

泛在学习资源动态语义聚合研究

杨现民

(江苏师范大学 教育研究院, 江苏 徐州 221116)

[摘要] 泛在学习环境下的学习资源存在分散无序、共享性差、聚合性不足等缺陷,学习资源的深度聚合问题已成为教育技术研究热点之一。学习资源动态语义聚合是要自动生成具有内在逻辑关联的资源结构体,且可以随着资源之间关联关系的变化而动态更新和发展。资源聚合有两种主要形态,分别是主题资源圈和有序知识链。重点对其实现的关键技术进行了介绍,并依托学习元平台对资源动态语义聚合的效果进行了初步验证。

[关键词] 学习资源; 资源聚合; 动态语义; 语义关联

[中图分类号] G434

[文献标志码] A

[作者简介] 杨现民 (1982—), 男, 河北邢台人。博士, 主要从事移动与泛在学习等方面研究。E-mail: yangxianmin8888@163.com。

一、引言

网络技术的飞速发展,推动了网络信息资源的爆炸式增长。网络资源是指通过互联网传播共享、以文件目录为主要存储组织结构的内容,^[1]包括电子书、讲义、视频、音频等多种形态。网络资源具有信息量大、内容丰富多样、使用方便、更新及时等优势,^[2]但也存在无序组织、混乱、难以管理等弊端。^[3]泛在学习时代的到来正在催生海量学习资源不断地产生,进一步凸显了当前网络学习资源分散无序、共享性差、聚合性不足的缺陷。如何将四处分散而又具有内在语义联系(相同话题、相同/相反观点、先备/后继知识等)的学习资源个体进行自动聚合?该问题已引起教育技术学、图书情报学、计算机科学等领域研究者重点关注。鉴于此,本研究将对数字学习资源的动态语义聚合方法和技术进行探索,期望能对当前数字化学习领域的资源建设提供借鉴和参考。

二、相关研究

数据挖掘领域产生了大量聚类算法,突出的成果

有 DBSCAN 算法、STING 算法、K-MEANS 算法和 BIRCH 算法。^[4]以这些聚类算法为核心的聚类分析技术,目前主要用于网络文档的自动分类。近年来,随着聚类分析技术的逐步成熟和推广应用,教育技术学领域的少数研究者也开始研究该技术在试题分组、^[5]学习者分类、^{[6][7]}课程资源分类、^[8]知识分类^[9]等方面的应用。然而,资源聚合不是简单的数据聚类,聚合的目的是对有内在逻辑关联的资源个体间进行聚集和融合,使其成为有助于促进学习的、有意义的资源结构体。数字化学习领域的资源纷繁复杂、媒体形式多样,上述聚类算法难以直接迁移应用。

在图书情报领域,资源整合是数字图书馆建设中的基础工程,^[10]已有很多学者对网络资源的整合问题进行了研究。李强对高校图书馆与院系资料室整合机制进行了探讨。^[11]单永刚提出一种基于元模型的数字资源整合方法。^[12]王浩对基于 MAP(Millennium Access Plus)工具的数据库资源整合方法进行了介绍,指出该工具可以屏蔽多个数据库之间的异构性,对数据库资源进行有效整合。^[13]图书情报领域在资源整合方面的代表性成果是两大学术文献服务平台,分别是 CNKI

基金项目:国家社会科学基金教育学青年课题“开放环境下学习资源进化机制设计与应用研究”(课题批准号:CCA130134);江苏省高校哲学社会科学基金项目“服务终身教育的泛在学习环境研究”(课题批准号:2013SJB880033)

(<http://www.cnki.net/>) 和 CALIS (<http://www.calis.edu.cn/>)。从上述研究和实践领域成果可以看出,图书情报领域进行的资源整合研究,最终目的是将异构数据库中的信息进行集中以促进信息流通和共享。这里的资源整合不等同于资源聚合,整合仅仅将分散的资源系统整到一起,而聚合则是整合基础上的进一步细分。如果说资源整合是物理反应的话,那么资源聚合则是一种化学反应。聚合的结果是要形成新的、更能体现知识体系的资源结构体。虽然部分学者对资源聚合技术也进行了探索,如基于 RSS 的信息聚合^{[14][15]}、基于 Portlet 与 Web Service 的信息聚合^[16]、基于语义的资源聚合^[17]等,但从探讨的内容上来看,仍然属于资源整合层面的研究。

综上所述,我们认为上述资源聚类与资源整合方面的研究还未上升到“聚合”层次。面对急速扩展的学习资源空间,如何构建资源的动态语义聚合方法与技术,目前鲜有学者进行此方面的研究。因此,本研究希望能在学习资源语义关联基础上,探索一种学习资源的动态语义聚合方法,在一定程度上解决数字化学习资源分散无序、检索困难等现实问题。

三、资源动态语义聚合概念界定

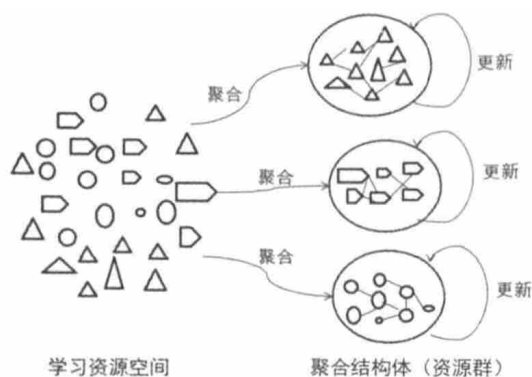


图1 学习资源动态语义聚合

学习资源的动态语义聚合不是简单地将多个学习资源组成一个资源集,而是通过技术手段将多个语义上具有强逻辑关系的资源按照特定的组织方式自动聚合成资源群(资源集合),且聚合结果不是一成不变的,会随着资源之间关联关系的变化而动态更新和发展。区别于数据挖掘中的文本自动分类或聚类,聚合的目的不是为了进行分类,而是自动生成具有内在逻辑关联的资源结构体(如图1所示)。资源动态语义聚合的价值和意义,主要体现在两个方面:一是可以实现多个小粒度的具有内在逻辑关系的资源单元集中呈现,通过资源的内聚,减轻学习者“机械性”检索资源的负担;二是可以将碎片化、零散性的知识组织成更加完整的

知识单元,有助于学习者系统、全面地进行知识建构。

微型化已经成为当前数字化学习资源发展的重要趋势^[18],泛在学习环境下需要海量的、内容丰富的、体现个性需求的、富交互的微型学习课件^[19]。那么,资源的聚合是否当前学习资源微型化的发展趋势相悖呢?微型化和聚合并不是互不相容的矛盾体,而是相互作用的连续体。学习资源的聚合并非否定微型化学习资源的价值,而是更强调在资源微型化、碎片化基础上的再次聚合。从生态学的视角来看,学习资源的语义聚合也是资源生态系统进化的需要。资源个体间动态建立有意义的关联,并在此基础上进行动态聚合,将大大促进资源种群的形成与良性发展。

四、资源聚合形态设计

根据资源聚合结构的不同,可以将学习资源聚合分为两类:一是学习资源的自动聚类,借鉴数据挖掘领域的聚类思想,实现学习资源的自动分类,形成若干个主题资源圈(Theme-based Resource Circle, TRC),比如将所有关于就业求职的资源自动组合成“就业求职类”主题资源圈;二是基于资源关联信息,自动将分散的资源结点进行结构化的逻辑组合,形成有序知识链(Orderly Knowledge Chain, OKC),比如可以将一元二次方程的概念、求解方法、测试试题、案例分析等资源根据“前序—后继”的语义关系自动聚合成“一元二次方程求解教程”的知识链,学习者可以按照顺序将各个知识点集中起来系统学习。

(一)主题资源圈

主题资源圈是具有相同主题、语义高度相关的多个资源个体的聚合。这种资源聚合形态的特点是资源间不存在上下位的层次关系,同属于某一主题,采用平行的列表方式进行呈现(如图2所示)。



图2 主题资源圈形式的资源聚合

主题资源圈在教学应用模式上和专题学习网站类似,有利于开展专题学习。有研究者指出,^[20]基于网络的专题学习能很好地结合传统教育与研究性学习的优点,是一种值得推广的数字化学习方式。主题资

源圈通过聚合具有内在语义关联的资源个体,形成一个庞大的、内容丰富但主题一致的资源池,可以供广大学习者(不仅限于学生)进行开放探究学习。与传统专题学习网站的区别在于,它是系统根据资源内在的语义关联度自动聚合而成,而非依靠人工进行资源素材的搜集、组织、整理而成。

(二)有序知识链

有序知识链是多个具有前后序关系的资源个体的聚合。链条上的知识点具有显性的前序、后继关系,也就是说,按照正常的学习流程,需要先学完前一个知识点,方可进入到下一个知识点的学习(如图 3 所示)。

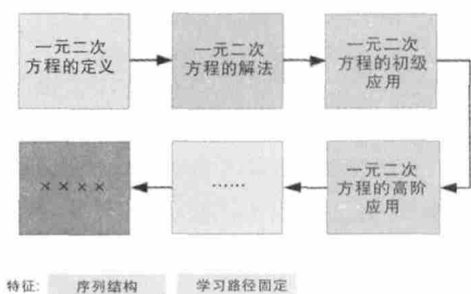


图 3 有序知识链形式的资源聚合

以“一元二次方程”为例,从定义到解法再到初级应用、高阶应用等,资源之间具有明显的前后关系。网络学习者在超媒体信息空间学习的时候,存在迷航和信息超载两大问题。^[21]有序知识链是一种序列化结构,学习路径常常是固定的,学习者可以按步骤进行学习。因此,有序知识链可以起到知识导航的作用,使学习者明白当前在“哪里”,下一步该到“哪里”去,以减少网络学习中的“迷航”。

五、资源聚合技术实现

(一)总体技术框架

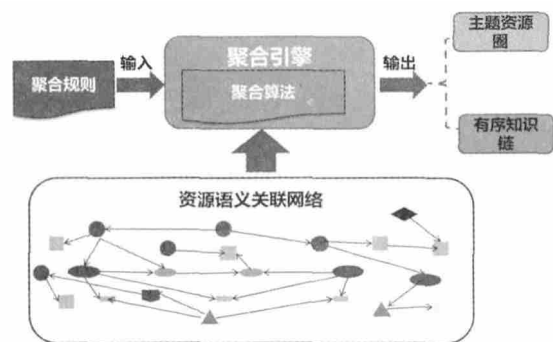


图 4 学习资源动态语义聚合技术路线

本研究采用的技术路线如图 4 所示。应用动态语义关联技术^[22]可以在资源空间的结点间建立起丰富的语义关系,形成资源语义关联网络。资源语义关联

网络实际上是采用有向图表示的关系空间(如图 5 所示)。聚合引擎从大量的关系中挖掘出更大粒度的有意义的资源结构体,依据设定的聚合规则生成主题资源圈和有序知识链两种资源聚合结构体。

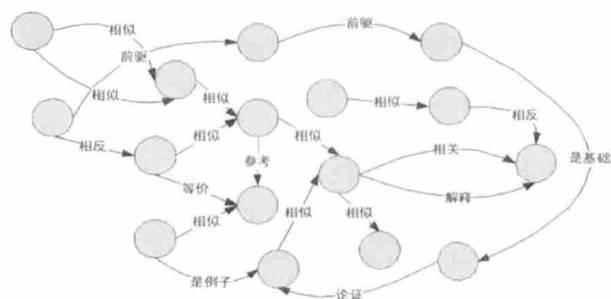


图 5 语义关系有向图

(二)主题资源圈聚合

主题资源圈聚合的基本实现思路是:采用 BFS (Breadth First Search)在有向资源关系图中寻找具有相似关系的资源结点,依据相似关系衰减函数计算两两结点之间的关联程度,将满足最低阈值要求、高度相似内聚的结点自动聚合在一起,最终生成若干个主题资源圈。

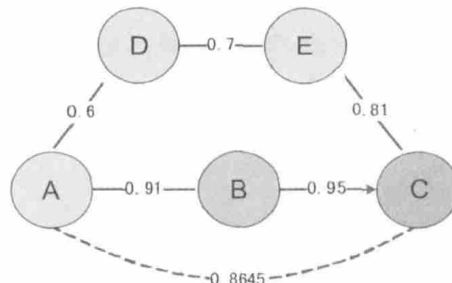


图 6 带有权重的相似关系

由于相似关系具有对称性,即,另外,相似的程度常常通过相似度来表征。因此,可以将图 5 中所有的相似关系提取出来,两个结点间的相似关系通过带有权重的无向边来表示,权重为结点间的相似度。相邻接的两个相似结点间关系为直接相似关系(如图 6 中的 A 和 B),反之,通过中间结点建立起来的相似关系为间接相似关系(如图 6 中的 A 和 C)。

相似关系具有部分传递的特性,也就是说如果 A 和 B 相似,B 和 C 相似,则 A 和 C 也存在某种程度的相似。这里设定一个相似度衰减函数 Damp 用来表示相似关系的传递衰减性。如果 A 和 C 之间不存在直接边(相似关系),则 A 和 C 之间的相似度为从 A 到 C 最短路径上的 Damp 值。

$$Damp(A, B, C) = Sim(A, B) \times Sim(B, C)$$

$$Sim(A, C) = Damp(shortestPath(A, C))$$

举例说明,如图 6 中从 A 到 C 之间存在两条路

径, $A \rightarrow B \rightarrow C$ 和 $A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow C$, 其中 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 为最短路径, 因此 A 和 C 的间接相似度为 $0.91 \times 0.95 = 0.8654$ 。

主题资源圈作为相似资源的聚合, 需要满足两个基本条件:

条件 1: 圈内的任意两个资源存在相似关系, 且相似度大于阈值 θ ;

条件 2: 圈内的资源数量不少于 ω , 即一个资源圈最少包含 ω 个资源。

依据上述对相似关系的分析和主题资源圈聚合的两项基本条件, 提出表 1 主题资源圈的动态聚合算法。

表 1 主题资源圈动态聚合算法

输入: 资源相似关系图 G , 包含所有结点间的相似关系
输出: 若干个主题资源集合 $RC = \{RC_1, RC_2, \dots, RC_n\}$, RC_i 表示一个主题资源圈 ($1 \leq i \leq n$)

关键步骤:

Step1: 应用 BFS 算法查找无向图 G 的所有连通分量(连通子图) G_1, G_2, \dots, G_m

Step2: set $i=1, k=1$

Step3: 如果 $i \leq m$, 计算 G_i 中包含的结点数量 $nodeNum$; 否则, 跳至 Step10

Step4: 如果 $nodeNum < \omega$, $i=i+1$, 跳到 Step3

Step5: 查找 G_i 中度数最大的顶点 V_{max} , set $j=1$

Step6: 如果 $j \leq nodeNum$, 计算 V_{max} 和 G_i 中顶点 V_j 的相似度 $Sim(V_{max}, V_j)$; 否则, 跳到 Step9

Step7: 如果 $Sim(V_{max}, V_j) \geq \theta$, 将 V_j 加入到 RC_k 中

Step8: $j=j+1$, 跳到 Step6

Step9: 如果 RC_k 中的结点数量不小于 ω , $k=k+1, i=i+1$, 跳到 Step3; 否则, 清空 $RC_k, i=i+1$, 跳到 Step3

Step10: 算法结束, 输出 k 个主题资源集合

(三) 有序知识链聚合

有序知识链聚合的基本实现思路是: 从整个资源语义关系图中提取出表示有序关系(前驱、后继、是基础)的所有资源结点和边, 组成知识序列有向图 G (如图 7); 深度优先遍历 (DFS, Depth First Search) G , 将所有知识路径找出来, 生成若干个有序知识链。

表征知识前后顺序的有序关系主要有三种类型, 分别是 $isSubsequentOf$ (后继)、 $isPreviousOf$ (前驱) 和 $isBasisfor$ (是基础)。其中, $isSubsequentOf$ 是 $isPreviousOf$ 的相反关系, 即 $isSubsequentOf(A, B) = isPreviousOf(B, A)$; $isBasisfor$ 和 $isPreviousOf$ 是等价关系, 即 $isBasisfor(A, B) = isPreviousOf(A, B)$ 。为了程序处理的方便, 需要将知识序列有向图 G 中的所有 $isSubsequentOf$ 替换为 $isPreviousOf$, 且要更改有向边的方向, 将所有的 $isBasisfor$ 直接替换为 $isPreviousOf$, 有向边的方向不变。

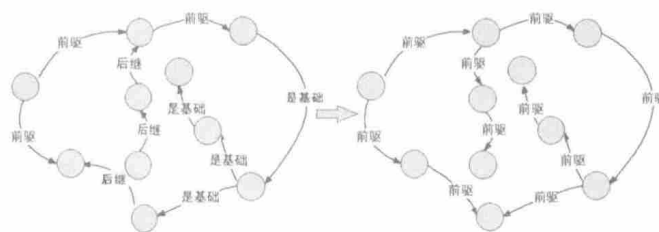


图 7 知识有序关系转换

有序知识链作为具有前后学习顺序关系的知识点(资源)的聚合, 需要满足两个基本条件:

条件 1: 从学习的逻辑上来讲, 知识链中的资源存在一定的先后学习顺序, 即资源之间具有理想的线性学习路径;

条件 2: 知识链中的资源数量不少于 ω , 即一个有序知识链最少包含 ω 个资源。

依据上述对有序知识关系的分析和有序知识链聚合的两项基本条件, 提出如下有序知识链的动态聚合算法(见表 2)。

表 2 有序知识链动态聚合算法

输入: 知识序列有向图 G , 包含所有结点间的前序、后继、是基础三种关系

输出: 若干个有序知识链 $KC = \{KC_1, KC_2, \dots, KC_n\}$, KC_i 表示一个有序知识链 ($1 \leq i \leq n$), KC_i 为资源的有序集合, 表示为 $KC_i = \langle V_1, V_2, \dots, V_q \rangle$

关键步骤:

Step0: 知识有序关系转换, 将包含前序、后继、是基础三种关系的有向图 G 转换为只包含单一前序关系的有向图 TG

Step1: 查找有向图 TG 的所有连通分量(连通子图) TG_1, TG_2, \dots, TG_m

Step2: set $i=1$

Step3: 如果 $i \leq m$, 计算 TG_i 中包含的结点数量 $nodeNum$; 否则, 跳至 Step9

Step4: 如果 $nodeNum < \omega$ 或者 $hasLoop(TG_i) = true$, $i=i+1$, 跳到 Step3

Step5: 查找 TG_i 中入度为 0 的顶点, 放入集合 S 中

Step6: set $j=1$

Step7: 如果 $j \leq S.length$, 以 S_j 作为起始顶点, 进行深度优先遍历 $DFS(TG_i, S_j)$, 遇到出度为 0 的顶点 V_g 时, 将此次遍历 S_j 到 V_g 路径上的所有顶点顺序存入 KC_k 中; 否则, $i=i+1$, 跳至 Step3

Step8: 如果 KC_k 中的结点数量不小于 ω , $k=k+1, j=j+1$, 跳到 Step7; 否则, 清空 $KC_k, j=j+1$, 跳到 Step7

Step9: 算法结束, 输出 k 个有序知识链

(四) 资源聚合结果展现

主题资源圈的可视化展现, 有助于学习者直观地发现资源结点之间语义相似的紧密程度, 发现资源圈中的核心结点(图中度数最大的结点, 与其他结点间

的关联数最多);有助于学习者依据资源间的语义相似程度,快速选择自己感兴趣的资源进行学习;同时也给对学习者带来与传统树状目录式学习不一样的学习体验,激发学习兴趣。

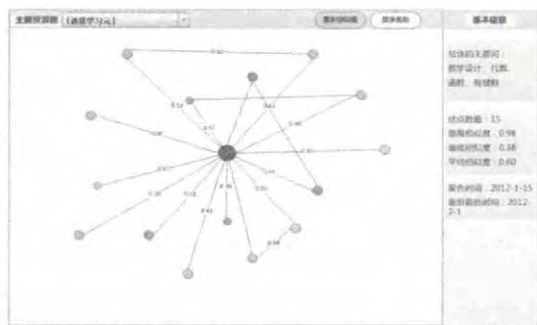


图8 主题资源圈的可视化展现

可以采用 Flex 技术进行主题资源圈中资源结点的网状展现(如图8所示)。图的中心结点显示的是主题资源圈中最核心的资源,该资源与其他资源都具有较高的相似度。结点连线上显示资源的语义相似度,线的不同长度表征不同的语义相似度大小。资源结点越相似,连线越短,反之则越长。基本信息模块显示主题资源圈包含的主题词(表征核心内容的特征词)、结点数量、平均相似度、聚合时间等信息。

区别于主题资源圈的网状结构,有序知识链采用线性结构显示(如图9所示)。系统自动聚合的有序知识链主要从语义的先后顺序上进行资源的重新组织,重在为学习者提供最佳的学习路径。学习者既可以根据自身需求进行线性的连续学习,也可以选择性地学习。

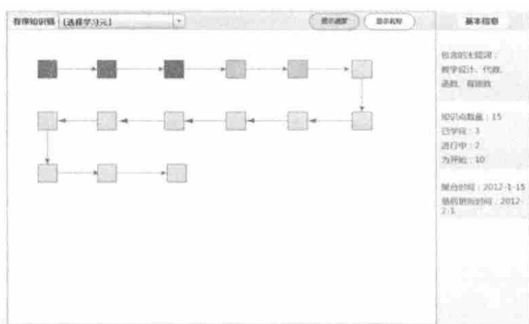


图9 有序知识链的可视化展现

图9的基本布局和主题资源圈类似,画布中间采用有向知识链条的方式展示资源结点间的语义顺序。其中,颜色的方块有特定的含义,红色表示已经学完的,绿色表示正在进行的,灰色表示未开始的。点击“显示进度”可以查看学习者在某资源上的学习进度。右侧基本信息模块显示有序知识链包含的主题词、知识点数量、已学完/进行中/未开始的知识点数量、聚合时间等信息。

六、资源聚合效果检验

本研究选择学习元平台(Learning Cell System,以下简称LCS)^[23]为实验环境,验证上述学习资源动态语义聚合的效果。LCS是为泛在学习环境设计开发的一种新型开放知识社区,官方网址为<http://lcell.bnu.edu.cn>。LCS以学习元^[24]作为基本的资源单元,学习元是一种语义化组织的学习资源,多个学习元可以聚合成知识群。自2011年9月上线以来,截止到2013年3月30日,LCS已有注册用户8204人,13766个学习元,1365个知识群。

本研究截取2012年1月1日到2012年3月1日时间段的聚合数据进行分析。LCS中资源动态语义聚合的统计数据显示,该时间段内共聚合32个知识群,包括12个主题资源圈,20个有序知识链。

截止到2012年3月1日,LCS共产生了333个知识群,其中人工创建301个,自动聚合生成32个。通过动态语义聚合方法生成的知识群占系统总知识群的9.61%,也就是说LCS中有近十分之一的知识群是自动生成的。

笔者对自动生成的32个知识群的聚合效果进行了逐个检查,发现其中的11个主题资源圈和17个有序知识链都得到了比较满意的聚合结果,准确率达到87.5%。就目前的动态资源聚合数据而言,虽然数量较少,仅占系统总量的9.61%,但聚合的效果是比较理想的。

实际上,LCS中动态语义聚合的结果和本文第五部分中设定的聚合要求直接相关,通过修改聚合的相似度阈值 θ 和资源数量阈值 ω 可以产生不同的聚合效果。 θ 和 ω 的值越高,聚合的数量会越少,但准确性会越高,反之亦然。目前,LCS设定的 $\theta=0.35$ 、 $\omega=5$ 。后期可以根据LCS运行的需求动态调整。



图10 LCS中动态语义聚合的知识群案例

选取系统聚合生成的“《两只小狮子》教学设计相关资源聚合”知识群为例(如图10所示),进一步分析LCS中资源动态语义聚合的效果。该知识群动态聚合的时间为2012年2月16日,共包含6个学习元。分

析这六个学习元的内容,可以发现全部都是关于《两只小狮子》的教学设计方案,创建者为不同学校的多名语文教师(民生小学的赵桂祥、丽景小学的张荣华等),聚合的结果很理想。

“《两只小狮子》教学设计相关资源聚合”知识群将同一篇小学语文课文的教案进行自动聚合,可以为同学的学习和其他教师的备课提供宝贵的参考资料。另外,若某语文教师订阅了该知识群,当增加新的《两只小狮子》的教学设计资源时,该教师可以第一时间通过E-mail得到通知。

七、总结与启示

泛在学习环境下的学习资源聚合研究有两个层次,一是宏观层面的海量资源的有效汇聚,即将分散在互联网各个角落的学科资源进行有意义的聚合;二

是微观层面的资源结构体的有效聚合,即形成一个个独立的、具有内在强语义关系的资源群。本研究进行的是微观层面的探索,提出两种学习资源动态语义聚合的方法和技术,分别是主题资源圈聚合技术和有序知识链聚合技术。下一步,需要重点优化资源聚合算法,提高其运行速度,并将该聚合方法应用到其他资源管理系统进行聚合效果的检验。

本研究对于学科资源深度聚合问题的后续研究有两点启发:(1)学科资源结构体的有效聚合,能够更高效地支持学习,比单纯地将分散资源汇聚起来更有价值和意义,因此,需要在宏观研究基础上深入开展微观层面的资源聚合研究;(2)随着语义网技术的逐步成熟和推广,学习资源的语义化组织已是大势所趋,因此,学习资源的聚合研究需要适当引入语义技术,以提高资源聚合的质量和效果。

[参考文献]

- [1] 陈翀, 闫宏飞. 网络资源命名及用户命名行为的分析[J]. 情报学报, 2009, 28(4):582~592.
- [2] 张佳. 中国高等院校档案学网络教学资源的现状和发展趋势[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [3] 萨蕾. 网络信息资源的规范控制探究[J]. 图书馆建设, 2009, (12): 42~45
- [4] 贺玲, 吴玲达, 蔡益朝. 数据挖掘中的聚类算法综述[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(1):10~13.
- [5] Félix Castro, Alfredo Vellido, Angela Nebot, Francisco Mugica. Applying Data Mining Techniques to e-Learning Problems [J]. Evolution of Teaching and Learning Paradigms in Intelligent Environment, 2007, (62): 183~221.
- [6] Paraskevi Tzouveli, Phivos Mylonas, Stefanos Kolliasa. An Intelligent e-Learning System Based on Learner Profiling and Learning Resources Adaptation[J]. Computers & Education, 2008, 51(1): 224~238 .
- [7] 张弛, 陈刚, 王敏娟, 王慧敏. 移动学习中片段式学习资源的设计研究[J]. 开放教育研究, 2009, 15(3):67~72.
- [8] 赵立江. 个性化学习系统的聚类技术[J]. 计算机辅助工程, 2006, 15(3): 59~61.
- [9] 王勋, 刘君强, 魏贵义. 智能学习中的知识表示和知识聚类[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(7): 75~77.
- [10] 胡翠红. 基于 5S 理论的数字图书馆资源整合研究[J]. 现代情报, 2011, 31(1):44~46.
- [11] 李强. 高校图书馆与院系资料室整合机制探讨[J]. 现代情报, 2012, 32(3):170~172.
- [12] 单永刚. 基于元模型的数字资源整合方法的研究与实现[J]. 现代情报, 2011, 31(6): 76~79.
- [13] 王浩. 图书馆网络信息资源整合工具——MAP 及其启示[J]. 现代情报, 2010, 30(5): 73~77.
- [14] 陈峰, 熊励. 基于 RSS 信息服务联盟的内容聚合技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1):9~12.
- [15] 戴明陆. 基于 RSS 的内容聚合在学术领域的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [16] 杜丰, 邸德海, 杨洁. Portlet 与 Web Service 实现校园门户的信息聚合[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2009, 48(z1): 192~294.
- [17] 贺德方, 曾建勋. 基于语义的馆藏资源深度聚合研究[J]. 中国图书馆学报, 2012, (7): 79~87.
- [18] 顾小清, 李舒慷. 共建微型移动学习资源: 系统设计及实现机制[J]. 中国电化教育, 2010, (2): 74~79.
- [19] 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): 74~79.
- [20] 姜春霄, 冯秀琪. 专题学习网站调查及相关研究[J]. 中国远程教育, 2006, (4): 42~48.
- [21] 雷茵. 基于概念地图的网络化学习路径控制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [22] 杨现民, 余胜泉, 张芳. 学习资源动态语义关联的设计与实现[J]. 中国电化教育, 2013, (1): 70~75.
- [23] 杨现民, 程罡, 余胜泉. 学习元平台的设计及其应用场景分析[J]. 电化教育研究, 2013, (3): 55~61.
- [24] 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, 15(1): 47~53.