

# 智能教材研究综述

江波<sup>1</sup> 杜影<sup>1</sup> 顾美俊<sup>2</sup>

(1. 华东师范大学教育学部 教育技术学系 上海数字化教育装备工程技术研究中心, 上海 200062;  
2. 义乌市稠州中学教育集团, 浙江金华 322000)

**[摘要]** 智能化是数字教材发展的必然趋势。本研究首先辨析了智能教材与数字教材、电子书包、智能导学系统的区别和联系,界定了智能教材的概念;其次,将智能教材发展分为三个阶段,即以智能链接为特征的初级阶段、以人机交互为特征的中级阶段、以自适应为特征的高级阶段,并整理了国外典型的智能教材开发平台;再次,从领域模型、学生模型、教学模型等维度综述了智能教材的建模技术,发现自动化的领域模型、全维度的学生模型和人机协同的教学模型是智能教材关键技术的发展趋势,指出已有应用实践表明,智能教材的使用对于多项学习指标有正向促进作用。文章最后得出智能教材的三个特征,即深度交互、学习画像和自适应,并从智能教材接受度、资源开发、政策制定和开发技术等角度分析了智能教材的研发及应用困境,以期国内智能教材的政策制定、编写研发和学校选用提供借鉴。

**[关键词]** 智能教材;数字教材;个性化学习;自适应

**[中图分类号]** G434 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1007-2179(2022)03-0039-12

教材作为国家意志、文化传统和学科发展水平的集中体现(左群英等,2021),在教育教学乃至个人成长过程中发挥着重要作用。传统纸质教材无法承载数字化教学所需的资源和功能,难以实现教学过程的有效闭环。近年来,教育和出版领域非常关注数字教材建设,以解决教育信息化的“最后一公里”问题。当前数字教材主要提供结构化呈现、多媒体交互、笔记、作业和管理等功能(陈桃等,2012),没能充分采集、挖掘和利用教材使用过程中产生的细粒度数据,尚未真正实现智能化和个性化教学。教材是学习的起点和中心,是最重要的学习资源,如果能实现教材智能化,将会从起点助力个性化学习。这就亟需促进数字教材的智能化

转型,发展智能教材(intelligent textbooks)。

国外智能教材研究起步较早,涌现出一批各具特色的智能教材开发平台,取得丰富的理论和实践成果。国内智能教材研究尚处于起步阶段,如张家军等(2021)提出智慧化教材的理念,探究智慧化教材的价值逻辑及实现路径;张治等(2021)阐述了智能型数字教材系统的核心理念和实现技术。鲜有研究对智能教材的概念界定、发展脉络、关键技术和应用评估等做出系统综述。2019年6月,第20届国际人工智能教育大会专门举办第一届智能教材工作坊,将智能教材确定为新的跨学科研究领域(AIED,2019)。本研究结合国内外最新研究进展,尝试分析智能教材的概念和特征、发展阶段、典型

**[收稿日期]** 2022-03-22 **[修回日期]** 2022-04-27 **[DOI 编码]** 10.13966/j.cnki.kfjyyj.2022.03.004

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目“面向图形化编程的项目式学习的自动化评价研究及应用”(61977058);上海市科技创新行动计划“人工智能”专项项目“教育数据治理与智能教育大脑关键技术研究及典型应用”(20511101600)。

**[作者简介]** 江波(通讯作者),工学博士,副教授,华东师范大学教育信息技术学系,研究方向:自适应学习技术、中小学编程教育研究(bjiang@deit.ecnu.edu.cn);杜影,华东师范大学教育技术学系;顾美俊,浙江省义乌市稠州中学教育集团教师。

**[引用信息]** 江波,杜影,顾美俊(2022). 智能教材研究综述[J]. 开放教育研究,28(3): 39-50.

开发平台和应用实践、关键技术,为国内智能教材的设计研发、推广应用提供借鉴。

## 一、定义与发展历程

### (一)概念简析

教材主要指以教科书为核心的所有教学材料,包括教辅、教参、教具、学具等。从发行主体看,教科书通常由教育主管部门统一发行,而教材可以由教研员和教师自行编制(胡畔等,2014)。智能教材是提供智能学习服务的数字教材,与之相关的概念包括数字教材、电子书包和智能导学系统。厘清智能教材与上述三者的区别与联系,有助于理解和研究智能教材。

#### 1. 智能教材与数字教材

基于实践角度,陈桃等(2012)认为数字教材是“一种符合教育教学规律的教学资源包,其内容主体应包含课文、注释、插图(静态和动态)、实验、习题等,并在此基础上整合多种辅助学习工具(如字典、计算器、笔记本、参考书)和一些多媒体学习材料”。庄科君等(2012)认为数字教材不再是纸质教材的简单数字化,而是融入教学过程的多媒体材料,具有知识表达多媒体性、实时交互性和动态更新性的特征。智能教材是智能化的数字教材,是对数字教材功能的升级和转型,为学生提供教材的智能学习服务。

#### 2. 智能教材与电子书包

根据国家标准,电子书包是“一种整合了学习内容、学习终端、虚拟学具和学习服务的数字化教学或学习系统,为电子课本和其他数字化学习内容提供软件和硬件应用环境”(全国信息技术标准化技术委员会,2019),包括个人作业练习、阅读、笔记、注释、测试等学习服务(马晓玲等,2014)。可见,电子书包是一个软硬件结合的服务整个学习过程的数字化学习系统。智能教材是为学生提供学习评价和学习规划等智能学习服务的智能化学习系统。智能教材和电子书包本质上都是学习系统,都是通过技术手段优化和重组知识、资源与工具。智能教材未来可能是电子书包的核心模块,也可能取代电子书包,辅助学生开展智慧学习。

#### 3. 智能教材与智能导学系统

智能教材本质上是以教材为核心的智能导学

系统(intelligent tutoring system, ITS)(Chau et al., 2021)。智能导学系统基于学生学习过程数据,利用人工智能算法,即时干预和调节学生学习。但教材是学生学习的核心工具和主要知识来源,教材的使用贯穿整个学习过程。智能教材结合以智能导学技术为主的人工智能技术,除采集教材中习题和测试产生的结果数据,还可以智能挖掘和分析由阅读、笔记、实验等产生的交互数据和内容数据,判断学生的知识掌握水平,及时提供学习评价和学习规划。

### (二)智能教材的定义

关于智能教材,目前尚未形成统一的定义。国内部分学者尝试从不同角度定义智慧化教材、智能型数字教材系统等概念。例如,张家军等(2021)认为智慧化教材是“以智能技术为支撑,促进学生个性发展的教材”。张治等(2021)认为智能型数字教材系统是“以数字教材和智能学习平台为支撑,以提升教学效率和个性化为目的,集成智能终端、数字化资源、教与学工具、学习社群、学习路径规划、教学策略实现等的组合系统”。其它的还有,智能教材是类似 iPad、电脑、移动设备的知识探索工具(杨宗凯,2017),与云计算、无线技术等结合的智能终端(桑新民等,2012),以及协助师生开展智慧教学、智慧学习活动的智慧工具(朱景达等,2018)。国外虽较早开展智能教材研究,但仍没有明确界定智能教材的内涵。有研究者(Wang et al., 2020)将智能教材概括为以电子格式呈现内容,集成人工智能可操纵的知识扩展常规教材,增强教材功能的自适应学习系统。还有研究者(Ritter et al., 2019)认为,与其把智能教材当成一本书,不如把它看作活动库,以及向学生提供学习活动的智能推荐系统。本研究认为,智能教材是以深度交互、学习画像和自适应为主要特征,为学生提供个性化学习、评价和规划等服务的智能化数字教材。

### (三)智能教材发展历程

基于技术视角,智能教材的发展先后经历了以智能链接为特征的初级阶段、以人机交互为特征的中级阶段和以自适应为特征的高级阶段。

#### 1. 初级阶段:智能链接

20世纪90年代,第一部数字教材诞生于美国佛罗里达大学(William, 2011)。1996年,美国卡内

基梅隆大学开发了基于万维网创作和提供电子教材的工具——互书(Interbook)(Brusilovsky et al., 1998), 开启了教材智能化进程。随着万维网和超媒体技术的发展, 在使用超文本和 Web 系统开发电子教材的过程中, 作为基于维基百科的协作式电子教材创作平台, 维基百科全书(Wikibooks)使用人工智能技术自动创建教材概念与维基百科的智能链接(Bareiss & Osgood, 1993; O'Shea et al., 2011)。

## 2. 中级阶段: 人机交互

随着机器学习、人机交互与可视化技术的发展, 智能教材的交互性逐渐增强, 重点体现在开展交互式学习活动、智能问答和即时反馈的练习测试。计算机科学圈(Computer Science Circles)(Pritchard & Vasiga, 2013)、符石(Runestone)(Ericson & Miller, 2020)、交互式计算机科学及STEM课程(zyBooks)(Liberatore & Chapman, 2019)以及开放式数据结构和算法教程(OpenDSA)(Shaffer et al., 2011)等面向计算机学科的智能教材是这一阶段的典型代表。同时, 编程语言类课程本身就基于计算机, 智能教材的出现可以实现“做中学”, 无需切换特定的集成开发环境。早在2013年, 国际计算机科学学会便预测, 计算机学科的纸质教材将被交互式教材所取代(Ericson, 2019)。例如, 符石以富文本形式呈现编程知识, 嵌入交互式练习、测试和智能化编程开发环境(Ericson & Miller, 2020)。该环境不仅可以编译程序, 还能可视化变量的动态变化过程。为推广计算机学科的智能教材, 开放式数据结构和算法教程制作了大量开源的交互式动画编程及练习, 创新教材的组织和表现形式(Mohammed et al., 2019)。在其他学科领域, 斯坦福大学研发的“探究生物学”(Inquire Biology)结合知识表示、问答技术、自然语言生成技术, 能够识别学生的高亮内容, 自动生成与之相关的问题, 促进学生深度思考(Chaudhri et al., 2013)。

## 3. 高级阶段: 自适应

“定制以学生为中心的个性化课程”是美国电子教材开发核心理念(孔令帅等, 2020)。20世纪90年代, 布鲁斯洛夫斯基等(Brusilovsky et al., 1996)开发出最早的基于网络的智能导学系统——ELM-ART(后被认为是一种智能交互综合教材),

利用学习测评数据推测学生的知识状态, 这是学生画像技术在智能教材领域的初步应用。后来, 自适应组件学生模型、领域模型、教学模型等技术的加入, 强化了智能教材的自适应性, 可实现学习资源的智能推荐和学习路径的智能规划。这一阶段, 众多典型的自适应教材创作平台涌现, 如弹性书(FlexBook)(Batterson & Nugent, 2010)、智能书(SmartBook)(Mcgraw-Hill, 2017)、教材自动创建框架(BBookX)(Pursel et al., 2019)和爱阅读(iRead)(Deligiannis et al., 2019)。2013年, 智能书推出世界上第一本自适应教材, 为学生推荐合适的学习路径, 支持学习资源定制(Mcgraw-Hill, 2017)。2020年, 移动概念教科书系统(Mobile Fact and Concept Textbook System, MoFaCTS)针对解剖生理学课程, 自动创建完形填空辅助学生学习, 以对话系统的形式自动反馈学生的提问, 纠正学生概念性知识的错误(Pavlik et al., 2020)。现阶段, 智能教材研究集中于开发与完善教材的自适应特征。融合自适应学习技术的智能教材已成为数字教材的发展趋势。

### (四) 典型创作平台

近年来, 商业组织、非营利组织和高校开发了许多代表性的智能教材创作平台。本研究以时间为序进行梳理(见表一)。国外代表性智能教材平台主要针对计算机编程、数学、科学、外语和阅读学科, 各平台普遍以领域知识库和构建学生模型为起点, 提供认知诊断、动态评估、个性化学习策略推荐以及学习路径规划等智能学习服务。

## 二、智能教材的自适应模型

智能教材的本质是智能导学系统, 能够适应学生的知识、行为和心理等多维度特征(Boulanger & Kumar, 2019)。典型的智能导学系统包含领域模型、学生模型、教学模型和自适应引擎四个核心组件(Pelánek, 2017)。

### (一) 领域模型

智能教材领域模型主要由知识、技能、问题及其结构关系(先决关系、映射关系、层次关系等)组成, 是教材的本体内容。作为课程教学、知识评估、干预优化的基础, 领域模型的设计至关重要。智能教材的领域模型既要符合课程标准, 还要符合学习资源推送的粒度要求(Sottolare et al., 2016)。

表一 智能教材创作平台

平台名称	创立时间(年)	面向学科	平台特点
互书(Interbook)	1996	不限	使用自适应导航和先决关系提取技术,将静态电子教材转换为自适应电子教材,支持创建领域概念和结构化注释。
智能交互综合教材(ELM-ART)	1996	编程	追踪学生知识轨迹,对编程问题的解决过程开展认知诊断,提供自适应导航、个性化课程序列和编程案例。
维基百科全书(Wikibooks)	2003	不限	基于维基百科的协作式教材创作平台,支持自由创建、修改教材,对教材概念提供维基百科链接。
互语(Interlingua)	2006	外语	按需提供使用者母语形式的阅读材料,自动识别教材中的术语,提取教材结构,并在主体部分和子部分之间生成链接。
弹性书(FlexBook)	2008	数学、科学	允许教师、学生和家长使用不同模块组件定制个性化教材,并适应学生学习风格、地域、语言和技能水平。
计算机科学圈(Computer Science Circles)	2010	Python	支持编辑、运行和调试代码,提供即时反馈,可视化个人和全体用户的学习进度,教师通过邮件为学生提供个性化反馈。
符石(Runestone)	2011	编程、高等数学	组合交互式组件,如视频、代码编辑和运行、代码可视化,改善学习体验。
探究生物学(Inquire Biology)	2012	生物	智能教材的早期原型,应用自然语言处理、知识表示、知识推理和问答等技术和人机交互设计方法,回答学生问题并生成参考答案。
交互式计算机科学及STEM课程(zyBooks)	2012	STEM、计算机科学	根据教材构建学习问题并提供即时反馈和解析,生成个性化且有难度梯度的问题,使用交互式动画演示概念、公式。
开放式数据结构和算法教程(OpenDSA)	2013	数据结构和算法	通过算法可视化和自动评估算法,反馈学生互动练习的结果和对概念的理解程度。
智能书(SmartBook)	2013	阅读	以对话形式与学生交互,追踪学生行为表现和知识水平,创建最理想的学习路径,突出关键内容并推荐外部学习材料。
教材自动创建框架(BBookX)	2015	不限	提供教材创建框架,使用维基百科等教育资源,协作构建免费的开放式教材,提供高质量开放资源库和个性化教材推荐。
爱阅读(iRead)	2017	阅读	根据学生档案、阅读历史记录评估学生阅读技能水平,创建个性化学习内容和交互活动。
阅读镜(Reading Mirror)	2019	阅读	允许学生追踪个人的课程和测验进度,并通过镜像冰柱图可视化个人和集体进度。
网际书(CyberBook)	2019	科学、数学	提供基于认知模型的认知导师支持,通过知识追踪预测学生的答题正确率,动态控制练习的数量并有针对性地提供辅导材料。
移动概念教科书系统(Mobile Fact and Concept Textbook System, MoFaCTS)	2020	解剖生理学	根据教材内容自动创建完形填空,针对错误回答自动生成反馈,并以对话系统的形式纠正学生错误。
即时提示(LiveHint)	2020	数学	通过聊天机器人,以对话形式提出学习建议,减少学生失误。
转换教材(Intextbooks)	2020	不限	使用领域建模和自适应导航技术,可将PDF格式的教材自动转换为交互式的智能网页教材。

早期智能教材原型由学科领域专家预设知识点间的结构关系,建立可视化的概念图和语义网络(Eppler & Burkhard, 2004),使用自适应导航技术提供知识点间的导航链接。但这种方法的可拓展性较弱,难以适用大规模网络教育环境对领域知识的开放式需求。目前,智能教材的领域建模研究开始关注领域知识的自动表征和组织。采用的方法之一是完全基于教材内容本身,如目录、知识点和文本内容,进行关系提取。常用的有基于文本词袋

(bag-of-words)的方法、基于章节标题的方法和基于潜在语义的方法。基于词袋的教材文本内容相关性自动提取方法,通过计算文本中关键词出现的频次比较学习内容间的相似性(Huang et al., 2016),其局限在于无法表征和组织知识点间的语义关系。粗粒度的基于章节标题的方法和细粒度的基于潜在语义的方法能够解决知识的自动表征问题。基于章节标题的方法将教材的章、节、块标题直接作为知识点,但不支持深度知识的迁移,因为每篇文

档只映射到对应章节。基于潜在语义的方法使用隐含狄利克雷分布(latent dirichlet allocation, LDA)的主题建模(Blei et al., 2003)。LDA是完全无监督的机器学习算法,依据一组潜在的主题开展聚类,支持教材知识点语义关系的表示和组织(Guerra et al., 2013)。相比于基于章节标题的方法,基于潜在语义的方法支持深度知识迁移,即通过建立潜在语义关系,不同文档的相同知识点能够产生关联,两个或者多个学习活动(问题、测试、练习等)与一个知识点(文档、页面)相联系。另一类方法是利用知识图谱技术构建领域知识、技能和问题间的对应关系,形成开放资源库,表征领域内容的复杂网络结构关系。知识图谱本质为知识语义网络,由实体、关系和知识构成。它结合学生模型,在多维语义关联、知识导航、学习路径推荐方面发挥重要作用(钟卓等, 2020)。例如,泰等(Tay et al., 2018)使用知识图谱技术构建了数字教材知识点之间的连接和层次关系,实现了知识信息的智能检索。拉赫达里等(Rahdari et al., 2020)借助知识图谱连接维基百科资源、学生学习数据以及教材中的基本概念、问题、章节和模块。李等(Li et al., 2019)提取了电路数字教材中的知识结构关系,实现知识导航。

当前,已有一些智能教材支持知识点之间、知识点与题目之间自动创建先决关系,允许查找每个知识点(题目)的前序和后序知识点(题目)。例如,互书(Interbook)使用先决关系提取等技术创建并注释领域概念,将静态数字教材转变为自适应教材(Brusilovsky et al., 1998)。互语(Interlingua)为不同语言学生提供基于母语的学习材料,并自动识别教材的内部术语,通过生成链接的方式组织教材知识结构(Alpizar-Chacon & Sosnovsky, 2019)。类似自动创建领域知识之间结构关系的研究还有不少,如拉布托夫等(Labutov et al., 2017)使用半监督算法自动识别数字教材中具有先决关系的知识点,帕萨拉夸等(Passalacqua et al., 2019)将可视化网络图用于数字教材先决关系的分析。此外,某些智能教材开发平台支持创建有梯度的领域知识点,为每个知识点提供丰富的媒体形式,交互式计算机科学及STEM课程能够基于教材领域内容自动生成有梯度的学习问题,并针对问题提供交互式动画演示教材中的概念、公式(Liberatore, 2017)。

## (二)学生模型

学生模型是对学生学习过程和结果的评估和推断,包含依赖于领域模型或独立于领域模型的学生信息(Shute & Towle, 2003)。前者对应学生的知识状态,包括学生对知识点、规则和技能的掌握状态;后者对应学生的认知状态,包括认知能力、工作记忆容量、学习风格等个性化认知特征(Normadhi et al., 2019)。

### 1. 知识状态模型

学生知识状态指学生学习过程中形成的领域知识或技能水平。需指出的是,学生学习过程中的知识掌握是动态的,不能使用教育测量的认知诊断方法进行建模。知识追踪使用机器学习技术,基于学生问题解决和问答数据推断学生的知识状态(张暖等, 2021)。黄等(Huang et al., 2016)基于隐马尔可夫模型,以学生数字教材的阅读时间为观测变量,以是否已经学习某个知识点为隐藏变量,对知识状态模型进行训练、预测和更新。为了排除学生注意力和动机的主观影响,该模型有严格的假设:学生阅读教材的速度和知识状态掌握程度正相关。但此假设在某些条件下并不成立。塔克尔等(Thaker et al., 2018)在阅读圈(Reading Circle)应用能融合任意学习者特征的知识追踪技术,解决阅读行为数据存在噪音、个体阅读能力和动机差异对结果干扰等问题。网际书(CyberBook)应用知识追踪技术计算学生正确回答认知导师下一个形成性评估问题的可能性(Matsuda & Shimmei, 2019)。还有研究基于成绩因子模型(performance factor analysis, PFA)(Thaker et al., 2019a),增补了学生阅读机会和阅读速度两个因子,提高知识状态预测的正确率(Thaker et al., 2019b)。

### 2. 学习行为模型

学生学习行为建模指对学生与学习平台的交互行为数据进行追踪、分析和评估。数字教材作为新型数据采集平台,可以采集、存储、同步和共享学生阅读数字教材的交互行为(如添加下划线、高亮显示、备忘录、书签、前后翻页等)数据。部分研究者将数字教材的阅读行为分为阅读时间、阅读页数、添加标记、做笔记等显性学习行为,以及反思、回看、课程预习等隐性学习行为,并使用聚类算法分析学生阅读数字教材的多维度数据,据

此将学生分组开展差异化教学(Yin et al., 2015; Yin & Hwang, 2018; Yin et al., 2019a; Yin et al., 2019b)。还有研究者应用滞后序列分析挖掘数字教材阅读行为转换关系,通过系列行为序列分析矩阵计算,确定学生的行为模式和学习策略(Yin et al., 2017; Yin & Hwang, 2018)。金等(Kim et al., 2020)发现学生在数字教材上的高亮显示注释行为可以反映学生的理解和记忆能力,这可用于指导数字教材的个性化内容设计,即根据高亮显示的相似性将学生分组,设计自适应规则,提供合适的学习内容。毛利等(Mouri et al., 2019)使用非负矩阵分解算法发现,学生理解水平与阅读数字教材的浏览行为模式相关。大久保等(Okubo et al., 2017)收集学生数字教材学习行为日志,借助知识图谱的状态转换图为有辍学可能的学生提供学业预警。此外,学生在数字教材交互环境和协作学习过程中的共享注释、社会导航和同伴比较也受到研究者关注(Brusilovsky et al., 2009; Barria-Pineda et al., 2019)。

### 3. 心理特征模型

学生心理特征建模通过了解学生的认知、情绪和个性等,解释学习行为,从更内隐的角度衡量学生知识状态水平,是学生建模的新研究方向。学生的认知特征包括学习风格、态度、动机、工作记忆容量等,指学生使用归纳、推理等认知加工技能和策略选择并获取知识时表现出来的特点(Normadhi et al., 2019)。在智能教材开发技术中,认知诊断技术结合认知科学和心理测量学,通过将学生不易观察的认知能力转换为可观察的测试结果数据,评估和诊断学习问题出现的源头及学生的认知能力(Sottolare et al., 2016)。例如,智能交互综合教材结合了基于案例和规则的模型设计方法诊断学生在编程学习环境中的认知变化,透视学生学习编程的过程(Weber & Brusilovsky, 2016)。赖利安等(Railean, 2010)设计了细分数字教材内容的讲授式模型,诊断学生的认知结构。除了认知诊断技术外,个性化推荐技术以学生档案数据(学习兴趣、学习动机、学习偏好等)为中心,查找改善学习过程最佳的学习路径,提供个性化学习材料和自适应系统交互界面。例如,伦古等(Lungu et al., 2018)基于学生对外语数字教材学习内容的偏好,推荐他们感兴趣的外语词汇、新闻和博客。

心理学研究发现,学生的心理特征影响知识状态和学习行为,对学习过程和结果会产生积极或消极影响。目前,学生情感特征数据主要分三类:面部表情图像、文本信息和生理信号(江波等, 2018)。学生学习过程中的不同面部特征,代表困惑、投入、沮丧等情绪。现有的面部特征编码系统能够识别学生情绪,为情绪建模提供启发。林等(Lin et al., 2017)使用面部识别技术和基于Kinect传感器的情感传感技术检测学生面部表情和情感,增强学生与数字教材的互动。文本分析技术、心理测量学和可穿戴智能设备等可用于分析数字教材中反映学生情感的词语,测量学生阅读数字教材的生理和心理指标,引领数字教材走向智能化。

### (三)教学模型

智能教材的第三个重要组成部分是教学模型,它有两个设计目标。首先,在项目式教学、九段式教学、协作式教学、讲授式教学等指导下的教学模型,能根据学生模型的知识和技能特征,评估和诊断其与专家构建的领域模型之间的差距,明确知识点问题产生的源头,确定学生接下来需要学习的知识点(Boulanger & Kumar, 2019)。同时,教学模型还能根据学生模型的认知能力、学习风格和个性特征等档案数据,确定学习资源呈现方式,即针对不同类别的学生,呈现不同形式的学习对象。蔡等(Choi et al., 2011)借助学习通用设计(universal design for learning, UDL)原理,设计了典型的数字教材教学模型案例,将学生英语学习过程分为知识理解和知识表达两类,每类学习活动包括知识、技能、情感三个维度,修复了学生模型与领域模型之间的差距,为不同类别的学生提供不同形式的媒体资源。其次,按学生模型划分的不同知识状态、学习行为和心理特征的学生,教学模型需要为每类学生制定适合的教学规则、组织学习材料并提供不同的教学策略和评价方法。舒特和托尔(Shute & Towle, 2003)在设计自适应学习平台设计时提到,不同知识类型需要不同的教学和评估策略,比如对于陈述性知识,采用直接的、说教式教学策略介绍定义和公式法则,要求学生达到知道和了解的程度;对于程序性知识,更多采用实验、练习策略以提高问题解决的技能和方法,要求学生能够达到理解和应用的水平;对于概念图式知识,采用类比或案例学习教学策略,要求学生具备分析、评价和创造的能力。

现有的智能教材开发平台为教学模型的设计提供了技术支撑。比如, 开放式数据结构和算法教程(OpenDSA)支持教师和研究者创建不同难度的知识点模块, 自动评估学生问题回答、记录完成练习的时间和统计成绩数据, 从而确定下一步学习的知识点模块。穆罕默德等(Mohammed et al., 2019)在程序教学法原则的指导下, 借助开放式数据结构和算法教程构建了面向计算机科学课程的数字教材。爱阅读为不同阅读技能水平的学生制定不同的自适应规则, 为学生提供个性化语言学习内容和学习活动, 包括词汇、语句和游戏。德利吉安尼斯等(Deligiannis et al., 2019)基于爱阅读对学生档案数据和阅读历史构建个性化交互式教材, 便于教师开展适合不同学生的教学。互语能够自动识别教材的内部术语, 在知识点之间生成链接, 依据学生档案数据以及学生与知识点的交互数据提供和学生母语相关的阅读材料, 帮助教师实现教学内容的个性化设计(Alpizar-Chacon & Sosnovsky, 2019)。

学生建模技术常被用来支持教学模型设计, 常用的有贝叶斯知识追踪技术(Mislevy et al., 2013)和响应式教学的学生建模方法(student modeling approach for responsive tutoring, SMART)(Shute, 1995)。后者已被用于教学系统设计, 通过将低难度的知识分为基本知识、程序性知识、概念图式知识, 开展教学、评估和纠正, 一方面适应学生的知识和技能, 另一方面适应学生的认知能力、学习风格、工作记忆容量等个性特征。目前这两类技术已成功应用于智能导学系统。智能教材的本质是智能导学系统, 这两类技术在智能教材中的应用也是未来的研究方向。

综上所述, 更加自动化的领域建模技术是智能教材领域建模亟待突破的关键技术之一。同时, 基于多模态学习数据, 构建能够反映知识—情感—认知等全维度特征的学生模型, 是智能教材中学生建模的未来发展趋势。已有大量研究关注领域模型和学生模型, 但教学模型研究相对较少。此外, 自动评估、关键术语识别以及个性化推荐等侧重于数据驱动的机器智能, 提供答疑、讨论、策略启发、支架引导、情感和动机识别等基于教学理论和方法的提示信息则是教师擅长的人类智能。如何结合机器和教师的优点, 探索人机协同教学, 对教学

模型的发展具有重要价值。

### 三、应用与评估

随着智能教材的应用, 国内外研究者已开展相关实证研究, 评估智能教材的教学效果。智能教材丰富了学生的阅读和学习体验。例如, 阅读镜提升了学生学习的专注度和阅读教材的参与度(Barria-Pineda et al., 2019), 教材自动创建框架的智能推荐引擎辅助学习者进一步掌握学科相关的主题和概念(Pursel et al., 2019)。面向计算机科学领域的智能教材蕴含巨大潜力。例如, 符石提高了学生编程的质量和效率(Ericson, 2019), 其交互组件有助于学生掌握计算机科学课程的学科概念(Miller & Ranum, 2012)。面向教师设计的智能教材, 丰富了教师的专业知识和教学信心(Ericson, 2019)。此外, 智能教材普遍提高了学生的学习成绩。例如, 探究生物学显著提高了学生家庭作业及课后测验的成绩(Chaudhri et al., 2013), 智能交互综合教材显著提高了编程基础薄弱者的成绩(Weber & Brusilovsky, 2001)。相比于静态的编程教材, 智能教材提高了学生的学习动机及学习效果(Pollari-Malmi et al., 2017)。但是, 并非所有智能教材的应用都能取得预期的效果。例如, 基于PASTEL组件的数学智能教材, 未对学生的学习成绩产生显著的影响, 具体原因有待进一步探究(Matsuda & Shimmei, 2019)。

目前, 绝大部分学生对智能教材评价较高, 预示着智能教材应用前景广阔。调查表明, 师生对智能教材有较高的主观满意度(Weber & Brusilovsky, 2001)。尽管静态PDF格式的教材与智能教材的文本内容几乎相同, 但具有自主选择权的学生更偏向智能教材(Pollari-Malmi et al., 2017)。在针对混合智能教材Tobbits开展的调查中, 半数以上的被调查者认可该教材的实用性, 部分使用者还自发推广该教材(Feng et al., 2019)。此外, 大部分学生认为, 相比传统纸质教材, 智能教材有更强的趣味性和有用性(Pursel et al., 2019)。

### 四、智能教材的核心特征

本研究认为, 智能教材是以深度交互、学习画像和自适应为主要特征, 为学生提供个性化学习、

评价和规划等学习服务的智能化数字教材。在交互性方面, 现有数字教材仅提供笔记、标注、答题、播放等弱交互功能, 智能教材能提供智能答疑、协作学习、即时反馈、实践操作(如虚拟仿真实验和编程实践)等深度交互功能。在学生画像方面, 现有数字教材仅能实现对学生作业和测试的评价, 而智能教材可以采集和分析学生与教材交互产生的细粒度学习行为数据(如阅读、练习、操作等), 利用人工智能算法进行学习画像。在自适应方面, 现有数字教材因缺少学生画像而无法实现自适应学习, 智能教材可基于学习画像提供个性化学习服务, 如个性化学习资源推荐和学习路径规划。对于智能教材, 深度交互、学习画像、自适应缺一不可。深度交互是建立学生精准学习画像的前提, 学习画像又是自适应的必备条件。智能教材提供的深度交互功能可产生大量能够反映学生真实学习状态的学习过程数据, 通过自动采集、深度挖掘和精准分析此类数据, 支撑算法模型识别学生对教材内容的理解水平和知识水平, 构建符合学生最近发展区的学习支架(Boulanger & Kumar, 2019), 推荐符合学生认知特征和能力水平的学习资源。

#### (一) 深度交互

智能教材的深度交互主要体现在智能问答、即时反馈的互动练习以及集成虚拟实验环境等方面。首先, 根据预训练自然语言知识库、学科知识库和教材内容(Gunning et al., 2011), 通过理解、综合和推理, 结合知识表示、问答技术和自然语言生成技术, 智能教材能在特定范围回答学生的问题并生成推荐的问题供学生选择(Chaudhri et al., 2013)。其次, 智能教材提供即时反馈的互动练习。例如, 面向计算机与编程学科开发的智能教材可供直接运行、编辑和修改代码(Ericson, 2019)。智能教材还可以利用自动化评分技术对代码进行评分并提出修改建议, 大大节省教师的工作量。结合具体学科需求, 智能教材集成虚拟仿真实验环境和虚拟学具, 支持学生随时随地开展科学实验等探究活动。例如, 化学教材中可直接嵌入大量不便于实体操作的化学实验, 并结合情景化技术, 在教材中构建虚拟仿真实验系统。最后, 智能教材可记录学生与教材的所有交互数据, 分析学生的高亮、画线、注释、笔记等操作, 自动提取其中蕴含的知识本体或概念,

判断学生知识掌握水平, 推荐相应学习支架或辅助学习资源。此外, 智能教材也能够基于学生的注释和翻页行为, 不断完善教材(Boulanger & Kumar, 2019), 如基于频繁出现的翻页模式, 构建不同页面的直接联系, 为学生提供自动翻页服务。

#### (二) 学习画像

智能教材借助学习分析技术和人工智能算法, 根据学生细粒度的学习交互数据, 生成学生的知识、行为、情感和认知等维度的学习画像(Boulanger & Kumar, 2019)。例如, 智能教材可动态可视化个人的阅读进度, 并与他人对比, 把握学生的教材使用情况(Barria-Pineda et al., 2019)。随着教材交互数据、笔记数据、测试数据的积累和分析, 智能教材能够判断学生的知识掌握水平, 预测学生的学习结果, 并根据预测结果推荐学习资源。它也可通过分析教材使用过程中产生的细粒度操作数据, 构建学生情感特征和行为特征的评估模型(Normadhi et al., 2019), 以解读学习表现背后的深层次原因。同时, 智能教材可根据学生在学习过程中的兴趣、情绪和态度的改变, 判断不良的学习态度、倾向和行为, 并发出预警。现阶段学生的学习画像基于教室场景或在线场景, 信息采集不太全面, 智能教材可突破学习场景的界限, 贯穿学习全过程, 能积累多场景、多维度、多模态、高质量、细粒度的学习过程数据, 生成更全面、客观、有深度的学习画像。

#### (三) 自适应

自适应是智能教材的核心特征, 也是区别于传统数字教材的主要功能。基于深度交互产生的数据、学习画像生成的学生特征, 智能教材可推荐个性化学习资源和规划学习路径。智能教材可根据学习画像, 将学习内容、学习支架、学习资源以符合学生自身知识、情感和认知特点的形式呈现。在学习过程中, 智能教材可根据学生的阅读行为判断学生对当前内容的理解水平, 智能推荐学习支架, 提供学习规划。例如, 智能教材可收集学生在每个页面的回看行为, 记录每人的回跳页面, 再基于知识图谱建立内容之间的关联。当其他学生阅读该页面时, 智能教材可通过自动化即时提问的方式促进其对学习内容的反思, 或提供自动化翻页提示等服务。在学习结束后, 智能教材可分析学生的学习日志, 结合学生画像, 生成个性化学习评价和反馈,



并基于人工智能算法推荐外部学习资源。智能教材还可根据学生偏好、学习风格以及期望的学习结果, 构建个性化教材知识库。

## 五、结论与讨论

从电子教材到智能教材的转化, 不仅体现了教材形态从数字化到智能化的新发展, 也为电子教材和智能教育注入新的活力。现阶段智能教材开发和应用有待破解以下困境:

### (一) 接受度不高

以电子书包、电子教材为主的电子学习资源已进入课堂。但无论是电子书包还是电子教材, 在试验或应用的过程中都面临很多争议和问题(蒋建梅, 2015; 童慧等, 2016), 主要集中在以视力下降为代表的健康问题, 以网络成瘾为代表的心理问题, 以推广成本、版权保护为代表的社会问题(Alpizar-Chacon & Sosnovsky, 2019), 以及大众对电子学习资源能否有效提高学习的疑虑等。这些问题都可能阻碍智能教材的应用与发展。

### (二) 开发难度大

除了由教育主管部门开发教材, 教师或其他研究者也可以自主开发教材。但无论开发主体是谁, 智能教材创建面临的最核心困难是教材知识组件的提取、解题路径的设置、教学支架的设计以及知识图谱的构建。虽然有研究者设计开发了自动概念提取技术(Thaker et al., 2019a), 但还未得到足够的理论验证和实践经验支持。因此, 目前这一过程主要依靠课程设计者或课程专家手动构建, 效率较低, 严重阻碍了智能教材的大规模开发和推广(Alpizar-Chacon et al., 2020)。

### (三) 缺乏政策保障及统一的规范标准

智能教材的开发依赖高校和商业组织的合作, 应用实践也多以教材开发者自发或小规模试验为主, 政府尚未出台支持政策。开发平台之间缺乏统一的数据标准和开发规范, 也是一大问题。

### (四) 技术阻碍

目前智能教材的设计与开发依赖自适应学习技术, 领域模型面临模型的迁移能力和泛化能力两大挑战(李晶晶等, 2021)。由于认知诊断、情感计算、场景感知等技术的发展相对缓慢, 学生模型的构建缺少有力的技术支持(黄涛等, 2020), 对学生

情感支持的研究也有待加强(董晓辉等, 2017)。

### [参考文献]

- [1] AIED. (2019). First workshop on intelligent textbooks[EB/OL]. [2022-3-22]. <http://ml4ed.cc/2019-AIED-workshop/>.
- [2] Alpizar-Chacon, I., & Sosnovsky, S. (2019). Interlingua: Linking textbooks across different languages[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384: 104-117.
- [3] Alpizar-Chacon, I., Van Der Hart, M., Wiersma, Z. S., Theunissen, L., & Sosnovsky, S. (2020). Transformation of PDF textbooks into intelligent educational resources[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2674: 4-16.
- [4] Bareiss, R., & Osgood, R. (1993). Applying AI models to the design of exploratory hypermedia systems[C]//Proceedings of the fifth ACM conference on Hypertext: 94-105.
- [5] Barria-Pineda, J., Brusilovsky, P., & He, D. Q. (2019). Reading mirror: Social navigation and social comparison for electronic textbooks[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384: 30-37.
- [6] Batterson, J., & Nugent, L. (2010). The 21st century physics textbook[J]. *Principal Leadership*, 10(5): 76-78.
- [7] Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation[J]. *The Journal of Machine Learning Research*, 3: 993-1022.
- [8] Boulanger, D., & Kumar, V. (2019). An overview of recent developments in intelligent e-textbooks and reading analytics[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384: 44-56.
- [9] Brusilovsky, P., Eklund, J., & Schwarz, E. (1998). Web-based education for all: A tool for development adaptive courseware[J]. *Computer Networks*, 30(1-7): 291-300.
- [10] Brusilovsky, P., Kim, J., & Farzan, R. (2009). Enhancing electronic books with spatial annotation and social navigation support[C]//International Conference on Universal Digital Library: 1-3.
- [11] Brusilovsky, P., Schwarz, E., & Weber, G. (1996). ELM-ART: An intelligent tutoring system on world wide web[C]//International Conference on Intelligent Tutoring Systems: 261-269.
- [12] Chau, H., Labutov, I., Thaker, K., He, D. Q., & Brusilovsky, P. (2021). Automatic concept extraction for domain and student modeling in adaptive textbooks[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31(4): 820-846.
- [13] Chaudhri, V. K., Cheng, B., Overholtzer, A., Roschelle, J., Spaulding, A., Clark, P., Greaves, M., & Gunning, D. (2013). Inquire biology: A textbook that answers questions[J]. *AI Magazine*, 34(3): 55-72.
- [14] Choi, J. I., Heo, H., Lim, K. Y., & Jo, I. H. (2011). The development of an interactive digital textbook in middle school English[C]//International Conference on Future Generation Information Technology: 397-405.
- [15] 陈桃, 龚朝花, 黄荣怀(2012). 电子教材: 概念、功能与关键技术问题[J]. *开放教育研究*, 18(2): 28-32.

- [16] Deligiannis, N., Panagiotopoulos, D., Patsilnakos, P., Raftopoulou, C., & Symvonis, A. (2019). Interactive and personalized activity eBooks for learning to read: The iRead case[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384(731724): 57-69.
- [17] 董晓辉, 杨晓宏, 张学军(2017). 自适应学习技术研究现状与展望[J]. 电化教育研究, 38(2): 91-97+121.
- [18] Eppler, M. J., & Burkhard, R. A. (2004). Knowledge visualization: Towards a new discipline and its fields of application[R]. Università Della Svizzera Italiana.
- [19] Ericson, B. (2019). An analysis of interactive feature use in two ebooks[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384: 4-17.
- [20] Ericson, B. J. & Miller, B. N. (2020). Runestone : a platform for free, on-line, and interactive ebooks[A]. Proceedings of the 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education: 1012-1018.
- [21] Feng, J. C., Li, K., & Li, M. (2019). Tobbits calculation workbook: an offline-to-online intelligent textbook[C]//iTextbooks@ AIED: 117-123.
- [22] Guerra, J., Sosnovsky, S., & Brusilovsky, P. (2013). When one textbook is not enough: Linking multiple textbooks using probabilistic topic models[C]//European Conference on Technology Enhanced Learning: 125-138.
- [23] Gunning, D., Chaudhri, V. K., & Welty, C. (2011). Introduction to the special issue on question answering[J]. AI Magazine, 31(3): 11-12.
- [24] Huang, Y., Yudelso, M., Han, S. G., He, D. Q., & Brusilovsky, P. (2016). A framework for dynamic knowledge modeling in textbook-based learning[C]//Proceedings of the 2016 conference on user modeling adaptation and personalization: 141-150.
- [25] 胡畔, 王冬青, 许骏, 韩后(2014). 数字教材的形态特征与功能模型[J]. 现代远程教育研究, (3): 93-98+106.
- [26] 黄涛, 王一岩, 张浩, 杨华利(2020). 智能教育场域中的学生建模研究趋向[J]. 远程教育杂志, 38(1): 50-60.
- [27] 江波, 李万健, 李芷璇, 叶韵(2018). 基于面部表情的学习困惑自动识别法[J]. 开放教育研究, 24(4): 101-108.
- [28] 蒋建梅(2015). 电子教科书的发展现状、存在问题及解决对策[J]. 广东开放大学学报, 24(6): 96-99.
- [29] Kim, D. Y., Winchell, A., Water, A. E., Grimaldi, P. J., Baraniuk, R., Mozer, M. C. (2020). Inferring student comprehension from highlighting patterns in digital textbooks: An exploration of an authentic learning platform[C]//iTextbooks@ AIED, 2674: 67-79.
- [30] 孔令帅, 潘洪美(2020). 美国电子教科书的发展综述与启示[J]. 现代教育技术, 30(11): 33-39.
- [31] Labutov, I., Huang, Y., Brusilovsky, P., & He, D. Q. (2017). Semi-supervised techniques for mining learning outcomes and prerequisites[C]//Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining: 907-915.
- [32] Li, Y., Chen, X., Bao, Y. X., Guo, D. L., & Huang, X. (2019). Relation extraction of chinese fundamentals of electric circuits textbook based on cnn[C]//2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). IEEE: 277-281.
- [33] Liberatore, M. W. (2017). Reading analytics and student performance when using an interactive textbook for a material and energy balances course[C]//the Proceedings of the ASEE Annual Conference & Exposition: 1-13.
- [34] Liberatore, M. W., & Chapman, K. (2019). Reading anytime: Do students complete missed readings after the due date when using an interactive textbook for material and energy balances?[C]// the Proceedings of the ASEE Annual Conference & Exposition.
- [35] Lin, J. M., Hsu, J. H., & Hong, Z. W. (2017). Implementation of an ebook reader system with the features of emotion sensing and robot control[C]//International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing: 91-106.
- [36] Lungu, M. F., Van Den Brand, L. Chirtoaca, D. & Avagyan, M. (2018). As we may study: Towards the web as a personalized language textbook[C]//Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems: 1-12.
- [37] 李晶晶, 孟利超, 张可, 鲁珂, 申恒涛(2021). 领域自适应研究综述[J]. 计算机工程, 47(6): 1-13.
- [38] Matsuda, N., & Shimmei, M. (2019). PASTEL: Evidence-based learning engineering method to create intelligent online textbook at scale[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384: 70-80.
- [39] McGraw-Hill Education. (2017). What is SmartBook?[EB/OL]. [2022-3-22]. <http://www.mheducation.com/highered/platforms/smartbook.html>.
- [40] Miller, B. N., & Ranum, D. L. (2012). Beyond PDF and ePub: toward an interactive textbook[C]//Proceedings of the 17th ACM Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education: 150-155.
- [41] Mislavy, R., Almond, R., Yan, D. L., & Steinberg, L. S. (2013). Bayes Nets in Educational Assessment: Where do the numbers come from?[J]. arXiv preprint arXiv: 1301.6722.
- [42] Mohammed, M., Rodger, S. H., & Shaffer, C. A. (2019). Using programmed instruction to help students engage with etextbook content[A]. CEUR Workshop Proceedings[C]. 2384: 146-156.
- [43] Mouri, K., Suzuki, F., Shimada, A., Uosaki, N., Yin, C. J., Kaneko, K., & Ogata, H. (2019). Educational data mining for discovering hidden browsing patterns using non-negative matrix factorization[J]. Interactive Learning Environments: 1-13.
- [44] 马晓玲, 杨飞, 吴永和(2014). 电子书包概念、应用实例及功能分析[J]. 现代教育技术, 24(5): 103-110.
- [45] Normadhi, N. B. A., Shuib, L., Nasir, H. N. M., Bimba, A., Idiris, N., & Balakrishnan, V. (2019). Identification of personal traits in adaptive learning environment: Systematic literature review[J]. Computers

and Education, 130: 168-190.

[46] O'Shea, P. M., Allen, D., Onderdonk, J. C., & Allen, D. W. (2011). A technological reinvention of the textbook: A wikibooks project[J]. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 27(3): 109-114.

[47] Okubo, F., Shimada, A., & Taniguchi, Y. (2017,?). Visualization system for predicting learning activities using state transition graphs[J]. *International Association for Development of the Information Society*: 1-8.

[48] Passalacqua, S., Koceva, F., Alzetta, C., Torre, I., & Adorni, G. (2019). Visualisation analysis for exploring prerequisite relations in textbooks[C]//iTextbooks@ AIED: 18-29.

[49] Pavlik, P. I., Olney, A. M., Banker, A., Eglington, L., & Yarbro, J. (2020). The mobile fact and concept textbook system (MoFACTS)[A]. *CEUR Workshop Proceedings[C]*. 2674: 35-49.

[50] Pelánek, R. (2017). Bayesian knowledge tracing, logistic models, and beyond: An overview of learner modeling techniques[J]. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 27(3-5): 313-350.

[51] Pollari-Malmi, K., Guerra, J., Brusilovsky, P., Malmi, L., & Sirkiä, T. (2017). On the value of using an interactive electronic textbook in an introductory programming course[C]//Proceedings of the 17th Koli Calling International Conference on Computing Education Research: 168-172.

[52] Pritchard, D., & Vasiga, T. (2013). CS Circles: An in-browser python course for beginners[C]//Proceeding of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education: 591-596.

[53] Pursel, B., Ramsay, C., Dave, N., Liang, C., & Lee Giles, C. (2019). BBookX: Creating semi-automated textbooks to support student learning and decrease student costs[A]. *CEUR Workshop Proceedings[C]*. 2384: 81-87.

[54] 全国信息技术标准化技术委员会(2019). 信息技术学习、教育和培训 电子课本与电子书包术语 [S].

[55] Rahdari, B., Brusilovsky, P., Thaker, K., & Barria-Pineda, J. (2020). Using knowledge graph for explainable recommendation of external content in electronic textbooks[C]//iTextbooks@ AIED: 1-12.

[56] Railean, E. (2010). A new didactical model for modern electronic textbook elaboration[C]//Proceeding of ICVL 2010 Conference: 121-129.

[57] Ritter, S., Fisher, J., Lewis, A., Finocchi, S. B., Hausmann, B., & Fancsali, S. (2019). What's a textbook? Envisioning the 21st century k-12 text[C]//iTextbooks@AIED: 87-94.

[58] Shaffer, C. A., Karavirta, V., Korhonen, A., & Naps, T. L. (2011). OpenDSA: Beginning a community active-eBook project[A]. *Proceedings - 11th Koli Calling International Conference on Computing Education Research, Koli Calling'11[C]*: 112-117.

[59] Shute, V., & Towle, B. (2003). [J]. *Educational psychologist*, 38(2): 105-114.

[60] Shute, V. J. (1995). SMART: Student modeling approach for responsive tutoring[J]. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5(1): 1-44.

[61] Sottolare, R. A., Graesser, A. C., Hu, X. G., Olney, A., Nye, B., & Sinatra, A. M. (2016). Design recommendations for intelligent tutoring systems: volume 4-domain modeling[M]. *US Army Research Laboratory*: 15-18.

[62] 桑新民, 谢阳斌(2012). 在学习方式的变革中提高大学教学质量和办学水平: 高等教育信息化的攻坚战 [J]. *高等教育研究*, 3 (5): 64-69.

[63] Tay, N. N. W., Yang, S. C., Lee, C. S., & Kubota, N. (2018). Ontology-based adaptive e-textbook platform for student and machine co-learning[C]//2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). *IEEE*: 1-7.

[64] Thaker, K., Brusilovsky, P., & He, D. Q. (2019a). Student modeling with automatic knowledge component extraction for adaptive textbooks[C]//iTextbooks@ AIED: 95-102.

[65] Thaker, K., Carvalho, P., & Koedinger, K. (2019b). Comprehension factor analysis: modeling student's reading behaviour: accounting for reading practice in predicting students' learning in MOOCs[C]//Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge: 111-115.

[66] Thaker, K., Huang, Y., Brusilovsky, P., He, D. Q. (2018). Dynamic knowledge modeling with heterogeneous activities for adaptive textbooks[C]//The 11th International Conference on Educational Data Mining: 592-595.

[67] 童慧, 杨彦军, 郭绍青(2016). 电子书包应用效果评价研究进展述评及反思 [J]. *远程教育杂志*, 34 (1): 99-112.

[68] Wang, M. D., Chau, H., Thaker, K., Brusilovsky, P., & He, D. Q. (2020). Concept annotation for intelligent textbooks[J]. *arXiv preprint arXiv: 2005.11422*.

[69] Weber, G., & Brusilovsky, P. (2001). ELM-ART: An adaptive versatile system for Web-based instruction[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, 12: 351-384.

[70] Weber, G., & Brusilovsky, P. (2016). ELM-ART - an interactive and intelligent web-based electronic textbook[J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1): 72-81.

[71] William, D. (2011). The e-textbook revolution[EB/OL]. [2022-3-22]<https://journals.ala.org/index.php/ltr/article/view/4426/5143>.

[72] Yin, C. J., & Hwang, G. J. (2018). Roles and strategies of learning analytics in the e-publication era[J]. *Knowledge Management & E-Learning: An International Journal*, 10(4): 455-468.

[73] Yin, C. J., Okubo, F., Shimada, A., Oi, M., Hirokawa, S., Yamada, M., Kojima, K., & Ogata, H. (2015). Analyzing the features of learning behaviors of students using e-books[C]//Proceedings of the International Conference on Computers in Education: 617-626.

[74] Yin, C. J., Ren, Z., Polyzou, A., & Wang, Y. (2019a). Learn-

ing behavioral pattern analysis based on digital textbook reading logs[C]//International Conference on Human-Computer Interaction: 471-480.

[75] Yin, C. J., Uosaki, N., Chu, H. C., Hwang, G. J., Hwang, J. J., Hatono, I., & Tabata, Y. (2017). Learning behavioral pattern analysis based on students' logs in reading digital books[C]//Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education: 549-557.

[76] Yin, C. J., Yamada, M., Oi, M., Shimada, A., Okubo, F., Kojima, K., & Ogata, H. (2019b). Exploring the relationships between reading behavior patterns and learning outcomes based on log data from e-books: A human Factor Approach[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 35(4-5): 313-322.

[77] 杨宗凯(2017). 从信息化视角展望未来教育[J]. 电化教育研究, 38(6): 5-8.

[78] 张家军, 闫君子(2021). 智慧化教材的价值逻辑及其实现路

径[J]. 电化教育研究, 42(6): 74-80.

[79] 张暖, 江波(2021). 学生知识追踪研究进展综述[J]. 计算机科学, 48(4): 213-222.

[80] 张治, 刘德建, 徐冰冰(2021). 智能型数字教材系统的核心理念和技术实现[J]. 开放教育研究, 27(1): 44-54.

[81] 钟卓, 唐焯伟, 钟绍春, 赵一婷(2020). 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, (4): 62-70.

[82] 朱景达, 单君, 俞君(2018). 探析智慧高职教育的发展特征与路向[J]. 中国职业技术教育, (27): 31-35.

[83] 庄科君, 贺宝勋(2012). 基于首要教学原理的电子教材的设计研究[J]. 现代教育技术, 33(4): 21-24.

[84] 左群英, 汪隆友(2021). 从认知到体验: 中小学教材使用的具身转向[J]. 中国教育学刊, (3): 66-70.

(编辑: 魏志慧)

## The Review of Intelligent Textbooks

JIANG Bo<sup>1</sup>, DU Ying<sup>1</sup> & GU Meijun<sup>2</sup>

(1. Department of Educational Information Technology, & Shanghai Engineering Research Center of Digital Education Equipment, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Yiwu Chouzhou Middle School, Jinhua 322000, China)

**Abstract:** Intelligent textbooks are a desirable form of digital textbooks. In terms of definition, this study analyzes the differences and connections between intelligent textbooks and digital textbooks, e-Schoolbag, and intelligent tutoring systems, then sorts out the concept of intelligent textbooks. In terms of development, we point out three stages: the primary stage characterized by intelligent linking, the intermediate stage characterized by human-computer interaction, and the advanced stage characterized by self-adaptation, then classify the typical foreign platforms of intelligent textbooks. In terms of key technologies, this study summarizes the adaptive modeling technology from the dimensions of a domain model, student model, and instruction model, and concludes the automatic domain modeling, full-dimensional student model, and human-machine collaborative instruction model are the trends of the key technologies. In terms of assessments, multiple positive effects of intelligent textbooks on learning have been reported. Finally, the study summarizes the three characteristics of intelligent textbooks, including deep interaction, learning portrait, and self-adaptation, elaborates on the connotation of intelligent textbooks, and analyzes the difficulties from the acceptance of intelligent textbooks, resources, policy formulation, and technology. This study aims to provide a theoretical and practical reference for the relevant policy formulation, compilation, and school selection of intelligent textbooks in China under the background of digital education transformation.

**Key word:** intelligent textbooks; digital textbooks; personalized learning; self-adaptation