,围绕“如何构建能够量化表征学科能力目标、精准诊断学员认知状态,并生成有效教学/学习策略的学习映射模型”这一核心问题展开研究。现代工程图学是研究工程图样绘制与阅读规律的一门学科,其知识体系可分为基本概念与原理、基本技能、方法与思想三个层次,具有较强的抽象性和空间思维要求。

3.2 应用效果

通过在《现代工程图学》课程中的应用,S-GPP-E 模型在破解“学员三不懂”与“教员三不知”困境方面取得了显著成效:

针对“学员三不懂”:

不懂问题对应的核心知识点:构建的学科知识图谱将每个问题节点与对应的知识节点明确关联,学员可直观查看各知识节点的掌握状态,从而清晰定位知识盲区。

不懂错误的深层成因:基于认知诊断模型的诊断输出学员对各认知属性的掌握概率,诊断结果不再停留在“题目做错”的表象,而是精准指出错误背后的具体认知属性缺失。

不懂自身的能力缺口:通过问题-能力映射关系,将学员在具体问题上的表现转化为能力维度的量化得分,并以雷达图形式可视化呈现,学员可直观看到自身能力的优势与短板。

针对“教员三不知”:

不知学员真实掌握状态:系统自动生成班级知识掌握热力图和个体认知坐标,教员可一目了然地查看全体学员在各知识点、各能力维度上的分布情况。

不知学员认知障碍所在:认知诊断报告直接定位到认知属性层级,而非仅显示题目错误或总分,教员能够准确区分学员究竟是知识点没记住、方法没掌握,还是思维能力的欠缺。

不知如何实施精准干预:策略生成机制基于诊断结果,自动输出三级可操作方案——个体层、群体层、教师

层,教员可据此调整教学计划,实现从“模糊讲评”到“精准干预”的转变。

4 结论与展望

本研究构建的 S-GPP-E 智慧学习模型,通过将认知诊断与知识图谱深度融合,建立了“诊断→映射→策略生成”的完整链路,有效破解了专业基础课程教学中的“学员三不懂”与“教员三不知”困境。模型的创新点在于:提出了基于认知诊断理论的智慧学习模型构建框架;确立了学习者感知、学科知识图谱、学习者画像、学习路径、学习评价五个核心要素;建立了“数据采集→认知诊断→映射生成→路径推荐→评价反馈”的闭环运行机制。

未来研究将从以下方向深化:完善学习者画像的构建,融合学习风格、行为偏好等多维数据;拓展跨课程的知识图谱,实现多门专业基础课程的联动诊断与推荐;优化策略生成规则库,引入机器学习算法实现策略的自适应优化;开展长期教学实验,验证模型在提升学员创造性思维和问题解决能力方面的效果。

参考文献:

- [1] 余嘉元. 认知诊断评估的理论与方法[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2015.
- [2] 钟卓, 唐烨伟, 钟绍春等. 人工智能支持下教育知识图谱模型构建研究[J]. 电化教育研究, 2020.
- [3] 唐烨伟, 茹丽娜, 范佳荣等. 基于学习者画像建模的个性化学习路径规划研究[J]. 电化教育研究, 2019.
- [4] 慕春霞. 基于“智慧学伴”的数学学科能力诊断及提升研究[J]. 中国电化教育, 2019.
- [5] Koedinger K R, et al. The Knowledge-Learning-Instruction framework: Bridging the science-practice chasm to enhance robust student learning[J]. Cognitive Science, 2012.
- [6] 顾甜怡. 基于 DINA 模型的初中生轴对称学习认知诊断研究——以石家庄某中学为例[D]. 河北: 河北师范大学, 2021.
- [7] De La Torre J. The generalized DINA model framework[J]. Psychometrika, 2011.
- [8] 祝智庭, 管珏琪. 智慧教育: 教育信息化的新境界[J]. 电化教育研究, 2014.