

基于学习认知地图的开放学习者模型研究*



万海鹏¹ 余胜泉² 王琦³ 冯上兵⁴ 陈敏⁵

1. 首都师范大学 教育学院, 北京 100048;
2. 北京师范大学 未来教育高精尖创新中心, 北京 100875;
3. 北京外国语大学 人工智能与人类语言重点实验室, 北京 100089;
4. 北京师范大学第二附属中学未来科技城学校, 北京 100088;
5. 华中师范大学 国家数字化学习工程技术研究中心, 湖北武汉 430079)

摘要: 学习者模型是自适应学习系统的重要组成部分, 然而传统的学习者模型往往是封闭的, 学习者无法知晓模型的具体内容。文章从学习者模型内容开放的视角, 设计了能够表征学习者认知状态和知识结构并推送学习路径与学习同伴的开放学习者模型——学习认知地图。基于学习元平台, 文章从认知状态评测、知识结构计算和可视化呈现三个方面对学习认知地图的构建过程进行了阐述。之后, 文章将构建的学习认知地图应用于中学信息技术课堂, 实践结果表明: 学习认知地图能够提升学生的学习态度, 同时学生对具有学习认知地图支持的在线学习方式满意度更高。文章设计并检验了作为一种开放学习者模型实践样态的学习认知地图的效果, 以期开放学习者模型的进一步研究提供参考。

关键词: 开放学习者模型; 学习认知地图; 认知状态; 知识结构; 学习元平台

【中图分类号】G40-057 【文献标识码】A 【论文编号】1009—8097(2021)04—0097—08 【DOI】10.3969/j.issn.1009-8097.2021.04.013

智能技术的迅猛发展, 加快了知识的生产传播速度, 拓宽了人们获取知识的途径方法, 使得无处不在、无时不在、按需供给、尊重个体差异的适应性在线学习成为可能。自适应学习系统的发展最早可追溯到 20 世纪 90 年代, Brusilovsky^[1]提出了自适应学习系统的通用模型, 包括领域模型、学习者(用户)模型、教学模型和自适应引擎四个模块, 其中对学习目标、学习动机、学习偏好、学习状态等进行描述表征的学习者模型是实现自适应需求匹配的关键。

传统的学习者模型大都是封闭的, 虽然自适应学习系统能够分析和预判学习者的部分特征, 但对学习者自身而言, 学习者模型是个“黑匣子”, 学习者并不知晓模型的具体内容。建构主义学习观认为, 允许学生查看系统对自己的评估, 能够为学生提供反思和自评的机会, 从而增加学习者对所学知识、学习困难和学习过程的反思意识^[2]。因此, 打破学习者模型的封闭性, 将学习者模型的内容部分或全部外显化, 构建开放学习者模型(Open Learner Model, OLM), 最终促进学习者的自我反思、自我调节, 进而提升自适应学习的学习成效, 显得十分必要。

一 开放学习者模型相关研究回顾

开放学习者模型是指允许教育过程中的利益相关者(如学习者、同伴、教师、家长、教育管理者、模型设计者和研究者等)以人类容易理解的形式访问其内容的学习者模型^[3]。早在 2007 年, 《International Journal of Artificial Intelligence in Education》就策划了两期专题, 对开放学习者模型涉及的相关研究问题和研究方向进行了系统介绍。为了支持自适应学习系统中开放学习者模型的设计, Bull 等^[4]在该专题论文中率先提出了开放学习者建模框架, 涉及四个维度的 13 个要素, 如表 1 所示。

表 1 开放学习者建模框架

维度	要素	说明
开放的情 境和评估	建模的情境	学习者与开放学习者模型交互的方式，开放学习者模型在自适应系统中的角色
	模型的评估	开放学习者模型效果证据的收集及评估
开放的 内容	模型可访问的程度	对知识水平、学习难点、迷思概念、学习困难、学习偏好、学习风格、学习目标、学习动机、情绪状态及他人的学习者模型内容等访问的完整性
	与基础表征的匹配	不同的开放内容、展示形式与模型真实的表征形式及结构之间的相似程度
	对不确定性的访问	是否有对不确定的内容进行表征？如果是，学习者如何访问这些不确定的内容
	时间角色	除了开放学习者当前的知识状态，是否提供了学习者对过去的学习历程以及未来学习状态预测信息的访问途径
	对用于建模资源输入的访问权限	对用于学习者建模所需资源的来源情况可访问的程度，如哪些用户（学习者自身、同伴、教师或系统等）进行了贡献
	访问模型对个性化的影响	学习者能否确定学习者模型对他们进行个性化交互方式的影响？是否有机会了解系统能够自适应调节的细节？
表征 的形式	可视化呈现的方式	学习者模型是以怎样的形式进行细节的呈现
	访问的方式	是仅能查看模型，还是支持通过编辑、协商等方式与模型进行交互？
	访问的灵活程度	是否支持多种查看形式和访问方式，是否支持自主选择查看详略程度
由谁来 控制访问	源访问控制权	由系统或学习者控制，抑或由教师决定控制访问的范围，抑或由学习者决定同伴获得访问的前提条件
	授权他人控制	如果允许他人来控制学习者模型，那么需要考虑这种授权控制访问的范围

此外，Bull 等^{[5][6]}对学习者的模型开放的目进行了综述，认为开放的意义在于：①对学习而言，享有对学习过程的控制权、对存储于学习系统中信息的访问权；帮助学习者树立对自身学习负责的意识，帮助学习者计划和管理学习进程；促进学习者对知识及其理解的反思，促进学习者对积极情感状态的维持；允许学习者将自身学习水平与学习同伴进行对比以促进同伴之间的协作和竞争，允许学习者查看源自各种学习系统和情境的数据分析汇总；提供学习过程中的导航支持。②对教师而言，允许修改学习者模型的内容以提升模型的准确性，在开展个性化辅导的过程中可识别学习者对知识的理解程度和困难，可用于管理学习者的学习进度。③对家长而言，可有效、及时地识别孩子的学习困难，掌握、监控和管理孩子的学习进度。④对自适应学习系统而言，可通过学习者对信息的贡献提升模型的准确性，促进学习者与智能代理接口的交互和协商，增加学习者对系统的信任度。

基于上述开放学习者建模框架，国内外研究者开展了开放学习者模型的设计及自适应学习系统开发研究，如国外的 Quiz Map、Knowledge Zoom、NEXT-TELL OLM 和国内的 MindOLM。其中，Quiz Map 是一个将开放学习者模型与社会性导航支持相结合的系统^[7]，采用四层树状视图的方式向学习者开放展示个人、同伴和班级学习绩效，旨在增强学习过程中的社会性支持、提升学习绩效，其树状视图中矩形的大小和颜色的深浅共同决定学习绩效的水平。Knowledge Zoom 是匹兹堡大学开发的 Java 考试准备工具^[8]，采用开放学习者建模和问题排序方式实现个性化学习指导，通过向学习者开放展示学习状态来促进其对学习差距的反思，通过生成个性化的

问题序列来帮助学习者练习迷思概念。NEXT-TELL OLM^[9]是参照开放学习者建模框架而采用模型独立式设计的学习系统,主要面向学习者和教师两类利益相关者,支持定制选择内容的可视化展示形式。MindOLM^[10]是由吉林大学研发的嵌入自适应学习系统中的开放学习者模型,采用思维导图的形式,将学习者模型中的课程知识状态可视化呈现给学习者,以帮助学习者了解自己的学习进度和知识点之间的关联,促进学习者在学习规划和自我反思方面的元认知学习体验。

可见,开放学习者模型可以帮助学习者了解个人学习进度、促进对学习成功与失败的反思,是实现适应性在线学习的关键技术支撑。然而,目前国内对开放性学习者模型的构建及其应用实证研究都相对缺乏,因此本研究参照开放学习者模型建模框架^[11],借鉴开放学习者模型已有的相关研究成果,构建基于学习认知地图的开放学习者模型,向学习者展示其认知状态和知识结构并推送学习路径与学习同伴,以检验其应用效果。

二 开放学习者模型的构建

在借鉴学习认知地图概念模型要素的基础上^[12],融合开放学习者模型要求模型内容要素外显化、适应性机制透明化、学习支持服务形态开放可视化的特点,本研究对学习认知地图的内涵进行了拓展和延伸,将学习认知地图界定为一种在知识层面上可视化仿真学习者的认知状态与知识结构,能够为学习者提供适应性学习路径和学习同伴的开放学习者模型,如图1所示。

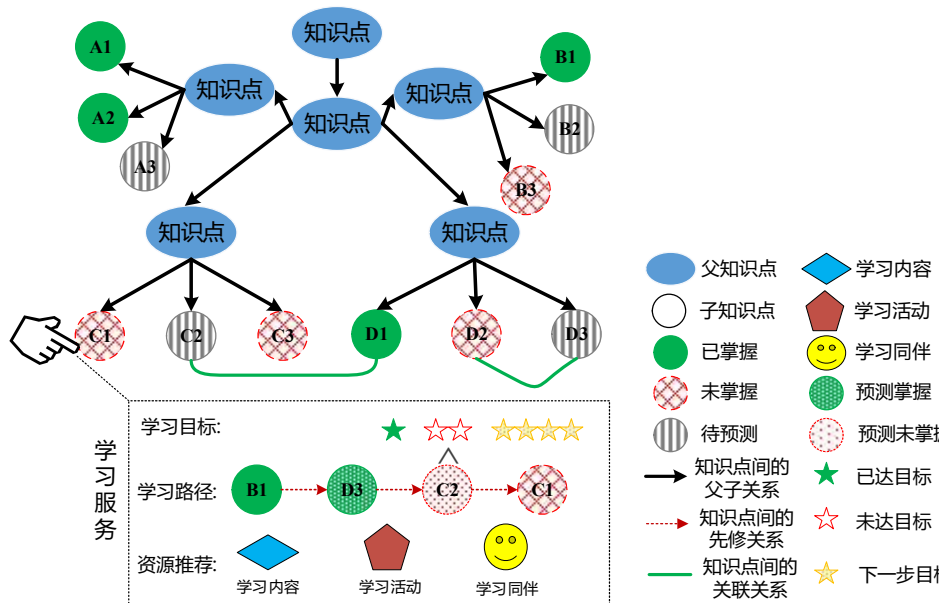


图1 学习认知地图模型

学习认知地图作为一种开放学习者模型,在开放目的上,主要是为了促进学习者自我导向学习和学习过程中的自我反思、支持教师进行教学计划和任务的灵活调节;在开放内容上,主要展示知识点之间的关系、知识点的学习目标、知识的掌握状态、知识结构的理解程度;在开放形式上,主要通过层级结构图、网状图、知识节点颜色、知识节点之间的连接线形态等可视化形式进行展示;在开放对象上,主要面向学习者、学习同伴和教师开放。

基于上述学习认知地图模型,依托学习元平台^[13],本研究构建了包括认知状态评测、知识结构计算和可视化呈现三个关键环节的开放学习者模型——学习认知地图,并研发了相应的原型系统。

1 认知状态评测

认知状态是对学习者知识掌握程度的描述与表征。基于学习元平台中的学习活动采集学习过程数据,参照设定的评价方案,通过计算获得学习者针对知识点的学习成绩,以完成对学习者的认知状态的评测。具体说来,学习认知地图中所包含的知识点存在两种情形:①知识点与学习活动建立了关联,根据学习活动效果的评估方法来计算学习者的学习表现,即通过对知识点所关联学习活动完成效果的加权,来实现对学习者的认知状态的评估;②知识点没有与学习活动建立关联,根据学习者对知识点所关联内容的学习态度、资源工具、内容交互、评价反馈和自定义模块五个维度的表现加权,来计算学习者的认知状态。

2 知识结构计算

知识结构是对学习者知识体系的表征,由学习者已理解的知识点之间的关联关系所组成。借鉴 Lin 等^[14]的研究思路,本研究设计的知识关联关系挖掘过程为:首先,通过算法挖掘获得知识点之间的关联程度,只有当该关联程度大于或等于设定的阈值 δ_1 时才会进行后续的计算,否则停止;随后,基于获得的知识点之间的关联程度,继续通过算法挖掘学习者对上述关联的理解程度,只有当该理解程度值大于或等于设定的阈值 δ_2 时,知识点之间的关联关系才会在学习认知地图中以实线线条的形式显示,否则显示虚线线条,从而完成对学习者的知识结构的表征。

$$RD(KP_i, KP_j) = \sum_{LC_l} \sum_{LA_r} X_{LC_l LA_r}$$

$$X_{LC_l LA_r} = \begin{cases} WD_{LC_l} \cdot \frac{P_{LC_l LA_r}}{\sum_{LA_r} P_{LC_l LA_r}} \cdot (\omega_{KP_i}^{LA_r LC_l} + \omega_{KP_j}^{LA_r LC_l}), & \text{if } \omega_{KP_i}^{LA_r LC_l} > 0 \text{ 且 } \omega_{KP_j}^{LA_r LC_l} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{公式 (1)}$$

$$UOKR(KP_i, KP_j, L_s) = \sum_{LC_\ell} \sum_{LA_r} \frac{Y_{LC_\ell LA_r}}{X_{LC_\ell LA_r}}$$

$$Y_{LC_\ell LA_r} = \begin{cases} WD_{LC_\ell} \cdot \frac{P_{LC_\ell LA_r L_s}}{\sum_{LA_r} P_{LC_\ell LA_r L_s}} \cdot (\omega_{KP_i}^{LA_r LC_\ell} + \omega_{KP_j}^{LA_r LC_\ell}), & \text{if } \omega_{KP_i}^{LA_r LC_\ell} > 0 \text{ 且 } \omega_{KP_j}^{LA_r LC_\ell} > 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{公式 (2)}$$

$RD(KP_i, KP_j)$ 表示知识点 KP_i 和 KP_j 之间的关联程度, $UOKR(KP_i, KP_j, L_s)$ 表示学习者 L_s 对知识点 KP_i 和 KP_j 之间关联的理解程度,知识点 KP_i 在学习活动 $LA_a^{LC_l}$ 中所占的权重表示为 $\omega_{KP_i}^{LA_a^{LC_l}}$, 学习活动 LA_r 在学习元 LC_l 中的满分为 $P_{LC_l LA_r}$, 学习者 L_s 在学习元 LC_l 中学习活动 LA 的实际得分为 $P_{LC_l LA_r L_s}$, 学习元 LC_l 在课程评价方案中所占的权重为 WD_{LC_l} 。

3 可视化呈现

图2展示了学习者在课程学习过程中的认知状态与知识结构。其中,认知状态包括已掌握、未掌握、预测已掌握和预测未掌握四种类型,以不同的填充颜色在图中进行标识。知识结构包括已掌握关联和未掌握关联两种类型,未掌握关联以虚线的形式连接两个知识点,表明这两个知识点之间存在关联,但是学习者并没有掌握这种关联;而已掌握关联以实线的形式连接两个知识点,表明这两个知识点之间存在关联且学习者掌握了此关联。

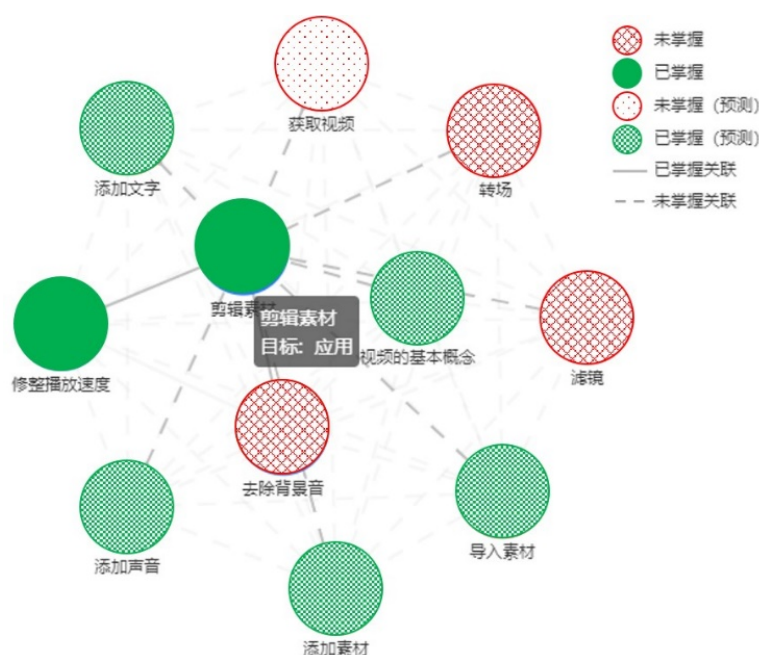


图2 学习者的认知状态与知识结构

三 开放学习者模型的应用

本研究选取由同一名教师执教的初二年级两个班为研究对象，采用准实验的研究方法，从学习态度和学习方式满意度两方面对开放学习者模型——学习认知地图的应用效果进行评价。

1 课程资源的设计

根据教学大纲的教学目标，教师梳理教学内容的知识点并导入学习元平台。之后，教师分别针对实验班和对照班创建内容相同的两门在线课程，包括视频内容、学习活动和评价方案。对于实验班的课程，教师还需建立知识点与学习内容、学习活动之间的关联及权重，用于支持学习认知地图的构建，并基于此为学习者生成学习路径、推荐学习同伴。

2 学习路径的生成

借鉴 Chen 等^[15]的研究思路，本研究设计的学习路径生成过程如下：首先，通过挖掘学习者已达标学习活动和未达标学习活动之间的关联，获得学习活动之间的关联规则；然后，通过相应的规则，将学习活动之间的关联关系转换为学习活动所关联的知识点之间的关联关系；最后，获得知识点之间的先修关系，从而生成知识的学习路径。

3 学习同伴的推荐

基于构建的学习认知地图，本研究从知识点层级结构相似度（Cognitive Map Hierarchy Similarity, CMHS）和贝叶斯网络相似度（Cognitive Map Bayes Similarity, CMBS）两个方面计算不同学习者在特定知识点上的相似度，并据此推荐最合适的学习同伴。下文将以学习者 S_i 和 S_j 在知识点 KP_0 上相似度的计算为例，介绍 CMHS 和 CMBS 的计算过程。

在知识点层级结构图中，与知识点 KP_0 互为兄弟关系的知识点集合 $BK=\{BK_1, BK_2, \dots, BK_n\}$ ，与共同的父知识节点相连接的边的权重 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。在所有兄弟知识点集合 BK

上, 学习者 S_i 和 S_j 的知识掌握程度 MS_i 和 MS_j 取值为 1 (掌握 BK) 或 -1 (未掌握 BK)。CMHS 即为学习者 S_i 和 S_j 在知识点 KP_0 上的几何单位距离, 且 CMHS 值越小, 表明两个学习者在知识点 KP_0 上的相似度越高。

在知识点先修关系图中, 与知识点 KP_0 直接相连的父知识节点和子知识节点集合 $PSK=\{PSK_1, PSK_2, \dots, PSK_n\}$, 且在直接相连接的父子知识点集合 PSK 上, 学习者 S_i 和 S_j 的知识掌握程度 MS_i 和 MS_j 取值为 1 (掌握 PSK) 或 -1 (未掌握 PSK)。学习者 S_i 在知识点 KP_0 上的知识掌握程度向量 $PSK_i=(MS_1, MS_2, \dots, MS_n)$, 学习者 S_j 在知识点 KP_0 上的知识掌握程度向量 $PSK_j=(MS_1, MS_2, \dots, MS_n)$ 。CMBS 即为学习者 S_i 和 S_j 在知识点 KP_0 上的知识掌握程度向量之间的余弦值, 且 CMBS 值越大, 表明知识掌握程度向量 PSK_i 和 PSK_j 之间的夹角越小, 两个学习者在知识点 KP_0 上的相似度越高。

4 应用效果的分析

前、后测问卷均采用李克特五点量表 (1 表示完全不同意, 5 表示完全同意)。其中, 前测问卷的学习态度包括 7 题, 改编自 Hwang 等^[16]设计的问卷选项; 后测问卷由学习态度和学习方式满意度两个维度构成, 共 14 题。后测中的学习态度 (1~7 题) 的题项与前测问卷相同, 学习方式满意度 (8~14 题) 改编自 Chu 等^[17]设计的问卷选项。

本研究采用独立样本 T 检验, 对两个班学生进行在线学习前后的学习态度变化进行分析, 结果如表 2 所示。经分析可知, 在学习开始之前, 实验班和对照班在学习态度维度上不存在显著差异 ($t=0.63, p=0.534>0.05$), 且均具有较为积极向上的学习态度。随着在线学习的开展, 实验班的学习态度值比学习开始之前有略微的提升, 而对照班的学习态度值有所下降, 且学习后两个班在学习态度维度上存在显著差异 ($t=2.85, p=0.006<0.01$)。上述差异的产生很可能得益于学习认知地图展示的认知状态和知识结构, 这些可视化的反馈信息有助于学习者进行自我反思、规划学习进度, 从而提升学习者的在线学习过程体验与学习态度。

表 2 学习态度前后测 T 检验结果

	班别	人数	平均值	标准差	t 值
前测	实验班	27	4.32	0.83	0.63
	对照班	27	4.16	0.97	
后测	实验班	27	4.35	0.59	2.85**
	对照班	27	3.58	1.28	

注: ** $p \leq 0.01$ 。

表 3 学习方式满意度 T 检验结果

	班别	人数	平均值	标准差	t 值
学习方式满意度	实验班	27	4.00	0.80	2.56*
	对照班	27	3.27	1.26	

注: * $p \leq 0.05$ 。

本研究采用独立样本 T 检验, 对两个班学生有关学习方式的满意度进行分析, 结果如表 3 所示。经分析可知, 实验班和对照班在利用学习元平台学习信息技术课程的满意度方面存在显著差异 ($t=2.56, p=0.013<0.05$)。与单纯利用学习元平台进行在线课程学习相比, 通过融入学

习认知地图可以提升学习者对在线学习的满意度,这很可能是借助学习认知地图,学习者能更好地理解平台进行资源推荐背后的逻辑与原因,从而更好地利用平台进行适应性学习。

四 结语

学习认知地图优化了学习平台的导航,增强了学习的自主性,促进了学习者的自我反思。基于学习认知地图的实践应用进一步证实了开放学习者模型对于提升学习体验的显著成效,这与以往的研究结论具有一致性,如提高自我导向学习的成绩^[18]、提高学生自我评估的信心与知识管理水平等^[19]。未来基于学习认知地图的开放学习者模型研究将聚焦面向学习者群体开放的学习认知地图设计、多元可视化展示形式和可视化展示的时机设计等方面。

参考文献

- [1]Brusilovsky P. Methods and techniques of adaptive hypermedia[J]. User Modeling and User-Adapted Interaction, 1996,(2):87-129.
- [2]张剑平,陈仕品,张家华.网络学习及其适应性学习支持系统研究[M].北京:科学出版社,2010:190.
- [3][6]Bull S, Kay J. SMILI: A framework for interfaces to learning data in open learner models, learning analytics and related fields[J]. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2016, (1):293-331.
- [4][5][11]Bull S, Kay J. Student models that invite the learner in: The SMILI open learner modelling framework[J]. International Journal of Artificial Intelligence, 2007,(2):89-120.
- [7]Brusilovsky P, Hsiao I-H, Folajimi Y. Quiz map: Open social student modeling and adaptive navigation support with treeMaps[A]. Proceedings of the 6th European Conference on Technology Enhanced Learning: Towards Ubiquitous Learning [C]. Heidelberg: Springer, 2011:71-82.
- [8]Brusilovsky P, Baishya D, Hosseini R, et al. Knowledge zoom for Java: A concept-based exam study tool with a zoomable open student model[A]. Proceedings of 2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies[C]. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013:275-279.
- [9]Reimann P, Bull S, Kickmeier-Rust M, et al. Measuring and visualizing learning in the information-rich classroom[M]. New York & London: Routledge/Taylor and Francis, 2015:221-234.
- [10]王丽萍,赵蔚,魏久鸿.自适应学习系统中开放性学习者模型实证研究[J].吉林大学学报(信息科学版),2019,(5):512-517.
- [12]万海鹏,余胜泉.基于学习元平台的学习认知地图构建[J].电化教育研究,2017,(9):83-88、107.
- [13]余胜泉,杨现民,程罡.泛在学习环境中的学习资源设计与共享——“学习元”的理念与结构[J].开放教育研究,2009,(1):47-53.
- [14]Lin Y S, Chang Y C, Liew K H, et al. Effects of concept map extraction and a test-based diagnostic environment on learning achievement and learners' perceptions[J]. British Journal of Educational Technology, 2016,(4):649-664.
- [15]Chen S M, Sue P J. Constructing concept maps for adaptive learning systems based on data mining techniques[J]. Expert Systems with Applications, 2013,(7):2746-2755.
- [16]Hwang G J, Chang H F. A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students[J]. Computers & Education, 2011,(4):1023-1031.

- [17]Chu H C, Hwang G J, Tsai C C, et al. A two-tier test approach to developing location-aware mobile learning systems for natural science courses[J]. Computers & Education, 2010,(4):1618-1627.
- [18]Long Y, Aleven V. Enhancing learning outcomes through self-regulated learning support with an open learner model[J]. User Modeling and User-Adapted Interaction, 2017,(1):55-88.
- [19]Al-Shanfari L, Epp C D, Baber C, et al. Visualizing alignment to support students' judgment of confidence in open learner models[J]. User Modeling & User Adapted Interaction, 2020,(1):159-194.

Research of Open Learner Model Based on Learning Cognitive Map

WAN Hai-peng¹ YU Sheng-quan² WANG Qi³ FENG Shang-bing⁴ CHEN Min⁵

(1. College of Education, Capital Normal University, Beijing, China 100048;

2. Beijing Advanced Innovation Center for Future Education, Beijing Normal University, Beijing, China 100875;

3. Artificial Intelligence and Human Languages Lab, Beijing Foreign Studies University, Beijing, China 100089;

4. The Second-high School Affiliated to Beijing Normal University

Future Science and Technology City School, Beijing, China 100088;

5. National Engineering Research Center for E-learning, Central China Normal University, Wuhan, Hubei, China 430079)

Abstract: The learner model is an important part of the adaptive learning system. However, the traditional learner model is often closed, and the learner cannot know the specific content of the model. From the view of open learner model content, an open learner model, namely learning cognitive map model, which could represent learners' cognitive state and knowledge structure, and recommend learning paths and learning peers, was constructed. Based on the learning meta platform, the paper expounded the construction process of the learning cognitive map model from the three aspects of cognitive state assessment, knowledge structure calculation, and visual presentation. Subsequently, the established learning cognitive map was applied in the information technology course of middle school. The practical results demonstrated that the learning cognitive map could improve students' learning attitudes, and students held higher satisfaction degree to online learning supported by learning cognitive map. This paper designs and tests the effect of learning cognitive map as a practical aspect of the open learner model, in order to provide a reference for the further research of the open learner model.

Keywords: open learner model; learning cognitive map; cognitive state; knowledge structure; learning meta platform

*基金项目: 本文受国家自然科学基金青年基金“在线课程的知识地图构建及关键技术研究”(项目编号: 62007025)、教育部人文社科青年基金“整合情境的多态性泛在学习资源聚合模型研究”(项目编号: 18YJC880005)、教育部人文社科青年基金“基于文本情感识别的教师教学问题智能诊断与改进研究”(项目编号: 20YJC880088)和北京市教委科技一般项目“过程数据驱动的在线课程学习分析与可视化研究”(项目编号: KM202010028002)资助。

作者简介: 万海鹏, 讲师, 博士, 研究方向为计算机教育应用、适应性学习, 邮箱为 dnvhp@163.com。

收稿日期: 2020年6月18日

编辑: 小新