

基于知识点本体的个性化课程组织方法

朱郑州¹ 吴开贵² 吴中福² 陈乙雄² 高 旻²

(北京大学信息科学技术学院 北京 100871)¹ (重庆大学计算机学院 重庆 400044)²

摘 要 基于本体技术和知识管理理论,提出了组织知识的5层结构和使用知识的4层结构。设计开发了知识点本体、学习者本体和学习策略本体,并基于这3个本体查找、选择合适的知识点,生成个性化课程推荐给学习者。实验结果表明:学习者使用该方法自动生成的个性化课程,能够提高自身的学习积极性,用户满意度达到84%以上。

关键词 知识点本体,个性化课程,知识管理,智能教学系统

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Personalized Curriculum Organization Method Based on Knowledge Topic Ontology

ZHU Zheng-zhou¹ WU Kai-gui² WU Zhong-fu² CHEN Yi-xiong² GAO Min²

(School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)¹

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China)²

Abstract Based on ontology and knowledge management theories, a 5-level knowledge organization architecture and a 4-level knowledge usage architecture were proposed. Knowledge topic ontology, student ontology and e-Learning policy ontology were designed. Personalized curriculum were recommended to students according to the 3 ontologies. The test results show that this method can recommend knowledge topic, improve students' positivity, and the students' user satisfaction is up to 84%.

Keywords Knowledge topic ontology, Personalized curriculum, Knowledge management, Intelligent teaching system

1 引言

知识(Knowledge)是客观事物的属性与联系的反映,是客观世界在人脑中的主观映像。文献[1]提出人的学习是以知识点(Knowledge Topic)为单位的,要想有效地学习新知识,必须逐个知识点地进行。从理论上给出了以知识点为单位进行学习的符合人类的认知规律。对于知识的组织方式,文献[2,3]研究了知识点的表示、特性、分类和组织,认为知识点包括2类:原子知识点和复合知识点,而复合知识点是由原子知识点和复合知识点复合而成的,知识点的反复复合造成知识点的颗粒度粗细不均,这种组织知识的方式从理论上讲相当完善,但不利于网络教学内容的组织,也不利于教育资源的组织,对于学生的个性化自主学习课件的生成也不方便。文献[4]对知识的组织粒度更细,认为知识应该分为学科(Discipline)、知识领域(Knowledge Area)、知识单元(Knowledge Unit)和知识点等4个层次,并对计算机学科的知识进行了分析和组织,对学科知识的层次划分使得知识条理清晰,更便于教育工作者组织教学内容,但是这种组织知识的方式是从教师的角度考虑的,不利于资源的组织和学习者的自主学习,同时由于对于知识点的定义过粗,又使得教师不易把握知识点的核心内容。然而,在智能教学系统(Intelligent Teach-

ing System, ITS)中,知识的组织不但要有利于学生学习,而且要有利于教师组织教学,还要有利于系统的管理,更要符合科学知识的发展现状,有利于知识的扩充和资源的发布^[5]。基于此,我们重新定义了知识点,设计了知识点本体,并基于知识点本体提出了一种可扩展的5层知识组织结构和4层知识使用结构。同时系统还实现了学习者本体,根据学习者的知识结构和学习特征^[6],生成适合于学习者的个性化课程。

2 知识点本体

简约知识组织表述语言(SKOS Core) SKOS核心本体^[7]以资源描述框架(Resource Description Framework, RDF)为基础,是一种表述规范词表中的基本结构和概念表内容的格式语言。

知识点本体的概念都可以用一个 skos:Concept 类来表示,而知识点本体的概念模式用 skos:ConceptScheme 类来表示。SKOS的属性 skos:inScheme 用于连接 skos:Concept 类定义的所有实例和知识点本体的概念模式。类似地,可以使用 SKOS 属性 skos:prefLabel, skos:altLabel, and skos:hiddenLabel 为每个知识点本体概念定义若干个别名。而 SKOS 的语义属性,则可以协助我们以层次的形式结构化知识点本体。还可以定义属于不同层次分支的概念之间的语义关系,

到稿日期:2009-03-03 返修日期:2009-06-26 本文受国家“十一五”重大科技攻关项目(2006BAH02A24-6),国家发改委科学研究计划项目(CNGI-04-15-3A)和重庆市高等教育教学改革重大项目(0616001)资助。

朱郑州(1979-),男,博士后,研究方向为计算机网络教育、软件人才培养与评价, E-mail: zhuz@sei.pku.edu.cn; 吴开贵(1967-),男,副教授,研究方向为计算机网络安全; 吴中福(1938-),男,教授,博士生导师,研究方向为计算机网络教育、网络安全、服务计算。

我们使用 skos:hasTopConcept 属性来关联通用知识点本体概念和知识点本体概念模式,这样正式地描述这些概念,以组成顶层概念结构。

根据我们的设计,整个知识体系是一个如图 1 所示的 5 层结构,分别是知识项(Knowledge Item)、知识点、知识单元、知识领域和学科。图中任何邻层的 2 个概念如果有边连接,则表明它们之间具有一个父子关系,称之为 skos:isParents,该关系的反向关系是 skos:isChildren。同时该 5 层结构的知识体系的概念中,任何一个下层概念都只有一条有向边指向其上层概念,也就是说,上层概念和下层概念是一对多的关系,如任何一个知识领域属于且只属于一个学科,知识单元和知识领域、知识点和知识单元以及知识项和知识点之间的关系亦然。

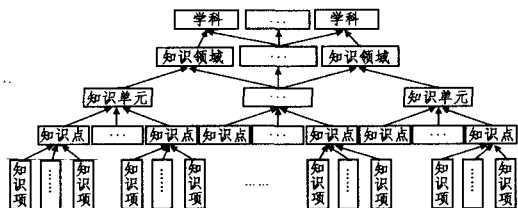


图 1 系统知识体系

知识项是具有不能再分割的框架结构的知识^[8],是教学活动过程中传递教学信息的基本元素,如一个概念、一个定理等。知识项记为 kI 。

根据知识项内容的作用可以将知识项分为事实、关系、属性、规则和步骤等 5 大类。知识项表示为一个 5 元组 (ID, Name, Description, Keywords, Type)。其中 ID 为知识项的标志号;Name 为知识项的名称,即知识项的标题;Description 为知识项的描述部,以文字的形式对知识项的内容做一个概要的描述;Keywords 为知识项的关键字集,即可用于检索本知识项的关键字集;Type 为知识项的类别,值域为{事实,关系,属性,规则,步骤}。

知识项之间的关系有集合关系和线性关系等 2 种情况。集合关系是指各个知识项之间是孤立存在的,互相之间的讲解或学习的先后顺序可以改变。线性关系是指两个知识项之间有一个先后顺序,一个知识项必须在另一知识项之前讲解或学习。

知识点是教学活动过程中教学信息组织的基本单位,在教学系统中通常作为一个整体进行考虑和处理,记为 kT 。通常情况下,1 个知识点由 1 个或多个知识项组成。因此有:

$$kT = \bigcup_{i=1}^{\xi} kI_i$$

其中, kI_i 表示第 i 个知识项, ξ 是该知识点所包含的知识项的数目。不同的知识点不会包含共同的知识项。

知识点表示为一个 7 元组 (ID, Title, Keywords, Applicability, Importance, Difficulty, Extension)。其中 ID 是该知识点在知识库中的唯一标识号;Title 是对本知识点知识的一种高度概括的表述;Keywords 是描述该知识点的关键字;Applicability 是知识点的适用范围,表明该知识点适合于哪类学生学习;Importance 是知识点的重要程度,体现该知识点重要程度,取值范围是 $[0, 1]$,值越大表示该知识点越重要;Difficulty 是知识点的难度,体现该知识点的难易程度,取值范围是 $[0, 1]$,值越大表示难度越大;Extension 是知识点的发布者

对知识点的可扩充内容,如专业教师富有创意的知识点说明。

在知识点管理系统中,知识点之间具有以下 5 种关系。

① 依赖关系 (Dependence Relationship)

知识点 t_1 是知识点 t_2 的基础,在学习某一知识点 t_2 之前必须先学习知识点 t_1 ,则称 t_1 和 t_2 具有依赖关系, t_1 是 t_2 的前驱知识点, t_2 是 t_1 的后继知识点,记为 $t_1 \rightarrow t_2$ 。

知识点 t_2 对知识点 t_1 的依赖程度称为依赖度 (Dependence Degree),记为 $De(t_1, t_2)$,取值范围是 $[0, 1]$,取值越大,说明依赖度越强。

特别地,没有前驱知识点的知识点的前驱是 Φ ,没有后继知识点的知识点的后继是 Φ 。

规则 1: [PrecursorRule:

(? a http://www.mydomain.com#isPrecursor? b),
(? b http://www.mydomain.com#isPrecursor? c)
 $\rightarrow$ (? a http://www.mydomain.com#isPrecursor? c)

如果知识点 a 是知识点 b 的前驱,知识点 b 是知识点 c 的前驱,则知识点 a 是知识点 c 的前驱。

规则 2: [SuccessorRule:

(? a http://www.mydomain.com#isSuccessor? b),
(? b http://www.mydomain.com#isSuccessor? c)
 $\rightarrow$ (? a http://www.mydomain.com#isSuccessor? c)

如果知识点 a 是知识点 b 的后继,知识点 b 是知识点 c 的后继,则知识点 a 是知识点 c 的后继。

② 参考关系 (Reference Relationship)

如果在学习知识点 t_1 时可以参考知识点 t_2 ,则称 t_1 和 t_2 具有参考关系, t_1 是参考知识点, t_2 是被参考知识点。一般 t_2 对 t_1 的参考作用有: t_2 加深对知识点 t_1 的理解; t_2 从另一个角度理解知识点 t_1 ; t_2 扩展知识点 t_1 的知识面。

③ 平行关系 (Parallel Relationship)

如果两知识点 t_1 和 t_2 之间无前驱后继关系,且没有共同的前驱知识点,学习时可不分先后次序,则称知识点 t_1 和 t_2 具有平行关系。

④ 前交关系 (PreIntersect Relationship)

如果两知识点 t_1 和 t_2 之间无前驱后继关系,但有共同的前驱知识点 t_3 ,在学习 t_1 和 t_2 之前必须先通过 t_3 的学习,则称 t_1 和 t_2 具有前交关系。

⑤ 后交关系 (SucIntersect Relationship)

如果两知识点 t_1 和 t_2 之间无前驱后继关系,但有共同的后继知识点 t_3 ,只有同时通过了知识点 t_1 和 t_2 的学习,才能学习知识点 t_3 ,则称 t_1 和 t_2 具有后交关系。

在以上知识点之间的 5 种关系中,平行、前交和后交等 3 种关系都可以由前驱后继关系推导得出。除了以上 5 种关系外,如果两个知识点同属于一个知识单元,则称它们具有兄弟关系 (Sibling Relationship)。

知识点的操作除了包括对知识点进行添加、修改、合并和删除等基本操作外,还包括知识点与知识项、知识单元的相互转换,以及对知识点关系的添加、修改、删除与合并等操作。其中对于任意 2 个知识点 $\forall t_1, t_2 \in T$,其合并操作会把与这两个知识点 t_1 和 t_2 相关的各种关系都同时合并到一起。如果有一个知识点 t_3 同时与 t_1 和 t_2 具有关系 R ,则 t_1 和 t_2 合

并之后只保留一个关系 R 。

事实上,知识点的合并操作包括 2 种情况:(1) $t_1 \cup t_2 \Rightarrow t_{new}$; (2) $t_1 \cup t_2 \Rightarrow t_1$ 。情况(1)可以分解为添加一个知识点 t_{new} ,把知识点 t_1 和 t_2 的所有相关属性、关系和资源都转移到该知识点 t_{new} ,删除知识点 t_1 和 t_2 等 3 个步骤。情况(2)可以分解为把知识点 t_2 的所有相关属性、关系和资源都转移到该知识点 t_1 ,删除知识点 t_2 等 2 个步骤。

知识单元代表某个知识领域的不同方向,记为 kU 。知识点代表知识单元中单独的主题模块,1 个知识单元由 1 个或多个知识点组成,因此:

$$kU = \bigcup_{i=1}^{\delta} kT_i$$

其中, kT_i 表示第 i 个知识点, δ 是该知识单元所包含的知识点的数目。不同的知识单元不会包含共同的知识点。

知识领域代表一个特定学科的知识模块。知识领域又被分割成知识单元。知识领域记为 kA :

$$kA = \bigcup_{i=1}^{\alpha} kU_i$$

其中, kU_i 表示第 i 个知识单元, α 是该知识领域所包含的知识单元的数目。不同的知识领域不会包含共同的知识单元。

学科指学术的分类,即按科学知识的性质而划分的知识门类,是专门的系统化的知识体系^[9]。学科记为 dP :

$$dP = \bigcup_{i=1}^{\beta} kA_i$$

其中, kA_i 表示第 i 个知识领域, β 是该学科所包含的知识领域的数目。不同的学科不会包含共同的知识领域。

知识体系(Knowledge Architecture)包括系统知识和游离知识两个组成部分。系统知识的组织结构如图 1 所示,分为 5 层,分别为学科、知识领域、知识单元、知识点、知识项。游离知识分为游离知识领域、游离知识单元、游离知识点等 3 类。因为学科处于知识体系的最顶层,所以不存在游离学科之说。

在知识体系中,连接两节点 x 和 y 的有向边有一个权值,称作边权,记为 $\omega(x, y)$,定义为:

$$\omega(x, y) = 1 + 0.5h$$

其中, h 为两节点 x 和 y 所跨越的层数。特别地,如果 x 和 y 分属于相邻两层,则 $h=0$ 。

例如:某知识点 t 不属于任何知识单元或知识领域,但是属于学科 c ,亦即 t 到 c 有一条边,则该边的权值 ω 是 $1 + 0.5 \cdot 2 = 2$ 。

3 学习者本体

学习者本体是学习者在 e-Learning 系统中的抽象模型,它记录着学习者的个人基本信息、学习特征、兴趣爱好、知识结构及知识掌握程度等信息,记为 eLr 。学习者本体主要包括 2 方面的内容:

①学习者知识结构,是以知识点本体为基础,知识点之间的关系为连接,构建起来的,而学习者对各个知识点的掌握程度,我们参考 IEEE PAPI 学习者规范,以学习者成绩的形式体现出来。

②学习者的学习风格,就是学习者的学习特征、兴趣爱好等内容。为了构建学习者本体中的学习者的学习风格,我们参考了 IMS LP 规范和文献^[10]。

在学习者本体中,类 $eLr:Student$ 表示学习者的概念,每

一个具体的学习者都是该类的一个实例,类 $eLr:PersonalInfo$ 表示学习者的个人信息,其数据类型属性 $eLr:studentname$, $eLr:password$ 保存学习者的登录信息。通过属性 $eLr:hasPersonalInfo$ 可以把学习者与其个人信息建立关联。

每一个学习者可以有自己特定的兴趣爱好,比如语言爱好($ims:LanguagePreference$)、概念爱好($ims:ConceptPreference$)等,学习者通过属性 $eLr:hasPreference$ 与这些爱好建立关联。本体中学习者的爱好数据参考 ELENA 项目,并且与 IMS LP 规范兼容。类 $ims:Preference$ 表示学习者的特征,它有一个属性 $ims:hasImportanceOver$,该属性定义了一个特定学习者的众多属性的优先级。

学习者已学的知识点用类 $eLr:Topic$ 表示,学习者通过属性 $eLr:hasTopic$ 与这些知识点建立关联。这些知识点的成绩用属性 $eLr:hasPerformance$ 表示,每一个学习者被赋予一系列成绩相关的数据,这些数据以 $papi:Performance$ 的形式表示。

①属性 $papi:learning_competency$ 参考知识点本体的概念,描述已学知识点,通常以该知识点的 URI 表示。

②属性 $papi:learning_experience_identifier$ 标示一个知识点,类 $papi:Performance$ 的每一个实例都有许多这种类型的属性。

③属性 $papi:performance_value$ 保存学习者已学知识的成绩水平,也就是已学知识的掌握程度。

④属性 $papi:recorded_date$ 用于表示记录成绩的日期和时间。

在学习者本体中,学习者的学习风格用类 $eLr:LearningStyle$ 表示,它与类 $eLr:LearningStyleCategory$ 通过属性 $eLr:hasCategory$ 关联起来。类 $eLr:LearningStyleCategory$ 表示学习风格的一个类别,它有 5 个子类: $eLr:LS_Visual-Verbal$, $eLr:LS_Active-Reflective$, $eLr:LS_Sensing-Intuitive$, $eLr:LS_Inductive-Deductive$ 和 $eLr:LS_Sequential-Global$ ^[11],分别表示视觉型/言语表达型、积极主动型/深思熟虑型、感觉型/直觉型、归纳型/演绎型和循序渐进型/总体统揽型。为了表示一个特定的学习者在某种学习风格类别中的相对位置,类 $eLr:LearningStyleCategory$ 还与属性 $eLr:hasValue$ 关联起来。这些 $eLr:hasValue$ 属性的取值范围在 $[-1, 1]$,两个边界表示 2 个极端。比如 $eLr:LS_Visual-Verbal$ 的 $eLr:hasValue$ 属性的值是 -1 ,则表示该学习者是极端的视觉型,他通过浏览图表、流程图、时间图、图片和示意图等来达到最佳学习效果;相反,如果取值为 1 ,则表示该学习者是高度言语表达型,能够从阅读、听讲、参加讨论和向别人解释事物等过程中汲取最大限度的知识。

4 个性化课程

根据学习者的学习特征、已有知识结构,以及知识点之间的逻辑结构而生成的由若干个知识点组成的教学单元称为个性化课程。

一般来讲,一个知识点所包含的知识项的数目是不能改变的,但是各个知识项之间的呈现先后顺序可以根据用户的特征、喜好以及已有的知识结构进行动态调整。

同理,一门个性化课程的生成,除了要基于这些知识点之间的客观结构之外,还可以根据用户的特征、已有的知识结构

进行动态调整。

某学习者的若干门个性化课程组合而成的课程群,称为个性化专业。因为学习者的学习内容变化可能比较大,在一段时间内的学习内容可能会有很多不可预测性,因而造成个性化专业的生成比较复杂,即使生成的个性化专业适合学习者当时的情况,但是随着学习活动的开展,学习者的学习路径可能会发生比较大的变化,导致原来的个性化专业不再适合学习者的现状,需要重新生成;所以这里没有讨论个性化专业的生成问题。个性化课程、个性化专业与学科、知识点之间的逻辑关系如图2所示。

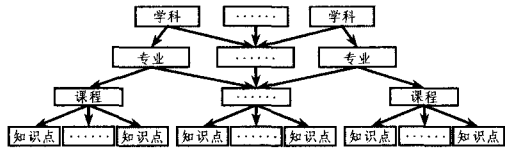


图2 学科与专业教学

生成一门个性化课程主要考虑3个方面的内容:① 知识点本体。根据知识点本体中各个知识点之间的关系,推理得出所选知识点的内部结构;② 学习策略本体,即待学知识点的选择策略。不同的知识点选择策略选出的待学知识点不同;③ 学习者本体。学习者的已有知识结构和学习者的学习特征,即学习者本体中学习者的学习特征、兴趣爱好、知识结构及其掌握程度等内容。个性化课程本体与知识点本体、学习策略本体、学习者本体之间的关系如图3所示。

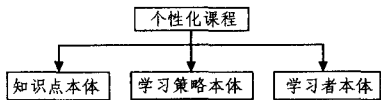


图3 个性化课程的生成

一门个性化课程生成之后,如果知识体系中组成该课程的知识点发生了变化(如内容进行了修改、知识点被删除,两知识点合并等),则该课程不能进行修改。

4.1 待学知识点的选择

学习者为了学习某个特定的知识点(称为目的知识点),就必须从知识点本体中选择其它待学知识点,并组合而成一门个性化课程。选择待学知识点的方式有2种:

①静态选择

根据知识点之间的前驱后继关系,从知识点本体中选择目的知识点的k层前驱内所包含的所有知识点(如图4所示),然后从这些知识点中剔除学习者已经掌握的知识点,剩余的知识点即为构成个性化课程的所有待学知识点。

这种选择待学知识点的方式有一个缺点:选出的待学知识点可能仍然有先修知识点没有掌握。

②动态选择

如图5所示,设目的知识点为y,学习者已经掌握的知识点为: $x_1, x_2, \dots, x_m$,则系统根据知识点之间的依赖关系分别求出 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 到y的路径,然后合并该路径,并删除已学知识点,剩余的知识点就是待学知识点。

规则1:[MasterRule;

(? a http://www.mydomain.com#hasMaster? b),

(? b http://www.mydomain.com#isSuccessorr? c)

->(? a http://www.mydomain.com#canLearn? c)]

如果用户a已经掌握了知识点b,知识点b是知识点c的

前驱,则用户a可以学习知识点c。

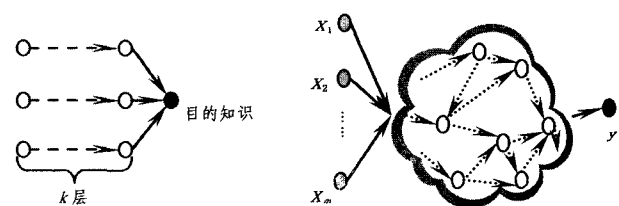


图4 目的知识点及其前驱知识点 图5 待学知识点的动态选择

4.2 基于学习者本体组织个性化课程

学习的过程就是遍历知识点的过程,一门个性化课程包含多个知识点,这些知识点的组织方式有4种:

①集合结构(Set structure),知识点之间没有任何关系,离散地呈现给学习者。

②网状结构(Reticulation structure),根据知识点之间的依赖关系和参考关系组织待学知识点,知识点之间是网状的关系,待学知识点网是知识点本体网的一个子网。

③线性结构(Linearity structure),根据知识点之间的依赖关系和参考关系,以某种方式遍历待学知识点网,生成一个知识点线性序列。

④树状结构(Tree structure),多个待学知识点分别属于不同的知识单元,甚至这些知识单元又分属于不同的知识领域,则可以根据知识领域、知识单元和知识点的3层树状结构组织待学知识点。

根据学习者本体中学习者的个人基本信息、学习特征、兴趣爱好、知识结构、知识掌握程度等信息,组织待学知识点。比如某学习者是Sequential型,则他/她就必须按部就班、一步一个脚印地学习,对他来讲,待学知识点的组织方式应该是线性的或者树状的;而Global类型的学习者更喜欢头脑风暴式的学习方式,他很容易在学习之初很迷茫,但往往会在后期以一种创造性的方式对所学的东西豁然开朗,得到全部要旨。对于这类学习者,待学知识点就要以网状的结构呈现给他。设计知识点组织规则时,可以根据eLr:LS_Sequential-Global的取值来判断学习者到底属于哪种风格。

5 实验结果分析

作者在重庆大学网络教育学院、计算机学院随机选了361个学生(其中网络学院计算机科学与技术学科一、二年级的本科生212人,计算机科学与技术学科一、三、四年级的本科生137人,计算机科学与技术学科硕士研究生12人)持续40天使用该系统进行在线学习。对他们的用户满意度^[12]进行调查,调查采样点分别是5天后、10天后、20天后和40天后。调查结果如图6所示。

从图6中可以看出,在使用该系统5天后,已经有40.17%的学习者对该系统满意或非常满意,这说明该系统已经得到了他们的认可;39.61%的学习者反应一般,20.22%的学习者对该系统不满意,这些学习者之所以感受不到该系统的优越性,主要原因是他们基本上都是高年级本科生或研究生,具备的知识结构比较完善,系统短时间内无法快速建立他们的真实知识结构,导致推荐的知识点不合理,还有一种原因就是他们已经适应了传统的网络学习方式,短时间内很难转变过来。

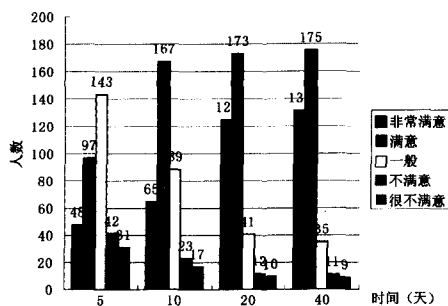


图6 学习者满意程度调查结果

10天后,64.27%的学习者对该系统满意,说明该系统已经得到大部分学习者的认可和喜爱;24.65%的学习者感觉一般,这部分学习者有的是原来就感觉一般的,有的是本来感觉不满意,经过更长时间的试用,感觉变好了的。

20天后,满意该系统的学习者达到82.55%,感觉不满意和很不满意的仅占8.86%。这说明经过20天的使用,绝大部分学习者都已经感受到系统的优势,已经接受并喜欢该系统。

40天后,84.76%的学习者对该系统满意,感觉一般和不满意的分别占9.70%和5.54%。与前一次调查相比,满意的人数有增,不满意的人数有减,但是变化不大。这说明该系统的用户群已经确定。之所以还有5.54%的学习者对该系统不满意,我们分析原因有3点:①系统中的知识点还不是十分完善,系统所提供的知识点并不是他们所需的,而他们想学习的知识点系统中还没有建立起来;②他们不适应网络学习模式;③系统界面不够友好,或者他们真的不喜欢该系统。对于第①种情况,可通过加强知识点维护,或者允许学习者自己有针对性地维护知识点来解决;对于第②种情况,可以通过对他们进行定向培训的方式解决;对于第③种情况,需要我们完善系统的界面,并有针对性地满足他们的需求。

结束语 本文针对在当今的现代远程教育领域,教育资源重用难,学习内容选择难现状,提出了以知识点本体来组织教学内容,生成个性化课程。论文构建了计算机科学与技

术学科的知识点本体,以知识点本体为核心的知识管理不但利于教育工作者组织教学内容,更适合于学习者的自主学习,还有利于知识的组织和管理以及教育资源的发布。

参考文献

- [1] 陈智,隋光远,皮秀云.论知识点是人的认知单位[J].心理科学,2002,25(3):369-370
- [2] 谢深泉.知识点及其网络的特性分析[J].软件学报,1998,9(10):785-789
- [3] 施岳定,张树有,项春.网络课程中知识点的表示与关联技术研究[J].浙江大学学报:工学版,2003,37(5):508-511
- [4] Engel G, Roberts E. Computing Curricula 2001[R]. IEEE Computer Society, Association for Computing Machinery, 2001
- [5] Jean - Marc R, Gracia G. Experimental study on the reuse of learning objects and teaching practices[C]//Proc. Int'l Conf. on Education and Technology. Calgary, Canada, 2005:107-112
- [6] 郭东,胡亮,郭冰心,等.基于应用偏好模糊聚类的网格资源选择[J].仪器仪表学报,2008,29(7):1403-1407
- [7] Sanchez - Alonso S, Garcia - Barriocanal E. Making use of upper ontologies to foster interoperability between SKOS concept schemes[J]. Online Information Review, 2006, 30(3): 263-277
- [8] 向昶,周旭.基于知识点模型的通用ICAI系统[J].湘潭大学自然科学学报,2006,22(2):17-21
- [9] 丁雅娴.学科分类研究与应用[M].北京:中国标准出版社,1994:54
- [10] Jovanovic J, Gašević D, Devedžić V. Dynamic assembly of personalized learning content on the semantic Web[C]// Proc. of the 3rd European Semantic Web Conference 2006 (ESWC2006). Budva, Montenegro: Springer Verlag, 2006:544-558
- [11] Felder R M, Silverman L K. Learning and teaching styles in engineering education[J]. Journal of Engineering Education, 1988, 78(7):674-681
- [12] 朱郑州,吴中福,吴开贵.基于用户满意度的学习服务发现算法[J].计算机研究与发展,2008,45(7):1161-1168

(上接第99页)

较可以通过从源 N 路径中构建一个 M 路径的子集来执行,可以对 N 路径进行一次扫描。之后算法可以将 M 路径的选择传播给等级中的下一层,那里 S_l 比较必须在下一个最高层的路由器中进行,其中 S_l 是 l 层中iBGP会话的数量。在等级中向上重复这一过程总共的运行时间是 $O(N+|S|)$ 。

带路由反射的算法计算BGP路径选择过程结果的运行时间不再复杂,尽管计算结果的过程涉及的更多。在带有路由反射的iBGP拓扑中,会话数目 $|S|$ 实际将比iBGP全网时的 $|R|^2$ 少;因此,算法的运行时间从路由反射器减少了iBGP拓扑中会话数量这一事实中受益。

结束语 本文给出了一种不需模拟BGP协议的复杂操作,预测了带有路由反射器的BGP路由的方法。利用C-BGP模拟了一个大型AS,并运行了我们的预测算法。结果显示,在现实的网络中如果进行配置的变动有可能引起系统的不收敛。这个算法可以应用于运营商在修改网络配置之前进行风险评估,可以减少由于管理员的误操作而引起的网络故障。

参考文献

- [1] Oran D. OSI IS-IS Intra-domain Routing Protocol[S]. Internet Engineering Task Force, RFC 1142, Feb. 1990
- [2] Feamster N, Rexford J. Network - Wide Prediction of BGP Routes[R]. georgia Tech TR GT-CSS-2006-003
- [3] Griffin T, Shepherd F B, Wilfong G. The Stable Paths Problem and Interdomain Routing[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, 10(1): 232-243
- [4] Gao L, Rexford J. Stable Internet routing without global coordination[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, Dec. 2001: 681-692
- [5] Feldmann A, Greenberg A, Lund C, et al. Deriving Traffic Demands for Operational IP Networks: Methodology and Experience[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2001, 9(3): 257-270
- [6] Griffin T, Wilfong G. On the Correctness of IBGP Configuration [C]//Proc. ACM SIGCOMM. Pittsburgh, PA, Aug. 2002:17-29