

基于知识地图的中小学个性化在线学习 服务模式

刘显华¹, 罗贤增², 吴佳华², 钟茂生^{2*}

¹九江市同文中学, 江西 九江

²江西师范大学计算机信息工程学院, 江西 南昌

Email: jjtw108@163.com, 404990026@qq.com, 2407264618@qq.com, *zhongmaosheng@sina.com

收稿日期: 2021年5月28日; 录用日期: 2021年6月23日; 发布日期: 2021年6月30日

摘 要

针对中小学生在在线学习过程中存在的学习迷航、认知负荷超载以及学习安排不合理等问题, 提出基于学科知识地图的思路进行在线课程内容组织, 以及建立在线课程内容资源与学科知识地图中学科知识点之间的关联, 然后结合学习者在学科知识点上的学习状态, 最终实现个性化的课程内容组织及学习资源推荐服务。论文提出了四环节八步骤的知识地图构建方法, 构建了基于知识地图的中小学个性化在线学习服务模式, 提出了基于学习者能力水平的学习资源适应度计算方法, 并以初中数学学科为例, 构建了初中数学学科知识地图, 设计了面向初中数学学习的个性化在线学习平台, 开发了相应的软件原型系统。

关键词

知识地图, 学习资源, 在线学习, 个性化服务模式

Personalized Online Learning Service Model for Students of Primary and Secondary Schools Based on Knowledge Map

Yuhua Liu¹, Xianzeng Luo², Jiahua Wu², Maosheng Zhong^{2*}

¹Jiujiang TongWen Middle School, Jiujiang Jiangxi

²School of Computer & Information Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi

Email: jjtw108@163.com, 404990026@qq.com, 2407264618@qq.com, *zhongmaosheng@sina.com

Received: May 28th, 2021; accepted: Jun. 23rd, 2021; published: Jun. 30th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 刘显华, 罗贤增, 吴佳华, 钟茂生. 基于知识地图的中小学个性化在线学习服务模式[J]. 计算机科学与应用, 2021, 11(6): 1834-1843. DOI: 10.12677/csa.2021.116188

Abstract

Aiming at the problems of learning disorientation, cognitive overload and unreasonable study plan of middle and primary school students in the process of online learning, we propose the idea of online course content organization based on the subject knowledge map. This helps to establish the correlation between online course content resources and subject knowledge points in the subject knowledge map, and with the consideration of the learners' learning state in the subject knowledge points, we aim to achieve personalized course content organization and provide learning resources recommendation service at last. The paper has put forward a four-stage and eight-step knowledge map construction method, built a personalized online learning service model for middle and primary school students based on the knowledge map, and proposed a learning resources fitness calculation method adapting to the learners' ability and level. Moreover, with a case study of middle school mathematics, it has constructed a knowledge map of junior middle school mathematics, designed a personalized online learning platform for junior middle school mathematics learning, and developed a corresponding software prototype system.

Keywords

Knowledge Map, Learning Source, Online Learning, Personalized Service Model

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers 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

1. 引言

在线学习(E-Learning),是指在由计算机技术、通讯技术、人工智能、网络技术和多媒体技术等所构成的电子环境中,采用终端设备(笔记本、手机、iPad等)进行知识获取和内容交流的学习方式。当前,线下课堂教学在固定时间、确定地点进行的教学活动,已经难以满足知识日益更新、终身自主学习的新形势和新需求。随着信息技术的飞速发展、知识快速更新的新形势和终身自主学习的新需求推动,各种在线学习平台如雨后春笋般的发展起来,如edX、Coursera、MIT Open Courseware、Stanford Online、MOOC、ITS、腾讯课堂、百度传课、智学网和淘宝教育等等。在线学习(E-Learning)、开放学习(Open-Learning)为实现“人人皆学、处处能学、时时可学”和终身学习,为教育优质均衡发展和实现教育公平提供了技术上的保证;对于构建学习型社会,促进人的素质的全面提高,也具有重要的意义。

虽然在线学习所具有的开放性、在线性为学习者提供不受时空限制的学习机会,允许具有不同教育背景 and 不同学习能力的学习者随时参与一门课程学习。但是这种在线学习方式,使得师生时空分离,导致学习过程中学生与课程教师之间缺乏面对面的互动,教师难以判断学生是否感到课业太容易、内容是否乏味,难以评估学生学习过程参与质量,难以针对不同层次水平的学习者,提供个性化学习服务;其次,在线学习的课程内容缺乏结构性知识,而在线学习环境对学习者获取、组织和加工信息能力的高要求,与人类认知系统本身容量限制之间的不匹配,又容易导致学习者(尤其是中小学生的)学习迷航和认知负荷超载[1];再者,这种高度自由的在线学习方式导致学习者对学习时间安排不知所措,无法利用零碎的时间按计划进行学习[2],学习时间安排不合理,学习过程中遇到困难也得不到及时帮助[3],容易导致学习者产生挫败感。

由于中小学生学习能力的不足,针对众多的学习资源,难以准确地筛选出符合自己学习需求的资源,更需要一种能够为中小学生学习提供个性化服务的在线学习平台。因此,如何进行在线课程内容的科学组织,如何帮助学生管理时间、规划学习路径、提高学习动机、实现自我导向学习,如何帮助教师分析和评估学生的学习过程质量,并根据学生的学习状态进行动态调整,以便提供个性化的在线学习服务,是中小学在线学习平台亟需解决的关键问题。知识地图以可视化的方式对学科知识结构及其内在关系进行表征,在国际上得到了学习者和教师的普遍认可[4]。因此,本文提出基于学科知识地图的思路进行在线课程内容组织,即:以学科知识地图中的学科知识点为基础,建立在线课程内容与学科知识地图中学科知识点之间的关联,然后结合学习者在学科知识点上的学习状态,最终实现个性化的课程内容组织及学习资源推荐服务。本文后续安排如下:第二节介绍了知识地图的基本概念及构建方法,第三节构建了一个基于知识地图的中小学个性化在线学习服务模型,第四节是以初中数学学科为例,构建初中数学学科知识地图,并设计了一个初中数学个性化在线学习平台。

2. 知识地图及其构建方法

知识地图最早是由英国情报学家布鲁克斯(B. C. Brooks)在其经典著作《情报学基础》中提出的概念[5]。布鲁克斯认为,知识地图是描述某一学科内容客观知识之间联系的图形化表示形式,其中的每个节点都是粒度不同的客观知识内容的抽象表示[6]。通过分析、筛选文献逻辑内容,可以将人类的客观知识以各个知识单元概念为结点,绘制出有机的学科知识地图。绘制出的知识地图具有知识管理、学习导航和学习评估等功能。知识管理方面,如果将知识节点视为具体学习资源的入口,那么知识地图就是所有学习资源入口的集合,知识地图将这些入口集中起来,实现知识的智能管理和导向,缩短了用户寻找具体知识内容的时间;学习导航方面,知识地图的前驱、后继或并列的知识网络直接影响学习者对学习内容的先后学习顺序;学习评估方面,学习者对学习资源的学习次数以及学习效果都可以借助知识地图标记并显示出来,方便学习者针对性训练和巩固性学习。正是由于知识地图的上述功能,使得知识地图在不同领域有着广泛的应用,并成为一种重要的知识管理技术与工具。它不仅能够直观解读显性知识,还能够有效挖掘隐性知识。因此,知识地图日益成为科学计量学及相关学术研究领域共同关注的前沿学术领域之一[5]。

鉴于知识地图有多方面的功能以及在不同领域的广泛应用,知识地图的构建方法研究一直受到学术界的普遍关注。付旭雄、司莉、刘红晶等人按照知识地图构建的步骤,对知识地图的构建原理与方法进行了总结[7] [8] [9];国内外学者基于不同视角和知识地图构建的不同阶段提出了适合特定需要的一套知识地图构建原则与方法,主要有:三阶段法[10]、三层次法[11]、四阶段法[12]、六步法[13]、七步法[14]、九步法[15]、新九步法[16]、十一步法[17]。总体来看,知识地图的构建过程包括最为关键的四个环节,即知识的挖掘(或提取)、知识之间关系的建立、知识及其关系的可视化、知识及其关系的持续更新。同时,针对不同的领域,需要遵循相应的构建原则,如面向关联数据的知识地图构建需要遵循指向、跨域、动态和按需服务的原则[18];个人知识地图的构建则需要考虑将个人的兴趣爱好纳入知识地图生成过程之中[19];一般知识地图构建需要满足直观信息量少,维护成本低,具有长远发展策略等原则[8]。实际构建技术方面, Lee 提出基于 TF/IDF 规则的文本挖掘技术,为在线学习设计自动化构建领域知识地图的方法[20];毕强等人提出基于本体技术,以数字信息资源组织的多领域本体语义互联为切入点,构建基于知识地图的多领域本体语义互联框架模型[21]。

本文针对中小学课程内容实际情况,结合个性化在线学习服务的需求,按如图 1 所示流程进行知识地图的构建。整个流程分为四个环节八个步骤,即:1) 知识挖掘环节,包括课程知识点划分、知识抽取、知识分解与合并三个步骤;2) 知识关系建立环节,包括知识点分层、知识关联分析、知识点关系分析三

个步骤; 3) 知识地图可视化环节, 主要对抽取的知识和知识间的关系用可视化工具进行可视化; 4) 知识地图维护环节, 主要是对知识地图中的知识进行分解或合并、知识间的关系进行调整、添加知识节点或知识间关系到知识地图中。知识地图构建流程图中, 知识抽取、知识分解与合并两个步骤是一个反复迭代的过程, 整个知识地图构建流程图也可以看成是一个反复迭代、修正和调整的过程。本文构建的知识地图形式上如图 2 所示, 其中带方向的连线表示知识之间有先后序关系。

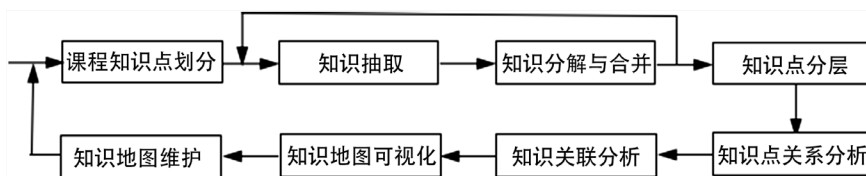


Figure 1. Knowledge map construction flow chart

图 1. 知识地图构建流程图

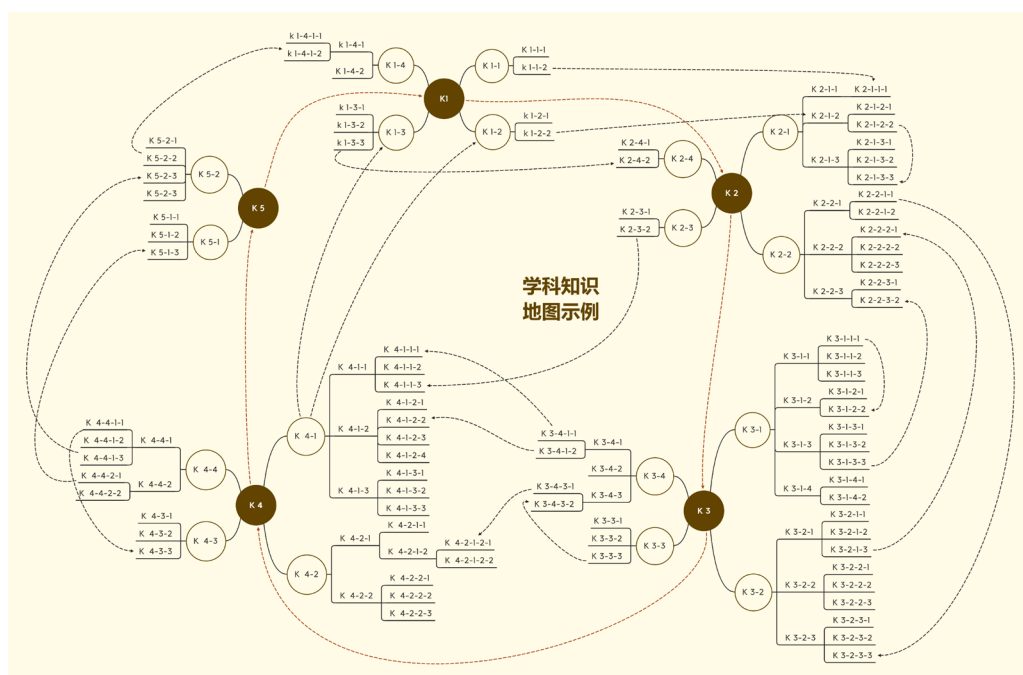


Figure 2. Example of subject knowledge map

图 2. 学科知识地图示例

3. 基于知识地图的中小学个性化在线学习服务模型

中小学个性化在线学习服务, 本质上是根据中小学生学习需求, 按科学合理的顺序, 将学科学习资源推荐给学生进行学习或者练习, 避免中小学生在在线学习过程中出现学习迷航和认知负荷超载问题。这里的个性化学习资源推荐, 关键是要对学习资源与学习者关系进行分析。对于特定的学习者, 要从学习需求、能力水平和当前学习状态等方面进行分析; 而对学习资源, 则可以通过知识地图来对资源进行梳理、标记和排序。对学习者的学习状态和学习资源的属性分析后, 个性化推荐系统按照一定的算法将学习资源进行适应度计算, 然后推荐排前 TopK 个适应度值高的学习资源给学习者。因此, 整个个性化在线学习服务模型分成三大模块: 学习者学习状态分析模块、学习资源属性分析模块、适应度计算及个性化推荐模块, 服务模型如图 3 所示。

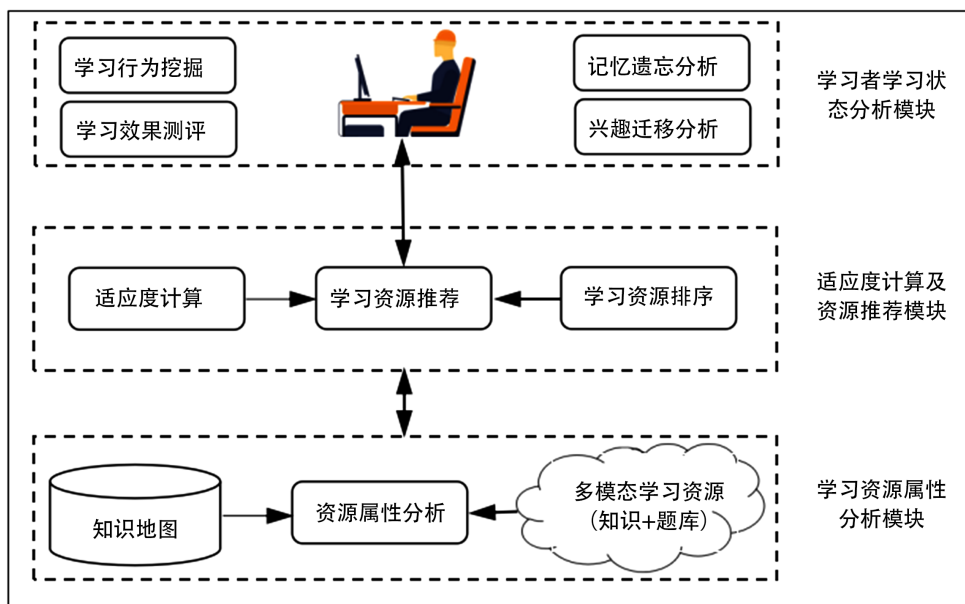


Figure 3. Personalized online learning service model
图 3. 个性化在线学习服务模型

3.1. 学习者学习状态分析

为了进行个性化学习资源推荐，首先要知道学习者的当前状态和需求。学习者的当前状态有静态信息和动态信息两类来反应，其中静态信息主要是学生的姓名、年龄、性别、背景和学习年级等；动态信息主要有兴趣爱好、认知结构、学习能力、学习历史、学习行为等。静态信息相对稳定，因此，在个性化学习资源推荐的任务中，主要分析学习者的动态信息，以实现对用户感知。

对于学习者的学习能力分析，可以通过对学习者的历史学习情况和做题结果进行挖掘，对用户进行聚类，用项目反应理论(IRT) [22]对每一类用户的学习和测试情况进行能力水平估计，而对一特定用户，将其所属类用户的学习能力水平作为当前被试用户的能力水平予以估计；随着用户的持续学习，用户的认知能力可能会提高，如果停止学习，有可能导致认知能力会逐渐减弱，可以借鉴皮尔(Pearl)生长曲线规律(见图 4)，来进行用户认知结构建模；用户具有的某个兴趣如果没有受到外界刺激，可能会随时间增长慢慢淡化，而另一方面兴趣如果有外界因素的刺激，将导致用户兴趣迁移，因此可以借鉴艾兵浩斯(Ebbinghaus)记忆 - 遗忘曲线规律(见图 5)，来进行兴趣迁移建模，而知识点的遗忘规律则直接用艾兵浩斯(Ebbinghaus)记忆 - 遗忘曲线建模；关于学习者学习效果测评，可通过对历史学习和做题得分进行分析，用各种难度(参数为 b)知识点学习的学习时间(T_1)、知识点测试时间(T_2)、学习质量(Q)，可以用测试得分来描述)等学习速度和效果数据，构建基于认知水平 θ 和学习行为的知识学习效果测评模型，如下式(1)所示。

$$\hat{Q}_k = \frac{1}{e^b \log(b+e)} \left(\lambda_1 \theta + \lambda_2 \frac{T_1}{\bar{T}_1} + \lambda_3 \frac{\bar{T}_2}{T_2} \right) \quad (1)$$

上述模型中， θ 表示学习者的能力/认知水平($0 \leq \theta \leq 1$)， b 表示知识点 K 的难度系数($0 \leq b \leq 1$)， λ_1 、 λ_2 、 λ_3 为权重系数且 $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ ， T_1 为用户在知识点 K 上的学习时间， \bar{T}_1 为所有用户在知识点 K 上的平均学习时间， T_2 为用户在知识点 K 上的测试花费时间， \bar{T}_2 为所有用户在知识点 K 上的平均测试花费时间， \hat{Q}_k 为用户在知识点 K 上的学习效果测评值。

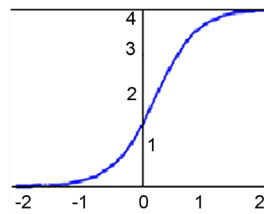


Figure 4. Pearl growth curve
图 4. 皮尔(Pearl)生长曲线

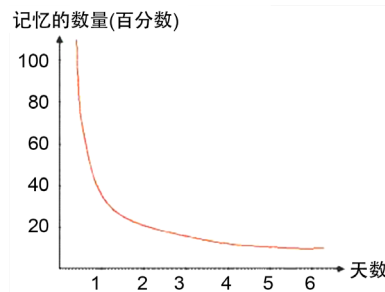


Figure 5. Ebbinghaus forgetting curve
图 5. 艾兵浩斯(Ebbinghaus)记忆 - 遗忘曲线

3.2. 学习资源属性分析

对于学习资源, 必须结合构建的知识地图, 来标记每个资源属于知识地图中定义的哪些知识点, 即: 将学习资源与知识地图中的知识点关联起来, 因此可以将学习资源所属的知识点标记问题看成是分类问题, 用机器自动分类方法进行学习资源的分类和知识点标记。如图 6 所示, 学习资源 S1、S2、...、S13 分别被标记为属于 K1-2-1、K2-1-2-1、...、K2-2-2-3 等知识点。同时, 结合知识点的难度和以往学生的历史学习情况, 用项目反应理论(IRT) [22]来标记每个资源的难度系数参数, 并对学习资源进行排序。

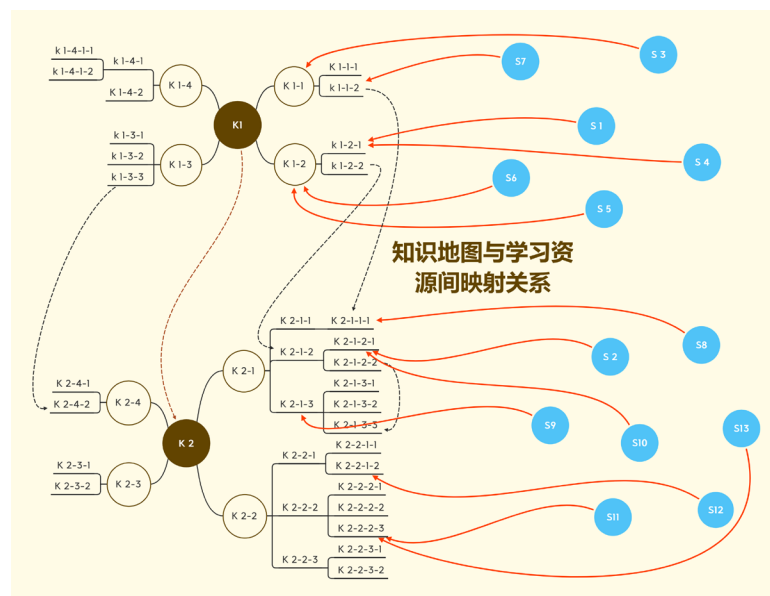


Figure 6. Example of knowledge point mapping relationship between learning resources and knowledge map
图 6. 学习资源与知识地图中的知识点映射关系示例

3.3. 适应度计算及个性化推荐

学习资源是否适合学习者学习,从直观上看应该是学习资源的难度是否与学习者的能力相匹配,太难的学习资源给能力水平低的学习者是不合适的,同样,太容易的学习资源给能力水平高的学习者也是不合适的,只有学习资源的难度系数跟学习者的能力相匹配时,才是适应度值高的资源。因此,假定已经获得了学习者认知结构或能力水平参数 θ 和学习资源的难度参数 b ,本文定义如下式(2)所示的适应度计算函数,以便计算候选学习资源对学习者的适应度。

$$f(\theta, b) = e^{-(\theta-b)^2} \quad (2)$$

式(2)中, $0 \leq \theta \leq 1$, $0 \leq b \leq 1$ 。适应度函数 $0 < f(\theta, b) \leq 1$, 其图形如图 7(a)所示, 当 $f(\theta, b) = 1$ 时, 表明该学习资源恰好适合当前学习者进行学习或训练; 当参数 $\theta > 0.5$ (即学习者的能力水平较高) 而参数 $b < 0.5$ (学习资源比较容易) 时, 或者反之, 参数 $\theta < 0.5$ (学习者能力水平较低) 且 $b > 0.5$ (学习资源比较难), 其适应度值都较小, 这均表明学习资源不适合学习者。当函数 $f(\theta, b)$ 的参数 $\theta = 0.5$ 或参数 $b = 0.5$ 时, 其图形如图 7(b)和图 7(c)所示。

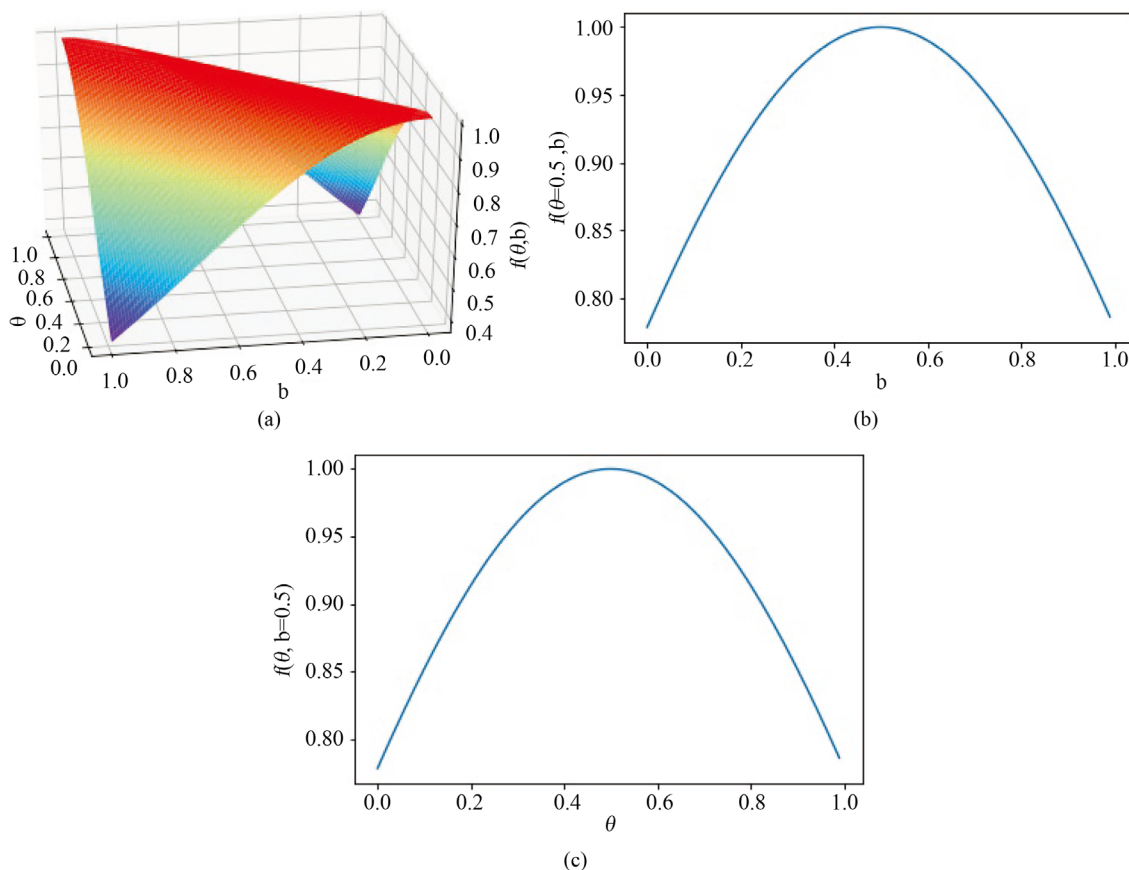


Figure 7. Fitness calculation function curve
图 7. 适应度计算函数曲线

为了进行资源的个性化推荐,首先,根据学习者的历史学习情况,利用知识地图从中找到已经学习完的知识点,结合当前用户在线学习效果评估结果情况以及知识记忆遗忘预测情况,筛选出可后续学习的知识点;其次,根据知识点与学习资源之间的映射关系,搜索出对应的学习资源,并根据上述式(2)的

学习资源适应度计算函数计算每个资源与当前用户的适应度值，然后选出前 TopK 个适应度值高的学习资源推荐给学习者。资源的个性化推荐流程如下图 8 所示。

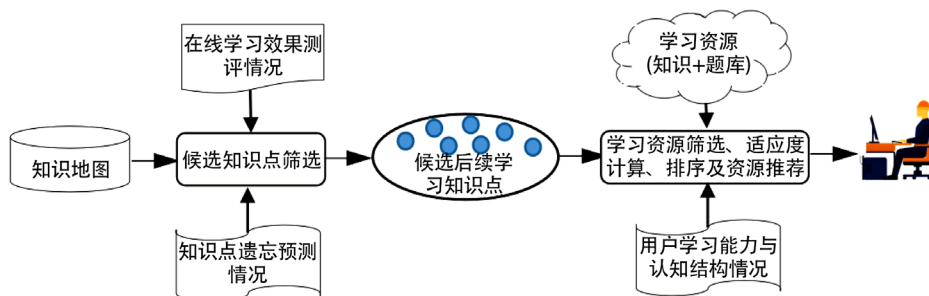


Figure 8. Personalized recommendation process of learning resources based on knowledge map
图 8. 基于知识地图的学习资源个性化推荐流程

4. 初中数学学科知识地图构建及其个性化在线学习平台设计

“数学是现实世界中最一般的量与空间形式的科学，也是现实世界中最具有特殊性、实践性及多样性的量与空间形式的科学”，这决定了数学具有高度的抽象性、严谨的逻辑性和应用的广泛性[23]。初中数学教学虽然是基础性教学，但由于它是实现小学到高中的过渡阶段，也是从小学对事物的浅层认识转化到高中的抽象思维的一个重要阶段，难免会出现数学学习的一些困难。本文针对初中数学学科学习的重要性，提出在传统线下教学的基础上，构建初中数学学科知识地图，以便拓展线上的数学学科个性化在线学习服务，为落后地区教育均衡发展提供技术解决方案。

本文采用前述知识地图构建方法，对初中数学学科的知识点进行了分析，对所有知识点进行了分解和合并、知识点分层与知识点关系分析，并用可视化工具进行了知识地图的可视化，最后构建出如下图 9 所示的初中数学学科知识地图(部分知识点对应的知识地图)。

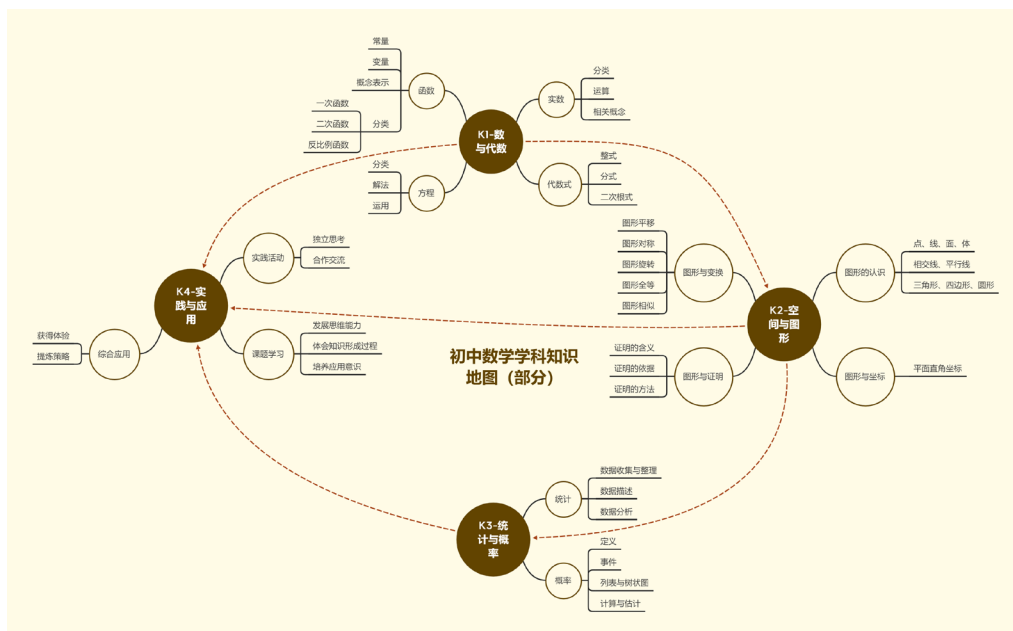


Figure 9. Example of middle school mathematics subject knowledge map
图 9. 初中数学学科知识地图示例

为了实现基于知识地图的初中数学个性化在线学习服务, 本文设计了一个面向初中数学学习的个性化在线学习平台, 平台总体架构如下图 10 所示。平台架构包括基础设施层、数据资源层、基础服务层、应用业务层和系统用户层。平台采用 B/S 架构, 服务器端采用 Java 语言进行开发, 用 Spring 完成配置文件和分层模式的统一化体系管理, 用 SpringMVC 完成前后台数据交互。数据存储分别使用 SQL Server 关系数据库和 Neo4j 图数据库。前端页面使用 JavaScript + CSS + HTML 技术进行开发, 目前已经开发完成原型软件, 并部署上线提供试用服务。

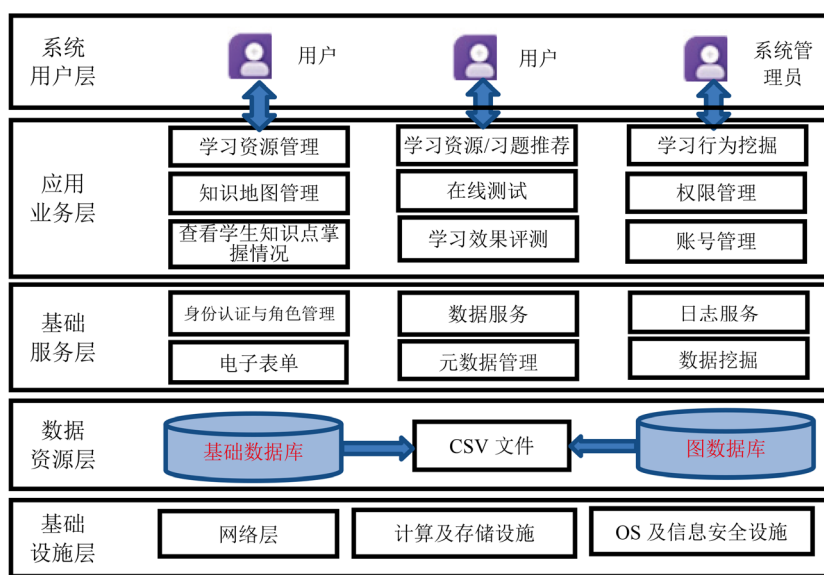


Figure 10. The overall architecture of personalized online learning platform for junior middle school mathematics

图 10. 初中数学个性化在线学习平台总体架构图

5. 结束语

针对中小学生在在线学习过程中存在的学习迷航、认知负荷超载以及学习安排不合理等问题, 作者提出基于学科知识地图的思路进行在线课程内容组织, 即: 以学科知识地图中的学科知识点为基础, 建立在线课程内容资源与学科知识地图中学科知识点之间的关联, 然后结合学习者在学科知识点上的学习状态, 最终实现个性化的课程内容组织及其学习资源推荐服务。论文在现有知识地图构建方法基础上, 提出了四环节八步骤的知识地图构建方法, 构建了基于知识地图的中小学个性化在线学习服务模型, 提出了基于学习者能力水平的学习资源适应度计算方法, 并以初中数学学科为例, 构建了初中数学学科知识地图, 设计了面向初中数学学习的个性化在线学习平台, 开发了相应的软件原型系统。未来的主要工作是将原型系统进行完善, 并正式上线提供个性化在线学习服务。

基金项目

本文系国家自然科学基金面上项目“面向在线智慧学习的多模态学习资源组织与个性化推荐服务研究”(课题编号: 61877031)研究成果。

参考文献

- [1] Park, J.H. and Choi, H.J. (2009) Factors Influencing Adult Learners' Decision to Drop Out or Persist in Online Learning. *Journal of Educational Technology & Society*, **12**, 207-217.

- [2] Belanger, Y. and Thornton, J. (2013) Bioelectricity: A Quantitative Approach. http://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/6216/Duke_Bioelectricity_MOOC_Fall2012.pdf
- [3] 任友群, 徐世猛. 开放课程的探索与思考——从学习者、决策者到建设者[J]. 现代远程教育研究, 2013(5): 3-10.
- [4] 万海鹏, 李威, 余胜泉. 大规模开放课程的知识地图分析——以学习元平台为例[J]. 中国电化教育, 2015(5): 30-39.
- [5] 牛根义. 国外知识地图研究综述[J]. 农业网络信息, 2016(9): 73-79.
- [6] 陈强, 廖开际, 奚建清. 知识地图研究现状与展望[J]. 情报杂志, 2006, 25(5): 43-46.
- [7] 付旭雄. 基于关联数据的知识地图中知识链接构建研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2012.
- [8] 司莉, 陈欢欢. 国内外知识地图研究进展[J]. 图书馆杂志, 2008, 27(8): 13-17.
- [9] 刘红晶, 谭良. 基于教师视角的 SPOC 课程知识地图构建方法研究[J]. 电化教育研究, 2017, 38(9): 64-70.
- [10] Mansingh, G., et al. (2009) Building Ontology-Based Knowledge Maps to Assist Knowledge Process Outsourcing Decisions. *Knowledge Management Research and Practice*, 7, 37-51. <https://doi.org/10.1057/kmrp.2008.37>
- [11] Liu, L., et al. (2009) A Method for Enterprise Knowledge Map Construction Based on Social Classification. *Systems Research and Behavioral Science*, 26, 143-153. <https://doi.org/10.1002/sres.960>
- [12] Lecocq, R. (2006) Knowledge Mapping: A Conceptual Model. Defence R&D Canada—Valcartier Technical Report.
- [13] Kim, S., et al. (2003) Building the Knowledge Map: An Industrial Case Study. *Journal of Knowledge Management*, 7, 34-45. <https://doi.org/10.1108/13673270310477270>
- [14] Pei, X. and Wang, C. (2009) A Study on the Construction of Knowledge Map in Matrix Organizations. *International Conference of Knowledge Management and Information Retrieval*, Beijing, 20-22 September 2009, 1-5.
- [15] Vail III, E.F. (1999) Knowledge Mapping: Getting Started with Knowledge Management. *Information Systems Management*, 6, 16-23. <https://doi.org/10.1201/1078/43189.16.4.19990901/31199.3>
- [16] Zhao, G., et al. (2013) Construction of Intelligence Knowledge Map for Complex Product Development. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 6, 82-87. <https://doi.org/10.25103/jestr.063.15>
- [17] Bargent, J. (2002) 11 Steps to Building a Knowledge Map. http://www.providersedge.com/docs/km_articles/11_Steps_to_Building_a_K_Map.pdf
- [18] 朝乐门, 张勇, 邢春晓. 面向开放关联数据的知识地图研究[J]. 图书情报工作, 2012, 56(10): 17-24.
- [19] Novak, J., Wurst, M., Fleischmann, M. and Strauss, W. (2014) Discovering, Visualizing, and Sharing Knowledge through Personalized Learning Knowledge Maps. *International Symposium on Agent-Mediated Knowledge Management*, Stanford, 24-26 March 2014, 213-228. http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24612-1_15
- [20] Lee, J.H. and Segev, A. (2012) Knowledge Maps for e-Learning. *Computers & Education*, 59, 353-364. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.01.017>
- [21] 毕强, 韩毅, 牟冬梅. 基于知识地图的多领域本体语义互联研究[J]. 情报科学, 2009, 27(3): 321-325.
- [22] 戴海琦, 罗照盛. 项目反应理论原理与当前应用热点概览[J]. 心理学探新, 2013, 33(5): 392-395.
- [23] 张燕州, 王培麟. 高等数学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.