

电子书包中基于学习者模型的 个性化学习资源推荐研究

牟智佳, 武法提

(北京师范大学 教育技术学院, 北京 100875)

[摘要] 通过对电子书包学习系统的划分和系统数据库的功能分析,建立电子书包学习系统数据库的层级结构。在此基础上,以学习者个性信息特征为分析维度,构建了基于电子书包学习系统数据库的学习者模型。从技术层面对个性化推荐系统的基本思想进行了介绍,并对各自优缺点进行了对比分析,进而提出通过采用混合式推荐系统,将多个推荐系统单元组合在一起,以适应不同条件下的推荐要求。最后,以学习者模型为分析对象,以个性化推荐系统为技术支持,设计了基于学习者模型的个性化学习资源推荐框架,并对四类个性化学习资源推荐实现过程及算法进行了分析,以期后面基于电子书包的个性化推荐系统设计提供解决思路。

[关键词] 电子书包; 学习者模型; 推荐系统; 学习资源; 个性化学习

[中图分类号] G434 **[文献标志码]** A

[作者简介] 牟智佳(1987—),男,山东栖霞人。博士研究生,主要从事数字化学习技术与环境研究。E-mail: ambitionyt@163.com。

一、问题的提出

促进学生的个性化学习既是教学实践的终极目标,也是教育理论研究的内在旨趣之一。教育的作用和价值主要体现为教育者知识与受教育者个性的交融,最终将学生的个性优势引发出来^[1]。教育部颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》在第十一章“人才培养体制改革”中提出注重因材施教,关注学生不同特点和个性差异,发展每一个学生的优势潜能^[2]。当前,移动技术和工具的快速发展和应用普及为支持学生的个性化学习提供了有力的保障。电子书包作为一种支持学生开展数字化学习的工具,在个性化和按需服务方面有着独特的优势。然而,要满足学生的个性化学习需求并支持学生的个性发展,须为其提供符合其个性特征的学习资源。而数字化教与学资源经过数年的发展,呈现出数量繁多、类型多样和

非线性呈现等特征,如何基于电子书包在分析学习者个性化特征的基础上,为其提供个性化学习资源推荐,成为一对一数字化学习环境下解决学生个性化学习的一个重点和难点。在移动学习的时代背景下,亟须调整构建教育资源推送平台的既有思路,以满足学习者在移动学习过程中的个性化需求^[3]。本研究通过对学生在数字化学习环境下所表现的个性特征进行分析并建立学习者模型,在此基础上对基于电子书包的个性化推荐系统进行比较和分析,最后基于学习者模型和推荐系统构建个性化学习资源推荐框架,为今后开发基于电子书包的个性化学习资源推荐工具提供模型依据。

二、电子书包学习系统数据库的结构和学习者模型

(一)电子书包学习系统数据库的层级结构

电子书包系统数据库承载着学习者运用电子书

基金项目:2014年北京师范大学自主科研基金项目“电子书包中基于大数据的学生个性化信息挖掘与应用研究”(项目编号:705-105580GK);北京师范大学教育学部学生科研基金资助项目“教育大数据支持下的个性化学习分析工具设计与应用研究”(项目编号:15-03-02)

包开展个性化学习所产生的个性语义信息。因此,要为学习者提供个性化学习资源推荐服务,就需要电子书包系统数据库的支持,其作用表现在两个方面:一是记录、收集和汇聚学习者在学习过程中所产生的个性且有意义的行为数据,并将各类数据进行语义关联使其表征为学生的个性信息;二是依据分析得到的学生个性信息,采用相关推荐系统为学习者提供个性化学习资源推荐服务。当前,不同地区电子书包试点学校所采用的终端设备和系统平台表现不一,存在区域性差异,且各专家对电子书包系统功能认识不一。例如,Chih-Yung Chang 等认为电子书包具有整合笔记本、教科书、教学材料、电子书籍、数字学习资源、学习评估报告、教学应用模式、信息集、学习工具集、课堂练习等八个方面的功能^[4];胡小勇等认为电子书包教学功能包括丰富的教学资源、完善的师生交互平台、个性化学习指导和学习过程的记录与评价^[5];刘繁华等认为电子书包系统主要由学习终端、学习资源(包括课程库、学习工具库、试题库和教育游戏库)和服务平台构成^[6]。综合各类电子书包所具有的系统功能,我们从学习者的视角出发,归类总结电子书包学习系统应包括电子教材系统、作业与考试系统、数字资源系统、互动交流系统、电子档案袋系统、教育应用软件等

子系统,这些系统通过进一步归类可由五类数据库记录信息,即电子教材系统数据库、作业与考试系统数据库、数字资源系统数据库、互动交流系统数据库和电子档案袋系统数据库。

基于上述分析,结合电子书包学习系统的功能,我们建立了电子书包学习系统数据库的层级结构,如图 1 所示。从横向层级来看,顶层的电子书包学习系统数据库是由第二层的五大子系统数据库构成,其中电子档案袋系统数据库是与电子教材系统数据库、作业与考试系统数据库、数字资源系统数据库、互动交流系统数据库互联互通,其功能是将其他系统数据库的信息进行汇总并进行语义关联。中层的系统数据库是由底层的各项学习记录信息构成,其中电子教材系统数据库包括交互式电子教材学习记录、知识点管理记录和社会性阅读学习记录;作业与考试系统数据库包括作业练习记录、错题本记录和考试测评记录;数字资源系统数据库包括微视频学习记录、数字网络课程学习记录和各类电子文档学习记录;互动交流系统数据库包括学习者讨论答疑记录、学习社区活动记录和家校互动记录;电子档案袋系统数据库包括学籍档案、学习档案和作品档案,而学习档案则是对学习者在各类学习系统中的学习

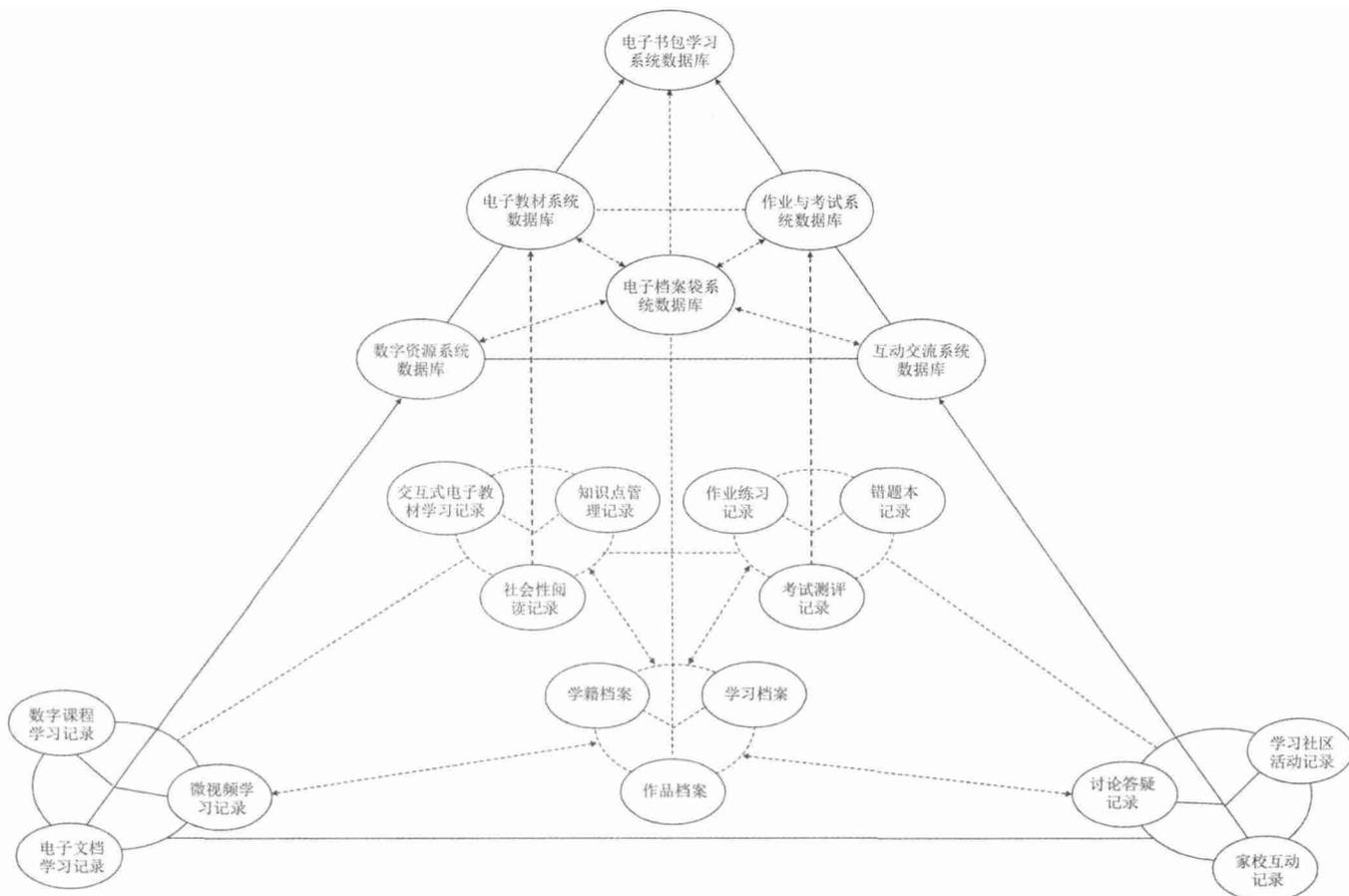


图 1 电子书包学习系统数据库的层级结构

行为进行记录。从纵向数据信息流来看,底层记录了学习者在各类子系统所产生的个性学习行为信息;中层则是对底层的个性数据信息进行收集并向上汇聚,进一步形成系统数据库并使各类数据信息进行关联,最终形成关联数据;顶层则是对中层形成的关联数据进行解析,形成学习者的个性化信息,为后面提供个性化学习资源服务提供指导。

(二) 基于电子书包学习系统数据库的学习者模型

在建立电子书包学习系统数据库之后,要实现个性化学习资源推荐,需要依据学习者的个性特征信息提供不同的支持服务。因此,建立学习者模型记录学生的个性化信息是提供个性化学习资源服务的前提保障。依据电子书包学习系统数据库所承载的数据信息,我们构建了基于电子书包学习系统数据库的学习者模型,如图2所示。该模型的一级分类是参照中国网络教育技术标准体系(CELTS, Chinese E-Learning Technology Standards)中的《学习者模型规范 CELTS-11》分类标准,它是教育应用层面支持教育资源共享、信息交换和系统互操作能力的统一的技术标准,是为任何年龄、背景、地区的学习者基于本规范创造和建

立一个个人学习者模型^[7]。在一级分类层面上,依据《学习者模型规范 CELTS-11》分类,结合电子书包学习系统所能记录的个性信息,我们将学习者信息分为个人信息、学业信息、关系信息、偏好信息、绩效信息和作品集信息等六大类。

在二级分类层面上,依据学习者特征信息和电子书包学习系统所支持的记录功能,对前面六大类信息进行再次划分。其中,个人信息指学习者的身份信息和个人特质,它包括身份信息、个人简介、业余爱好和健康档案;学业信息指与学习者相关的学籍、成绩、学习计划和获得奖励等方面的信息,它包括学籍档案、学业成绩、学习计划和获奖证书;关系信息指学习者的社会网络关系,它包括师生关系和个人社交网络关系;偏好信息指学习者在学习过程中所表现出的学习偏好和能力特质,它包括学习方式偏好、学习资源偏好、学习风格和认知能力;绩效信息指学习者在电子书包学习系统中所完成的学习内容,它包括电子教材学习进度、作业与考试完成进度、数字资源学习进度、讨论答疑频度等,其中电子教材学习进度包括知识点学习进度、学习笔记录进度和社会性阅读进度,作业与考试完成进度包括作业练习完成度、考试测评完成

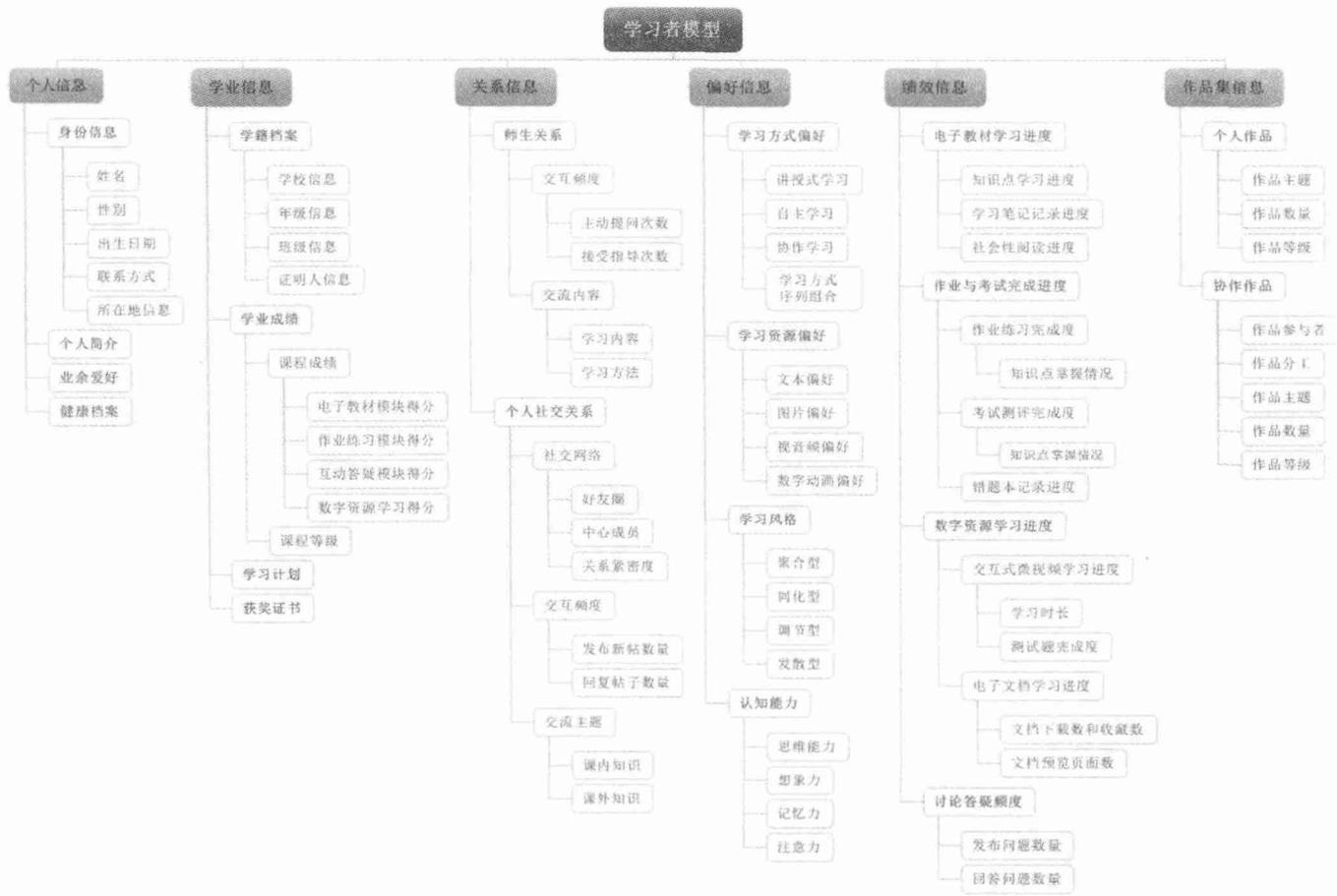


图2 基于电子书包学习系统数据库的学习者模型

度和错题本记录进度,数字资源学习进度包括交互式微视频学习进度、电子文档学习进度,讨论答疑频度包括学习者发布的问题数量和回答的问题数量;作品集信息指学习者完成的个人和小组作品,它包括个人作品和小组协作作品,其中个人作品包括作品主题、作品数量和作品等级,小组协作作品包括作品参与者、作品分工、作品主题、作品数量和作品等级。

三、个性化推荐系统的基本思想及比较分析

(一)个性化推荐系统及其基本思想

推荐系统是将畅销物品展现给浏览用户的一种软件系统,其主要特点是由服务器主动发送信息^[8]。而个性化推荐是依据不同用户的个人偏好推荐不同的物品内容,它需要开发并维护一个用户模型或用户记录以保存用户的个人偏好。实际上,个性化推荐可以看作是一个映射问题,其目标是建立用户需求与物品特征相映射的二元关系^[9]。目前较为成熟的个性化推荐系统包括协同过滤推荐、基于内容的推荐和基于知识的推荐。这三类个性推荐系统的内涵及其基本思想如下所述^[10]。

1. 协同过滤推荐

协同过滤推荐的基本思想是利用已有用户群过去的行为或意见预测当前用户最可能感兴趣的物品^[11],其输入数据只需给定的用户—物品评分矩阵,输出数据包括表示当前用户对物品喜欢或不喜欢程度的预测数值和N项推荐物品的列表。协同过滤推荐包括基于用户的最近邻推荐和基于物品的最近邻推荐。基于用户的最近邻推荐的主要思想是首先将一个评分数据集和当前用户的ID作为输入,找出与当前用户过去有相似偏好的其他用户,这些用户被称为对等用户或最近邻;之后,对当前用户没有见过的物品P,利用其近邻对物品P的评分计算预测值。基于物品的最近邻推荐主要思想是利用物品间相似度,而不是用户间相似度来计算预测值,物品的相似度度量标准一般采用余弦相似度。由于协同过滤推荐算法依赖的是用户对物品的得分,与资源的内容或形式无关,这一特点使得其不仅适用于文本类资源,而且还对视音频、动画等多媒体资源具有同样的推荐效果^[12]。

2. 基于内容的推荐

基于内容的推荐是将物品特征和用户偏好匹配起来,它只需要两类信息就能实现推荐:物品特征的描述和描述用户兴趣的个人记录。尽管这种推荐方法依赖关于物品和用户偏好的额外信息,但它不需要巨

大的用户群体或评分记录,即一个用户也可以产生推荐列表。基于内容的推荐主要包括基于内容相似度检索和基于概率的方法。基于内容相似度检索是推荐与用户过去喜欢物品的相似物品,在衡量两个文档相似度方面,其与协同过滤推荐中的最近邻计算方法一样。基于概率的方法采用服从条件独立假设的朴素贝叶斯方法计算词语在文档中出现的概率,再由数据的观测估算出条件概率。

3. 基于知识的推荐

基于知识的推荐是以用户需求与物品之间相似度的形式或依据明确的推荐规则而形成的一种推荐方式,它包括基于约束推荐和基于实例推荐。这两种方法在推荐过程上较为相似,即用户必须指定需求,然后推荐系统设法给出解决方案,若系统找不到解决方案,用户必须修改需求。两者的不同之处在于,基于约束的推荐系统依赖明确定义的推荐规则集合,它会在符合推荐规则的所有物品集合中搜索得出要推荐的物品集合。而基于实例的推荐系统着重于根据不同的相似度衡量标准检索与用户需求(在预定义阈值内)相似的物品。

(二)个性化推荐系统的比较分析

前面对三类个性化推荐系统进行了介绍,可以看出各类系统的基本思想和启动要求虽然存在差异,但其实现主要依赖于对“用户”与“资源”的属性描述^[13]。为了清晰展示这三类系统的特性,我们从数据要求、用户记录、物品特征和知识模型等四个方面进行比较分析,见表1。在用户模型方面,若将所有与用户和情境相关的数据都保存在用户记录中,则这三类推荐系统都需要用到用户模型才能对推荐进行个性化处理。在物品特征要求方面,基于内容推荐和基于知识推荐都依赖物品特征和文本描述。在数据要求方面,协同过滤推荐需要大量的用户数据记录,并要计算目标用户的最近邻集合^[14]。在知识模型方面,基于知识推荐要求用户在定义的阈值内明确需求,并将其映射到物品属性上,而多属性的效用机制和特定的相似度标准需要知识模型来表征。

表1 个性化推荐系统的比较分析

系统名称	用户记录及前后数据	物品特征	群体数据	知识模型
协同过滤推荐	是	否	是	否
基于内容的推荐	是	是	否	否
基于知识的推荐	是	是	否	是

通过对三类个性化推荐系统的比较分析可以看

出每种系统各有利弊。若将推荐系统看成一个黑箱,如图3所示,它能将输入数据转换成物品的有序列表再进行输出。输入数据类型可能包括用户模型和前后数据、群体数据、物品特征信息和知识模型,然而,没有一种基本算法能完全用到所有数据。因此,我们设计了一个混合式推荐系统,如图4所示,即根据输入单元中提供的不同条件选择合适的推荐系统进行处理,各推荐系统处理的结果在输出单元中分类显示。通过采用混合式推荐不仅可以在不同情境下进行推荐,而且能够发挥各推荐系统的功能优势,使推荐结果更有效。

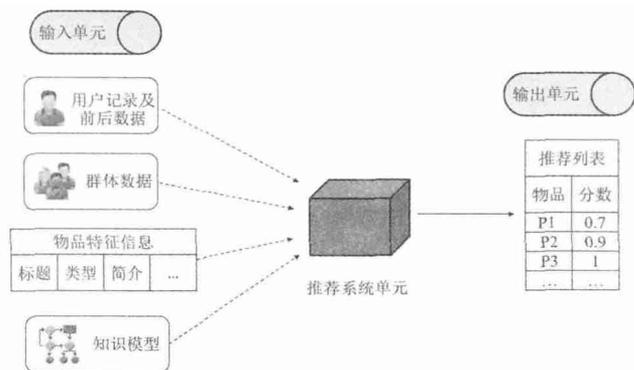


图3 个性化推荐系统的输入输出单元

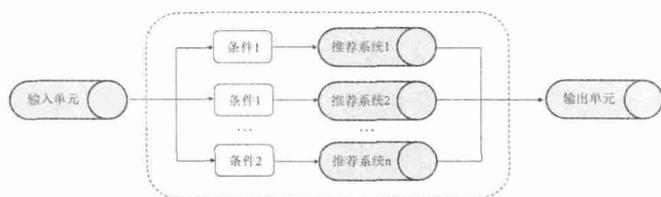


图4 混合式推荐系统设计

四、基于学习者模型的个性化学习资源推荐框架

(一)个性化学习资源推荐框架

在分析了学习者模型和个性化推荐系统之后,为了实现为学习者提供个性化学习资源推荐的目标,本研究以电子书包各系统数据库为依托,以学习者模型为分析对象,以个性化推荐系统为技术支持,设计了基于学习者模型的个性化学习资源推荐框架,如图5所示。该框架主要包括以下几个模块。

1. 个性化学习模块

该模块主要是为学习者开展个性化自主学习提供服务支持。该模块以教育云服务平台为依托,通过学习管理中心、电子教材系统、作业与考试系统、数字资源系统、互动交流系统、电子学档系统为学生提供云服务。其中电子教材系统是对交互式电子教材的阅读、记录进行管理,保存和管理学习者从客户端传送

的学习记录。作业与考试系统主要是支持学习者进行作业练习和考试评测,以及为学习者提供形成性评价和总结性评价。数字资源系统是为学习者提供丰富的学习资源,并支持学习者进行知识管理。互动交流系统是为学习者在课堂内外开展的互动答疑提供支持,同时为学习者之间的课外交流提供学习社区,以促进学习者围绕兴趣主题展开深度交流,从而形成虚拟学习共同体。电子学档系统与电子教材系统、作业与考试系统、数字资源系统和互动交流系统相互关联,该系统记录了关于学习者的个性化信息,如电子教材学习情况、作业完成情况、互动交流情况等,使家长和教师能够清晰地了解学生的学习情况与个性化特点。学习管理中心主要是融合各个子系统的功能,支持教师和学生开展各项教与学活动。

2. 学习者模型与数据库支持模块

该模块主要是依据学习者模型对学习者的不同类型的个性化信息进行分类汇聚和记录。其中个人信息、学业信息和作品信息是学习者的个人身份和成果信息,它由电子档案袋系统数据库进行收集和记录;关系信息是学习者通过师生、生生互动交流所产生的社会网络关系,它是由互动交流系统数据库收集和记录;偏好信息和绩效信息是学习者在自主学习过程中所表现出的学习偏好以及对各类知识点学习的结果表现,这两类信息是由电子教材系统数据库、数字资源系统数据库和作业与考试系统数据库收集和记录。最后,为了便于对学习者的个性化信息进行分析处理,互动交流系统数据库、电子教材系统数据库、数字资源系统数据库和作业与考试系统数据库记录的信息需要汇聚到电子档案袋系统数据库,为后面的个性化学习资源推荐做准备。

3. 个性化推荐系统模块

该模块主要是在各系统数据库的支持下,通过采用不同的推荐系统向学习者提供不同类型的学习资源推荐服务。其中基于物品的最近邻推荐是为数字资源系统提供推荐服务,推荐的内容包括重点文本资源推荐、热门视音频资源推荐、热点数字动画推荐和优秀数字课程推荐;基于用户的最近邻推荐是为互动交流系统提供推荐服务,推荐的内容包括热门话题推荐、精彩回答推荐和兴趣主题推荐;基于内容相似度的推荐和基于概率的推荐是为电子教材系统提供推荐服务,包括推荐新版电子教材、优秀学习笔记和重点知识点等;基于约束的推荐和基于实例的推荐是为作业与考试系统提供推荐服务,包括推荐知识点练习、考试题和易错题等。通过上述推荐系统与电子书

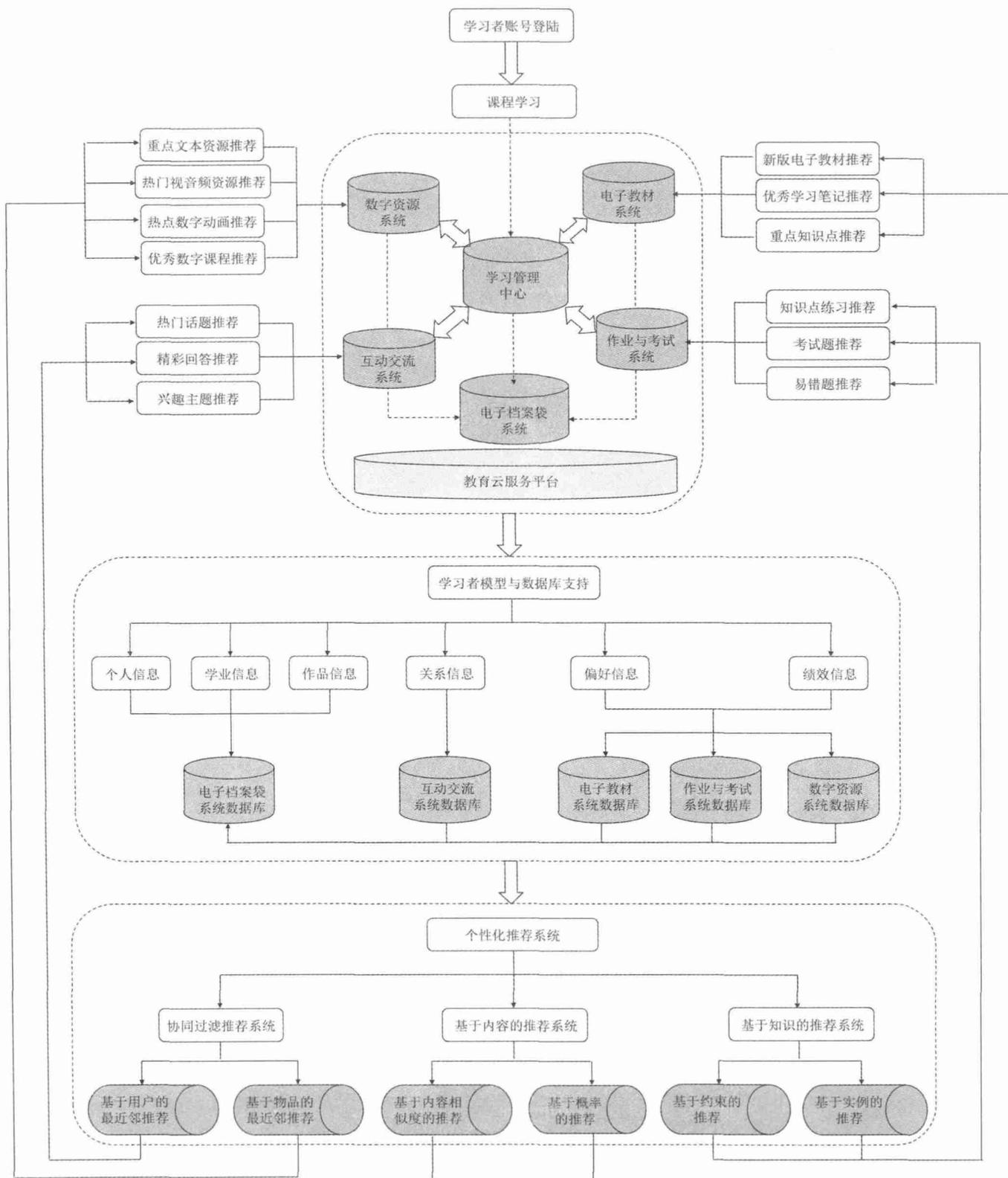


图5 基于学习者模型的个性化学习资源推荐框架

包学习系统的无缝对接,实现学生基于教育云平台的个性化学习。

(二)个性化学习资源推荐实现过程及算法

1. 基于物品最近邻推荐系统的数字资源推荐

实现该类推荐的过程是先确定不同类型学习资源

的评分向量,如表2中的学习者L1、L2和L3对资源R1到资源R4的评分值,依据相近资源评分值确定学习者对新的资源的评分值。在本例中,我们发现资源R4的评分(5,3,4)与资源R3的评分(5,4,3)相近,那么根据学习者L4对资源R3的评分值来推断

其对资源 R4 的评分值可能是 2。相似度实现的算法是,将资源 a 与资源 b 用对应的评分向量 a 和 b 表示,计算公式为 $\text{sim}(\vec{a}, \vec{b}) = \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| \times |\vec{b}|}$, 符号·表示向

量间的点积, $|\vec{a}|$ 和 $|\vec{b}|$ 表示向量自身点积的平方根。计算之后的相似度值介于 0 和 1 之间,越接近于 1,表示越相似。根据学习者对相近资源的评分值决定是否偏好新的资源,进而决定是否将新的资源列入推荐列表中。

表 2 学习者对学习资源的评分数据

	资源 R1	资源 R2	资源 R3	资源 R4
学习者 L1	1	3	5	5
学习者 L2	4	5	4	3
学习者 L3	5	4	3	4
学习者 L4	5	3	2	X

2. 基于用户最近邻推荐系统的互动主题推荐

实现该类推荐的过程是首先确定同类或相似学习者集,将相似学习者浏览的话题和参与讨论的主题推荐给同类学习者。其算法是,用 $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ 表示学习者集,用 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ 代表主题集,用 R 代表学习者对话题或回答评分项 $R_{i,j}$ 的 $n \times m$ 评分矩阵,分值定义为从 1(较差)到 5(较好)^[15]。若某个学习者没有对话题或回答进行评分,则对应的矩阵项为空。确定相似学习者集采用的方法是 Pearson 相关系数,依据已有的评分矩阵 R,学习者 a 和学习者 b 的相似度可以

$$\text{sim}(a, b) = \frac{\sum_{p \in P} (r_{a,p} - \bar{r}_a)(r_{b,p} - \bar{r}_b)}{\sqrt{\sum_{p \in P} (r_{a,p} - \bar{r}_a)^2} \sqrt{\sum_{p \in P} (r_{b,p} - \bar{r}_b)^2}}$$

来表示^[16],其中符号是学习者 a 对回答项的平均评分。通过计算得出与学习者 a 有相似兴趣偏好的学习者 b,最后依据其参与讨论主题的情况决定是否将同类主题和话题推荐给学习者 a。

3. 基于内容推荐系统的电子教材内容推荐

在电子教材学习系统中提供推荐服务的系统是基于内容相似度的推荐和基于概率的推荐。基于内容相似度的推荐主要是为学习者对同类电子教材感兴趣的内容提供推荐服务。其实现过程是首先确定学习者对之前电子教材“喜欢/不喜欢”的评论记录,这些评分可以通过显式的学习者使用界面或隐式的监测学习者行为获取。其次,通过一个标准来衡量两类电子教材内容的相似度,一般采用余弦相似度方法评估它们的向量是否相似。基于概率的推荐主要是为学习者提供电子教材中重要知识点推荐服务。其实现过程

是将教材中出现的知识点进行标记,分为“喜欢”和“不喜欢”两类。设定 $P(X)$ 为先验概率, $P(Y)$ 为后验概

$$\text{率,通过后验概率公式 } P(Y|X) = \frac{\prod_{i=1}^d P(X_i|Y) \times P(Y)}{P(X)}$$
 可

计算得出学习者对未知知识点的感兴趣程度。

4. 基于知识推荐系统的练习评测题目推荐

在基于知识的推荐系统中,基于约束的推荐是为学习者提供知识点练习推荐服务。约束满足问题可以用一组 (V, D, C) 描述,其中 V 是一组变量, D 是这些变量的有限域, C 是一组约束条件,即描述这些变量能够同时满足取值的组合情况,依据上述公式结合推荐题目库就可以形成基于约束的推荐服务。推荐知识库中一般包括两类不同变量集合,一类是表示学习者的需求,另一类表示练习题目的属性,如题目难度、所属知识点、所属题型等,通过不同的约束条件决定将哪些题目推荐给学习者。基于实例的推荐主要是为学习者提供含有重点题目的相似测评考试卷推荐服务。考试卷 E 与学习者需求 $r (r \in REQ)$ 之间的距离相似

$$\text{度可以通过公式 } \text{similarity}(e, REQ) = \frac{\sum_{r \in REQ} W_r \text{sim}(p, r)}{\sum_{r \in REQ} W_r}$$
 计

算得到^[17],其中 $\text{sim}(p, r)$ 表示每个试卷的属性值到用户需求 r 的距离, W_r 是需求 r 的权重。通过上述算法,我们可以实现包含学习者需要测评题目的试卷推荐。

五、结 语

个性化学习资源推荐是实现学习者基于电子书包开展个性化学习的一个重要学习支持服务环节。本研究从学习者模型的视角出发,以学习者的个性化特征信息为依据,通过电子书包各系统数据库来记录学习者的个性化信息,并采用混合式推荐设计,针对不同的学习系统应用不同的学习资源推荐系统来提供个性化推荐服务。然而,本研究中探讨的个性化推荐系统更多的是基于相似学习者群体的数据所做出的推荐服务,而学习者个人在学习过程中也会产生大量的个性化信息数据,如何基于学习者当前的学习表现提供推荐服务是本研究的不足之处。本研究下一步将针对需要分析学习者个人学习历史数据的学习系统,选择合适的推荐技术并将其整合到推荐系统中,设计其实现过程和推荐模式,以便为学习者提供更加科学精确的推荐服务。

[参考文献]

- [1] 谭玮. 英语教学中大学生学习个性的培育[J]. 教育研究, 2009, (2): 108~111.
- [2] 国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)[EB/OL].[2010-07-29].http://www.gov.cn/jrzq/2010-07/29/content_1667143.htm.
- [3] 王嘉琦, 徐朝军, 钟柏昌, 李芝, 王春丽. 基于强化理论的移动学习资源推送平台的设计与实现[J]. 电化教育研究, 2013, (5): 68~72.
- [4] Chang, C. Y. & J. P. Sheu. Design and Implementation of Ad Hoc Classroom and eSchoolbag Systems for Ubiquitous Learning[DB/OL].[2012-08-01].<http://140.115.126.240/mediawiki/images/5/51/ESchoolbag.pdf>.
- [5] 胡小勇, 朱龙. 数字聚合视野下的电子书包教学应用模式研究[J]. 中国电化教育, 2013, (5): 66~72.
- [6] 刘繁华, 于会娟, 谭芳. 电子书包及其教育应用研究[J]. 电化教育研究, 2013, (1): 73~76.
- [7] 现代远程教育技术标准化委员会-CLTSC.CELTS—3 学习对象元数据规范 (LOM)[EB/OL].[2002-02-06].<http://www.edu.cn/html/keyanz/yuanchengjiaoyu.shtml>.
- [8] 张豪锋, 王春丽. 基于 RFID 的移动学习资源推送系统设计[J]. 中国电化教育, 2012, (2): 131~135.
- [9] M.O.Baykaly, R.Alhajjz and F.PolatLAT. Co-operation Framework of Case-Based Reasoning Agents for Automated Product Recommendation[J]. Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, 2005, 17(3): 201~220.
- [10] [16] [奥地利]Dietmar Jannach, 等. 推荐系统[M]. 蒋凡, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2013: 8~9.
- [11] 刘志勇, 刘磊, 刘萍萍, 杨帆, 贾冰. 一种基于语义网的个性化学习资源推送算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009, (S2): 391~395.
- [12] 王永固, 邱飞岳, 赵建龙, 刘晖, 王春丽. 基于协同过滤技术的学习资源个性化推荐研究[J]. 远程教育杂志, 2011, (3): 66~71.
- [13] 王亮, 徐明. 数字资源超市“个性化学习资源推送”的设计与实现[J]. 现代教育技术, 2011, (1): 136~141.
- [14] 杨丽娜, 刘科成, 颜志军. 面向虚拟学习社区的学习资源个性化推荐研究[J]. 电化教育研究, 2010, (4): 67~71.
- [15] 何升, 温兆麟. e-Learning 中基于支持向量机的个性化学习资源推送[J]. 计算机工程与设计, 2007, (9): 2120~2122.
- [17] 王伟, 乐军. 个性化学习资源推荐系统研究[J]. 计算机与现代化, 2009, (7): 75~77.

(上接第 68 页)

- [18] Yu, Z., Nakamura, Y., Zhang, D., Kajita, S. & Mase, K.. Content Provisioning for Ubiquitous Learning [J]. Ieee Pervasive Computing, 2008, 7(4): 62~70.
- [19] Shu-Lin Wang, Chun-Yi Wu. Application of Context-Aware and Personalized Recommendation to Implement An Adaptive Ubiquitouslearning System[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(9): 10831~10838.
- [21] 程罡, 徐瑾, 余胜泉. 学习资源标准的新发展与学习资源的发展趋势[J]. 远程教育杂志, 2009, (4): 6~12.
- [22] Zhao, Y. & Frank, K.. Factors Affecting Technology Uses in Schools; An Ecological Perspective [J]. American Educational Research Journal, 2003, 40(4): 807~840.
- [23] C.K. Looi. Enhancing Learning Ecology on the Internet[J]. Journal of Computer Assisted Learning, 2001, (17): 13~20.
- [24] [25] 杨现民, 余胜泉. 生态学视角下的泛在学习环境设计[J]. 教育研究, 2013, (3): 103~110.
- [26] 杨现民, 余胜泉. 学习元平台的设计开发及其应用场景分析[J]. 电化教育研究, 2013, (3): 55~61.