

面向精准教研的立体知识图谱构建方法研究

穆 肃¹, 谭梓淇², 骆珏秀², 宁秀文², 胡小勇²

(1.华南师范大学 教育人工智能研究院, 广东 广州 510631;

2.华南师范大学 教育信息技术学院, 广东 广州 510631)

[摘要] 知识图谱作为知识存储工具的应用对教学教研具有重要意义,近年来受到研究者和教师的广泛关注。文章针对传统学科知识图谱构建方法难以适应智能时代知识快速增长、更新的需要,基础教育学科知识图谱未能用于综合解析教与学的过程和智能评估学习发展的问题,从学科知识、教学活动、学生学习三个角度出发,提出建构包含学科知识、教学活动、个体学习的三层立体动态知识图谱模型思路,结合自顶向下和自底向上的构建方法,从数据采集、本体构建、知识抽取、知识融合、知识更新五个方面设计图谱构建框架,实现三层图谱相互关联、相互影响和相互解释,支持基于教学过程大数据的教学过程和学习成效解释和诊断。基于提出的模型和方法,研究以数学学科内容进行了应用示例,以期为知识图谱领域的实践提供应用参照。

[关键词] 学科知识图谱; 动态知识图谱; 基础教育; 构建应用

[中图分类号] G434

[文献标志码] A

[作者简介] 穆肃(1972—),女,贵州贵阳人。教授,博士,主要从事人工智能教育应用、多模态学习分析研究。E-mail: musu@m.scnu.edu.cn。

一、引言

2017年6月,国务院印发《新一代人工智能发展规划》,提出要建立新一代人工智能关键共性技术体系,大力发展知识图谱的计算引擎、知识服务与跨媒体分析推理技术,形成涵盖数十亿实体规模的多源、多学科和多数据类型的跨媒体知识图谱^[1]。2021年7月,我国教育部等六部门颁布《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》表明了学科知识图谱对优化数字化资源供给服务的支撑作用^[2]。学科知识图谱作为一种典型的垂直知识图谱,通过对各学科知识内容、教学资源、活动分类梳理与逐层分解,能有效将不同维度的学科知识与资源建序、重组与优化,以学科知识语义图式结构,映射学习者高阶思维能力与认知能力的发展^[3]。2021年9月,教育部在《关于实施第二批人工智能助推教师队伍建设行动试点工作通知》中强调积极推进人工智能、大

数据、第五代移动通信技术(5G)等新一代人工智能技术与教师队伍建设的融合,形成智能技术助推教师队伍建设的新的路径和新模式^[4]。教研活动是促进教师专业发展的重要方式^[5],基于学科内容图谱和教学活动图谱进行精准教学解释,是人工智能技术全过程、多层次教研应用的基础,决定了教学分析的针对性和分析报告的准确性,也决定了教师能力发展的水平和队伍建设的质量。

学科知识图谱的建设,顺应了我国教育新基建的发展路径,为基础教育领域教师智慧教学、学生个性化学习、教研员精准教研等提供技术支撑^[6],既是课堂教学数字化转型的关键步骤,也是进而实现“双减”增效提质的可行途径^[7]。然而,随着教育大数据的快速发展,传统学科知识图谱所采用的数据存储、知识获取、本体融合、逻辑推理构造方法已经不能适应智能时代互联网信息量快速增长的需要,具体表现为学科知识图谱对师生在教学活动所产生的文本、语音、视频等

基金项目:国家自然科学基金2022年度重点项目“课堂流媒体跨模态知识元协同解析与评估方法”(项目编号:62237001)

非结构化数据缺乏高效、准确的抽取方法。基于此,研究认为半自动方法适合学科知识、教学活动、个体学习三层知识图谱的构建,由专家学者参与模式层建设,依据机器学习算法实现数据层知识抽取并链接到知识图谱中,实现学科知识、教学活动、个体学习三层知识图谱关联。

二、教育领域中的知识图谱

(一)教育知识图谱及常用建构方法

知识图谱具有强大的实体关联的刻画能力,在各个领域得到了广泛研究和应用,近年来也引起了教育领域研究者的高度关注,是目前人工智能教育应用中的研究热点并得到了应用实践,出现了如教育知识图谱、学科知识图谱等相关研究。

教育知识图谱是知识图谱在教育领域的应用,通常以知识元为节点,根据知识元的多维语义关系建立相互关联,在知识层面和认知层面表示学科领域知识和学习者认知及发展状态,可用于知识导航、认知诊断、资源聚合、路径推荐的知识组织与认知表征工具^[8]。教育知识图谱属于领域知识图谱,由于领域知识图谱是面向具体的领域构建,只有包含高准确度的知识才能为上层应用提供支持,因此通常采用自顶向下的构建流程^[9]。在构建方法上,李振等提出了教育知识图谱概念模型 EKGCN,在此模型的基础上提出基于智能处理技术的教育知识图谱自动化构建方法^[9],后对构建方法进行改进,将人类智慧与机器智能结合,提出一种人机协同的半自动化构建方法^[10]。钟卓等人基于所构建的“知识—问题—能力”教育知识图谱 KQA 模型,提出从数据获取、知识抽取、知识融合和知识推理四方面,通过机器学习算法实现实体抽取、关系抽取、实体对齐等步骤的教育知识图谱构建方法^[11]。目前,国内大多数教育知识图谱的研究多从技术角度出发进行,建构方法技术性强,实用性较弱,因此,仅能在小范围试用,多用于理论研讨和研究热点探讨。

(二)学科知识图谱的建构方法

随着“互联网+教育”和教育大数据分析应用,教育领域越来越重视知识图谱对教育的赋能,提出了精细到具体学科的学科知识图谱。学科知识图谱是一种支持具体学科教学设计与资源组织管理的教育知识图谱^[12]。目前已有不少研究在基础教育学科知识领域进行深入探索,如,冯俐通过 Python 爬虫技术获取网页数据,采用正则表达式匹配相关内容,提取出实体与实体间的关系,将数据存储于 Neo4j 图数据库并使用 Cypher 语言实现数据可视化查询,完成对中学

语文诗词知识图谱的构建并基于此开发出可视化查询系统^[13];翟龙结合高中物理学科特点构建该学科本体,采用 BiLSTM+CRF 模型、BiLSTM+Attention 模型进行实体识别、关系抽取,完成学科知识图谱的构建并基于此开发出在线学习系统^[14];李昊泽聚焦初中数学,通过人工手动采集和爬虫技术自动获取数据,以半自动化的方式构建模式层,再先后采用 BiLSTM-CRF 模型和 AGGCN 模型完成数据层的构建,最后借助 Neo4j 存储抽取的三元组实现知识图谱的构建,并应用于其开发的初中数学知识可视化查询平台^[15]。

综上所述,目前教育知识图谱构建倾向于以自动化和半自动化方式进行。由于存在学科知识复杂、教学活动数据来源多样等特点,既不能仅依靠专家学者采用人工方式进行构建,也不能完全依赖机器学习自动完成。现有面向基础教育的学科知识图谱构建或应用研究,普遍只针对具体某学科进行,且多为数学、物理等理科学科,此类知识图谱的建构方法适用范围过小,难以推广。因此,本文将提出一种通用的、半自动的学科知识图谱构建方法以提升知识图谱在基础教育领域的应用。知识图谱将由相关专家学者参与模式层构建,通过机器学习算法抽取底层数据构建数据层,充分发挥专家的专业知识和人工智能技术的双重支持作用,保证三层知识图谱的质量与准确性。

(三)动态知识图谱的建构方法

动态知识图谱能够将时间维度与实体关系进行表示学习,得到特征向量以解决传统知识图谱中的关系缺失与属性不完备等问题。本文基于时间建模方式,对学科教学领域中动态知识图谱生成技术进行相关梳理,发现时序知识图谱表示学习的方法主要分为翻译模型、双线性模型、基于距离的模型、旋转模型、矩阵分解模型、图神经网络六种模型。其中,最典型的模型是以 TransE^[16]为基础的翻译模型。随着研究模型的深入发展,研究人员发现该模型过于简单,难以表达实体的复杂关系,又出现以 TransR^[17]为代表的基于距离的模型、以 RotatE^[18]为代表的旋转模型与以 TuckER^[19]为代表的矩阵分解模型,对复杂关系表征进行优化。随后,研究人员对图神经网络模型与翻译模型进行结合与改进,形成 KGCCN^[20]与 RippleNet^[21]、GCLSTM^[22]等优化模型,在动态知识图谱建议上的应用特征见表 1。

综上所述,现有研究大多采用以 GCU 为代表的图神经网络模型与以 TransE 为代表的翻译模型对实体关系建模,GCU 能获取实体间的邻接关系特征,但无法对实体与关系进行深度融合,进而导致知识图谱

表 1 动态知识图谱技术在学科教学领域的应用

学者	技术方法	模型	应用特征
陈曦等 ^[23]	TransE	翻译模型	基于 TransE 与 Dismult 模型在课程知识图谱生成嵌入向量,识别学生的先验知识和课程的教学内容,为学生成绩提供预测结果
	Dismult	双线性模型	
童小凯等 ^[24]	TransR	基于距离的模型	基于 TransR 方法对学习资源知识图谱中的实体和关系进行嵌入,识别语义结构信息并嵌入到多目标跨域的推荐模型中
罗婕溪等 ^[25]	RotatE	旋转模型	采用 RotatE 识别知识点、教师和标签的关系,实现学习路径推荐与知识预测
林健等 ^[12]	TuckER	矩阵分解模型	基于 TuckER 模型对进行复杂知识结构的降维处理,分解出新知识的潜在语义关系
李振 ^[26]	CNN	神经网络模型	基于 CNN 模型来提取教学文本语句间的语义关系
WANG H W ^[20]	KGCN	图神经网络模型	采用 KGCN 模型来计算学习资源中邻居节点信息与当前实体节点的特征与结构,实现学习资源推荐
张博雅 ^[27]	RippleNet	图神经网络模型	利用 RippleNet 算法实现课程知识图谱间的实体链接与迭代,挖掘学生兴趣,实现学习资源更新与推荐
杨东明等 ^[28]	GCLSTM	图神经网络模型	融合 GCN 模型与 LSTM 模型来提取教学文本语句的局部特征与关系语句
Yao S ^[29]	GRU	神经网络模型	采用 GRU 模型对教育知识图谱的头实体、关系、尾实体的结构信息和文本信息进行联合嵌入

补全建模时缺少实体与关系的联系。而 TransE 模型简单,直接将时间信息嵌入到三元组中,难以计算出复杂向量的特征关系。因此,本文将采用基于 TransH 的时序知识图谱增量构建方法,构建相关的计算模型和提取最优子集算法来获得最优三元组集合,将其添加到当前图谱中实现数据层的更新。

三、学科知识图谱的结构和构建

(一) 学科知识图谱结构模型

为能在学科知识内容、教学活动和学习情况三者形式化抽象描述的基础上,基于学习过程的多媒态数据解释教学过程、判定状态和诊断问题,这里提出了由描述学科知识内容、教学活动、学习情况三层知识图谱形成的立体学科知识图谱。构建学科内容图谱的目标是对学科知识内容及结构、教学活动和资源进行展示和梳理,学生能够通过知识图谱定位自己的学习过程和完成程度,查询到自己需要的资源,系统应用能够基于学科知识图谱进行学习状态的判定和相关教学资源的推送。构建教学活动图谱的目标是以教学活动为

对象,解释教学活动对学生知识达成度、学习成绩等情况的影响,同时通过教学活动中教学内容的相关数据更新学科知识图谱实例。学习图谱是根据学生的学习数据形成的,依据学科内容图谱中的知识体系结构,联系用教学活动图谱标注的行为数据,明确学生对知识的掌握情况,该图谱的构建目标是呈现学生的知识达成度、学习兴趣以及学习进度。其框架如图 1 所示。

1. 学科知识层: 学科内容图谱

学科知识是学科内容图谱的节点,描述学科知识元及相互联系。在该层中,知识元是学科知识中最小的结构单元,代表学科知识图谱的实例,知识主题是由若干个知识元抽取而形成。在此基础上,对相关的知识主题进行抽象与融合,形成学科知识相互关系和结构体系。该层是学科知识图谱中最基础的部分,为教学活动知识图谱与个体知识图谱的形成提供知识精准对应的支撑。

2. 教学活动层: 教学活动图谱

教学活动层形式化描述学生围绕知识内容学习的各类学习活动、学习资源,并表征活动与资源、知识

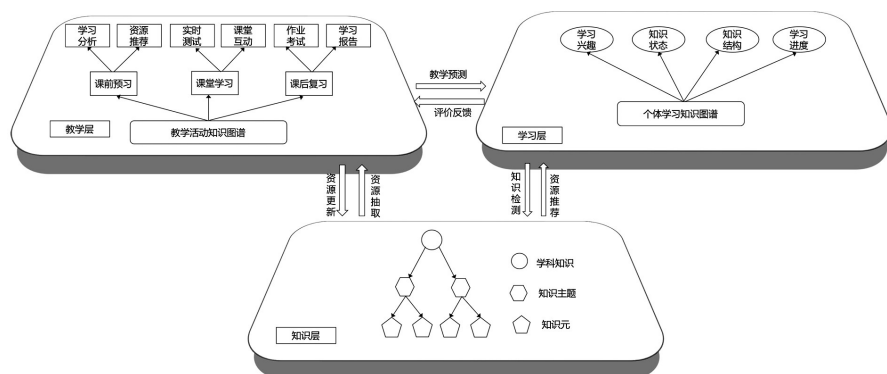


图 1 知识图谱结构模型

内容的关联情况。该层对应学科内容图谱,描述对应的教学资源、活动过程、活动方式等,形成可用于解释教学过程的子图谱,反映当前教学活动状态与课程知识元间的联系。从学习图谱层中获取个体学习数据及状态的表征,可实现学习状态对应教学活动及应用资源的相关分析,既可对学习结果进行解释和诊断,又可联通学科内容图谱层对其进行预测方法、知识等推荐。如,基于学习活动实体对应的实例及属性值,可支持个体资源推荐和教师教学建议;基于课中师生互动实例及相应数据可支持对学生学习结果产生原因的诊断和描述,可支持应用系统为学生推荐适合的学习路径。

3. 个体学习层:学习图谱

个体学习层即第三层学习图谱,映射学生个体学习领域,用于反映学生学习结果与预期目标之间的联系。个体学习层能够从学生学习兴趣、知识状态、知识结构及学习进度等方面表征学习者学习目标的达成度和认知水平。学习图谱不仅能考量学生知识技能的达成度,还能描述学生个人的学科知识体系、问题解决能力体系及学科思维体系。

(二)总体构建思路

三层知识图谱的建构采用自顶向下与自底向上结合的方式进行。首先,由专家学者对学科内容层、教学活动层、个体学习层定义类和类层次结构、属性及属性关系,通过本体建模形成学科知识本体库、教学活动本体库、个体学习本体库,为后续的数据层构建提供统一参照标准。其次,采用自底向上的知识获取与处理方法,通过知识抽取、知识融合等技术将多源异构数据变为结构化的知识三元组,形成具体实例数据层。学科内容图谱和学习图谱以学科专业知识为基础,侧重于模式层的构建,而教学活动图谱建构依靠真实教学场景数据,更注重底层数据的抽取。最后,对模式层与数据层进行整合,形成由学科知识内容、教学活动、个体学习图谱构成的三层立体知识图谱,如图2所示。

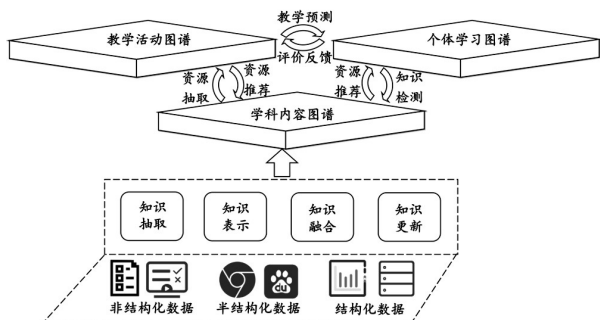


图2 三层图谱构建框架

(三)数据来源

立体知识图谱的数据来源有非结构化、半结构化和结构化数据,见表2。非结构化数据包含教材、课程标准、教辅文本材料、“一师一优课”网络教学资源(如课堂实录、教学设计)等内容。因学科知识图谱对数据的质量和内容的有着极高的要求^[9],为保证数据的权威性和准确性,教材选取使用普遍的教材,如人教版教材。半结构化数据多为存储于在线学习平台记录师生教学行为信息的Web日志文件等。结构化数据则来源于学科知识库、在线学习平台的学生信息库和学习资源库,学习资源库包括如微课、讲义等多模态学习资源。

表2 三层知识图谱数据的内容与采集来源

数据类型	数据内容	采集来源
非结构化数据	教材、课程标准、教辅文本材料、“一师一优课”网络教学资源	人教版教材、《义务教育课程方案和课程标准》、中小学教育资源公共服务平台、“一师一优课”
半结构化数据	教师和学生的Web日志文件	在线学习平台
结构化数据	学科知识库、学生信息库、学习资源库	中小学教育资源公共服务平台、在线学习平台

(四)本体构建

本文参考七步法构建思想,借助本体编辑工具以人工构建的方式构建三层知识图谱的模式层,具体包括确定构建目标、确定核心概念集、建立类层次结构以及定义属性及属性约束五环节。目前国内已有不少学者构建了各学科知识图谱,其本体已具有较为完备的知识组织体系,可支撑实现本体复用,为同一学科知识图谱的本体构建提供参考。基于此,本文构建的学习本体将对学科知识本体中确定的概念与层次关系进行选择性的继承与吸收。

1. 确定核心概念集

在相关的学科领域专家的指导下,以在线学习平台的教学行为数据、课堂实录、教学资源等内容为参照,确定教学活动的核心概念体系包括“自学”“教授”“辅导”“练习”四部分。以人教版教材等权威教材和课程标准为基础形成每门学科的知识结构体系,在学科专家的指导下,以学科的知识结构体系和相关教辅材料为参考,确定学科知识和个体学习的核心概念体系。如,小学阶段数学学科的核心概念可梳理总结为数与代数、图形与几何、统计与概率三部分。

2. 建立类层次结构

本文根据学科特点与专家建议,把学科知识分为“概念”“原理”“方法”“事实”四类实体,是学科知识图

谱和个体学习知识图谱最顶层的四个类,每一类依据记忆性知识与逻辑性知识的分类标准,向下逐级进行分类。根据确定的教学活动核心概念集,教学活动可分为“课前活动”“课中活动”“课后活动”三大类,每一类依据教师和学生的分类标准逐级向下分类,例如,将“课前活动”类分为“课前教师活动”类与“课前学生活动”类,按此分类标准再向下进行详细分类。

3. 定义属性及属性约束

知识图谱的呈现借助于本体编辑器来定义数据与对象两类属性。基于该属性对三层知识图谱实体属性及关系进行定义。

(1) 数据属性与属性约束

在学科知识本体中,知识元的属性包括学习目标、难易程度、所属学段以及知识描述,其中学习目标根据修订版布鲁姆认知目标分类法分为记忆、理解、应用、分析、评价、创造六个层次,难易程度分为容易、适中、较难、难四个级别。学习本体在学科内容本体的属性分类基础上加入达成度,该属性为数值型属性,取值范围为 $[0, 1]$,表示学生对某一知识的掌握情况。在教学活动本体中,知识元的属性划分为影响重要程度、互动方向、活动描述三个类别,其中影响重要程度包括浅层、中等、深层三级。

(2) 对象属性及关系定义

学科知识和教学活动之间存在直接或间接的某种关系,即对象属性。通过整理与分析,可总结出学科知识、教学活动、个体学习三者的知识元之间特殊关系与普通关系两类。普通关系包括同义、兄弟、前驱、后继、包含与对立六种关系,而特殊关系有因果、变换和相关三种关系。

(五) 三层图谱知识抽取

知识抽取是从各种类型的数据源中提取出实体、属性以及实体间的相互关系,在此基础上形成本体化的知识表达。由于三层知识图谱数据来源包括教学文本、视频、音频等半结构化与非结构化数据,因此需要对教学活动中的文本、视频、音频等非结构化数据进行知识抽取。这包括实体抽取与关系抽取两个环节,如图3所示。现有研究中深度神经网络中的注意力机制,即图注意力网络(Graph Attention Network, GAN)能够有效提取图谱中的实体信息并生成相应的知识元与向量表示。基于此,本文将采用融合触发词的Bi-LSTM-CRF模型对多层图谱的知识元进行提取,再通过激活函数(Rectified Linear Unit, ReLU)从图中提取知识结构化信息与语义关系信息,实现多层图谱的知识抽取。

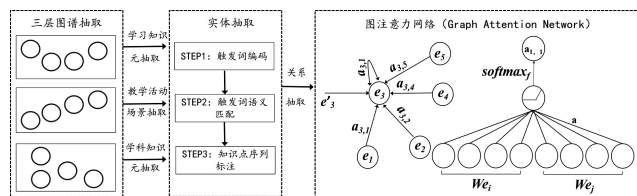


图3 三层图谱知识抽取流程

(六) 学科内容图谱、教学活动图谱与个体学习图谱融合

知识融合要对学科内容图谱、教学活动图谱和个体学习图谱中的知识元等对应的多源异构数据进行融合。由于三层知识图谱的数据来源不同,既包括结构化的学科知识库与学生学习资源库数据,又有非结构化与半结构化的教学活动数据和资源数据,导致三层知识图谱之间的数据来源多而散,权威性有待确认,也无法建立联系。因此,根据已有数据融合算法教育应用的综合分析,采用GCN模型对三层图谱中的资源进行抽取、匹配和转换,借助实体融合、关系融合、属性融合等算法来计算节点之间的相似度,可实现三层图谱的知识元分析与合并,如图4所示。

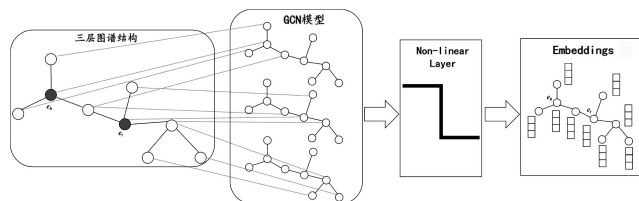


图4 三层图谱融合流程

(七) 知识更新

知识图谱建构中知识更新指随着教学数据信息发生变化,知识图谱的内容遵循事物发展规律动态调整。从逻辑上看,知识图谱的更新包括模式层的更新和数据层的更新。模式层的更新包括概念的增加、删除、修改,概念属性和概念间关系的更新,数据层的更新则指实体、实体间关系或属性值的增加、删除、修改。

本文借助本体编辑器,对模式层概念、属性、关系的更新进行相应操作,再由领域专家评判审核,从而完成对三层知识图谱模式层的更新。在数据层采用增量更新的方式,使用张子辰等人提出的时序知识图谱增量构建模型^[31],即基于TransH把从数据中抽取出的新知识(新三元组)嵌入到当前知识图谱(记为 G_i)向量空间中,进而得到更新版本 G_{i+1} ,再通过吻合度计算模型和基于贪心策略提出的提取最优子集算法,将最优的三元组集合添加到当前知识图谱中,进而完成三层知识图谱的数据层更新。

四、三层图谱应用实例研究

这里以小学数学课程为例,建立学科内容图谱、教学活动图谱、学生图谱关联的中心实体。在对课标要求、教材内容、教学活动的文本、音视频资源与资源平台元数据集进行语义关系学习训练、实体匹配、实体链接与知识更新后,可生成以小学数学课程为核心主题三层知识图谱,其效果如图5所示。

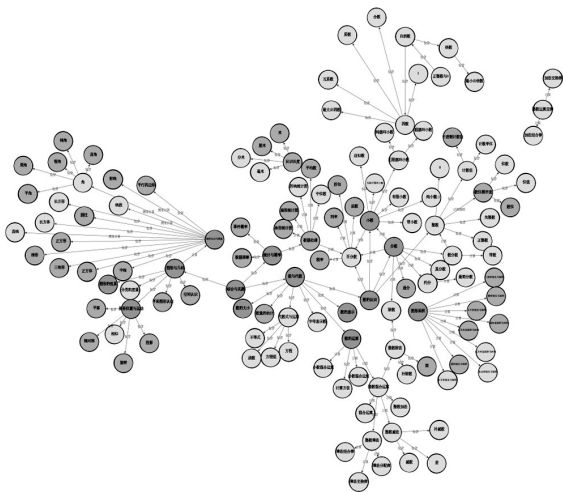


图5 小学数学学科三层知识图谱示例

知识图谱的具体实例中显示了学科内容、教学活动和学生学习的关联,节点的三种颜色代表三层知识图谱,连线表示他们的关系状态。其中,深灰色节点及相互连接线反应学科内容图谱层中知识元之间的联系;灰色节点表示当前教学活动实体,由其发出的连线表示教学活动与学科内容和学习状态之间的联系。基于教学活动图谱与上下两层图谱的关联,可动

态实现教学活动与学科内容匹配度的计算,生成反映某一知识内容教学的子图谱;另一方面,教学活动图谱对学习图谱进行对接计算,形成学生知识学习成效对应的教学活动和资源数据分析,可实现学习水平和成效成因的解释。浅灰色节点代表个体知识图谱,反映学习者正在学习的知识内容及相关状态。根据学生个体知识图谱和知识追踪模型可诊断预测学生的学习状态、学习风格与认知结构等,从而为学习者指导学生、调整教学、规划个性化学习路径等提供支持。

五、总结与展望

学科知识图谱的建设有利实现面向课标要求目标进行教学分析和学习分析的科学性和精准性,对促进新时代教学研究的针对性和实效性具有重大意义。研究构建的学科内容、教学活动与个体学习三层知识图谱,一方面,解决了现有学科知识图谱脱离于教师教学活动、学生学习活动的实际问题;另一方面,采用智能算法模型来生成知识图谱,提升了当前知识图谱的构建效率与可解释性。在后续研究中,将会继续完善学科知识图谱、教学活动知识图谱、学生个体知识图谱的语义关联性,争取实现学科知识图谱的动态实时更新,把国家课程标准、教学活动与学习活动中产生的新数据链接到学科知识图谱中,实现知识层中数据的实时更新。同时,利用教学活动图谱分析教师教学活动中的语义、行为特征,助力教师专业成长;将个体学习数据进行自动和及时的解析,为学习者提供精准化、个性化的教学决策。

[参考文献]

- [1] 国务院.国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知[EB/OL].(2017-07-20)[2021-10-20].http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- [2] 中华人民共和国教育部.教育部等六部门发布《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》[EB/OL].(2021-07-20)[2022-07-21].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A16/s3342/202107/t20210720_545783.html.
- [3] 范佳荣,钟绍春.学科知识图谱研究:由知识学习走向思维发展[J].电化教育研究,2022,43(1):32-38.
- [4] 中华人民共和国教育部.教育部发布《关于实施第二批人工智能助推教师队伍建设行动试点工作的通知》[EB/OL].(2021-09-15)[2022-09-15].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A10/s7034/202109/t20210915_563278.html.
- [5] 胡小勇,林梓柔.精准教研视域下的教师画像研究[J].电化教育研究,2019,40(7):84-91.
- [6] 柯清超,林健,马秀芳,等.教育新基建时代数字教育资源的建设方向与发展路径[J].电化教育研究,2021,42(11):48-54.
- [7] 谢幼如,罗文婧,章锐,等.“双减”背景下课堂教学数字化转型的理论探索与演进路径[J].电化教育研究,2022,43(9):14-21.
- [8] 李振,周东岱.教育知识图谱的概念模型与构建方法研究[J].电化教育研究,2019,40(8):78-86,113.
- [9] 李家瑞,李华昱,闫阳,等.基于事件抽取的学科建设知识图谱构建与应用[J].计算机系统应用,2022,31(11):100-110.
- [10] 李振,董晓晓,周东岱,等.自适应学习系统中知识图谱的人机协同构建方法与应用研究[J].现代教育技术,2019,29(10):80-86.
- [11] 钟卓,唐焯伟,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,2020,41(4):62-70.

- [12] 林健,柯清超,黄正华,等. 学科知识图谱的动态生成及其在资源智能组织中的应用[J]. 远程教育杂志, 2022, 40(4): 23-34.
- [13] 冯俐. 基于 Neo4j 图数据库构建中学语文诗词知识图谱[D]. 西安: 陕西师范大学, 2019.
- [14] 瞿龙. 高中物理学科知识图谱的构建与应用研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2020.
- [15] 李昊泽. 基于神经网络的初中数学学科知识图谱构建与应用研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2022.
- [16] BORDES A, USUNIER N, GARCIA-DURAN A, et al. Translating embeddings for modeling multi-relational data [C]// Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems. New York: ACM, 2013: 2787-2795.
- [17] LIN Y, LIU Z, SUN M, et al. Learning entity and relation embeddings for knowledge graph completion[C]// Proceedings of the 29th AAAI Conference on Artificial Intelligence. Palo Alto: AAAI Press, 2015: 2181-2187.
- [18] SUN Z Q, DENG Z H, NIE J Y, et al. RotatE: knowledge graph embedding by relational rotation in complex space [C]// Proceedings of the 2019 International Conference on Learning Representations. New Orleans: ICLR, 2019: 1-18.
- [19] 杨克宇, 高云君, 陈璐, 葛丛丛, 沈怡峰. 分布式的增量式张量 Tucker 分解方法[J]. 计算机学报, 2021, 44(8): 1696-1713.
- [20] WANG H W, ZHAO M, XIE X, et al. Knowledge graph convolutional networks for recommender systems [C]// Proceedings of the 2019 World Wide Web Conference. Republic and Canton of Geneva: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2019: 3307-3313.
- [21] WANG H, ZHANG F, WANG J, et al. Ripplenet: propagating user preferences on the knowledge graph for recommender systems [C]// Proceedings of the 27th ACM international conference on information and knowledge management. 2018: 417-426.
- [22] CHEN J, WANG X, XU X. GC-LSTM: graph convolution embedded LSTM for dynamic network link prediction [J]. Applied intelligence, 2022, 52(7): 7513-7528.
- [23] 陈曦, 梅广, 张金金, 等. 融合知识图谱和协同过滤的学生成绩预测方法[J]. 计算机应用, 2020, 40(2): 595-601.
- [24] 童小凯, 朱欣娟, 王西汉, 等. 数字文化资源知识图谱多目标跨域推荐方法[J/OL]. 计算机工程与应用: 1-11, (2022-04-13)[2023-01-06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.tp.20220411.1553.011.html>.
- [25] 罗婕溪, 刘帅, 张玉志, 等. 基于知识图谱技术的线上教学资源推荐系统设计与实现[J]. 数据与计算发展前沿, 2022, 4(3): 3-18.
- [26] 李振, 周东岱. 基于学科知识图谱的智能化认知诊断评估方法[J]. 现代教育技术, 2022, 32(11): 118-126.
- [27] 张博雅. 慕课平台上基于知识图谱的学习路径规划[D]. 天津: 天津师范大学, 2020.
- [28] 杨东明, 杨大为, 顾航, 等. 面向初等数学的知识点关系提取研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2019(5): 53-65.
- [29] YAO S, WANG R, SUN S, et al. Joint embedding learning of educational knowledge graphs [J]. Artificial intelligence supported educational technologies, 2020: 209-224.
- [30] 李艳燕, 张香玲, 李新, 等. 面向智慧教育的学科知识图谱构建与创新应用[J]. 电化教育研究, 2019, 40(8): 60-69.
- [31] 张子辰, 岳昆, 祁志卫, 等. 时序知识图谱的增量构建[J]. 计算机科学与探索, 2022, 16(3): 598-607.

Research on the Construction Method of Stereoscopic Knowledge Graph for Precision Teaching and Research

MU Su¹, TAN Ziqi², LUO Juexiu², NING Xiuwen², HU Xiaoyong²

(1. Institute of Artificial Intelligence in Education, South China Normal University, Guangzhou Guangdong 510631; 2. School of Information Technology in Education, South China Normal University, Guangzhou Guangdong 510631)

[Abstract] The application of subject knowledge graph as a tool for knowledge storage is of great significance to teaching and research, and has received extensive attention from researchers and teachers in recent years. Aiming at the fact that the is the construction method of traditional subject knowledge graph is difficult to meet the needs of rapid growth and updating of knowledge in the intelligent era, and the problem of subject knowledge graph of basic education failing to comprehensively analyze the teaching and learning process and intelligently assess learning development, this paper presents the idea of constructing

a three-layer stereoscopic dynamic knowledge graph model, including subject knowledge, teaching activities and individual learning from three perspectives of subject knowledge, teaching activities and students' learning. Combining top-down and bottom-up construction methods, this paper designs a construction framework of knowledge graph from five aspects: data collection, ontology construction, knowledge extraction, knowledge fusion, and knowledge updating. The realization of the interconnection, mutual influence and mutual interpretation of the three-layer knowledge graph can support the interpretation and diagnosis of the teaching process and learning effect based on the big data of the teaching process. Based on the proposed model and method, this paper takes mathematics knowledge as an example, aiming to provide an application reference for the practice in the field of subject knowledge graph.

[Keywords] Subject Knowledge Graph; Dynamic Knowledge Graph; K-12 Education; Construction and Application

(上接第73页)

map-guided problem-posing strategy[J]. Journal of computer assisted learning, 2021, 37(2):429-445.

[25] 刘清堂,李小娟,谢魁,常瑀倍,郑欣欣.多模态学习分析实证研究的发展与展望[J].电化教育研究,2022,43(1):71-78,85.

[26] 孙毅.核心情感隐喻的具身性本源[J].陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2013,42(1):105-111.

[27] 孙强.媒介技术演进中的具身性情感研究[J].新闻与传播评论,2021,74(4):72-85.

[28] 李海峰,王炜.元宇宙+教育:未来虚实融生的教育发展新样态[J].现代远距离教育,2022,39(1):47-56.

Online Companion Learning —A Self-regulated Collaborative Learning Model for Groups in Ubiquitous Learning

LI Haifeng, WANG Wei

(School of Educational Science, Xinjiang Normal University, Urumqi Xinjiang 830017)

[Abstract] Faced with issues such as lack of immersion, increased loneliness, and lack of participation in the ubiquitous learning field, the learning group spontaneously explore Online Companion Learning (OCL) approach based on a live video. In order to reveal the occurrence mechanism and basic principles of OCL, this paper explores its basic connotation and clarifies four basic characteristics, including immersive learning experience, panoramic open learning community, weakly organized group companionship, and group autonomy management. The mechanism of its occurrence is explained from four theoretical dimensions involving learning context facilitation, group self-organization, emotional attachment cohesion, and autonomous behavior discipline, and its components and operating principles are elaborated using the OCL model. In order to promote the deep integration of OCL and classroom learning, the "OCL model" constructed systematically expounds the deep integration mechanism between them. In the future development of OCL, teachers need to use meta-verse and artificial intelligence technologies to enhance emotional experience and intelligent companionship.

[Keywords] Companion Learning; Online Learning; Live Learning; Ubiquitous Learning; Learning Model