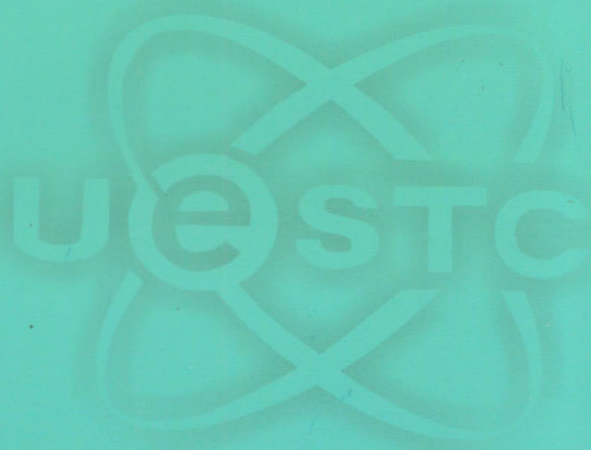




UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

硕士学位论文

MASTER THESIS



论文题目 基于本体的个性化推荐系统

学科专业 计算机软件与理论


学 号 201021060221

作者姓名 王 璐

指导教师 符红光 教授

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。


作者签名：_____ 

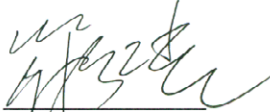
日期：2013年 6月 19日

论文使用授权

本学位论文作者完全了解电子科技大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权电子科技大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

作者签名：_____ 

导师签名：_____ 

日期：2013年 6月 19日

分类号 _____ 密级 _____

UDC _____

学 位 论 文

基于本体的个性化推荐系统

王 璐

指导教师

符红光

教 授

电子科技大学

成 都

申请学位级别 **硕士** 学科专业 **计算机软件与理论**

提交论文日期 **2013 年 3 月 18 号** 论文答辩日期 **2013 年 5 月 6 号**

学位授予单位和日期 **电子科技大学** **2013 年 6 月 29 日**

答辩委员会主席 _____

评阅人 _____

年 月 日

AN ONTOLOGY-BASED PERSONAL RECOMMENDATION SYSTEM

A Master Thesis Submitted to

University of Electronic Science and Technology of China

Major: **Computer Software and Theory**

Author: **Wang Lu**

Advisor: **Fu Hongguang**

School: **School of Computer Science & Engineering**

摘要

随着信息技术不断发展，智能教学系统作为一种辅助教学的手段逐渐成为E-Learning领域众多学者的研究重点，但多数智能教学系统缺乏有效的学习资源推荐机制，使得用户在面对海量资源时，无法准确地寻找到满足自身学习需求的学习资源，最终导致用户学习兴趣下降，系统教辅作用无法得到充分地发挥。

为了解决在海量题库中为学生提供个性化资源推荐的问题，在相关理论的指导下，本文提出了以本体作为知识表示手段的个性化推荐算法，以避免传统推荐系统因忽略资源本身蕴涵信息而产生的无关推荐，为本体在智能教学系统中的应用提供一种新的发展思路。具体研究内容如下：

第一，研究了本体、语义相关度和个性化推荐算法等相关理论，主要包括本体构建、传统语义相关度计算方法、个性化推荐算法等。重点介绍了本文主要技术、运筹学经典决策算法层次分析法的决策原理以及计算方法。

第二，提出了一种计算本体概念间的语义相关度计算方法：该算法提出了四种衡量语义相关度的指标：语义距离、语义重合度、概念层次差和语义权重，并通过层次分析法将四种指标转换为一个综合度量值以评价本体概念间的语义相关度。本文设计两组对比试验，将该方法与同类语义相关度计算方法在不同本体上的实验数据做对比，证明该方法在衡量本体概念间的语义相关度上具有良好的语义区分性，评估结果较其他同类算法而言更加符合主观判断。

第三，提出了一种基于本体的个性化推荐算法：该算法将基于本体的个性化推荐分为“基于本体的概念集扩展”、“以语义集合为关键字的资源查询”、“语义相关度计算”和“推荐度计算”四个环节，将单一概念转换为与之具有一定语义联系的习题资源，通过对每种资源涉及到的知识点进行语义分组和相关度计算，最终得到该资源的相对推荐度。同时，本文通过实验数据证明该算法得到的推荐资源与主观预期相符，具有良好的推荐效果。

最后，提出了一个推荐算法应用系统，智能教辅系统：该系统基于上述两种算法设计了预习推荐、同步推荐以及复习推荐三大功能模块，证明了基于本体的个性化推荐算法的理论与应用价值。

关键词：本体，个性化推荐，层次分析法，语义相关度，智能教辅

ABSTRACT

With the rapid development of information technology, Intelligent Tutoring System, as a measure of aided instruction, has becoming a research focus of many scholars in the E-Learning field. But most of them lack effective recommendation mechanism of learning resources, which makes system can not accurately recommend resources for students facing massive resources. As a result not only will students' interest in learning decline, but also the system can not give full play to aided instruction.

On the basis of relevant theories, an algorithm of personalized recommendation, in which ontology is introduced to represent knowledge, is proposed in order to solve the problem of recommending learning resources from massive items bank for students. This research can avoid unexcepted recommendation caused by ignoring information of resources and provide a new thought of ITS's application. The details of the research are described as follows:

First, this thesis researches the theories of ontology, semantic relevancy and personalized recommendation, including ontology's construction, traditional caculation method of semantic relevancy, algorithms of personalized recommendation and so on. The key point is introducing the technologies used in this thesis, the theories and caculation method of Analytic Hierarchy Process, which is the classical decision algorithm.

Second, an algorithm of ontology-based semantic relevancy, which uses the Analytic Hierarchy Process to integrate four semantic relevancy's indicators: semantic distance, semantic contact ratio, concept hierarchy difference and semantic weight into a comprehensive metric value to evaluate the semantic relevancy between concepts of a ontology. Comparative experiments, which comparative the data generated by this algorithm and similar others to evaluate the semantic relevancy on different ontologies, are designed to demonstrate that the proposed algorithm can effectively calculate the ontology-based semantic relevancy and the results are more in line with subjective judgment than others.

Third, an algorithm of ontology-based recommendation is proposed. By dividing the recommendation into four steps: ontology-based concepts extension, resources

query based on semantic set, caculation of semantic relevancy and caculation of recommendation degree, one concept is changed into a set of resources which has a certain semantic contaction with it. And by grouping concepts into different semantic sets and caculating the semantic relevancy between them, the recommendation degree of the resources can be get. At the same time, the experiment data proves that the recommended results meet the subjective expectation and the algorithm has a significant recommending effect.

Last, an application system, namely an intelligent turing system, based on two algorithms mentioned above is proposed and designs three modules: recommendation of preview, recommendation of synchronization and recommendation of review, which proves the theory and application value of this algorithm of ontology-based recommendation.

Keywords: Ontology, Personal Recommendation, AHP, Semantic Relevancy, ITS

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 研究现状	2
1.2.1 本体的研究现状	2
1.2.2 语义相关度的研究现状	3
1.2.3 个性化推荐算法研究现状	4
1.3 研究内容	6
1.4 论文组织结构	7
第二章 相关理论与技术	9
2.1 本体论	9
2.1.1 本体的概述	9
2.1.2 本体的描述语言	10
2.1.3 本体的构建	13
2.1.4 基于本体的知识表示	16
2.2 语义相关度	17
2.2.1 语义相关度概述	17
2.2.2 语义相关度的评价指标	18
2.3 层次分析法	19
2.4 本章小结	23
第三章 基于本体的个性化推荐算法研究	24
3.1 基于本体的个性化推荐算法设计	24
3.2 初中数学知识本体构成	25
3.3 习题预处理	29
3.3.1 习题认知模型	29
3.3.2 基于 XML 的习题表示结构	29
3.3.3 题库存储结构	31
3.4 评测	32
3.4.1 用户模型	32
3.4.2 评测模型	33

3.5 AHP 语义评估法.....	34
3.5.1 影响语义相关度的因素	34
3.5.2 基于 AHP 的参数估计	37
3.6 基于本体及 AHP 语义评估法的个性化推荐.....	39
3.6.1 基于领域本体的概念集扩展	39
3.6.2 评测修正的资源检索	41
3.6.3 学习资源推荐度的计算	42
3.7 本章小结.....	45
第四章 AHP 语义评估法实验与分析	46
4.1 对比算法介绍.....	46
4.2 通用本体 WORDNET 实验分析.....	47
4.3 初中数学领域本体实验分析.....	51
4.4 本章小结.....	53
第五章 个性化推荐系统的设计与实现	54
5.1 基于本体的个性化推荐系统结构.....	54
5.2 系统详细设计.....	56
5.2.1 功能模块设计	56
5.2.2 类图设计	57
5.2.3 时序流程图	61
5.3 数据库设计.....	62
5.4 系统开发环境.....	65
5.5 系统实现与测试.....	66
5.5.1 预习推荐模块实现	66
5.5.2 同步推荐模块实现	68
5.5.3 复习推荐模块实现	70
5.5.4 系统展示	72
5.5.5 系统测试	74
5.6 本章小结.....	80
第六章 总结与展望	81
6.1 工作总结.....	81
6.2 展望.....	82
致 谢	83
参考文献	84
攻硕期间取得的研究成果	87

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

计算机行业的飞速发展，使得计算机已经深入到人们现代生活的方方面面，对人们的生产、学习、工作和生活产生了翻天覆地的影响。在教育领域，智能教学系统（Intellectual Tutoring System）^[1]利用人工智能和计算机技术来模拟现实教学过程，使得该系统具备了人力教学所不具备的高效率、高存储、个性化等特点。其广阔的发展前景使得越来越多的专家开始投入到对 ITS 的研究中，希望可以凭借计算机对知识的有效处理，由计算机代替老师来提高学生学习效率，并最终实现人类对其自身认知过程的终极解码。然而，目前针对 ITS 系统的研究仍然处于起步阶段，如何对知识进行有效地表述，如何准确地对学生模型和教师模型进行建模等等一系列难题摆在学者面前^[2]。其中的一个重要问题就是 ITS 系统中的个性化推荐研究。

目前业内对于个性化推荐系统的研究正处于高速发展期，相关的推荐算法也已在电子商务领域、个性化搜索等领域得到一定程度的发展和应用。传统的个性化推荐算法包括基于内容的推荐、基于行为的推荐、以及混合推荐算法，其中基于行为的个性化推荐算法凭借其出色的行为分析和兴趣建模，得到了业内专家学者的广泛研究。但具体到 ITS 领域，系统本身包含的知识评测系统、以及知识表示系统决定了 ITS 中的个性化推荐模块对知识的依赖多余对用户学习行为的依赖。相比于利益驱动的电子商务领域个性化推荐算法的蓬勃发展，主要应用于教育领域的个性化推荐算法的研究则相对疲软。由于教育领域内知识本身具有很强的语义关系，软件对用户的辅导更多地是强调用户在认知学习中对知识语义间联系的掌握。而应用较为广泛基于行为的个性化推荐算法，其原理则是通过构建邻居矩阵来判断用户的兴趣来为用户进行资源推荐，对于智能教辅而言，推荐结果忽略了用户在进行知识学习时表现出的认知特点，其准确度势必降低。

因此，本文将在前人的基础上，以本体作为知识载体，研究基于内容的个性化推荐算法，将算法研究重点放到对知识结构与习题资源本身的信息的利用和处理上，以解决在 ITS 系统中为学生从海量资源中进行个性化资源推荐的问题，并将通过实验证明该算法和系统的理论价值与应用价值。

1.2 研究现状

1.2.1 本体的研究现状

在我国经典古籍《易经》中有着“一生万物”的记载，这里的“一”就是中国人最早对“本体”的理解。从中不难看出，本体衍生万物，是现实世界的反映和表示。“本体”这一概念最早是由 Neches 等引入计算机领域，是针对特定的领域，通过总结该领域内的专业词汇和关系及其相关外延规则来实现计算机对现实世界的理解与分析。

目前，国内外针对本体的研究经历了两个发展阶段：本体的构建及其表示阶段和本体的应用阶段。具体到个性化推荐领域，以本体作为知识描述则体现出更多的优点。传统推荐算法的目标资源主要以无结构、无语义、计算机不可识别的信息载体为主，这些算法推荐效果与这些资源的表现形式无关。以协同过滤算法为例，众多的协同过滤变种算法利用同类用户具有近似兴趣的原理，取得了一定程度的发展，然而，这些算法普遍忽略了资源之间本身存在的相关性，仅仅关注于资源本身是否符合用户的兴趣模型。基于本体的推荐算法恰恰弥补了这一不足：本体通过定义知识之间的语义关系，将原本分散的资源组织起来，成为了一个可为计算机所理解的、较为准确地反映现实知识的信息载体。文献[3]就提出通过领域本体描述待推荐资源之间的关联性，并将之与协同过滤算法相结合来提高推荐的准确度；文献[4]则是对资源进行分解，形成加权向量，并把这些属性添加到特定的领域本体中，以实现推荐系统对资源蕴含信息的利用。

目前，国内对本体的应用主要集中在信息检索，常识知识库建模等，这些应用充分发挥了本体在知识表示上的优势，使得本体相关理论研究得以发展到一个较为成熟的阶段。但是，本体受自身理论的限制，其发展仍然存在诸多不足之处：

(1) 本体构建不成熟：目前本体构建仍然是以手动或者半自动构建^[5]为主，其构建过程受主观影响极大，如果缺乏统一有效的管理，本体构建极易变成一项复杂而又无用的重复性工作。本体要想得到进一步地发展，就需要在具体本体描述语言的基础上研究本体的自动构建与模型化构建。

(2) 对本体维护无有效方法：本体构建需要建立在一定的知识领域并结合应用需求进行构建，知识领域或应用背景发生改变往往意味着花费大量成本建立的领域本体将丧失其可用性。目前有研究就此问题提出用版本控制的方法来进行本体维护^[6]，提高本体的适应性，但此类方法只是在本体构建阶段具有一定的效果，一

但构建过程中涉及到本体复用，仅仅进行版本控制就不能满足实际构建需求。

(3) 缺乏有效的本体评价机制：构建本体最终目的是为了更加适用于实际应用，那么如何更加准确地评价本体构建的合理性就显得尤为重要。目前，已有的本体评价理论集中在对本体性能、推理机制进行评价，确立了本体一致性、用户满意度、任务吻合度、主题度、复用度^[7]等一系列本体评价指标，在一定程度上可以衡量本体构建优劣程度。但是，业内对于本体评价的研究仍处于初级阶段，仅有的评价手段多是需要与具体的应用相结合。因此，如何设计一整套有效、可行且适用于通用本体的评价模型就显得尤为重要。

1.2.2 语义相关度的研究现状

目前，基于本体的个性化推荐算法主要思想是通过本体对用户提交的概念进行语义层面上的概念扩展，将基于关键字的查询转换为基于语义的查询，之后再利用语义扩展后的概念集合检索推荐资源，并根据推荐内容与用户提交概念间的语义关系进行排序，最终得到推荐结果。不难看出，基于本体的个性化推荐的关键就在于如何准确衡量资源与用户提交概念间的匹配度。基于本体的语义相关度为解决这一问题提供了解决思路。

语义相关度^[8]指两个概念在某一特定语义网络中的关联程度。世间万物都具有联系，这种联系就是事物之间的相关性，如人和汽车通过开车这一关系相连，豹子和羚羊通过捕食这一关系相连，这种具有传递性的联系最终使得万物被联系为一个统一的整体。计算机无论采用何种方式描述世界，“联系”这一概念最终都会被反映到语义相关度上。

语义相关度按照采用的方法可以划分为基于统计的计算方法和基于领域本体结构网络的计算方法。基于统计的语义相关度计算方法认为：“相关度高的概念总是以一定的高概率同时出现”：田萱与李冬梅提出的利用最大似然估计法^[9]在语义距离的基础上对语义关系进行参数估计的方法就是一种基于统计理论衡量语义关系的方法，此种基于统计的计算方法可以达到对语义相关度进行准确定量计算的目的，但对样本对象的大小以及准确性、有效性都有着一定程度的要求；而基于领域本体结构网络的计算方法则是利用本体网络自身蕴含的复杂语义关系以语义距离来衡量概念间的语义相关度：王家琴、李仁发等^[10]提出的通过添加 x 和 y 影响系数来计算语义相关度的算法即属此类，与前者比较而言，基于本体的语义相关度计算方法凭借其充分利用本体蕴含信息的特点，获得了越来越多的关注。

目前基于本体的语义相关度研究主要集中在基于语义距离的语义相关度计算，代表算法有：Shortest Path^[11]，Weighted Links^[12]以及 Wu and Palmer^[13]等。其中，Shortest Path 算法的核心观点为“概念间的相关度可以由概念在本体体系树中的最短路径来衡量，距离越小，相关度越高”；Weighted Links 方法是对 Shortest path 的改进，在 Shortest path 的基础上引入了权重的思想，认为本体的体系树中的路径并不是等效的，不同的关系具有不同的权重，从而规避了 Shortest Path 算法的主要缺陷；而 Wu and Palmer 方法则对用两个概念的语义距离来衡量语义相关度持否定态度，认为语义相关度是用两个概念公共父节点与这两个概念的路径来衡量。

1.2.3 个性化推荐算法研究现状

伴随着信息的快速增长，人类处理信息的能力即信息的利用率不但没有随信息量的增加而增长，反而随之下降，这就是为人们所熟知的信息爆炸。在一个信息爆炸的社会，如何有效地利用这些信息就成为了人们的研究热点，在这种背景下，个性化推荐系统应用而生。

个性化推荐系统指根据用户的兴趣，利用一定的算法为用户在海量数据中寻找所需信息的系统。根据推荐系统所使用的技术来分类，个性化推荐系统可以分为以下几种：

其一，基于规则的推荐^[14]：此种系统根据以往用户浏览过的感兴趣的内容作为推荐意见，通过分析用户与兴趣之间的联系，制定相应规则，并以此来发现用户未来可能感兴趣的内容。这些规则是决定在何种情况下进行何种推荐的依据，其推荐方式就决定了该方法的简单、直接，同时，可谓“成也萧何，败也萧何”，也正是由于其原理简单的特点，随着用户规模扩大或者用户兴趣复杂化，规则的数量将会呈现庞杂化，规则难以管理，质量难以保证。基于规则的推荐按照制定规则的方式可以划分为人工决策推荐和关联规则推荐。前者采用人工的方法，管理员通过分析用户浏览行为人工制定规则，简单化的处理方式使得该方法主要应用于小型推荐系统，当系统规模增大之后，该方法就会暴露出低效、复杂的缺点；后者通过对用户浏览行为进行跟踪，对数据集进行挖掘，发现数据集中隐藏的规则和联系，并以此来制定资源关联规则和用户关联规则，与人工方式相比，自动化的处理方式大大提高了效率，因此，该推荐模式在电子商务领域得到了一定程度的应用，如亚马逊。

其二：基于内容的推荐^[15]：该类推荐算法通过对用户兴趣进行建模，分析待

推荐资源内容与用户兴趣模型的相似度来为用户推荐资源。基于内容的推荐主要应用于以文本作为信息载体的资源推荐上，相关研究主要集中于如何建立更加科学的用户模型以及利用资源信息特征计算量化值来生成符合用户需求的推荐序列。文献[16]提出利用向量空间模型来表示用户的兴趣并根据用户的行为反馈提高系统的自学习能力，增强推荐系统的准确性。Balabanovic 和 Shoham 于 1995 年设计的个性推荐系统 LIRA 通过收集用户学习反馈更新用户的兴趣模型，并以此为依据自动搜索资源页面，从中发现与用户兴趣模型相匹配的资源并推荐给用户。由 Lieberman 开发的个性化浏览辅助智能体 Letizia 主要是以跟踪用户的浏览行为来生成用户学习模型，并在随后的浏览活动中主动进行宽度优先的前瞻搜索，为用户提供个性化服务。此外，电影推荐系统 INTIMATE 采用基于文本内容分类的方式实现个性化推荐。总体上看，基于内容的推荐具有算法简单的特点，推荐结果在一定程度上具有相似性，使得该算法很难为用户发现新的感兴趣的资源，这成为此类算法的近一步发展的主要瓶颈。目前，基于内容的个性化推荐研究热点主要集中在用户配置文件的生成与更新上，针对这一问题，文献[17]提出使用自适应过滤技术来更新用户的配置文件，通过对用户喜好的信息文件进行整理归纳，并将之与 Web 文件流中的文本内容进行比较，通过相似度匹配将相关性最高的文件推荐给用户；文献[18]则在此基础上提出了最佳匹配度阈值设定算法，确保最大限度地寻找相关资源，摒弃无关资源，在提高算法推荐精确度的同时，提高了算法实现的效率。此外，基于内容的个性化推荐的另外一个研究热点则是基于本体的个性化推荐，此类推荐算法取代了传统基于内容推荐在进行资源检索时采用的关键字查询，转而利用本体提供的知识关系网络进行资源查询，文献[19]使用本体来描述推荐产品，并利用本体间的语义距离来寻找相关资源并为用户提供推荐；文献[20]通过本体来对地震信息资源进行描述，并通过匹配相关本体对象来为用户推荐资源。文献[21]将本体引入到电子商务领域，提出了一种以知识库为基础的电子商务推荐模型，以解决用户个性化购物的需求。

其三：基于协同过滤的推荐：此类算法以协同过滤算法为基础，属于合作推荐算法。与以分析用户兴趣与资源的匹配程度为思路的基于内容的推荐算法不同，协同过滤算法的核心思想为：用户 A 喜欢资源群 $S\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ ，用户 B 与用户 A 是兴趣相仿的用户，则认为用户 B 可能对资源群 $S\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ 中的资源感兴趣。由于协同过滤算法不考虑资源本身的信息，仅仅将算法重心放在了对相似用户的研究上，使得该算法对资源载体无任何限制，应用领域及其宽泛，包括可计算的文本、电影、音乐、艺术品、多媒体资源在内的众多资源类型都可以作为待推荐

的资源。凭借其简单、通用的特点，协同过滤算法从诞生之日起就得到了空前的发展。世界上第一个使用协同过滤算法的系统是 Palo Alto 研究中心为解决资讯过载问题而研发的 Tapestry 系统：用户向系统提交自己感兴趣的资讯类型，系统以此作为依据对邮件进行过滤，将用户最感兴趣的邮件优先送达信箱。GroupLens 是一个新闻筛选系统，系统认为用户现在感兴趣的内容在未来一定时间内依然感兴趣。当用户对阅读过的资讯进行评分时，系统以此评分为依据为用户进行推荐。与 Tapestry 不同的是，GroupLens 添加的评分系统将不同使用者对统一资源的评分被列入考虑范围并最终优化推荐结果。此外，Facebook、腾讯等也开始利用其已有的社交网络为用户推荐更符合其兴趣爱好的好友、广告、新闻等内容。目前协同过滤算法的研究热点主要集中在矩阵稀疏性问题，冷启动问题，相似性计算问题等。

除以上三种推荐技术以外，还有众多混合推荐技术，这些技术集合了两种甚至是多种推荐技术的优点，取长补短，最大限度地发挥各个推荐算法的优点，以达到最佳推荐效果。由于推荐系统可以满足用户个性化的需求，将传统的信息泛化展示转变为针对性推送，因此，当个性化推荐系统与 ITS 相结合时，系统既可实现学生对知识的针对性学习，在提高学生学习效率的同时，更进一步地促进 ITS 普及化，二者的融合无论是从理论层面还是从应用层面上看，都具有极大的发展前景。

1.3 研究内容

本文主要为了解决用户如何从海量学习资源中进行个性化资源推荐的问题。研究内容属于智能教辅系统的个性化推送模块，该模块将已有的初中数学领域本体作为知识表示载体，通过衡量资源与用户兴趣之间的匹配程度来为用户推送符合其学习情况的习题资源。本文主要包括以下内容：

(1) AHP 语义评估法：一种基于本体的语义相关度计算方法。本文提出了一种将运筹学经典决策算法，层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称 AHP）^[22]与本体语义相关度影响因素相结合的语义相关度评估算法。该方法通过计算本体概念间语义关系的强弱来衡量资源相对于用户查找概念的推荐度，是本文个性化推荐算法的核心内容。

(2) 基于本体的个性化推荐算法：本文第二个重点研究内容即是设计一种推荐算法，该算法利用本体提供的语义网络将基于关键字的资源查询转换为基于语义的资源查询，每个资源中涉及概念与用户输入概念间的语义关系将被按照语义强

弱划分为不同的语义组，这些语义组中的每个概念通过 AHP 语义评估法与用户输入概念进行语义相关度评测，最终将评测结果转换为可以反映资源推荐度的数值，从而满足用户需求。

(3) 基于本体的个性化推荐算法的系统实现：本文以智能教辅为应用，设计了以本文所提出的推荐算法为核心的个性化推荐系统，并对系统实现进行了详细地论述。

(4) 算法验证与系统测试：本文设计了两大实验来分别对 AHP 语义评估法和基于本体的个性化推荐系统进行有效性验证，通过数据分析和实验对比证明二者的有效性。

1.4 论文组织结构

本文主要内容包含六章：

第一章：绪论。本章首先阐述了个性化推荐系统在 ITS 系统中的发展与应用现状，针对此类系统的特点提出了基于本体的个性化推荐系统的可行性；同时对本文的关键技术：本体、语义相关度和个性化推荐在国内外的研究现状以及存在的问题进行了论述；最后对本文的主要内容做了简单介绍。

第二章：相关理论与技术。本章首先介绍了本体的相关概念、本体的描述语言、本体构建以及基于本体的知识表示；然后阐述了语义相关度的研究现状以及现有的语义相关度计算方法；最后，本章对层次分析法的诞生和应用做了简单介绍，并分别对层次分析法的两种计算方法：和积法和开根法进行了详细阐述。

第三章：基于本体与 AHP 语义评估的个性化推荐算法研究。本章首先重点研究了 AHP 语义评估法的算法原理和以 AHP 语义评估法为基础的资源推荐度计算方法；同时本章从整体上阐述了个性化推荐算法的核心思想，对包括用户模型、评价模型以及习题处理在内的相关模块进行了阐述。

第四章：AHP 语义评估法实验与分析。本章设计了 AHP 语义评估法的有效性判断的对比实验，将 AHP 语义评估法与传统单一语义相关度计算方法在通用本体和本文研究对象初中数学本体上的评价效果进行对比，以证明该算法的有效性与科学性。

第五章：个性化推荐系统的设计与实现。本章对个性化推荐系统的应用：智能教辅进行了详细设计与实现，并对实现效果进行了展示。其次，本章实验证明资源推荐度计算公式的对资源的推荐性具有良好的衡量效果，从而证明本文提出

的基于本体的个性化推荐算法的可行性。

第六章：总结与展望。本章主要对全文进行总结，并对本文可以改进的地方进行展望，为下一步研究指明了方向。

第二章 相关理论与技术

2.1 本体论

2.1.1 本体的概述

从 20 世纪 90 年代初被引入计算机领域开始,“本体”这一概念便为人工智能和知识表示提供了一种可共享、可重用的知识描述方式。通过对某一领域的各个概念以及概念之间的特征关系进行抽象描述,本体形成了一种领域范围内共享的公共概念集合。这种抽象可以是在很高层次上的抽象,也可以是特定领域内的概念的描述。正因为其出色的知识表示的能力,本体得以在自然语言处理、知识管理、信息搜索等诸多方面得到越来越多的专家学者的关注,无论是从实际应用的角度还是从理论探索的角度,本体变得日益重要。

对于“本体”这一概念,诸多研究学者都给出了自己的定义,最早给出本体定义的是 Neches 等人,即认为本体是“对某一特定领域的专业术语、术语之间的关系以及规定这些术语外延规则的定義”^[23]; Gruber 则将本体定义为“领域内概念化、明确化的规范说明”^[24]; Noy F. N.认为本体是“在某一领域内,通过对概念特性进行描述而实现对概念属性及其约束规则的描述”; Studer 则从四个方面^[25]对本体进行了定义,并得到诸多学者的广泛支持与认可:

- (1) 概念化 (Conceptualization): 对客观世界中的概念、知识进行抽象而得到一种描述模型,且该模型独立于具体的环境状态;
- (2) 明确化 (Explicit): 本体中的概念及概念间的约束规则具有明确的定义;
- (3) 形式化 (Formal): 采用精确的数学描述,即可为计算机所读取、处理;
- (4) 共享 (Share): 本体中所定义的概念及其规则是为其使用者所认可的,其受众群体是团体而不是某一个人。

从上述定义中不难看出,无论从何种角度对本体进行定义,其本质都是基本相同的,本文对其进行总结,认为“本体”是具有以下特征的知识描述:

- (1) 本体是一个形式化的概念系统;
- (2) 本体对某领域内的基本词汇及其关系以及这些关系的外延进行定义;
- (3) 本体是现实世界抽象模型的规范化说明。

本体包含五种基本元素：概念类、关系、函数、公理和实例^[26]，一般说来：

(1) 概念类：具有同类性质和特点的事物的集合。概念类可以是普通意义上的概念，也可以是事物、行为、功能等。如概念“三角形类”、“四边形类”等；

(2) 关系：表示概念之间的关联，本体中概念间的层次结构就是依赖典型的二元关系如子类关系（subClassOf）而构成，可表示为 $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$ ；

(3) 函数：是一种特殊的关系，如果说关系是多对多的，那么函数则是强调概念之间一对一的映射关系，它表示第 n 个元素相对于前 $n-1$ 个元素是唯一确定的。函数可表示为 $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$ ；

(4) 公理：在本体中表示不需要其他断言加以证明的规则和约束；

(5) 实例：属于某一概念类的具体实例，具有概念类所定义的全部性质和特点，如“等腰三角形”是概念类“三角形类”的一个具体实例。

关系通过概念之间、概念与实例之间的联系，建立本体的语义链，语义链的集成则形成了语义网络图。典型的关系主要有：subClassOf 关系、Instance-Of 关系、Member-Of 关系、Attribute-of 关系等。

(1) subClassOf 关系：又名 IS-A 关系，描述现实世界抽象层面上的类属关系，它构成了概念之间逻辑层次关系的基本结构，如 $subClassOf(C_1, C_2)$ ，表示 C_1 是 C_2 的子概念，对应的 C_2 是 C_1 的父概念。子类关系为一种偏序关系，具有自反性和传递性，不具备对称性。同时，子类继承了父类的属性，而父类则包含了子类所拥有的实例；

(2) Instance-Of 关系：定义概念与个体之间的语义关系。对于某一个具有实例集的概念 C 而言，其实例集中的任何一个元素 e 都与该概念具有该关系，即 $Instance-Of(e, C)$ ，通过该关系的定义，实例继承了概念所具有的性质和属性，从而实现基于实例的知识推理；

(3) Member-Of 关系：该关系是对现实世界中“部分”和“整体”关系的抽象，与 Instance-Of 关系侧重于描述概念与实例之间的关系不同的是，Member-Of 关系主要是用于描述概念之间的包含关系；

(4) Attribute-of 关系：描述某一概念 C 具备相关属性 a ，可以表示为 $Attribute-Of(a, C)$ 。

2.1.2 本体的描述语言

本体作为一种对现实世界的抽象，其设计和应用往往依托于具体的描述语言。

本体的描述语言包括基于 XML 的描述语言、基于谓词逻辑的本体描述语言、基于图的本体描述语言等多种表示形式。

1、基于 XML 的本体描述语言

XOL(Ontology Exchange Language), 本体交换语言^[27]: 为了在异构的软件系统中进行本体定义的交换, 美国的生物信息学领域的研究员在研究了生物信息学专家的代表性需求后, 设计了 XOL。XOL 遵循 XML 相关语法和 OKBC(Open Knowledge Base Connectivity)语义, 通过使用 OKBC 提供的操作知识库的通用接口, XOL 得以使得应用程序与特定的知识表示形式相独立。同时值得注意的是, 也是由于 OKBC 的限制, 使得 XOL 不支持逻辑运算。

SHOE(Simple HTML Ontology Extensions), 简单 HTML 本体扩展^[28]: SHOE 是 HTML 的扩展, 通过在 HTML 文档或者其他 Web 类型的文档中添加机器可读的语义标签, 使这些文档具有语义信息。这一过程包含三个阶段: 其一, 定义本体; 其二, 用本体论的信息注释 HTML 页面, 以便描述自身和其他的页面; 其三, Agent 通过搜索现有的全部网页来语义地检索信息, 并保持信息更新。

OML(Ontology Markup Language), 本体标记语言^[29]: OML 是由 Washington 大学开发的基于 SHOE 的本体描述语言, 包含四种不同层次的 OML 语言类型: OML 核心(OML Core)、简单 OML(Simple OML)、简化的 OML(Abbreviated OML) 以及标准 OML(Standard OML)。

RDF/RDFS(Resource Description Frame/ RDF Schema), 资源描述框架/RDF 词汇描述语言^[30]: 该语言是由 W3C 组织制定的一种可以解决 XML 局限的标准语言。RDF 提供对描述 Web 资源的支持, 包含了研究对象资源、表述资源间关系的属性以及说明资源属性的陈述三个部分。由于 RDF 相关标准以描述属性间或属性与资源间关系为主, W3C 组织在 RDF 的基础上又进一步地提出了 RDFS, 与 RDF 相比, RDFS 增加了语义原语, 通过定义类和属性, 增强了语言的描述能力。尽管如此, RDF/RDFS 的描述能力仍然具有很大的限制。

OIL(Ontology Interchange Language), 本体交互语言^[31]: OIL 是对 XOL 的延伸, 是在 XOL 的基础上, 设计的一种清晰、明确且通用的本体描述语言。OIL 包含了三个核心技术: 负责提供形式化语义和推理机制的描述逻辑, 负责提供丰富建模原语的框架逻辑以及负责提供标准语法标记的 WEB。

DAML(DARPA Agent Markup Language), 美国国防高级设计研究署代理置标语言^[31]: 该语言是由美国国防高级设计研究中心 DARPA 在基于 XML 的基础上设计并使用的一种标记语言。2000 年, DAML 与 OIL 合并, 命名为 DAML+OIL,

该语言在 RDF/RDFS 的基础上增加了大量的建模原语，使得本体的描述语言得到进一步地发展。

OWL(Web Ontology Language)^[32] :该语言是对 DAML+OIL 进行改进优化而制定的，具有更加强大的语义表达能力和更加完善的推理机制，目前已经发展成为语义 Web 的核心技术。OWL 的核心理念是根据不同的需要由应用程序而非人来对文档中的信息进行语义化。OWL 包含三种子语言，其表达能力渐进且向下兼容，(1) OWL Lite：只提供分类和简单约束，其表达能力在三种子语言中最低，但由于其增强了对公理的约束，使得该语言支持高效的推理；(2) OWL DL：与前者相比，OWL DL 减少了限制，在保证推理效率的同时，使得所有的结论都具有可计算性；(3) OWL Full：具有最高的描述性，但是此种语言的推理效率并不与其描述性能相对应，高效推理的实现几乎是不可能的。

不难看出，基于 XML 的本体描述语言经过不断发展，无论是其语义精度，还是其语义词汇，都得到很大地发展，表达能力、与推理能力也在不断地增强，图 2-1 给出了本体描述语言的层次结构图。

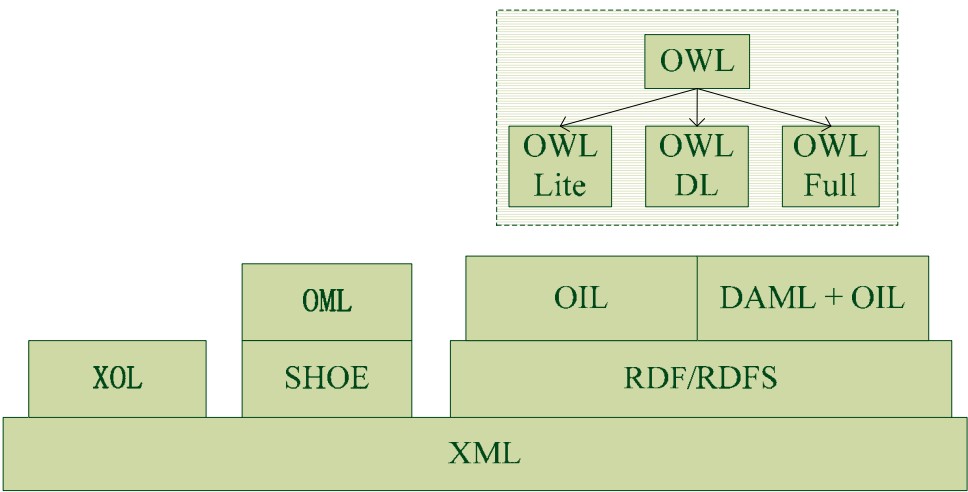


图 2-1 本体描述语言层次结构图

2、基于谓词逻辑的本体描述语言

KIF(Knowledge Interchange Format)^[33] :该语言基础为一阶谓词逻辑(First Order Logic)。一阶谓词逻辑可以看作是自然语言的一种简化形式，可以精确地、无二义地对自然语言进行描述并使之成为计算机所理解，因此，以一阶谓词逻辑为基础的 KIF 语言具有极强的描述能力。同时，KIF 还支持非单调规则以及简单的数据表示。凭借其良好的知识表示能力以及简洁、高效的特点，KIF 为不同计算机应用提供了知识交换的桥梁，目前，基本所有本体构建工具都提供了对 KIF 的支持。

Ontolingua^[34] :该语言以 KIF 为核心,对原有语言进行扩展并改进了本体开发的便捷性。Ontolingua 将内部描述与外在表现相分离,使其内部描述为 KIF 的公理以及非逻辑符号,而外在表现则是以对象为向导。Ontolingua 包含 KIF 分析器、本体分析工具以及一组 Ontolingua 转换器,这些转换器为将 Ontolingua 方便地转换为诸如 KIF、LOOM 等其他语言提供接口。因此,Ontolingua 作为一种本体定义语言是与特定的表示系统相独立的。

LOOM^[35] :LOOM 语言及其后续开发语言 PowerLoom 语言都是南加利福尼亚大学设计实现的。LOOM 语言通过支持前向推理、语义一致化和真值维护来实现高效推理,并支持在线查询推理。

除上述两种本体描述语言外,还有一类基于图的本体描述语言,如 WordNet^[36], Conceptual Graphs^[37]和 Conceptual Representation^[38],此种描述语言主要是用网状结构的图形来描述本体的逻辑结构和约束关系,与前两种语言相比,基于图的本体描述语言将重点放在了本体展示上,图形化的描述方式使其不具备本体推理功能,因此,此种本体描述语言并非业内研究重点。

2.1.3 本体的构建

本体的构建是在特定领域内对该领域内的概念以及概念之间的关系进行形式化组织的过程。构建领域本体的目的就是在其涉及领域范围内达成一种领域内知识的共识,并在不同的形式化模式上给出这些知识之间关系的明确定义。本体构建目前有自动化构建、手工构建以及半自动化半手工构建。无论是哪种构建方法,都需要领域专家以及计算机研究人员遵循一定的规范和要求方能达到准确、真实反映现实世界的目的。

1、本体的构建准则

目前本体的构建仍然是以手工构建为主,对于人工构建而言,或多或少在构建的过程中都会夹杂着人的主观倾向,这也是本体构建需要领域专家进行参与指导的主要原因。因此,为了保证构建出来的本体具有可用性,Gruber 提出了构建本体需要遵守的五点准则^[39] :

清晰化 (Clarity) :本体应当是对现实世界清晰、客观的反映,并且所有本体中知识的定义都可以用自然语言进行解释、说明 ;

一致性 (Coherence) :本体支持知识推理,一致性要求本体在进行推理时,其推理的结果不可以与本体本身的定义相矛盾 ;

可扩展性 (Extendibility) : 本体应该是可扩展的、开放的, 可以根据需要增加新的概念与关系而无需修改本体原本的结构;

编码偏差最小 (Minimal Encoding Bias) : 本体应当与其形式化描述语言无关, 即由形式化描述语言的格式不同、语法不通造成的本体实际意义的偏差应当达到最小化;

本体承诺最小 (Minimal Ontological Commitment) : 本体应当以满足特定领域内知识表示为目的, 而不应当过多地添加判断和约束, 从而实现本体最小化。

需要说明的是, 以上五点本体构建准则是理想情况下本体应当达到的, 在实际应用中, 还应当结合具体的需求进行权衡取舍, 不以单个准则的符合为追求, 而以追求本体整体性能最佳为目的。

2、本体的构建方法

本体构建主要指的是本体的手动构建, 通过对本体手动构建流程进行规范化定义, 可以对这一本身具有极大主观性的操作进行最大的规范。一般而言, 一个行之有效的本体构建方法一般都要包含领域专业词汇确定、关系确定、本体构建、本体检测等主要环节。比较著名的本体构建方法是斯坦福大学开发了“七步法”^[40], 如图 2-2 所示。

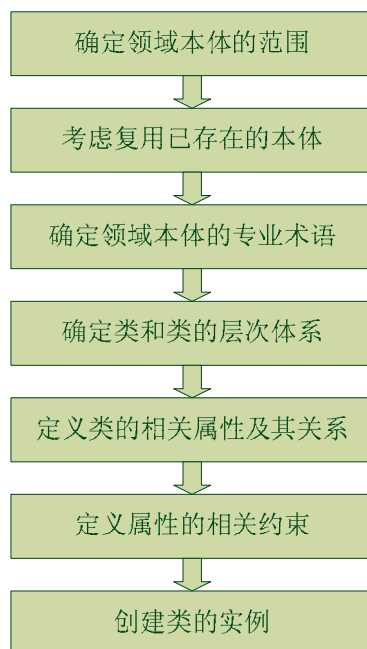


图 2-2 “七步法”本体构建流程

Step 1 : 确定领域本体的范围。本体是某一领域内的知识的描述, 因此, 在构建领域本体之前, 就要明确目标本体的目的、范围、主要用途等, 并形成一目

标本体的大概轮廓。

Step 2：考虑复用已存在的本体。在构建本体时，应当考虑是否已经有类似本体存在，对于已有的本体应当将本体复用作为本体构建的重要一环，以节约开发成本和时间并提高本体的利用效率。

Step 3：确定领域本体的专业术语。对该领域内涉及到的所有专业术语进行梳理，并对这些术语之间的关系、属性进行列举，确保该清单的完整性与专业性。

Step 4：定义类和类的层次体系。确定对类的描述，这些描述除了包含对该类的描述，还应该包括对该类父类、子类的描述，从而形成一个较为完整的类的层次框架。在执行该步骤的时候，通常采用三种方法：其一，自顶向下进行定义，即先定义领域内综合性的大类，再对其子类进行逐步细化；其二，自底向上进行定义，即先定义领域内的小类、细节类，再对这些类分类、汇总，泛化成大类；其三，同时采用自顶向下和自底向上的构建方法。

Step 5：定义类的相关属性及其关系。实际上，每个类的属性非常多，因此在定义类的属性的时候，需要结合实际需要进行定义，从而利用属性形成类的内部结构。

Step 6：定义属性的相关约束。定义属性的定义域、值域。

Step 7：创建类的实例。为本体中定义好的类创建实例，实例具有类的一切属性，因此在创建实例的同时，还应当对该实例具备的属性进行赋值。

“七步法”为本体构建提供了基本思路和流程。除“七步法”外，本体研究人员借鉴软件工程相关理论，还设计出了一系列的本体构建方法，如“TOVE法”、“METHONTOLOGY法”、“骨架法”、“KACTUS法”、“SENSUS法”以及“IDEF5”法等^[41]。每种本体构建方法都各有优劣，都有其适用的具体领域。在进行本体创建工作时，切忌脱离本体构建需求而妄论某一方法的好坏，而是应当从实际情况出发，选择最合适的本体构建方法。

3、本体的构建工具

为了推动本体的发展，提高本体的开发效率，众多研究机构开发了各种本体构建工具，使得我们在构建时可以不再关心本体的表现形式，而将重点放到本体的概念抽象和组织结构上。这些构建工具不仅将本体的构建转换为简单、便捷的操作，还集成了本体的存储、查询、优化、排错等多种功能。下面简单介绍几种流行的本体开发工具。

Protégé^[42]：该工具是由 Stanford University 于 2005 年设计研发，是一款集本体编辑和知识库编辑于一体的本体开发工具，该软件提供的图形化操作界面使得

用户可以轻松地进行本体的编辑工作。Protégé 采用 OKBC (Open Knowledge Base Class) 模型, 支持类的多重继承、模板、规则定义等, 同时其强大的扩展性使得用户可以根据自己的需要添加必要的插件。Protégé 目前已经发展成为业内主流本体开发软件。

OntoEdit^[26]: 该工具是 University Karlsruhe 于 2004 年研发的图形化本体编辑工具。该工具采用“骨架法”, 将本体的合作开发和推理集成到开发环境中。OntoEdit 关注于需求收集、提炼以及评估三个阶段, 并通过 OntoBroker 支持本体推理功能, 支持 DAML+OIL 和 RDF/RDFS 作为其本体描述语言。与 Protégé 相同的是, OntoEdit 同样支持插件用于功能扩展, 但不同的是, Protégé 是一款开源软件。

WebODE^[26]: 该工具支持依据 METHONTOLOGY 本体构建方法来构建本体。WebODE 包含用户接口层、业务逻辑层以及数据层三个部分, 并独立于具体的本体描述语言, 是在概念层次上进行本体构建。目前, WebODE 支持的本体描述语言有 XML、RDF/RDFS、DAML+OIL、OWL 等。

除此以外, 本体构建工具还有 WebOnto、Ontolingua、NeOn、OILEd 等, 此处不再一一赘述。

2.1.4 基于本体的知识表示

知识表示(Knowledge Representation)作为人工智能领域的一个研究分支, 研究的是把知识载体中的知识因子和知识关联表示出来, 以便计算机识别和理解知识^[43]。知识表示通过对某一领域内的知识进行组织、识别, 使不同的信息载体转化为可以为计算机理解的表示形式。常用的知识表示方法有产生式表示法、语义网络表示法、框架表示法、过程表示法、谓词逻辑表示法、面向对象表示法以及基于本体的知识表示法。不同的知识表示方法实际上对应着不同的知识表示模型。这些模型将可以针对知识的表示和操作将其分为形式化模型与结构化模型两种, 包含了领域知识的专业术语与关系, 从而形成对这些知识及其复杂外延进行描述的目的。

知识表示的方法不仅需要能够表示知识, 其更高层次的要求在于: 其一, 知识的共享性要求知识的表示方法必须可以保证知识在共享的过程中无二义性; 其二, 利用知识表示进行推理操作的时候, 知识表示方法必须避免产生因原子性知识过多而产生的推理冲突。因此, 基于本体的知识表示凭借完善的本体理论脱颖而出。

就本体而言，本体包含了表示、推理两大功能。表示功能是指本体通过对某一领域范围内的概念及其关系进行形式化的定义，可以形成一种描述该领域范围内知识的目的；推理功能指的是可以演绎推导出确定结果的过程，通过本体提供的推理功能，计算机可以真正的理解知识，已有的本体网络可以发现可能存在的其他知识。这两大功能使得本体既满足了知识表示对共享性和重用性的要求，良好的推理机制也避免了推理冲突的产生。因此，本体正日渐成为一种为世界所认可的知识表示手段。

2.2 语义相关度

2.2.1 语义相关度概述

在本体的应用中，语义相关度作为一个衡量本体概念间关联紧密程度的指标，区别于另外一个概念：语义相似度。前者强调概念之间的关系，后者则强调概念之间可替换的程度。以“计算机”、“电脑”和“程序员”为例，当考察的对象为语义相似度时，“计算机”与“程序员”的相似度较小，二者从语义上看，并不存在直接的相似关系，即二者不具备可替换性；相反，当考察对象为语义相关度时，由于强调的是相关关系，“计算机”与“程序员”之间通过“使用”关系连接，形成<程序员，使用，计算机>的语义三元组，具备一定的相关性。当然，反观“计算机”与“电脑”，二者可以看作是同一概念，从相关性上看，可以看作是<计算机，等于，电脑>的三元组。

从上述例子中不难看出，语义相关度与语义相似度可以说相似又不同，一定程度上，语义相关度包含语义相似度。在个性化推荐系统中，语义相关度常常应用于本体的概念集扩展中，即利用本体已有的语义关系，查询与本体中某一个概念相关的其他概念，并将概念间的相关程度量化表达。

对于绝大多数研究而言，语义相关度的计算往往通过对语义相似度的计算而获得。对于这些基于本体的语义相关度的计算方法包括基于属性的语义相关度、基于信息容量的语义相关度以及基于距离的语义相关度^[44]。

(1) 基于属性的语义相关度

由于语义相关度是衡量事物之间的相关程度，而从认知的角度看，事物之所以得到区分，就在于其具有不同的属性，那么，此种计算方法的核心思想就是认为两个概念之间相关度与这两个概念拥有的相同属性个数成正比，即：

$$\text{Sim}_{(C_1, C_2)} \propto \text{NumOfSimPro}(C_1, C_2) \quad \text{公式 (2-1)}$$

典型的基于属性的语义相关度算法是 Tversky 算法,该算法将两个概念公共属性的个数作为衡量其相关程度的唯一标准,既不考虑概念在本体结构中的位置,也不考虑两个概念的关系,因此,此种算法要求本体本身具备完整而科学的属性集。

(2) 基于信息容量的语义相关度

此种计算方法是以两个概念共享的信息作为衡量语义相关度的标准。本体层次结构中的每一个概念都包含了其祖先节点拥有的所有属性,我们把这种属性称为该概念所蕴含的信息。由于本体中每一个子节点都是对其父节点的进一步地分类和细化,因此,对于本体中的两个概念而言,其拥有的相同祖先节点越多,那么这两个概念包含的相同属性,或者说是相同信息也就越多,从而可以认为这两个信息越关联。

(3) 基于语义距离的语义相关度

基于语义距离的语义相关度计算方法具有较小的计算复杂度。此类算法将本体中两个概念的路径个数即语义距离作为衡量其相关度的指标,每经过一条“边”,即认为语义距离加 1,边的个数即为这两个概念的语义相关度。实际上,此种算法具有明显的缺陷,即认为本体中所有的“边”,即关系都具有同样权重,而这在本体中是不大可能的,本体中定义的每一种关系对于衡量两个语义相关度而言并非同等重要的。因此,在此算法的基础上,又产生了诸多结合权重的计算方法,以弥补此类算法的不足。

2.2.2 语义相关度的评价指标

语义相关度的评价不同于其他算法的评价,目前并没有一个获得业内广泛认可的评价标准,主要还是采用人的主观判断来评价算法的优劣程度。简单地说就是,语义相关度的计算方法越优,其计算结果就应当越接近人的主观判断,这种接近不但是符合人的心理预期,更加能够从横向的角度判断出若干个概念间相关度的相对关系。除人工判断算法的有效性外,对于语义相关度算法的效果进行评价时,还可以通过实验生成对比数据,查看不同的算法对于同样的测试数据集而言具有何种区分效果,通过对实验结果进行分析也可以判断出算法是否较已有算法具有更好的有效性。

当然,国内不乏研究人员对这种语义相关度评价方式进行总结、整理,提出

了可以完善主观评价的衡量因素。文献[8]指出，对于语义相关度的评价应当从三个方面进行衡量，即相关度、相关度结果的波动性以及调节因子的个数，其中相关度即指的是算法的计算结果与人的主观判断的符合程度，在此不再赘述，现仅对后两个评价指标做简单介绍。

(1) 相关度结果的波动性

一般情况下，语义相关度的计算结果为 $[0,1]$ 的实数，在该范围内，概念的语义相关度算法可以看作是定义域为本体中的概念集，而值域为 $[0,1]$ 实数的离散函数，从函数图像上看，优良的语义相关度算法具有较小的波动性，不会出现个别数据出现较大浮动的情况。

(2) 调节因子的个数

对于语义相关度而言，调节因子的设定可以对计算结果进行调节，减小实验偏差，调节因子的个数一定程度上决定了程序的稳定性。

实际上，与本体的评价类似，在对语义相关度算法进行评价时，都不应当脱离具体的应用，仅仅进行理论上的评价研究是没有意义的。

2.3 层次分析法

层次分析法，Analytic Hierarchy Process，简称 AHP，该算法是美国著名运筹学家 T. L. Saaty 于 1980 年在其论文^[22]中首次提出的，作为一种简单而又灵活的多准则决策算法，该算法通过将决策问题的核心影响因素进行层次划分，利用数学的方法计算每个因素对最终决策的影响程度，将决策专家的主观判断转换为定量的客观表述，不仅为政界^[45]、商界^[46]提供了科学、可靠的决策保证，通过各界专家的研究和共同努力，该方法更是被扩展到生物领域^[47]、计算机工程领域^[48]，甚至可以不夸张地说，AHP 适用于任何需要决策的研究领域。

AHP 算法强调对问题的抽离，并利用数学的方法来衡量各个因素相对于目标层决策问题的重要程度。使用 AHP 层次分析法，需要经过问题抽象、构建判断矩阵、计算权重值以及分析决策四个过程^[22]：

1、建立问题模型

AHP 层次分析法为了对抽象而主观的决策问题进行定量分析，建立了问题三层模型，如图 2-3 所示：从高到低依次是：目标层、准则层和方案层。其中，目标层：定义模型的最终需要解决的问题，是 AHP 决策的目标所在；准则层：定义使用方案层的方法而解决目标层的问题所需要的中间环节，可进一步细分为策略层、

约束层和准则层；方案层：为达到目标层的定义而采用的方法和措施。

构建问题模型需要确定待解决问题的全部要素以及要素之间的关系，并尽量达到以下要求：

- (1) 关注解决该问题需要达到的目标；
- (2) 充分了解形成该问题的各个因素以及因素之间的联系；
- (3) 结合专业领域专家的建议来对影响问题因素的优先级、重要性进行评价。

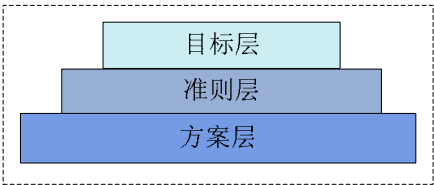


图 2-3 层次分析法问题模型

2、构建判断矩阵

构建判断矩阵的过程就是对因素之间的重要程度进行量化的过程。判断矩阵采用 1-9 量化指标构造属性相对矩阵。Saaty 认为，某一决策问题的影响因素相对于解决该问题的权重是可以通过评价因素两两之间的相对重要程度而得到的。决策人通过对全局统筹把握，将两两因素之间的重要性分为同等重要、稍微重要、明显重要、重要得多以及极端重要共五个等级，并且将每个等级用 1 到 9 的数字进行标注，如表 2-1 所示。

表 2-1 AHP 层次分析法 1-9 度量对应表

量化值	说明
1	同等重要
3	稍微重要
5	明显重要
7	重要得多
9	极端重要
2,4,6,8	对上述度量的折中标度

为描述方便，本文将待决策的因素 Factor_A 相对于 Factor_B 的重要程度表示为 RelativelyImp(Factor_A, Factor_B)。

AHP 在构建判断矩阵时，除了将人的主观评判量化为数字，还作出如下规定：对于判断矩阵 B 而言，B 必须满足如下条件：

$$b_{ij} = 1$$

公式 (2-2)

$$b_{ji} = \frac{1}{b_{ij}} \quad \text{公式 (2-3)}$$

$$b_{ij} = \frac{b_{ik}}{b_{jk}} \quad \text{公式 (2-4)}$$

公式 (2-2) 表示任何一个因素对自己而言重要程度为 1，即同等重要。

公式 (2-3) 表示任何两个因素相对于对方的重要程度互为倒数。假设有 $\text{RelativelyImp}(\text{Factor_A}, \text{Factor_B})$ 为 7，即 Factor_A 相对于 Factor_B 重要得多，则同样地， $\text{RelativelyImp}(\text{Factor_B}, \text{Factor_A})$ 为 1/7，可以理解为 Factor_B 相对于 Factor_A 非常不重要。

公式 (2-4) 表示在矩阵 B 中，任意两个因素的相对重要值都可以通过第三个因素来转换。

判断矩阵中的任意一个元素 b_{ij} 都需要通过领域专家以及相关决策人根据历史数据和经验分析、权衡后方能确定。

在应用层次分析法时，应当时刻注意保持思维的一致性，即对问题的分析无论在何种阶段、由何人分析，最终得到的决策结果都不可过分偏离理想决策方案。这个时候，我们认为判断矩阵 B 具有完全一致性。对于判断矩阵而言，完全一致性这一指标反映了决策人构建的判断矩阵是否可以反映各个因素对目标问题的影响，因此，AHP 决策分析法对判断矩阵是否具有完全一致性提出了数学化的指标：一致性指标 $C.I.$ (Consistency Index)。AHP 认为， $C.I.$ 反映的是判断矩阵偏离一致性的程度， $C.I.$ 值越大，表示该矩阵偏离一致性程度越大，反之，越小，其计算见公式 (2-5)：

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{公式 (2-5)}$$

其中 λ_{\max} 为判断矩阵 B 的最大特征根。

从公式 (2-5) 可以看出， $C.I.$ 与判断矩阵的阶数 n 相关，即当决定因素越多时，判断矩阵造成的一致性偏差就可能越大。为了衡量 n 与一致性的关系，AHP 引入了平均随机一致性指标 $R.I.$ (Random Index)。

$R.I.$ 是与 n 相关的离散函数，不同的 n 值对应不同的 $R.I.$ ，且该值是由正互反矩阵计算 1000 次得来，表 2-2 显示的是 n 为 1 到 15 时对应的不同 $R.I.$ 值。

表 2-2 $R.I.$ 与 n 值对应表

n	1	2	3	4	5	6	7	8
$R.I.$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	
$R.I.$	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	

至此，我们已经有了两个用于衡量判断矩阵一致性的指标： $C.I.$ 和 $R.I.$ 。为了将二者对矩阵的一致性的影响综合起来，AHP 引入了第三个指标：随机一致性比率 $C.R.$ (Consistency Ratio)，见公式 (2-6)：

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad \text{公式 (2-6)}$$

当 $n < 3$ 时， $R.I.$ 值为 0，此时，认为判断矩阵永远具有一致性；

当 $n \geq 3$ 时，矩阵的一致性由 $C.R.$ 来确定：当 $C.R. < 0.10$ 时，判断矩阵的一致性偏差在可以允许的范围内，此时，认为判断矩阵构建合理，可以用于进一步地计算；反之，当 $C.R. \geq 0.10$ 时，就需要对判断矩阵进行修正，直到 $C.R. < 0.10$ 为止。

3、权值计算

构建的判断矩阵经过一致性检验合格后，该矩阵就可以用来计算矩阵中每个因素相对于上层的权重值。权值计算最常用的方法包括和积法和方根法。这两种方法都可以得到一组相对排序值，除了计算数值不同外，无本质差别。下面对这两种方法进行分别介绍。

(1) 和积法

第一：将判断矩阵的每一列元素做归一化处理，形成元素的一般项 b_{ij} ：

$$b_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_1^n b_{ij}} (i, j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{公式 (2-7)}$$

第二：将归一化后的判断矩阵的每一列进行相加，并将结果用向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 表示，其中：

$$W_i = \frac{W_i}{\sum_1^n W_j} (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{公式 (2-8)}$$

至此，向量 W 中的元素值 W_i 即为各个因素相对于上一层待决策因素的权重值。

(2) 方根法

第一：计算 M_{ij} ：

$$M_{ij} = \Pi_1^n b_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad \text{公式 (2-9)}$$

第二：将判断矩阵中的每一个元素与 M_{ij} 相乘：得到新的矩阵 B' ，且 B' 中每一个元素 b'_{ij} 都有：

$$b'_{ij} = b_{ij} M_{ij} \quad \text{公式 (2-10)}$$

第三：计算 M_i 的 n 次方根 W_i ：

$$W_i = \sqrt[n]{M_i} (i=1,2,\dots,n) \quad \text{公式 (2-11)}$$

第四：归一化处理向量 $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^t$ ：

$$W_i = \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j} (i, j=1,2,\dots,n) \quad \text{公式 (2-12)}$$

至此，归一化处理后的向量 W 中的元素值 W_i 即为各个因素相对于上一层待决策因素的权重值。

4、分析决策

经过第三步，我们就可以根据步骤一中建立的问题模型，得到相应的底层因素相对于上层因素的权重值，再通过分析、比较，将数学判断与专家决策人的相关经验相结合，最终形成一个决策方案。

2.4 本章小结

本章首先介绍了本体论的相关知识，对本体的描述语言、本体的构建方法和构建工具以及基于本体的知识表示进行了详细地介绍；同时，本章对语义相关度的相关概念和几种主流计算方法进行了简单介绍，并介绍了语义相关度算法的评价指标；最后，本章详细介绍了 AHP 层次分析法的理论基础，并对其两种计算方法：和积法和开根法进行了详细介绍，为后文提出 AHP 语义评估法打下理论基础。

第三章 基于本体的个性化推荐算法研究

3.1 基于本体的个性化推荐算法设计

基于本体的个性化推荐算法主要目的是以本体表示初中数学知识，根据用户的学习情况为用户提供个性化资源检索服务，从而实现智能教辅系统中的个性化学习。

传统的推荐算法主要是基于用户行为的推荐，最典型的是以协同过滤算法为基础的各种个性化推荐算法。这些算法主要通过对用户行为进行分析来查找相似的邻居集合，根据邻居集合的兴趣模型为用户推荐其可能感兴趣的资源，从而实现个性化推送。然而，传统的推荐方法过分依赖于对用户集合的分析而忽略了学习资源本身蕴含的推荐信息，当系统中缺乏充足的用户数据时，系统面临的冷启动问题、矩阵稀疏问题等都将会造成推荐系统的不准确。

本文研究的推荐算法不再使用相似用户作为推荐的主要依据而将推荐的准确度依赖于本体的知识表示。以本体作为初中数学知识表示媒介，可以将某一概念扩展为一组概念，实现本体上的粗粒度查询。语义扩展得到的概念增加了资源库中可能查询到的待选资源，对于这些待选资源而言，每一个资源相对于用户希望查询概念的推荐度都有所不同，如何对这些待选资源进行语义相关度上的排序，从而为用户推荐出符合其预期期望的资源，就成为一个研究的重点与难点。因此，本文提出 AHP 语义评估法以及基于该评估算法的推荐度排序算法，确保系统为用户推荐的学习资源按照用户的期望进行排序，避免无关资源出现在推荐列表中。

同时，用户的学习行为是一个不断更新不断学习的良性反馈过程，即用户通过学习系统推荐给用户的学习资源，更新系统的认知评测模型，这些评测模型将在下一次推荐中，起到更新推荐结果的作用。

图 3-1 可以更加清晰地描述本文提出的基于本体的个性化推荐算法流程。其中：“基于本体的概念集扩展”将用户输入的单一概念转换为一组与之具有语义关联的概念集合，扩展了查询粒度，且该语义集合是由本体结构决定的；“以语义集合为关键字的资源查询”主要是根据上一步得到的语义扩展集合查询所有相关的学习资源，并根据用户的学习模型对这些资源进行过滤处理，使推荐结果符合用户的学习需求，在该步骤中，需要考虑的技术是用以跟踪用户学习行为的用户模

型以及用户学习行为的评价；“语义相关度计算”则是计算每一个具体资源涉及到的概念与用户输入概念间的语义相关度，并在“推荐度计算”环节，将概念间的相关度转换为资源的推荐度，从而使推荐结果按照相关程度进行排序，以供用户选择学习。

本章将重点对图 3-1 所示的个性化推荐四个环节：“基于本体的概念集扩展”、“以语义集合为关键字的资源查询”、“语义相关度计算”和“推荐度计算”进行分别阐述。

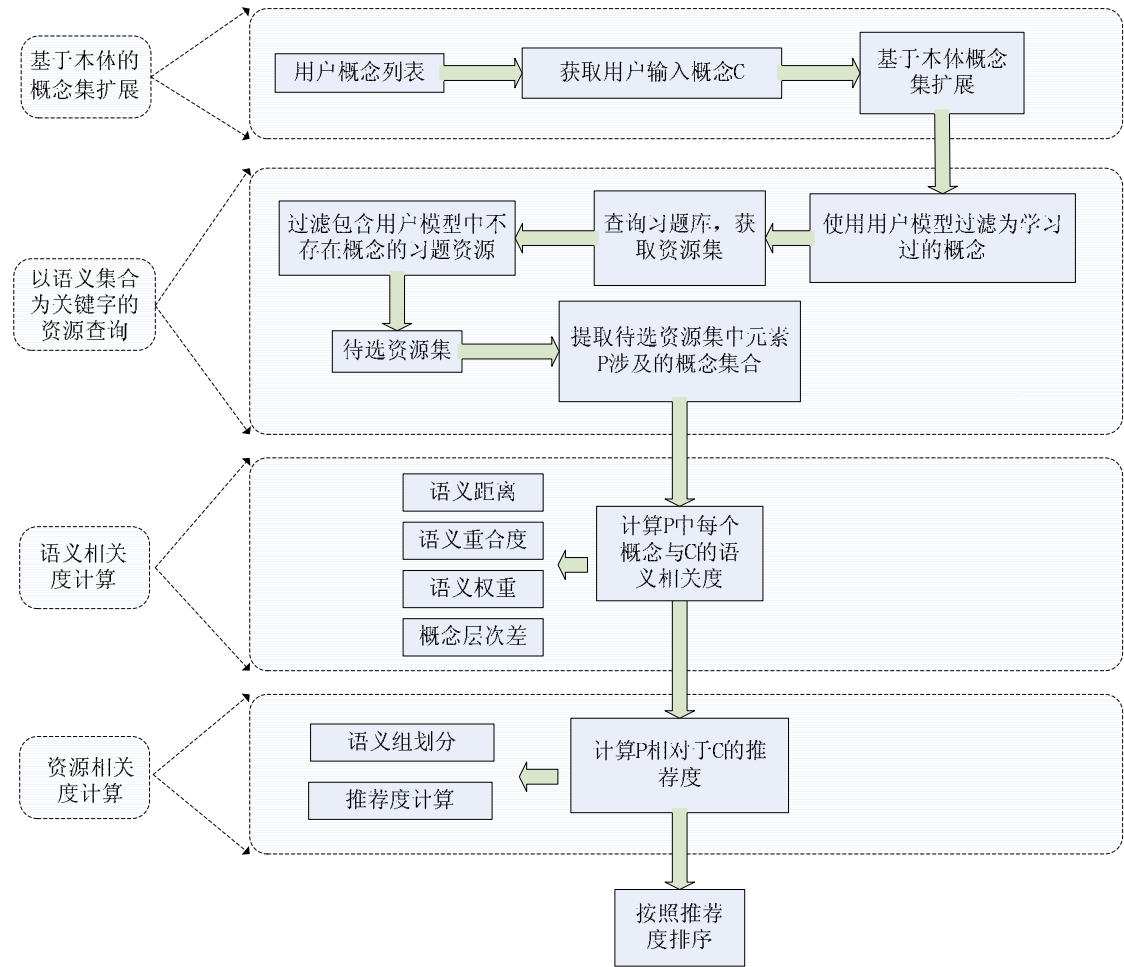


图 3-1 基于本体的个性化推荐算法示意图

3.2 初中数学知识本体构成

本文使用的领域本体是描述初中数学知识关系的本体，其构建是以《初中数学（人教版）》教材为资料来源，并在多位数学博士、初中数学老师的指导下完成

的。本文采用 protégé 作为本体构建工具，根据斯坦福大学提出的七步法构建本体，具体构建流程如图 3-2 所示。

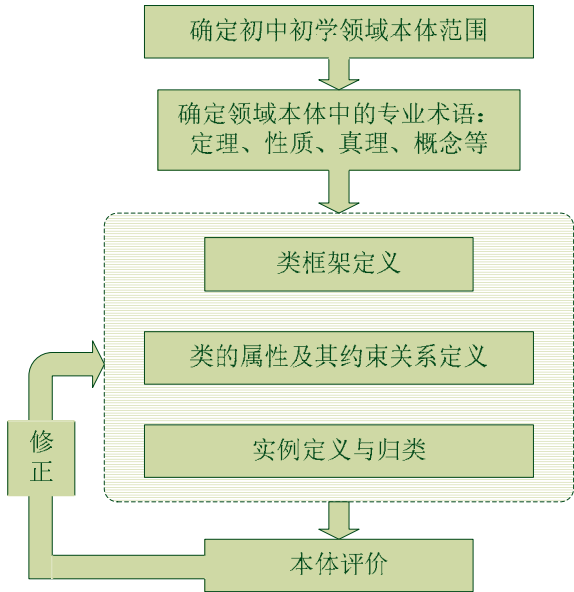


图 3-2 初中数学领域本体构建流程

(1) 领域本体类框架定义

数学作为一门严谨的学科，其学科组成涵盖了定义、公理、性质、方法等等，这些知识通过相互之间的关系而连接在一起，构成了数学知识网。在构建领域本体之前，首先应当将初中数学涉及到的所有的知识列举整理出来，通过不断地检查和校对，查缺补漏，确保该领域本体可以准确地反映初中数学的全部知识。

本文在构建初中数学领域本体时，先构建数学知识类，并在该大类下面按照知识的内容、类别进行逐层细化。从数学知识类可以派生出五个子类，分别是数学关系类、数学命题类、数学方法类、数学概念类以及其他数学类，其中，数学命题类按照知识的学科可以划分为代数命题类和平面几何命题类，对于初中教材的所有命题类知识都属于该类的子类或者实例；数学概念类同样可以划分为代数概念类、平面几何概念类和概率以及概率与统计概念类。每一个细化出来的子类还需要继续细分，直到将初中数学相关知识分为不可再分的类别单元。例如，平面几何命题类又分为平面几何公式、平面几何判定定理和平面几何性质等，平面几何概念类又分为多边形概念、点的概念、三角形概念等。经过逐层划分，数学领域本体最终形成了如图 3-3 所示的本体层次结构图。

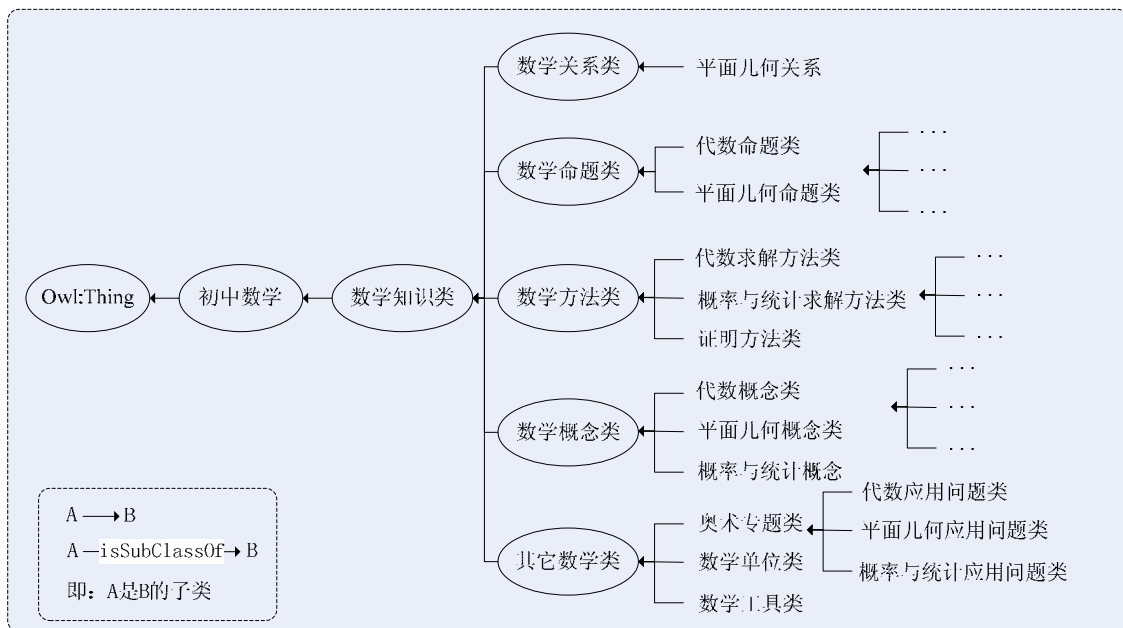


图 3-3 初中数学领域本体类层次结构图

(2) 类的属性及其约束关系的定义

类的属性及其约束关系的定义实际上就是在上一步的基础上，构建类的内部结构和共同特性。如果将归类好的各种类作为本体中的点，那么类之间的属性及其关系就是连接这些点的线。在进行类定义时，除了构建默认属性外，如 owl:subClassOf, owl:type 等，还需要定义对象属性，即 owl:ObjectProperty。每种关系及其说明如表 3-1 所示。

表 3-1 类属性定义及其说明

属性名	属性特征	描述
同义关系	传递性、对称性	两个概念具有相同的含义，如长方形和矩形具有同义关系
对偶关系	对称性	两个概念分属于不同的子类，但是具有类似的属性，如平行线性质 1、平行线性质 2
并列关系	无	分属于同一父类的概念具有并列关系
依赖关系	无	两个概念在定义上具有依赖性，如直角三角形依赖于三角形这一概念进行定义
前驱关系	后继关系的逆属性	描述概念之间学习的先后顺序，如角和三角形，需要学习三角形的前提就是要先学习了角，那么我们就说角这个概念是三角形的前驱
后继关系	前驱关系的逆属性	与前驱关系具有相反的含义，学习了角就可以学习锐角、钝角等，那么我们就说锐角、钝角等是角的后继。

表 3-1 类属性定义及其说明（续）

属性名	属性特征	描述
父类关系	子类关系的逆属性	描述概念之间的层次结构
子类关系	父类关系的逆属性	等腰三角形就是三角形的子类。
兄弟关系	传递性、对称性	具有共同父类的两个概念具有兄弟关系
相关性质定理	概念属性	描述某个概念的性质定理
相关判定定理	概念属性	描述某个概念的判定定理
相关公式	概念属性	描述某个概念的相关公式
相关章节	概念属性	表示概念所在章节，参考人教版初中数学教材
相关工具	概念属性	表示该概念需要的工具，如：量角器，直尺等
相关方法	概念属性	表示概念涉及到的方法，如：十字相乘法

(3) 实例定义与归类

本体中的关系除了包含类间的关系约束，还包括了实例与类、实例与实例间的约束。同样以“边边边定理”为例，其前驱概念为“边”、“三角形”和“三角形全等”，而其兄弟关系则包含“边角边定理”、“角边角定理”等。至此，三种关系类间关系、类与实例关系、实例间关系定义全部完成，形成了一个可以完整描述数学知识的领域本体。图 3-4 即为一个以“整式”为中心的本体片段。

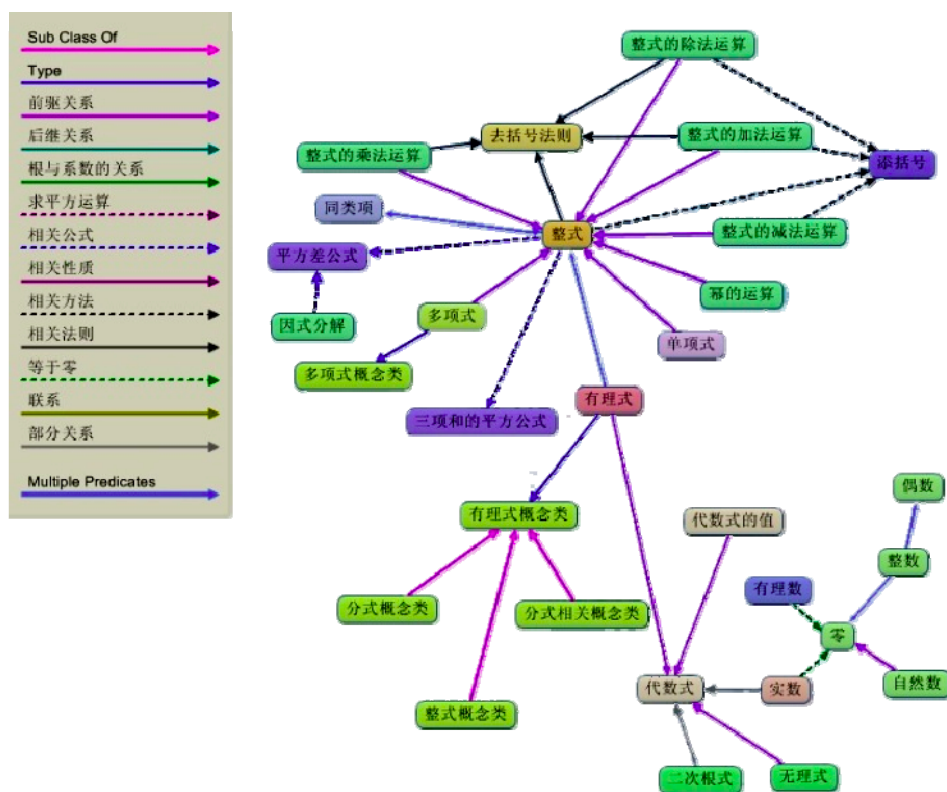


图 3-4 以“整式”为中心的本体片段

3.3 习题预处理

3.3.1 习题认知模型

心理学认为，学生学习的过程，是将老师（他人）教授的知识转化为自己认知的过程，是一个自我认知模型不断建立和完善的过程。ATC-R 认知模型^[49]就是公认的对人类认知过程描述最为形象的模型。该模型将人类的知识分为陈述性知识和程序性知识。陈述性知识描述的是“是什么”，是对客观事物的客观认识和反映；程序性知识描述的是“怎么做”，包含了对陈述性知识的再加工及应用。因此，好的习题认知模型应当是可以涵盖这两部分知识的，是可以相对完整的模拟人类对知识的加工和学习过程。

回想数学解题的时候，我们的思考过程实际上拥有一个相同模型：阅读题目，分解已知条件，通过条件得到子结论，以子结论作为条件进行组合得到下一层结论，直到得到最终结果。ACT-R 模型的核心概念认为，复杂的认知过程实际上是由简单的认知单元所组成的，正好与我们的解题过程一致。因此，本文采用的习题模型具有如下性质：

其一：每一个习题的条件都被拆分成最小条件单元；

其二：每一个解题单元中，应当包含解答该步所需要的依据，即定理、性质等；

其三：拆分后的条件可以通过或组合、或直接地得出一组中间结论，之后，条件再与中间结论进行组合可以得到更进一步的结论；

其四：第三步描述的过程不断深入即可得到习题的最终结果。

3.3.2 基于 XML 的习题表示结构

从习题的认知模型中可以看出，习题的解答过程具有极强的逻辑性，整个解题过程最终会形成一个以原子条件为祖先节点、以结论为叶子节点的树状解题结构。这种结构性特点正好是 XML(Extensible Markup Language)，可扩展标记语言所能提供的。XML 语言的主要功能就是提供默认或用户自定义的标签，让用户将普通的文本资源转化为具有逻辑结构的、可为计算机识别的标记语言。本文定义了一系列标签，将文本格式的习题及其解题过程转换成为具有语义的结构化文件，为系统进一步利用这些习题资源奠定了基础。图 3-5 对每一个标签及其含义进行了说明。

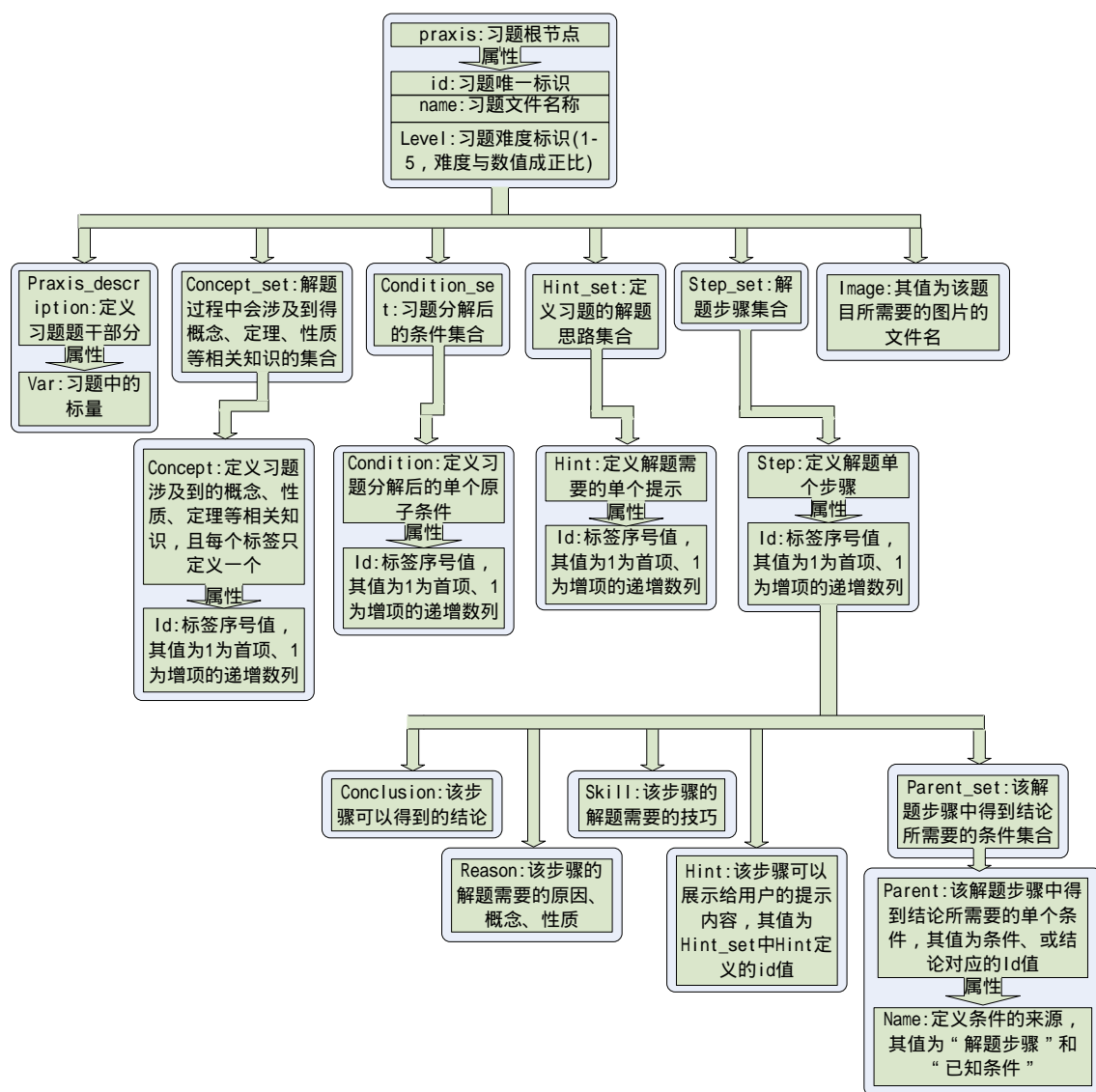


图 3-5 基于 XML 的习题存储结构

经过结构化，普通文本格式的习题资源都被转换成为可以为计算机识别的结构化文件。这些自定义的标签将解题需要的原因与每一个步骤关联起来，形成了形如<条件，原因，结论>的解题单元，从而更加详细和准确地标注出每个题目涉及的概念、知识，并且这些概念和知识都是与本体中的类、实例一一对应。结构化处理后的习题资源为个性化推荐进行语义检索提供了丰富的检索点。图 3-6 表示一道关于“平行线的性质”的题目经过结构化表示，形成树状解题结构。

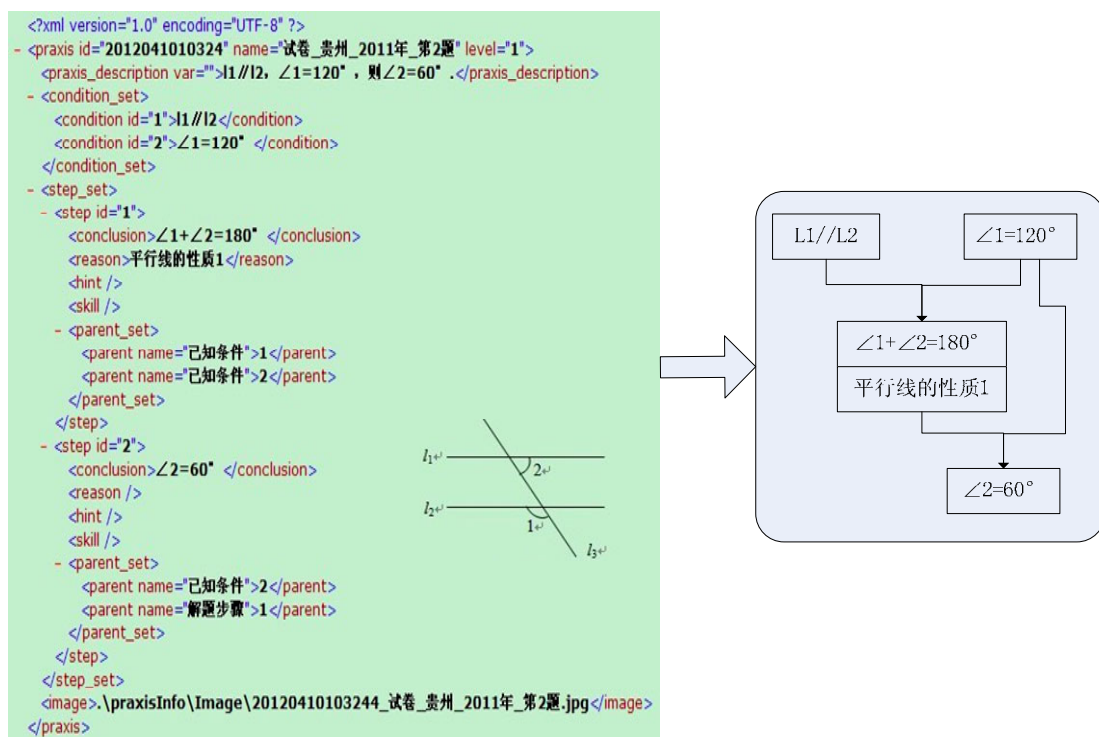


图 3-6 习题结构化示例图

3.3.3 题库存储结构

推荐系统的一个中间环节就是资源检索。具体到本文中，经过一系列的刷选得到一组具有语义关联的概念集合后，系统需要再根据这些概念集合为用户检索相关的习题资源。XML 的自定义标签解决了习题的语义化问题，但是从检索角度上讲，并不利于用户进行资源的检索，因此，本文将每一个资源存入数据库中的对应表中以提高资源检索效率。应当注意的是，推荐系统并不需要关注每一个题目的逻辑解题过程，即推荐的结果与解题过程无关，而是将注意力都放在了每个题目涉及到的陈述性知识：概念、原因以及程序性知识。因此，在进行习题入库的时候，我们仅仅将推荐需要的信息存储到数据库中，图 3-7 显示了部分题库的存储内容。

id	name	reason	level
8	20120319212130.xml	平行四边形的性质1#角边判定定理#	3
9	20120319214954.xml	三角形内角和定理#正方形的性质1#	3
10	20120319220521.xml	三角形的角平分线#等腰三角形#	3
11	20120319221944.xml	菱形的性质1#菱形的性质2#	4
12	20120320095036.xml	圆上任意两点到圆心的距离相等#圆#圆上任意两点到圆心的距离相等	4
13	20120320105412.xml	三角形内角和定理#角边判定定理#等腰三角形#等边对等角	4
14	20120320122441.xml	圆内接四边形的性质定理#三角形的角平分线#三角形的外角	3
15	20120320135516.xml	矩形#矩形的性质3#矩形的性质2#轴对称变换#轴对称变换	3
16	20120320141421.xml	等腰三角形#三角形的角平分线#等角对等边#三角形的角平分线	3
17	20120321110756.xml	垂直平分线#线段垂直平分线定理1#等边对等角#相似三角形	1
18	20120321145803.xml	正方形面积公式#正方形的性质2#角边判定定理#全等三角形	3
19	20120321153040.xml	矩形的性质1#平行线的性质2#角边判定定理#全等三角形	3
20	20120321154434.xml	正方形#正方形的性质2#正方形的性质1#正方形的性质2#正方形	3
21	201203211622012.xml	三角形的中位线#三角形的中位线定理#平行四边形的判定	3
22	20120321164527.xml	平行线的性质1#平行线的性质2#圆上任意两点到圆心的距离相等	3
23	201203211702513.xml	正方形#三角形内角和定理#图形的旋转#正方形#正方形#正方形	3
24	20120322100833.xml	圆周角定理的推论2#切线的判定定理#圆周角定理的推论2#切线	3
25	20120322102558.xml	边边判定定理#角的平分线#等腰直角三角形#三角形内角和定理	3
26	20120322104154.xml	等边三角形#等边三角形的性质2#等边三角形的性质2#平角	3
27	20120322121742.xml	圆#切线的性质定理#切线的性质定理#圆上任意两点到圆心的距离相等	3
28	20120322123703.xml	圆周角定理的推论2#相似三角形#圆周角定理的推论2#直角三角形	3
29	20120322125815.xml	连接两个点作辅助线#勾股定理#勾股定理#等量传递#有理数	3
30	20120322130933.xml	角边判定定理#矩形#矩形的判定定理1#矩形#直角#三角形	3
31	20120322132951.xml	圆周角定理的推论2#相似三角形#相似三角形的判定定理2#相似三角形	3
32	20120322133723.xml	相似三角形的判定定理2#圆心角弧弦与弦心距之间的关系	3
33	20120322145133.xml	全等三角形#角边判定定理#矩形#矩形的性质1#垂直#平行线	3
34	20120322152510.xml	等腰三角形#平行线的性质2#平行线的性质2#等边对等角#平行线	3
35	20120322153941.xml	切线的判定定理#圆周角定理的推论2#等量传递#切线的性质	3

图 3-7 部分资源存储示意图

3.4 评测

3.4.1 用户模型

评测模块在个性化推荐系统中，相当于推进器的作用。因为评测模块的存在，用户的学习情况得到记录，推荐系统根据这些描述用户学习情况的记录对推荐结果进行修正，而推荐结果又使得用户不断地提高自己的学习能力，完善记录模型，从而形成一个互相推进、互相优化的良性循环。

智能评测模块衡量用户学习情况，更新描述用户学习能力的用户模型。因此，智能评测模块包含两部分：用户模型的构建以及评测模型。

学习资源包含了每一步解题需要的原因、概念等，这些“知识”成为评判用户学习情况的重要指标。用户通过做题学习如何使用这些“知识”进行解题，做题是否正确、时间的长短都会最终反映出用户对这些“知识”的掌握情况，因此，学习记录即为用户模型的重要组成部分。本文考虑实际工程应用，设计出了如图 3-8 所示用户模型。

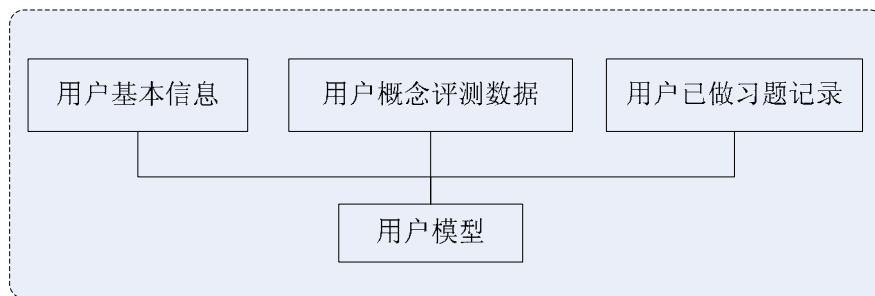


图 3-8 用户模型示意图

3.4.2 评测模型

在本系统中,用户学习的资源是以 XML 形式存储的结构性文件。通过对 XML 解析,系统可以将这种结构性文件转换成为树状流程图的解题结构,供用户分步填写解题过程。衡量一个用户是否掌握该解题步骤,不但需要判断用户是否给出正确的条件和结论的组合,更重要的是“知其然且知其所以然”,原因的正确给出也成为重要的衡量指标之一。

前文指出,XML 的结构化将习题的解题过程分解成一组<条件,原因,结论>的集合。如此,我们可以跟踪用户每一步的解题情况来评价其对该步骤涉及“原因”的掌握程度。假设对于题目 P 而言,用户的解题行为会产生如下数据:

(1) $\text{SetOfSteps}(S_i) = \{S_i | 1 \leq i \leq n, S_i \text{ 为解答习题 P 的第 } i \text{ 个步骤是否正确}\}, S_i \in \{0, 1\}$ 。

S_i 为 0 时,表示用户在解答第 i 个步骤时错误;相反地, S_i 为 1 时,表示正确。

(2) $\text{SetOfErrors}(E_i) = \{E_i | 1 \leq i \leq n, E_i \text{ 为解答习题 P 的第 } i \text{ 个步骤产生的错误次数}\}, E_i \in \mathbb{N}$ 。

(3) $\text{SetOfTime}(T_i) = \{T_i | 1 \leq i \leq n, T_i \text{ 为解答习题 P 的第 } i \text{ 个步骤使用的时间}\}$ 。

$$Value(C) = \begin{cases} ValueOld(C) + \alpha \times \frac{SlipValue(C)}{E_i \times T_i} & (E_i \neq 0) \\ ValueOld(C) + \alpha \times \frac{SlipValue(C)}{T_i} & (E_i = 0) \end{cases} \quad \text{公式 (3-1)}$$

其中 α 为调节因子,一般情况下取 1。

$SlipValue(C)$ 本文认为是 0 到 1 固定的。对于本体中、或者是习题中涉及的任意概念 C ,用户每一次学习该概念,都应当有一个固定长度的增长值,如掌握“三角形”这一概念相比于掌握“解二次曲线方程”而言容易一些,其 $SlipValue$ 值就比其小一些。在数学专家、老师的帮助下,本文对本体中每个概念应当具有的

SlipValue 值都作出了定量规定，表 3-2 所示显示了部分概念的 SlipValue 值。

表 3-2 部分概念 SlipValue 对应值

概念	内容	SlipValue
勾股定理	直角三角形的两直角边的平方和等于斜边的平方	1
立方	a^3 叫做 a 的立方	0.7
正三角形	三边相等的三角形	0.8
横轴	水平方向的数轴叫横轴或 x 轴	0.1
x 轴	水平方向的数轴叫横轴或 x 轴	0.1
纵轴	竖直方向的数轴叫纵轴或 y 轴	0.1
直线公理	经过两点，有且只有一条直线	0.2
矩形	三个角是直角的四边形，对角线相等的平行四边形	0.3
y 轴	竖直方向的数轴叫纵轴或 y 轴	0.1
平方	a^2 叫做 a 的平方	0.7
平行线公理	经过直线外一点，有且只有一条直线与该直线平行	0.8
等边三角形	三条边相等的三角形	0.8
实数	包括有理数和无理数	0.4
方程	含有未知数的等式叫方程。	0.8
解方程	求得方程的解的过程，叫做解方程	0.9
坐标轴	x 轴和 y 轴统称为坐标轴	0.1
原点	两坐标轴的交点 o 为原点	0.1
重心	三条中线的交点	0.1
圆心角	顶点在圆心的角	0.7
相反数	只有符号不同的两个数互为相反数	0.2

3.5 AHP 语义评估法

3.5.1 影响语义相关度的因素

语义相关度的计算作为本体个性化推荐的重要环节，主要用于资源推荐度计算，其准确性将直接影响推荐的精度，因此，本节将提出一种语义相关度计算方法，将运筹学中的经典决策算法 AHP 层次分析法引入到计算机领域，用于对影响语义相关度的各个指标进行决策计算，得到最终可以反映本体概念间语义相关度的数值，为描述方便，本文将之称为 AHP 语义评估法。

基于本体的语义相关度计算已经具有一定的研究成果，已有的计算方法或是基于语义距离，或是基于语义权重，相关内容已经在第二章中说明，在此不再赘述。本文为了提高语义相关度的计算精度，认为本体中任意两个概念间语义相关度应该是多个因素的综合结果，无论是语义距离、语义深度还是语义权重，每一

个因素都应当成为语义相关度的计算指标。因此，本文提出以下定义：

定义 3-1 语义距离：对于本体 O 中任意一对概念 $\langle C_1, C_2 \rangle$ ，有 $C_1 \in O$ 且 $C_2 \in O$ 语义相关度，即：

$$Dis_{(C_1, C_2)} = MinPath(C_1, C_2) \quad \text{公式 (3-2)}$$

其中， $MinPath(C_1, C_2)$ 表示连接这两个概念 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 所需要通过的最短路径数。文献[50-52]指出，语义距离与语义相关度之间存在直接的对应关系：语义距离越大，两个概念间的语义相关度越低，即语义距离与语义相关度成反比。

定义 3-2 语义重合度^[50]：两个概念间包含相同上位概念的个数，即：

$$Super_{(C_1, C_2)} = Num(SetOfParents(C_1) \cap SetOfParents(C_2)) \quad \text{公式 (3-3)}$$

其中， $SetOfParents(C_x)$ 代表概念 C_x 上位概念的个数。

在本体的网状结构图中，每一个概念都继承了其上位概念的属性，两个概念拥有的相同上位概念越多，说明这两个概念具有更多的相同属性，其相关度可能就越高，因此语义重合度与语义相关度成正比。且根据本体网络的树状结构的特点，又可以有公式：

$$Super_{(C_1, C_2)} = Level(PublicParents(C_1, C_2)) + 1 \quad \text{公式 (3-4)}$$

其中， $PublicParents(C_1, C_2)$ 代表了概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 深度最大的公共父节点， $Level(C)$ 表示概念在本体体系中相对于根节点的层次。

定义 3-3 概念层次差^[51]：两个概念在本体结构中所处层次的差值，即：

$$LMinus_{(C_1, C_2)} = |Level(C_1) - Level(C_2)| \quad \text{公式 (3-5)}$$

概念在本体中的组织是自上向下地，两个概念在本体中相对于根节点的深度差值越大，说明二者拥有的相同属性越少，因此，二者的相关度就越低，即概念层次差与语义相关度成反比。

定义 3-4 语义权重^[52]：语义权重是两个概念上所有可连通路径中最大权重乘积值，即：

$$Weight_{(C_1, C_2)} = Max(D_1, D_2, \dots, D_n) \quad \text{公式 (3-6)}$$

$$D_i = Max(\prod_i^n w_i) \quad \text{公式 (3-7)}$$

其中 D_i 表示连接概念 C_1 和 C_2 的通路， $w_i \in W(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ， w_i 为概念 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 联通路径上对应的权重值。在图 3-9 中，概念“三角形”与“等腰三角

形”有两条路径：直接路径 AB 的权重值为 0.8，间接路径 ACB 的权重值为 0.7×0.6 即 0.42，因此，“两者两较取其大”，“三角形”与“等腰三角形”的语义权重为 0.8。

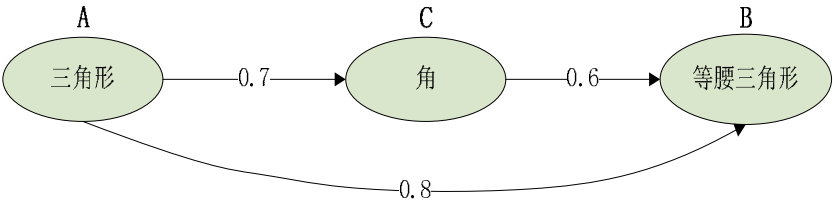


图 3-9 语义权重示例图

不同语义关系权重不同，具体到本文所研究的初中数学领域本体，下位关系比上位关系权重大，而同一关系又高于上下位关系，例如：“相关定理”的权重明显高于“相关单位”。语义权重与语义相关度成正比。

语义权重值并不像其它几种因素一样是由本体本身的语义结构所确定，而应当由领域专家结合自己已有的理论经验与实际教学经验不断调整来确定。文献[50]将领域本体中语义关系分为浅层依赖、中层依赖、以及深层依赖三种，并统一地将同种依赖关系的权重设定为一固定的值：浅层依赖语义权值为 0.3，中层依赖语义权值为 0.6，深层依赖语义权值为 0.9。本文认为，这样做将权重值确定简单化，由于主观活动参与较少，权重值可以更多地由本体结构而确定。但不可否认地是，并非同种依赖关系下面的关系就具有相同的权重值，如同属于深层依赖关系的前驱关系和同一关系，前者代表两个概念之间存在认知上的先后语义关系，而后者则表示二者在语义上是相同的，具有可替换性，显然，后者的权重值应当比前者大，单纯地将两种语义关系赋予同一权重值并不能真实地反映二者相对重要程度。因此，本文对每一种语义关系都赋予了特定的权重值，虽然有了过多地主观活动参与进来，但考虑到主观上给出的分值可以反映出不同语义关系的重要程度，而我们需要得到的是推荐资源的一种相对排序结果，因此，对于权重的具体数值，本文认为只要其可以反映出不同语义关系相对重要性既对最终的推荐结果无影响。在领域专家的指导下，本文给出如表 3-3 所示的权值对应表：

表 3-3 语义关系权重对应表

关系名	说明	权重
type	例：<面积法，type，平面几何证明方法类>	0.9
subClassOf	例：<全等三角形的性质定理类，subClassOf，三角形的性质定理类>	0.9
相容关系	有相同特性，例：<三角形，四边形>有相同特性：边	0.9
上位关系	认知上具有先后特性的概念，例：<平行线，上位关系，直线>	0.3

表 3-3 语义关系权重对应表 (续)

关系名	说明	权重
下位关系	同上位关系, 例: <直线, 下位关系, 平行线>	0.8
同一关系	概念实为同一概念, 例: <矩形, 同一关系, 长方形>	1
交叉关系	有共同的特性, 如锐角三角形与钝角三角形	0.7
依赖关系	认知上具有先后特性的概念, 例: <全等三角形, 依赖关系, 三角形>	0.9
后继关系	例: <三角形, 后继关系, 全等三角形>	0.2
对偶关系	例: <正数, 对偶关系, 负数>	0.7
并列关系	有共同父节点的概念对, 例: <四边形, 并列关系, 三角形>	0.5
相关单位	例: <角, 相关单位, 度>	0.5
相关性质	例: <正方形, 相关性质, 正方形的性质 3>	0.8
相关方法	例: <整式的加法运算, 相关方法, 添括号>	0.8
相关工具	例: <角, 相关工具, 量角器>	0.8
相关法则	例: <整式的乘法运算, 相关法则, 去括号法则>	0.9

3.5.2 基于 AHP 的参数估计

对于领域本体中任意两个概念 $\langle C_1, C_2 \rangle$, 本文已经提出了通过 $Dis_{(C_1, C_2)}$, $Super_{(C_1, C_2)}$, $LMinus_{(C_1, C_2)}$ 以及 $Weight_{(C_1, C_2)}$ 这四个指标来确定最终的语义相关度, 通过分析每种指标对语义相关度的影响, 本文给出了如下相关度计算公式:

假设对于本体 O 中任意一对概念 $\langle C_1, C_2 \rangle$, 有 $C_1 \in O$ 且 $C_2 \in O$ 二者的语义相关度用 $Sim_{(C_1, C_2)}$ 表示, 则有如下公式:

$$Sim_{(C_1, C_2)} = \frac{Super_{(C_1, C_2)} \times \beta + Weight_{(C_1, C_2)} \times \delta}{Dis_{(C_1, C_2)} \times \alpha + LMinus_{(C_1, C_2)} \times \gamma} \quad \text{公式 (3-8)}$$

其中, $Dis_{(C_1, C_2)}$ 表示概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 的语义距离; $Super_{(C_1, C_2)}$ 表示概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 的语义重合度; $Weight_{(C_1, C_2)}$ 概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 的语义权重值; $LMinus_{(C_1, C_2)}$ 表示概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 的概念层次差。 $Sim_{(C_1, C_2)}$ 值越大, 概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 语义相关度越大, 二者呈正相关关系。

那么, 问题的关键就转化如何确定各个指标对语义相关度的影响程度。因此, 运筹学中的经典决策方法 AHP 层次分析法就成为不二之选。

由于决策因素较少, 只需要确定语义权重、语义重合度、语义距离以及概念层次差对概念间语义相关度的重要程度。因此具体到本文所讨论的范围, 决策模型的中间层即准则层可以直接省略, 换句话说, 可以将准则层和方案层合并, 形成如图 3-10 所示的问题层模型:

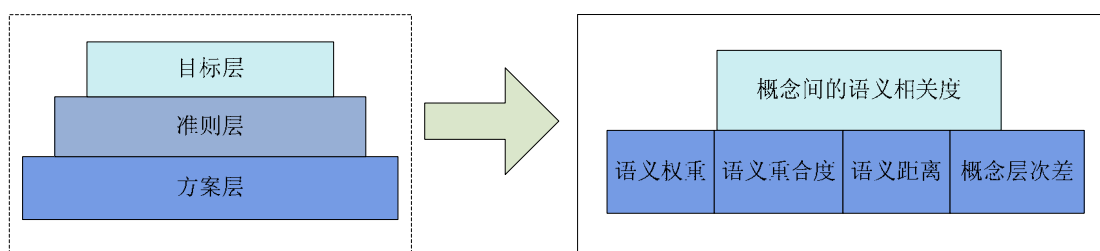


图 3-10 语义相关度决策模型

对于该问题模型需要决策的四个因素：语义距离、语义重合度、概念层次差和语义权重，需要采用 1-9 评估法对每个因素进行两两重要度的评估。例如：语义距离与语义重合度相比，重要程度为 5，表示明显重要，而概念层次差与语义重合度相比，重要程度为 1，表示同等重要，诸如此类。因此，经过领域专家的指导以及不断的数据调整，本文构建了如表 3-4 所示的判断矩阵：

表 3-4 AHP 语义评估法判断矩阵

	语义距离	语义重合度	概念层次差	语义权重
语义距离	1	5	5	7
语义重合度	$\frac{1}{5}$	1	1	$\frac{7}{5}$
概念层次差	$\frac{1}{5}$	1	1	$\frac{7}{5}$
语义权重	$\frac{1}{7}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{5}{7}$	1

值得注意的是，判断矩阵的构建本身是一个主观性极强的工作，它需要决策专家根据历史数据、决策信息进行综合来不断协调，并通过随机一致性比率 $C.R.$ 来判断判断矩阵偏离实际情况的程度。

由公式（2-6）计算可得，本文中确定的判断矩阵的一致性参数 $C.R.=9.629630426388758E-11<0.1$ ，满足一致性条件，说明判断矩阵构建合理。

因此，本文采用该判断矩阵作为决策依据。最后，本文采用和积法计算各个因素的权重值。由公式（2-8）计算可得，在公式（3-8）中各个因素权重值分别为：

$$\begin{cases} \alpha=0.64815 \\ \beta=0.12962 \\ \gamma=0.12962 \\ \delta=0.09593 \end{cases}$$

计算结果保留小数点后五位。

从这四个数值中不难看出，语义距离的权重占到了一半以上，即对于语义相关度而言，语义距离具有最大的影响力；而语义重合度和概念层次差具有相同的权重值；相应地，语义权重的权重值 0.09593，其对语义相关度的影响最小，但是其影响力仍然不容忽视。

综上所述，整个语义相关度的计算流程如图 3-11 所示。

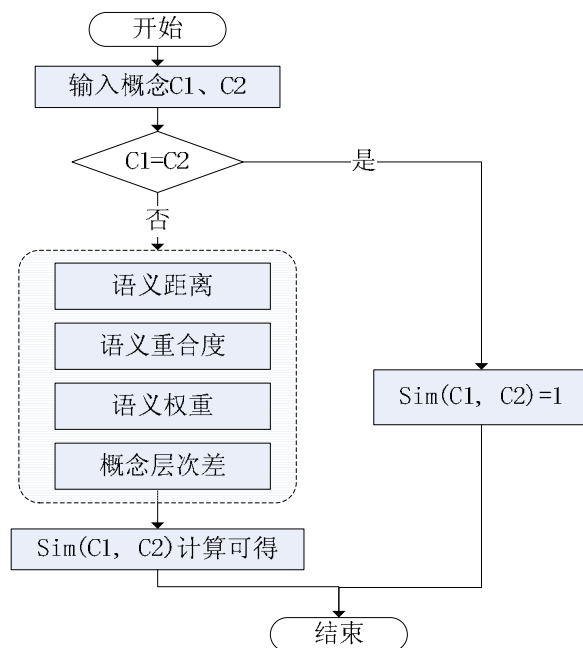


图 3-11 AHP 语义评估法算法示意图

3.6 基于本体及 AHP 语义评估法的个性化推荐

图 3-1 清晰地展示了该基于本体的个性化推荐算法流程：输入为某一个用户希望学习的概念 C ，经过一系列计算，最终会根据用户的学习情况为用户推荐符合其学习要求的一组习题。本节将在前文基础上，对整个推荐算法的各个模块进行分别阐述。

3.6.1 基于领域本体的概念集扩展

作为处理用户输入的第一个环节，概念集的扩展就需要对用户输入的概念 C 在查询阶段进行一组推理操作，在同义关系、父子关系、兄弟关系等语义关系层面上实现扩展，形成待推荐概念的扩展概念集 $S(C)$ ，如此，既增加了查询粒度，

又实现了待推荐资源与待推荐概念间密切的关系程度，从而有效地提高了推荐的准确性。

假设用户输入的概念为 C ，扩展概念集的过程可以用图 3-12 来表述：

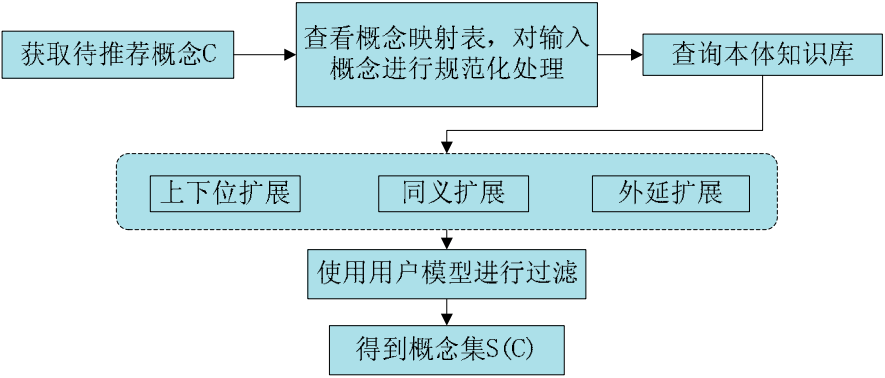


图 3-12 概念集扩展流程

经过概念集的扩展，我们得到了一组与概念 C 相关的一组概念 $S(C)$ ，该集合中的任意一个概念 C' 与概念 C 都可以形成一组三元组 $\langle C', \text{关系}, C \rangle$ 或 $\langle C, \text{关系}, C' \rangle$ ，可以说，集合 $S(C)$ 是概念 C 的语义扩展集合。图 3-13 表示以概念 C 为中心进行检索时 $S(C)$ 可能出现的语义关系。

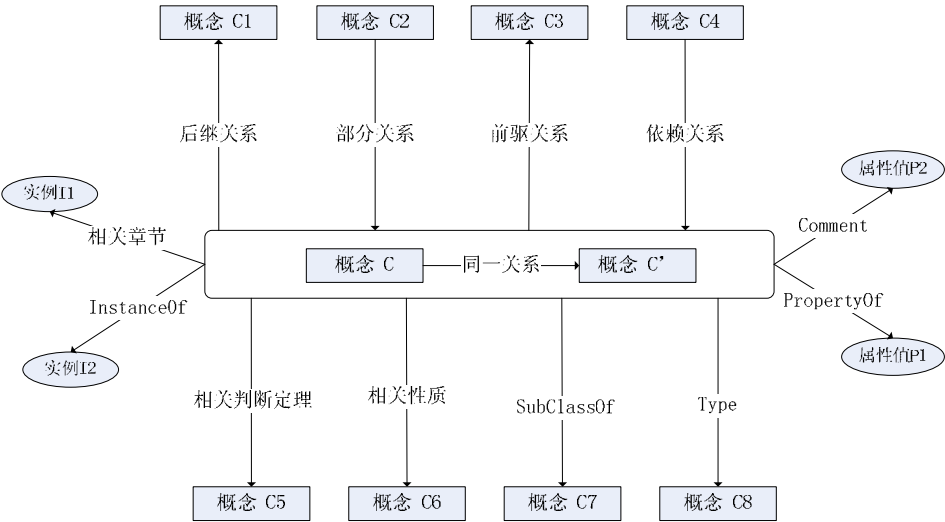


图 3-13 概念集形成的语义关系

经过此步，查询粒度得到扩充，从单一概念 C 扩充为 $S(C)$ 集合，由此保证了推荐的广度与推荐资源的关联度。当然，为了保证系统推荐出的题目所涉及的概念不会包含用户并没有学习过的概念，系统还需要对 $S(C)$ 中的每个元素进行过滤，删除用户模型中不包含的概念，最终得到一个完整的、有效的语义概念集 $S(C)$ ，

如此就可以在资源库中查询与之相关的资源并放入备选资源中，为下一步计算推荐度做准备。

3.6.2 评测修正的资源检索

集合 $S(C)$ 中的各个概念与 C 都具有直接的语义关系，保证了语义扩展的有效性，规避了多层次、间接关系造成的冗余概念。3.3.3 节指出，为了便于系统进行资源查询，所有的 XML 习题资源都映射到数据库中，因此，便可以从数据库中查询到一组包含 $S(C)$ 中任意元素的习题集合，记作 $Stmp(C, P)$ 。

任意习题 $P_x \in Stmp(C, P)$ ，都由 XML 标签定义了该题目在解题过程中需要使用的概念、定理、性质等，这些“知识”全部属于数学领域本体。但是并非每个概念用户都已经掌握，对于那些包含某些用户没有学习过的概念，显然不适合推荐给用户，这就需要由评测模型修正的用户模型来对 $Stmp(C, P)$ 中的题目进行一次刷选，如图 3-14 所示。

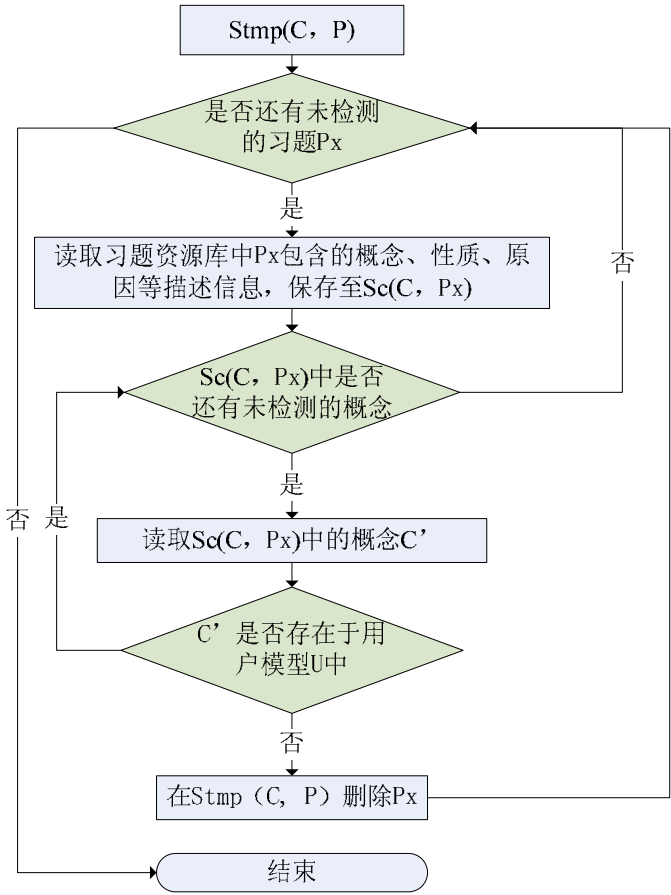


图 3-14 评测对推荐结果修正流程

3.6.3 学习资源推荐度的计算

图 3-1 显示,经过概念集扩展、评测模型修正后,系统利用语义概念集合可以在习题资源库中查询到一系列题目,即待推荐资源集,记作 $S(C,P)$,每一个 $P_x \in S(C,P)$,都满足如下要求:

假设用户模型中保存的用户已经学习过的概念为 $SL(U)$,用户输入的概念为 C ,得到的待推荐的资源集为 $S(C,P)$,每一个习题记作 P_x ,且 $P_x \in S(C,P)$,习题 P_x 中包含的概念、原因、定理等记作 $Sc(C,P_x)$,该集合中的任意一个元素记作 C_x ,则有:

- (1) $C \in Sc(C,P_x)$;
- (2) 对于任意 $C_x \in Sc(C,P_x)$,都有 $C_x \in SL(U)$;

现假设用户输入的概念 $C = \text{“全等三角形”}$,经过概念集扩展、资源查询、资源过滤三个步骤得到待推荐的习题集 $S(\text{“全等三角形”}, P)$ 。现有 $P_1 \in S(\text{“全等三角形”}, P)$, $P_2 \in S(\text{“全等三角形”}, P)$,且:

$Sc(\text{“全等三角形”}, P_1) = \{\text{三角形, SSS 定理, 全等三角形}\};$

$Sc(\text{“全等三角形”}, P_2) = \{\text{全等三角形, 正方形, 一元二次方程, 平行四边形的性质, 二次函数的图像, 方程}\}。$

此时,对于用户输入的概念“全等三角形”而言,我们需要对 P_1 与 P_2 的推荐度进行判断。为了解决这一个问题,分析 P_1 与 P_2 包含的概念集合:每一个概念集合包含的概念都是用户学习过的概念,那么对于“全等三角形”而言,一个题目中涉及的概念与“全等三角形”具有更高的语义相关度,那么这道题目相对于“全等三角形”这一概念具有更高的推荐度。

因此,为了衡量题目 P_x 相对于概念 C 的推荐度,我们引入如下定义:

定义 3-5 推荐度:用户 U 输入的概念为 C ,其待推荐的学习资源为 $S(C,P)$,该集合中的每一个资源 P_x 相对于概念 C 的推荐程度称为推荐度,记作 $Recd(P_x, C, U)$ 。

本文认为,对于任意 $P_x \in S(C,P)$,按照 P_x 中涉及的知识点与概念 C 的语义关系的强弱,将 $Sc(C,P_x)$ 分为强语义组、弱语义组以及微语义组,其中:

强语义组 $QSc(C,P_x)$:与概念 C 的语义距离为 1 的概念形成的集合;

弱语义组 $RSc(C,P_x)$:与概念 C 的语义距离大于 1 小于 4 的概念形成的集合;

微语义组 $WSc(C,P_x)$:与概念 C 的语义距离大于 3 的概念形成的集合;

且: $QSc(C,P_x) \subset Sc(C,P_x)$, $RSc(C,P_x) \subset Sc(C,P_x)$, $WSc(C,P_x) \subset Sc(C,P_x)$

对于 $Recd(P_x, C, U)$ 而言, 强语义组 $QSc(C, P_x)$ 包含的概念相对于概念 C 具有最强的语义关系, 因此, 该组元素的相关度对于 $Recd(P_x, C, U)$ 具有最强的影响力, 相对地, 弱语义组 $RSc(C, P_x)$ 对于 $Recd(P_x, C, U)$ 的影响力较小; 而微语义组 $WSc(C, P_x)$ 中的元素相对于概念 C 而言, 其语义距离最大, 造成语义上该集合内元素与 C 的关系最为疏远, 甚至可以忽略不计, 因此微语义组对于 $Recd(P_x, C, U)$ 的影响力最小。通过对 $Sc(C, P_x)$ 中的概念进行分类, 每个概念的语义相关度对最终推荐度的影响是“大的越大, 小的越小”, 一定程度上可以消除因非强语义关系较多使其对推荐度的影响超过强语义关系而产生的误推荐。

在上文中, P_2 包含的概念“正方形”与“平行四边形”属于弱语义组, 而“一元二次方程”、“二次函数的图像”和“方程”属于微语义组, 如果仅仅通过各个知识点的相关度累积来判断推荐度的话, P_2 就会因具有过多的微语义关系而产生数量优势, 最终优于 P_1 推荐给用户, 但是实际上, P_1 中包含的概念全部为强语义关系, 是关于概念“全等三角形”的专项资源。因此通过对 $Sc(C, P_x)$ 中的元素进行进一步地语义划分, 避免了因非强语义关系过多造成的误推荐。

为了衡量每种语义组中概念对该习题最终推荐度的影响, 本文引入如下定义:

定义 3-6 推荐匹配度 (Recommended Matching Degree): 任意 $P_x \in S(C, P)$, 都有 $Sc(C, P_x)$, $Sc(C, P_x)$ 的每种语义组 $QSc(C, P_x)$ 、 $RSc(C, P_x)$ 和 $WSc(C, P_x)$ 用 $XSc(C, P_x)$ 表示, $XSc(C, P_x)$ 的元素个数与 $Sc(C, P_x)$ 元素个数的百分比称为该语义组相对于概念 C 与习题 P_x 的推荐匹配度, 记作 $RMD(XSc)$, 见公式 (3-9)。

$$RMD(XSc) = \frac{Number\{XSc(C, P_x)\}}{Number\{Sc(C, P_x)\}} \times 100\% \quad \text{公式 (3-9)}$$

其中 $Number\{S\}$ 表示集合 S 的元素个数。

因此, 本文提出如下推荐度 $Recd(P_x, C, U)$ 计算公式。

$$Recd(P_x, C, U) = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i=1}^n Sim(C_i, C)}{n} \\ \frac{\sum_{j=1}^m Sim(C_j, C)}{m} \\ \frac{\sum_{h=1}^k Sim(C_h, C)}{k} \end{bmatrix} (RMD(QSc) \quad RMD(RSc) \quad RMD(WSc))$$

$$C_i \in QSc(C, P_x), C_j \in RSc(C, P_x), C_h \in WSc(C, P_x)$$

公式 (3-10)

其中：

n 为 $QSc(C, P_x)$ 的元素个数；

m 为 $RSc(C, P_x)$ 的元素个数；

k 为 $WSc(C, P_x)$ 的元素个数；

推荐度 $Recd(P_x, C, U)$ 越大，说明资源 P_x 相对于 C 具有更高的可推荐性。

不难看出，基于 AHP 语义评估法的推荐度算法主要应用于个性化推荐的排序环节，该算法可以得到的每个资源相对于用户输入概念 C 的推荐度 $Recd(P_x, C, U)$ 以此为依据对推荐资源进行排序，可以为为用户提供相关度最高的习题资源。

基于 AHP 语义评估法的推荐度算法流程图如图 3-15 所示。

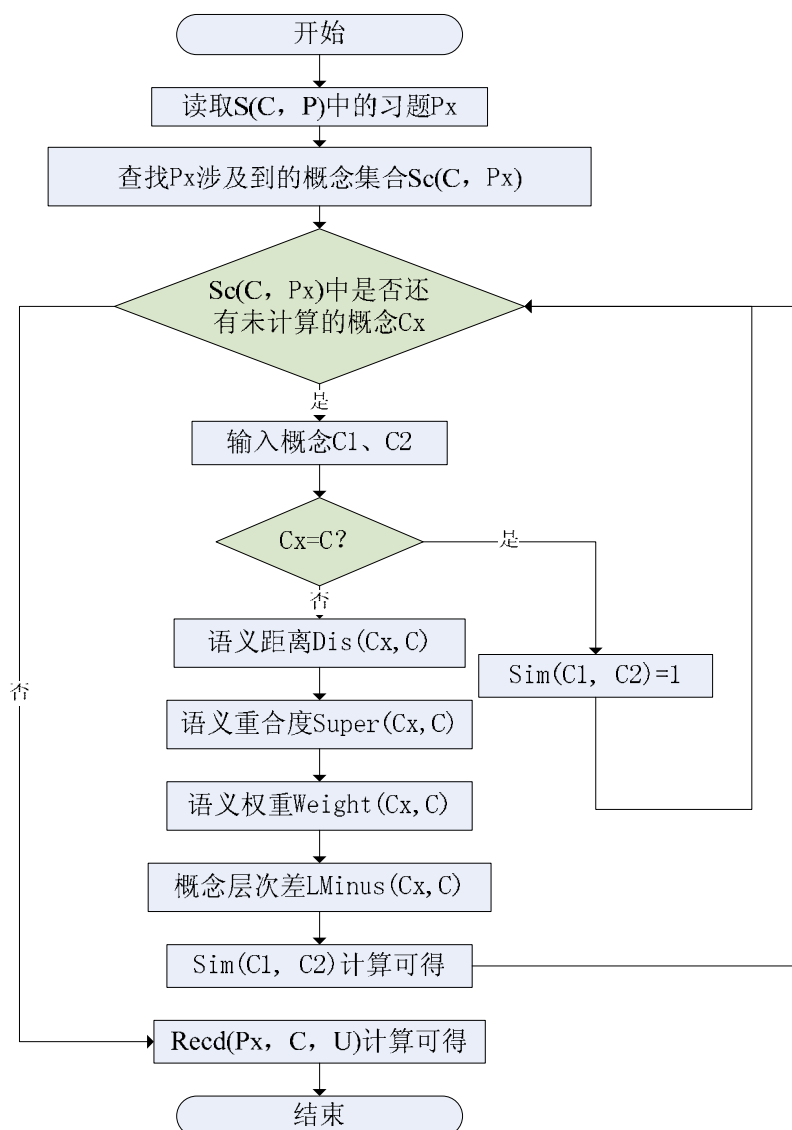


图 3-15 基于 AHP 语义评估法的推荐度算法流程图

综上所述，本文提出的个性化推荐算法可以用如下伪代码进行表示：

输入：用户 U 希望学习的概念 C ；

输出：符合用户学习情况的按照推荐度排序的学习资源；

BEGIN

(1) 处理概念 C ，使之符合规范；

(2) 查询以 C 为主语的宾语列表 S_1 以及以 C 为宾语的主语列表 S_2 ；

(3) 合并 S_1 和 S_2 形成 C 的语义概念扩展集合 $S(C)$ ；

(4) 对 $S(C)$ 与 $SL(U)$ 求交集，过滤用户未学习过的概念，且 $C \in S(C)$ ；

(4) 查询资源库中包含 $S(C)$ 中任意概念的习题资源，形成 $Stmp(C, P)$ ；

(5) 依次读取 $Stmp(C, P)$ 中的元素 P_x ，将 P_x 中涉及的概念集合 $Sc(C, P_x)$ 与由评测系统更新、维护的用户模型 U 进行匹配，对包含用户未学习过概念的题目 P_x 进行删除，得到待推荐的资源集为 $S(C, P)$ ；

(6) 依次读取 $S(C, P)$ 中的元素 P_x ，按照公式 (3-10) 计算元素 P_x 相对于概念 C 的推荐度 $Recd(P_x, C, U)$ ；

(7) 按照推荐度 $Recd(P_x, C, U)$ 对 $S(C, P)$ 中的元素进行排序，完成推荐；

END

3.7 本章小结

本章对个性化推荐算法的四个环节：“基于本体的概念集扩展”、“以语义集合为关键字的资源查询”、“语义相关度计算”和“推荐度计算”，进行了详细阐述，其中，本章重点阐述了 AHP 语义评估法及其在该推荐算法中的应用，并为了解决资源排序问题，提出了按照资源涉及知识点与用户输入概念之间的语义强弱进行语义分组，并与 AHP 语义评估法相结合的办法共同衡量某一资源的推荐度，并给出了资源推荐度计算公式。在下一章中，本文将重点阐述该推荐算法在智能教辅系统中的应用。

第四章 AHP 语义评估法实验与分析

4.1 对比算法介绍

本文提出的语义相关度算法：AHP 语义评估法，其实质是基于语义距离的语义相关度算法，该算法在衡量语义相关度上是否具有良好的语义区分性将直接决定个性化推荐结果是否准确。因此本文设计了两个对比算法，分别测试 AHP 语义评估法与同类相关度算法在不同本体上的表现。

在进行对比实验时，我们选取了其它三种典型的基于语义距离的语义相关度算法：Shortest Path，Weighted Links 以及 Wu and Palmer 作为对比算法。这三种算法都是通过两个概念在本体层次体系结构中的距离来反映概念间的语义相关度。

Shortest Path：由 Yale University 的 Roy Rada 等人提出。我们已经知道，语义网络是通过语义关系的定义而形成的，语义网络中的子类会继承其祖先类拥有的属性。两个概念共享的属性越多，那么从语义上讲，这两个概念就具有更强的语义相关度。因此，该算法认为：对于一个以“IS-A”为主要语义关系的语义网络而言，概念间的语义距离成为衡量语义相关度的重要指标，语义距离越长，二者拥有的相同属性就越少，语义相关度自然也就越低。其语义相关度的计算公式为公式（4-1）：

$$Sim_{(C_1, C_2)} = Min(C_1, C_2) \quad \text{公式（4-1）}$$

其中， $Min(C_1, C_2)$ 表示本体中连通 C_1 和 C_2 的最短路径长度。

Weighted Links 算法是对 Shortest Path 算法的改进，认为语义网中每种语义关系对于语义相关度的影响是不一样的，该算法对语义关系赋予一定的权重值，以概念间最短路径权重值的和作为语义相关度的反映，并且具体的数值由概念节点附近语义网络的密度、深度以及与父子节点间联系的强度而决定，见公式（4-2）：

$$Sim_{(C_1, C_2)} = \prod weight_i \quad \text{公式（4-2）}$$

其中， $Weight_i$ 表示本体中连通 C_1 和 C_2 的最短路径上语义权重值。

Wu and Palmer：该算法另辟蹊径，不再将概念间的语义距离作为反映语义相关度的指标，而是认为两个概念的相关程度与这两个概念拥有相同属性的数量相关，因此算法寻找与两个概念距离最近的公共父节点，以该父节点与两个概念的

语义距离来衡量二者的语义相关度，见公式（4-3）：

$$Sim_{(C_1, C_2)} = \frac{2 \times Min(P, R)}{Min(C_1, P) + Min(C_2, P) + 2 \times Min(P, R)} \quad \text{公式（4-3）}$$

其中， P 表示距离概念 C_1 和 C_2 距离最短的公共父节点， $Min(C_x, P)$ 表示 C_x 与 P 的最短语义距离长度， R 表示本体根节点，而 $Min(P, R)$ 表示 P 距离根节点 R 的最短语义距离。

与本文提出的 AHP 语义评估法相比，作为同属于基于语义距离的语义相关度算法，以上算法基本上都只着眼于某一指标，而 AHP 语义评估法将语义距离、语义重合度、概念层次差以及语义权重四个主要因素综合起来，通过 AHP 决策法来确定各个指标的权重值，最终得到可以反映概念间语义相关度的值。可以预测，AHP 语义评估法与上述几种单一的语义相关度算法相比，将会具有更好的语义区分度。

4.2 通用本体 WordNet 实验分析

(1) 通用本体 WordNet 介绍

WordNet^[36] 是 Princeton 大学的 George A. Miller 牵头开发的英语词汇数据库。WordNet 以词性对英语词汇进行划分，忽略了英语中比重相对较少的虚词，而将研究重点放在了名词、动词、形容词和副词上，以词性标准，将具有同种词性的词汇组织到同一个语义单元（Synset）中，并根据词汇之间的联系将各个词汇组织起来，这些联系包括了诸如同位关系、上位关系、下位关系、歧义参数关系、关联格式变形、摘要在内的诸多关系，而 Synset 之间则通过 IS-A/HAS-A、Part-of/Has-Part、Member-of/Has-Member、以及 Substance-of/Has-Substance 四种关系连接起来。WordNet 作为计算机语言与自然语言处理的重要工具，目前已收录词汇共 147278 个，更新至 3.0 版本。

WordNet 可以说是对同义词典和普通词典的综合。WordNet 首先在词义上进行组合，在 WordNet 中查询某词时，可以获得该词汇的同义词，更重要的是，WordNet 的 Synset 通过上文所述的四种关系类型形成更大范围内的语义网络，使得英语中几乎所有词汇都可以建立语义联系。同时，与基于词形的词传统典相比，WordNet 给出了每个词汇的同义词集合及示例。

实际上，WordNet 不具备知识推理功能，只是对英语词汇进行词义上的组织，因此，WordNet 不是真正意义上的本体，而只是一种知识库，但由于 WordNet 具

备本体的语义结构和概念层次，可以说 WordNet 是语义组织层次上的本体。由于该实验并不需要利用本体的知识推理功能，因此，WordNet 是理想的语义相关度实验本体。图 4-1 是本文使用 WordNet 查询工具 :WordNet Browser 查询单词 computer 得到的查询结果。

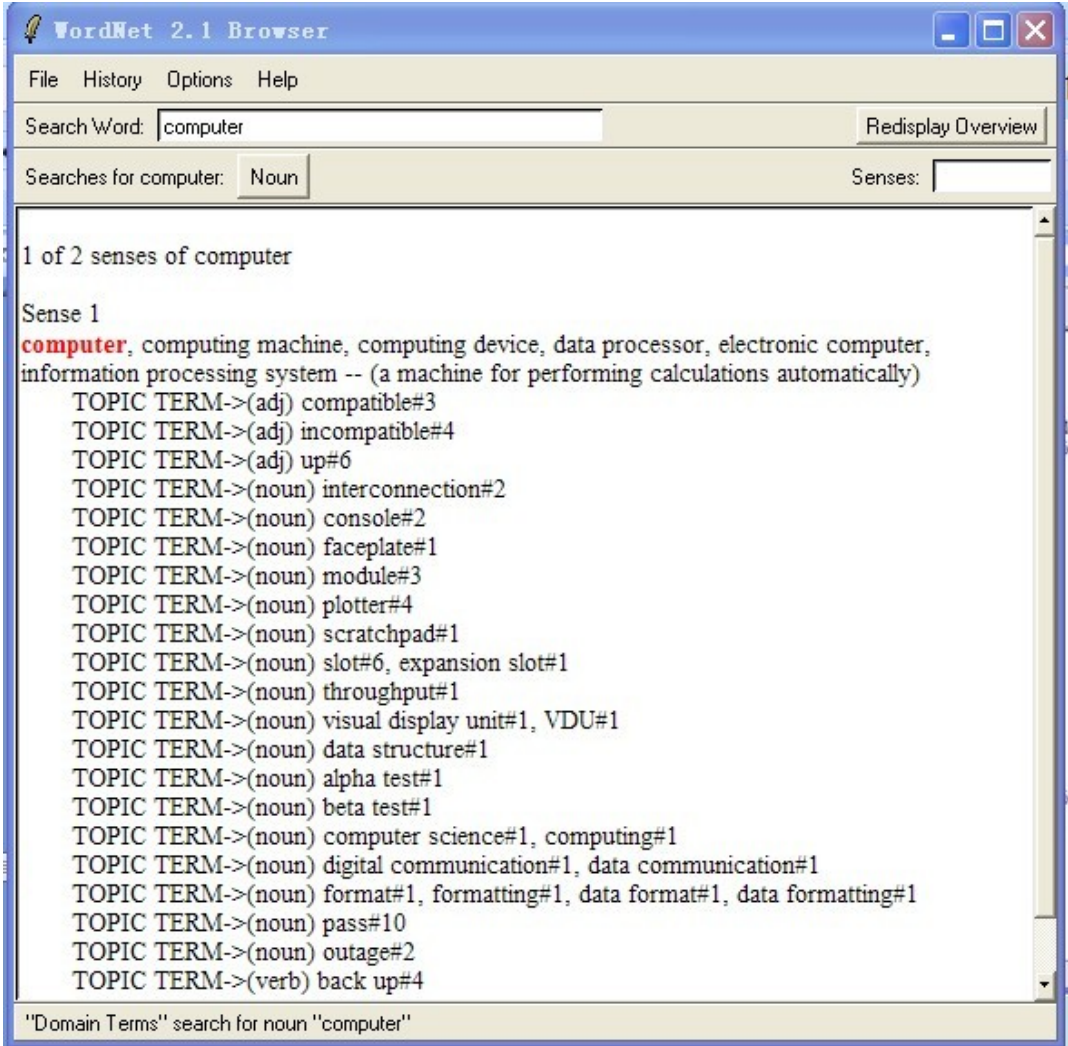


图 4-1 WordNet Browser 对 “ computer ” 的查询结果

对于实验所需要的四种指标：语义距离、语义重合度、概念层次差和语义权重而言，前三种指标都是在本体构建完成时就已经确定了，它们都是由本体的结构所确定的，而语义权重，则是对每种语义关系赋予 0 到 1 的数值作为其衡量标准，每一个权值都需要参考领域专家的意见和该语义关系相对于本体重要程度而确定，因此，对于 WordNet 定义的共 13 种语义关系，本文提出如表 4-1 所示的语义权重值对应表。

表 4-1 WordNet 语义关系权值对应表

关系名		支持词性				权重值
		名词	动词	形容词	副词	
Synonymy	同义关系	Y	Y	Y	Y	1
Antonymy	反义关系	Y	Y	Y	Y	0.7
Hypernymy	上位关系	Y	Y	N	N	0.3
Hyponymy	下位关系	Y	Y	N	N	0.8
Meronymy	部分关系	Y	N	N	N	0.8
Holonymy	整体关系	Y	N	N	N	0.8
Attribute	属性	Y	N	Y	N	0.9
Entailment	蕴涵关系	N	Y	N	N	0.7
Cause	致使关系	N	Y	N	N	0.8
Also See	又见关系	N	Y	Y	N	0.7
Relational Adj	关系性形容词	N	N	Y	N	0.2
Similar	近义关系	N	N	Y	N	0.9
Derived From	导出关系	N	N	N	Y	0.7

(2) 实验结果及分析

实验选择 20 组 Computer 类下的概念，测试了使用不同的语义相关度算法得到的这些概念间语义相关度数值，其结果如表 4-2 所示。

表 4-2 AHP 评估法与其他算法在 WordNet 上的实验结果

序号	概念 1	概念 2	AHP 语义 评估法	Shortest Path	Weighted Links	Wu and Palmer
1	computer	machine	0.64	1	0.8	0.4
2	computer	calculator	0.71	1	0.8	0.4
3	Operating System	software	0.58	1	0.8	0.5
4	Operating System	code	0.52	2	0.63	0.6
5	Operating System	platform	0.62	3	0.47	0.6
6	CPU	electronic equipment	0.51	1	0.8	0.5
7	CPU	CD player	0.31	3	0.54	0.3
8	ROM	register	0.68	1	0.8	0.5
9	ROM	storage device	0.66	1	0.8	0.5
10	mouse	computer	0.59	1	0.8	0.5
11	mouse	mouse button	0.67	1	0.8	0.4
12	keyboard	device	0.56	1	0.8	0.7
13	keyboard	computer key- board	0.83	1	0.8	0.8

表 4-2 AHP 评估法与其他算法在 WordNet 上的实验结果（续）

序号	概念 1	概念 2	AHP 语义 评估法	Shortest Path	Weighted Links	Wu and Palmer
14	program	software	0.75	1	0.8	0.5
15	program	programmer	0.84	1	0.7	0.5
16	database	message	0.46	3	0.84	0.4
17	database	entity	0.76	1	0.9	0.5
18	database	character set	0.54	1	0.9	0.4
19	network	web	0.89	1	1	0.7
20	network	communication system	0.58	3	0.63	0.2

在表 4-2 中，分析对象是 20 对计算机类英语词汇，每对词汇间都具有一定的语义联系，数值越大，表示概念间的语义关系越紧密，相关度越高。首先，图中第四列数据是使用本文提出的 AHP 语义评估法得到的每对概念间语义关系的度量值，其取值范围为 $[0,1]$ ，结果保留两位小数。以第一对与第二对概念组为例，computer 与 machine 和 calculator 的语义相关度分别是 0.64 和 0.71，说明 calculator 与 machine 相比与 computer 具有较高的语义相关度，直观上，computer 是 machine 和 calculator 的子类，但是 calculator 与 machine 相比更能详细地描述 computer 的特性，二者具有更多地共同属性，因此符合主观预期。同样地，<keyboard, device> 和 <keyboard, computer keyboard> 相比，前者具有上位关系，AHP 语义评估法得到的度量值为 0.56，而后者具有下位关系，AHP 语义评估法度量值为 0.83，直观上我们认为 keyboard 某种程度上就是指的 computer keyboard，与 device 相比，更加能够描述 keyboard 的语义。

同样分析表 4-2 最后三列，其数据分别是使用 Shortest Path，Weighted Links 和 Wu and Palmer 得到的语义相关度的度量值。从整体上看，这三列对英语词汇的区分度明显不足。Shortest Path 得到的度量值基本在 1 到 3 之间，这是由于该算法是以概念在本体中语义路径的长度作为衡量标准，造成了 20 组实验对象中有 15 组的度量值都为 1，与主观判断不相符。Weighted Links 列以概念间路径权值的积为度量标准，结果保留两位小数，与 Shortest Path 相比，Weighted Links 对于词汇的相关度具有较好的区分性，但是当概念间具有同一种关系时，度量值单纯由该关系对应的权重值确定，一定程度上降低了概念相关度的区分性，与主观判断不相符。表 4-2 中第 8 对概念至第 14 对概念在 Weighted Links 上的度量值全部为 0.8，但主观上，我们认为 <mouse, mouse button> 与 <mouse, computer> 具有更好地相关性，<ROM, register> 也应当比 <ROM, storage device> 具有略高的相关性。实际上，

这 7 对概念的语义关系为整体/部分关系，表 4-1 清楚地显示出这两种关系的权重值均为 0.8，因此受到 Weighted Links 算法本身局限，其结果没有可以很好地对这些概念的相关性进行区分。同样地，以概念具有相同属性数为相关度衡量标准的 Wu and Palmer 算法在相关度的区分上也具有一定局限性，如<mouse，mouse button>与<mouse，computer>，<program，software>与<program，programmer>，甚至在对<mouse，mouse button>与<mouse，computer>进行度量时，其值分别为 0.4 与 0.5，与主观判断相反。而上述问题在使用 AHP 语义评估法时都没有出现，数值反映出的语义相关度强弱基本符合人们的主观判断。

4.3 初中数学领域本体实验分析

(1) 初中数学领域本体介绍

该实验以初中数学知识本体作为研究对象，该领域本体对初中数学知识进行了总结和概括，涵盖了初中数学所需要的知识、定理、命题等，其关系模型如图 4-2 所示。

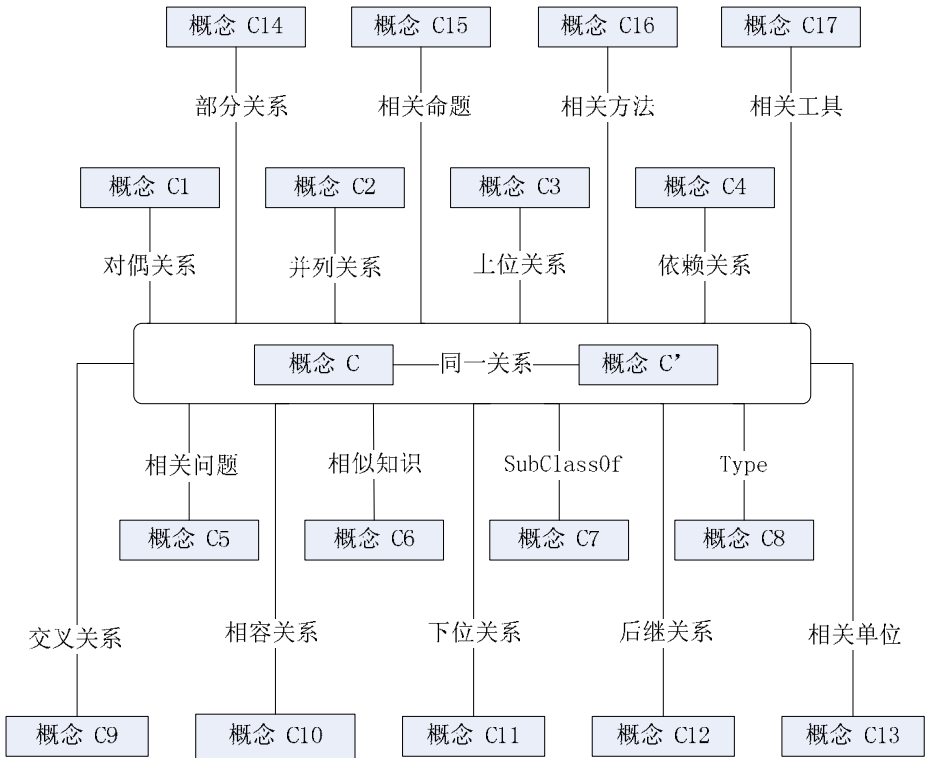


图 4-2 初中数学领域本体关系模型

前文已述，在本文所讨论的四个指标中，语义权重是在领域专家的帮助下不断调节得到的，范围为[0,1]，数值越大，代表其语义关系权重越大，具体数值如表 3-3 所示。

(2) 实验结果及分析

为了对比本文提出的 AHP 语义评估法的有效性，我们选取了 21 对概念作为实验对象，表 4-3 显示的便是这 21 对概念按照 AHP 评估法和基于语义距离的语义相关度算法计算而得的数值：

表 4-3 AHP 评估法与其他算法在数学领域本体上的实验结果

序号	概念 1	概念 2	AHP 语义评估法	Shortest Path	Weighted Links	Wu and Palmer
1	整式	有理数	0.33	3	0.9	0.6
2	三角形	全等三角形	0.5	2	0.2	0.6
4	三角形	曲线上的点	0.18	5	0.9	0.5
5	三角形	三角形的内切圆	0.5	2	0.2	0.6
3	斜三角形	锐角三角形	0.33	3	0.4	0.6
7	圆	圆心角	0.5	2	0.6	0.6
8	圆心角	一元一次不等式组	0.12	4	0.9	0.5
9	圆	圆周角	0.5	3	0.4	0.6
10	圆周角	圆周角定理的推论 3	0.5	5	0.9	0.5
11	圆周角	圆周角定理	0.5	5	0.9	0.5
12	长方形	正方形	0.5	2	0.2	0.6
13	菱形	正方形	0.45	3	0.9	0.6
14	菱形	一元二次方程的根	0.12	4	0.9	0.5
15	韦达定理	一元二次方程的根	0.45	3	0.9	0.6
16	等边对等角	三线合一	0.33	3	0.9	0.6
17	三角形三条边的关系定理	三角形的中位线定理	0.45	5	0.9	0.5
18	点	线	0.5	2	0.2	0.5
19	长方形	矩形	1	3	0.9	0.6
20	平行四边形的性质 1	解不等式	0.18	5	0.9	0.5
21	平行四边形的性质 1	平行四边形	0.5	5	0.4	0.5

通过对表 4-3 数据进行纵向比较，可以轻易地发现，表中 Shortest Path 列数据基本是在[2,5]之间徘徊，其区分度明显不足，这是由于在本体中，若概念对 $\langle C_1, C_2 \rangle$ 同属于同一类，则其语义距离基本保持在一个特定的水平范围之内，其语义距离反映的语义相关度与语义关系无关，因此该列数值浮动较小，对语义距

离的区分度较低；类似地，Weighted Links 列数据受语义距离和语义权重影响，当语义权重过大时就容易造成计算结果与直观感受不符，例如：表 4-3 所示的概念对 <解不等式，平行四边形的性质 1> 与 <平行四边形，平行四边形的性质 1>，在使用 Weighted Links 方法时，其语义相关度显示前者为 0.9，后者为 0.4，即“解不等式”与“平行四边形”相比，具有与“平行四边形的性质 1”更大的相关度，不符合预计期望，而使用 AHP 评估法得到的值分别为 0.18 与 0.5，较好地反映真实期望。最后，在表的最后一列中，Wu and Palm 方法放弃使用语义距离作为衡量语义相关度的基础，而采用父节点与概念对的路径来衡量语义相关度，从实验数据上看，结果并不理想。

从表 4-3 中可以看出，AHP 语义评估法可以更加精准地对概念间语义相关度进行评价，而后几种算法则不同程度表现出变化浮动小，语义区分度低的缺陷。使用 AHP 语义评估法计算而来的语义相关度与其他几种典型算法相比，具备明显的优势，更加符合领域专家对概念对间语义相关度的期望程度。

实验证明，本文提出的 AHP 语义评估法在语义相关度的评估上，通过对多重语义衡量标准进行权值计算而得到的综合性数值可以科学地反映出不同词汇语义上的区分关系，与传统单一的语义衡量方法相比，具有更好的语义区分性。并且，这种有效性不仅仅体现在本文的研究对象数学领域本体上，在通用本体 WordNet 上也同样表现良好。作为个性化推荐系统中关键的一个环节，AHP 语义评估法的有效性将直接确保推荐的准确性。

4.4 本章小结

本章为证明整个个性化推荐算法的有效性，针对该算法的核心内容 AHP 语义评估法设计了相关实验，以验证该方法的有效性：该实验以本文的研究对象初中数学领域本体以及学术界公认的通用本体 WordNet 作为实验对象，分别比较 AHP 语义评估法与传统单一的语义相关度算法：Shortest Path，Weighted Links 以及 Wu and Palmer 在不同实验对象上的数据，证明了 AHP 语义评估法在衡量语义相关度上的有效性与科学性，并从侧面证明了以算法为核心的个性化推荐算法具有良好的推荐预期。下一章将介绍基于该个性化推荐算法的应用：个性化推荐系统的设计与实现。

第五章 个性化推荐系统的设计与实现

5.1 基于本体的个性化推荐系统结构

本系统由三大主要层次构成：数据层、推荐层以及应用层，三层系统自上而下地构成了具有良性反馈机制的个性化推荐系统，见图 5-1：

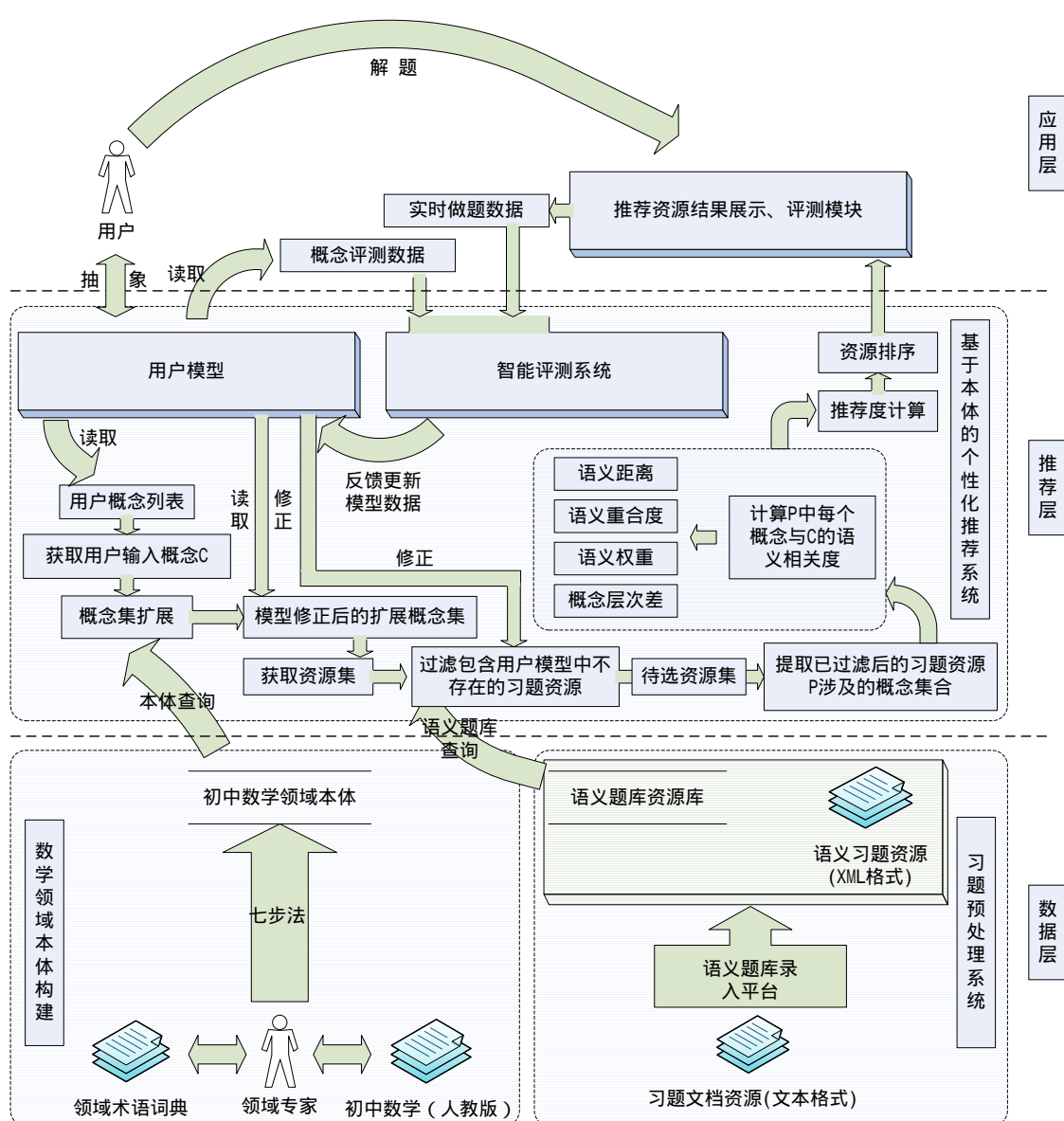


图 5-1 基于本体的个性化推荐系统结构图

5.2 系统详细设计

5.2.1 功能模块设计

系统从用户角度出发，设计了四个主要功能模块：

(1) 用户信息管理模块：该模块主要为用户提供注册、登陆、用户学习信息管理等功能。

(2) 基于本体的推荐模块：当用户登入系统之后，系统读取用户模型中保存的已掌握概念并将之展示给用户。用户将自己希望学习的概念提交给系统后，系统根据用户模型以及本体知识库为用户推荐符合其学习要求的习题资源，并将之列表的方式展示给用户，供用户选择。从应用上看，个性化推荐模块包含三个部分：预习推荐、同步推荐以及复习推荐。

预习推荐：旨在为用户推荐包含其待学习资源 C 非下位知识点的习题；

同步推荐：根据用户模型对用户未学习概念进行过滤，将符合要求的资源推荐给用户；

复习推荐：认为用户已经掌握全部知识，因此不再考虑用户模型对推荐结果的影响，仅根据 AHP 语义评估法为用户进行推荐；

(3) 基于 HTML5 的流程化解题模块：采用 HTML5 提供的 canvas 标签，设计树状结构的解题界面。用户选择推荐系统提供的题目，后台程序通过对题目对应的 XML 文件进行解题，读取相关的标签生成题目相应的解题单元，并反馈给前台用户。该模块使得用户可以直接采用拖拽的方式构建解题流程，并最终提交答案，交由用户学习评测模块。对用户的解题结果进行评测。

(4) 用户学习评测模块：当用户提交解题结果之后，包括解题时间、错误次数、提示次数等在内的可以反映用户解题情况的信息会与用户提交答案一起提交给评测模块，评测模块根据其算法更新用户模型，为下一次个性化推荐做准备。

任意用户 U 在使用该系统时，首先进行系统注册，在系统中提交用户基本信息。之后，系统为用户提供三种推荐方式，值得注意的是，如果用户是首次使用该系统，则此时只有一种推荐模式即复习推荐模式供用户选择；之后，系统为用户进行推荐并将推荐结果列表展示给用户，供用户选择其希望解答的题目。当用户选择某一习题时，系统通过解读其 XML 文件，生成流程化树状解题界面，用户通过拖拽的方式组合其认为正确的解题过程以及对应的原因、概念等。解答完毕后，用户提交结果，经过后台程序计算，更新用户模型，并将评测结果返回给用

户，完成一轮推荐。整个交互流程可以用图 5-3 来表示。

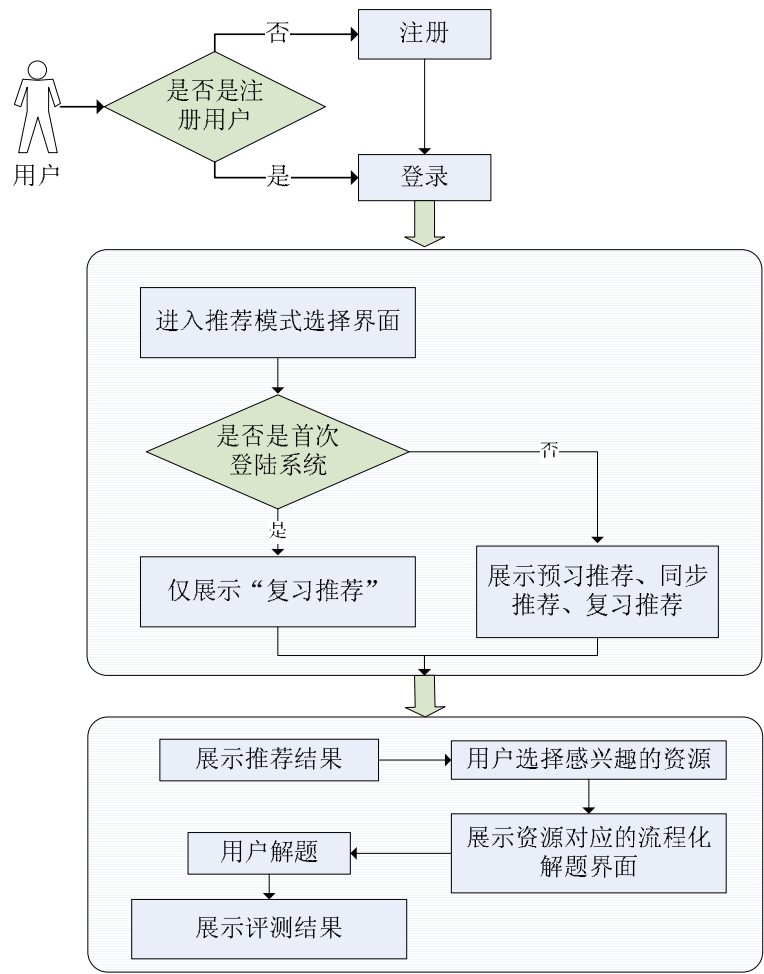


图 5-3 用户交互示意图

5.2.2 类图设计

1、类框架结构设计

当用户开始使用该个性化推荐系统进行习题推荐时，首先创建 UserModel 对象，该类从数据库中读取用户的基本信息并保存到对象相应属性中，便于对之进行访问和处理。之后系统创建 Recommend 对象，将用户输入的概念保存到 InputConcepts 中，通过调用 OntoServer 对象中的相应函数，创建客户端到 AllegroGraph 的访问连接，利用对应的 SPARQL 语句查询 InputConcepts 中概念的语义概念集合。经过 Filter 对象利用 UserModel 中的数据对该语义概念集合进行过滤，将剩余的概念作为查询关键字查找数据库中的习题资源，经过 Filter 对象过滤

后将之保存到 Recommend 对象的 recommendList 中。此时，系统逐个读取 recommendList 中保存题目，并从数据库中查询每个题目涉及到得概念、原因等相关知识点，为了获得这些知识点与用户输入的 InputConcepts 中概念的语义相关度，系统创建 SemanticRelevance 对象逐个计算其对应的语义相关度数值，并利用这些数值得到该题目的推荐度。最终，系统根据推荐度对推荐结果进行排序，完成推荐。图 5-4 显示的便是推荐系统类图。

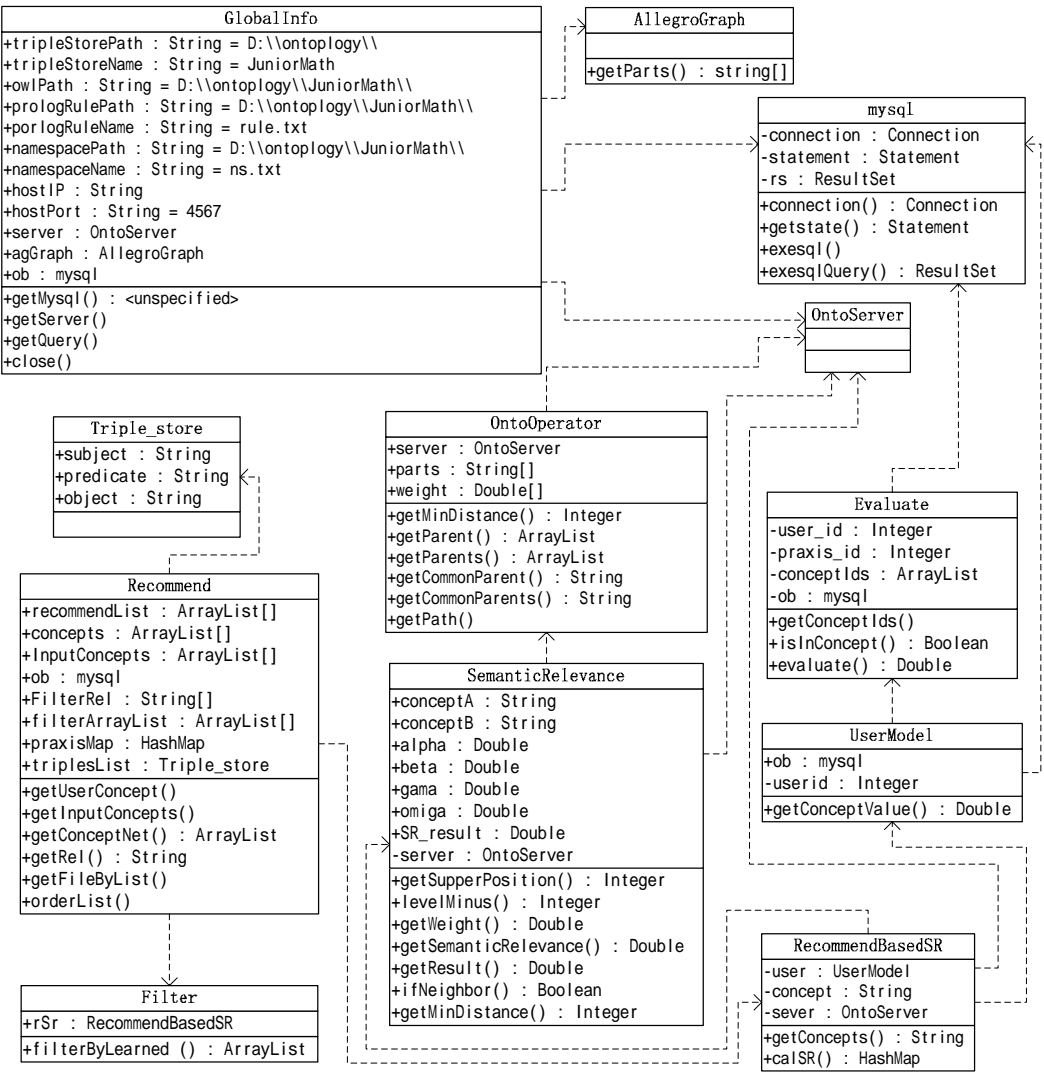


图 5-4 基于本体的个性化推荐系统类图

2、类详细结构设计

(1) GlobalInfo 类

功能介绍：GlobalInfo 类主要是对系统中的公用参数进行定义，为程序访问数据库、本体、XML 文件等提供统一的参数及接口，避免多处定义造成的二义性问题

题。其类定义如图 5-5 所示。

GlobalInfo
+tripleStorePath : String = D:\\ontoplogy\\ +tripleStoreName : String = JuniorMath +owlPath : String = D:\\ontoplogy\\JuniorMath\\ +prologRulePath : String = D:\\ontoplogy\\JuniorMath\\ +porlogRuleName : String = rule.txt +namespacePath : String = D:\\ontoplogy\\JuniorMath\\ +namespaceName : String = ns.txt +hostIP : String +hostPort : String = 4567 +server : OntoServer +agGraph : AllegroGraph +ob : mysql +getMysql() : <unspecified> +getServer() +getQuery() +close()

图 5-5 GlobalInfo 类图

(2) Recommend 类

功能介绍：Recommend 类主要功能是调用其他类提供的功能来控制推荐的流程，处理用户输入，查询对应资源以及对资源进行排序，其类定义如图 5-6 所示。

Recommend
+recommendList : ArrayList[] +concepts : ArrayList[] +InputConcepts : ArrayList[] +ob : mysql +FilterRel : String[] +filterArrayList : ArrayList[] +praxisMap : HashMap +triplesList : Triple_store +getUserConcept() +getInputConcepts() +getConceptNet() : ArrayList +getRel() : String +getFileByList() +orderList()

图 5-6 Recommend 类图

(3) SemanticRelevance 类

功能介绍：该类为基于 AHP 语义评估法的语义相关度计算类，可以计算本体中任意概念间语义相关度及其对应指标，其中，部分成员函数释义如下。

getMinDistance()：寻找两个概念在本体中存在的最短路径长度，其计算公式见公式（3-2）

getSupperPosition()：在本体网络中寻找概念的祖先节点，并用概念中公共祖先节点中深度最大的节点深度加 1 表示概念间语义相关度，其计算公式如公式

(3-4) 所示。

levelMinus() : 返回两个概念在本体结构中层次的差值，其计算公式如公式(3-5) 所示。

getWeight() : 返回两个概念上所有可连通路径中最大权重乘积值，其计算公式如公式(3-6) 所示。

getSemanticRelevance() : 返回两个概念在本体中的语义相关度，其计算公式如公式(3-8) 所示。

SemanticRelevance 类的定义如图 5-7 所示。

SemanticRelevance
+conceptA : String +conceptB : String +alpha : Double +beta : Double +gama : Double +omiga : Double +SR_result : Double -server : OntoServer
+getSupperPosition() : Integer +levelMinus() : Integer +getWeight() : Double +getSemanticRelevance() : Double +getResult() : Double +ifNeighbor() : Boolean +getMinDistance() : Integer

图 5-7 SemanticRelevance 类图

(4) OntoOperator 类

功能介绍：OntoOperator 类对本体的常见操作进行封装，其他类需要操作本体时，只需要创建 OntoOperator 类对象并调用相关成员函数即可，其中，部分成员函数释义如下。

getMinDistance(String a, String b) : 返回概念 a 与概念 b 在本体中的最短路径，返回值为 int 类型。

getParent(String a) : 返回概念 a 在本体中存在的所有父节点。由于本体包含 a 的生成树不只一棵，因此，其父节点也应当是一组，该函数的返回值为 ArrayList<String>类型。

getCommonParent(String a, String b) : 寻找本体中概念 a 与概念 b 存在的与二者距离和最近的公共父节点，其返回值为 String 类型。

getParents(ArrayList<String> list) : 逐个访问 list 中的概念并访问其在本体中的父节点，并将这些父节点全部保存到 ArrayList<String>中并返回。

getCommonParents(ArrayList aParents, ArrayList bParents)：aParents 和 bParents 保存的是两组父节点，该函数返回这两组父节点的首个公共父节点，其返回值为 String 类型。

getPath(String a, String b)：寻找本体中概念 a 到概念 b 的最短路径，并将该条路径上的所有节点信息返回，其返回值为 UPI[][] 类型。

OntoOperator 类的定义如图 5-8 所示。

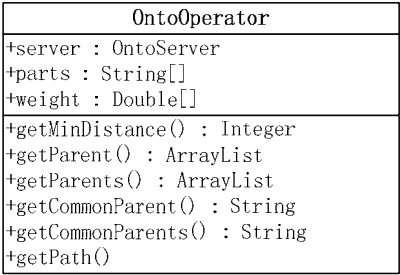


图 5-8 OntoOperator 类图

5.2.3 时序流程图

整个系统时序流程图如图 5-9 所示。

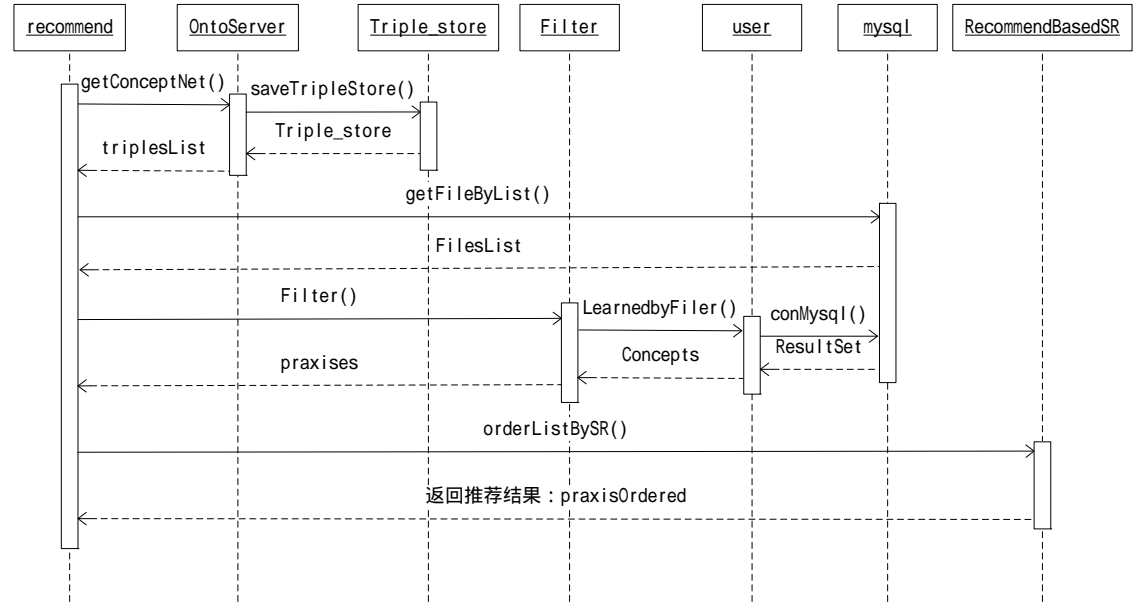


图 5-9 个性化评测算法时序图

其中，系统通过创建 RecommendBasedSR 对象来计算 $Recd(P_x, C, U)$ ，并将该推荐度值反馈给 recommend 对象，供其推荐排序。

图 5-10 为 RecommendBasedSR 使用 AHP 语义评估法计算推荐度的时序图。

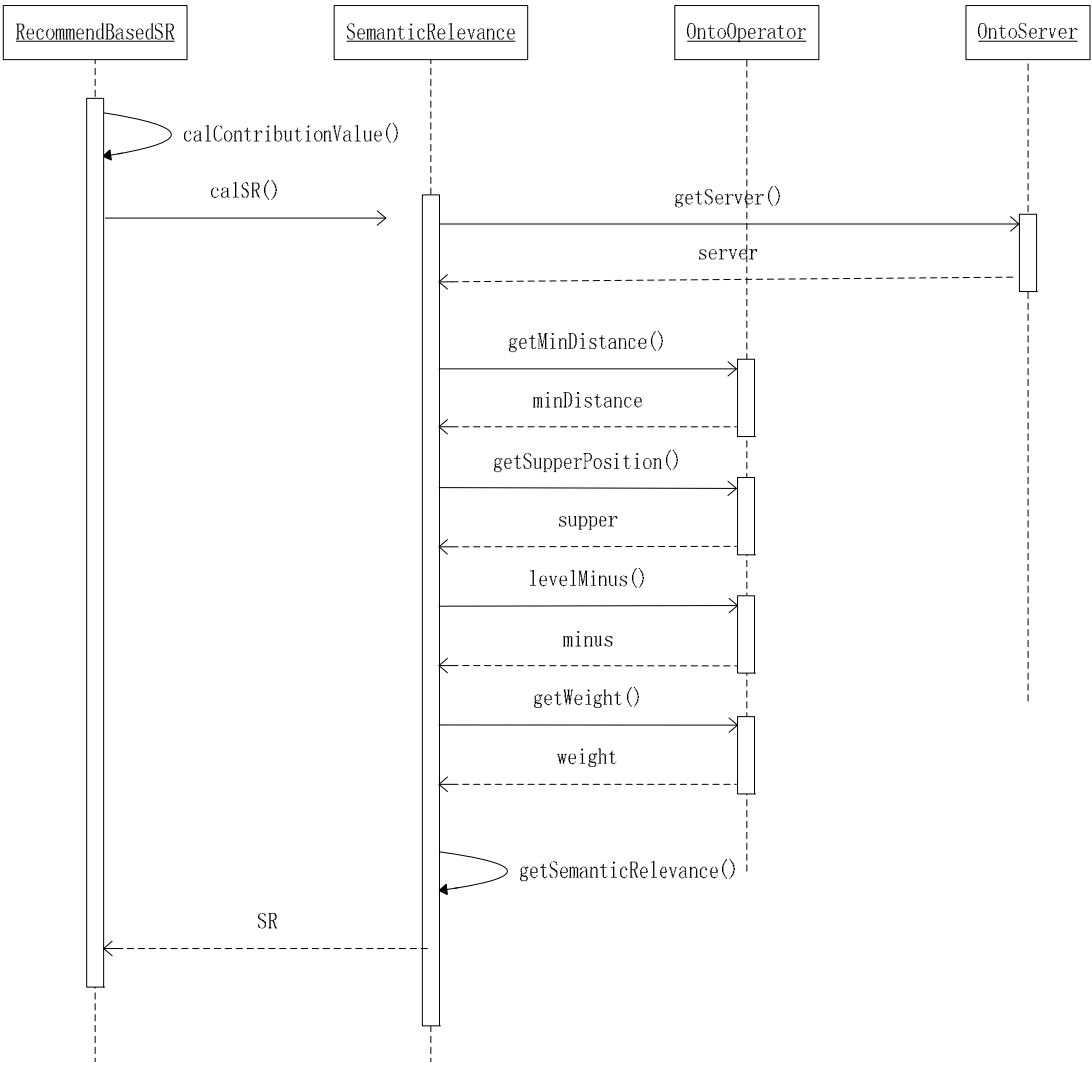


图 5-10 推荐度计算时序图

5.3 数据库设计

从应用角度出发，系统设计了用户信息表、概念信息表、习题资源信息表、用户已学概念记录表、用户已学习题记录表共五个表，采用关系型数据库 MYSQL 作为存储数据库，其 E-R 关系图如图 5-11 所示。

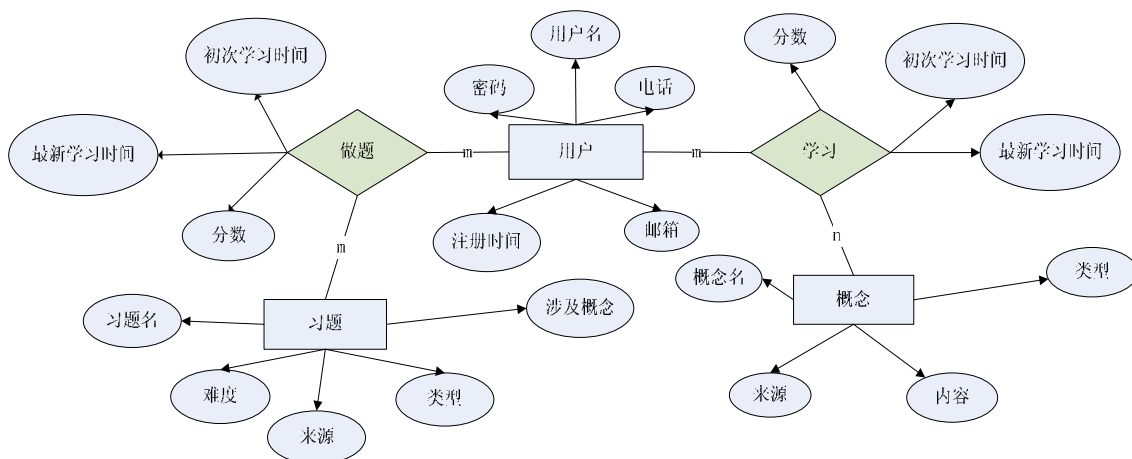


图 5-11 系统 E-R 图

(1) 用户信息表 user

用户信息表主要是保存用户的基本信息，包括用户名、密码、联系方式、注册时间等，其结构如表 5-1 所示。

表 5-1 用户信息表 user

字段名	描述	类型	可否为空	主键	值域	其他
UserId	用户 id 值	Integer	N	Y	无	自增
UserName	用户名	Char	N	N	无	无
Password	密码	Char	N	N	无	无
Telephone	电话	Char	Y	N	无	无
Email	电子邮箱	Char	Y	N	无	必须包含 @ 字符
Grade	用户年级	Integer	N	N	1：初中一年级 2：初中二年级 3：初中三年级 4：初中四年级 5：其他	无
RegisterTime	注册时间	Timestamp	N	N	无	无
Extend	扩展字段	Integer	Y	N	无	用作用户信息表的扩展

(2) 概念表 concept

概念表主要保存初中数学涉及到的所有概念、原因、性质等相关知识，其数据来源是以初中数学本体为基础，利用程序将本体中的概念、类、实例等描述初中数学知识的对象及其描述一并提取出来，保存到该数据表中。创建该表的主要目的是为了提高数据的读取速度，其结构如表 5-2 所示。

表 5-2 概念表 concept

字段名	描述	类型	可否为空	主键	值域	其他
ConceptId	概念 id 值	Integer	N	Y	N	无
Concept	概念名	Char	N	N	无	无
Content	概念解释内容	Char	N	N	无	无
Source	概念来源	Char	Y	N	无	无
Tag	概念类别	TinyInt	N	N	1：几何 2：代数 3：综合	无

(3) 习题资源信息表 praxis

习题资源表对 XML 习题资源的主要信息进行提取与保存,方便在资源查询阶段可以直接通过该表的相关字段进行查询,从而避免逐个解析 XML 文件造成的读取时延,其结构如表 5-3 所示。

表 5-3 习题资源信息表 praxis

字段名	描述	类型	可否为空	主键	值域	其他
PraxisId	习题 id 值	Integer	N	Y	无	无
PraxisName	习题文件名	Char	N	N	无	无
Reason	习题涉及知识	Char	N	N	无	概念间用“#”分割
Level	习题难度值	TinyInt	N	N	1-5：难度依次递增	无
Source	习题来源	Char	Y	N	无	无
Tag	习题类型	TinyInt	N	N	1：几何 2：代数 3：综合	无

(4) 用户已学概念记录表 myConcept

该表保存用户已经学习过的概念,系统根据该表保存的信息,对语义概念扩展集及习题进行过滤,避免为用户推荐出包含用户未学习概念的资源,其结构如表 5-4 所示。

表 5-4 用户已学概念记录表 myConcept

字段名	描述	类型	可否为空	主键	值域	其他
myConceptId	id 值	Integer	N	Y	无	无
ConceptId	概念 id 值	Integer	N	N	无	外联 praxis 表的主键
UserId	用户 id 值	Integer	N	N	无	外联 user 表的主键
Value	掌握值	Long Float	N	N	无	无
StartTime	初次学习时间	Char	N	N	无	无
LastTime	最新学习时间	Timestamp	N	N	无	无

(5) 用户已学习题资源表 myPraxis

记录用户学习过的习题资源及其分数，其结构如表 5-5 所示。

表 5-5 用户已学习题资源表 myPraxis

字段名	描述	类型	可否为空	主键	值域	其他
myConceptId	id 值	Integer	N	Y	无	无
PraxisId	习题 id 值	Integer	N	N	无	外联 concept 表的主键
UserId	用户 id 值	Integer	N	N	无	外联 user 表的主键
Value	掌握值	Long Float	N	N	无	无
StartTime	初次学习时间	Char	N	N	无	无
LastTime	最新学习时间	Timestamp	N	N	无	无

图 5-12 显示了用户信息表、概念表、习题资源信息表、用户已学概念记录表、用户已学习题资源表五种数据表的概念模型。

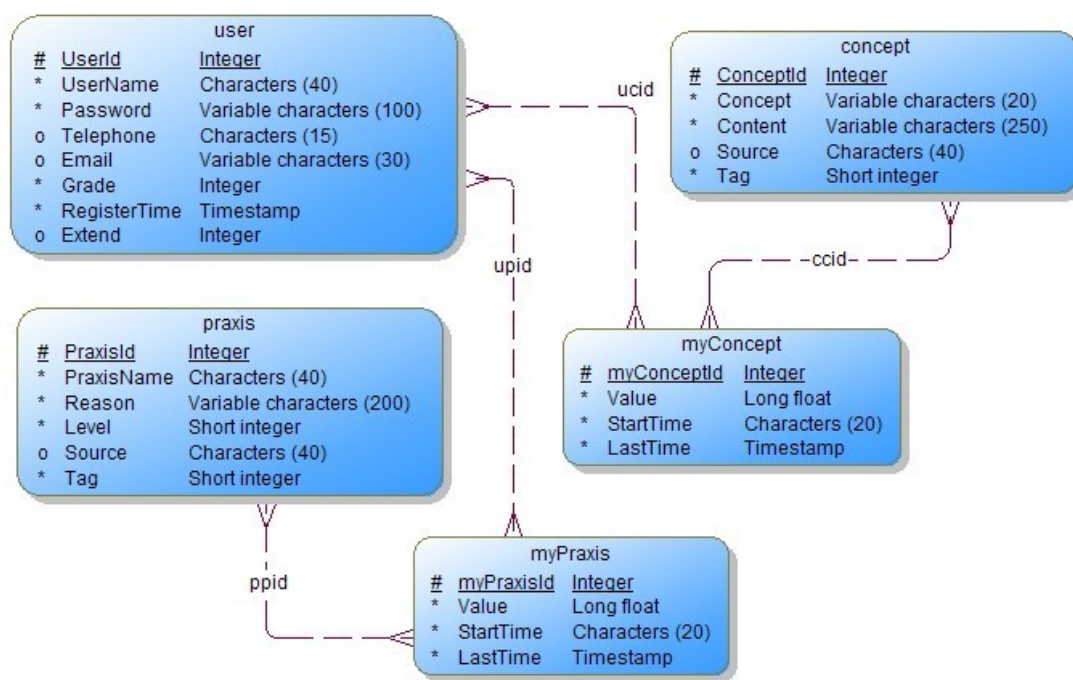


图 5-12 系统数据表概念模型

5.4 系统开发环境

(1) 开发工具

IDE : Myeclipse8.5

本体开发工具：Protégé3.4.4

系统测试工具：360 极速浏览器 6.0.0.420

(2) 数据存储

关系数据库：MySQL5.0

本体存储：AllegroGraph RDF Store 3.3

习题存储：XML

(3) 第三方 Java 包

MySQL 连接包：mysqi-connector-java-5.0.6-bin.jar

AllegroGraph 服务器连接包：agraph.jar

本体接口包：Jena

XML 解析包：DOM

(4) 服务器硬件环境：

处理器:HP Proliant DL580 处理器

内存：16GB 内存

硬盘：300GB 硬盘

网卡：2*千兆网卡+1*双口万兆网卡

(5) 服务器软件环境

操作系统：CentOS5.5

Java：JDK1.6

Apache 服务器：Tomcat6.0

AllegroGraph 服务器：AllegroGraph Server 4.0

5.5 系统实现与测试

5.5.1 预习推荐模块实现

预习推荐功能是为用户推荐包含概念 C 非下位概念的资源。其流程与第三章提出的算法相比，主要不同之处在于：在概念集扩展环节，系统不再在本体中检索概念 C 的所有具有一维关系的概念集合，而是将检索的范围缩小到 C 的非下位概念，以概念“三角形”为例，当用户选择预习推荐时，其下位概念“全等三角形”不再是我们考虑的语义关系，类似地，同一关系、相关性质等学习上需要先掌握“三角形”方可理解的概念，都应当排除在外。图 5-13 显示了在预习推荐的

模式下，扩展概念集可能包含的语义关系。

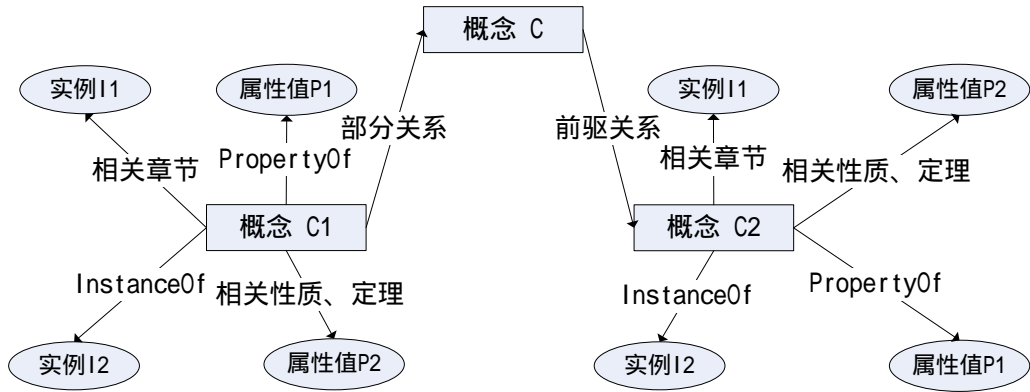


图 5-13 预习推荐模式下可能的语义概念扩展集

该功能流程图如图 5-14 所示。

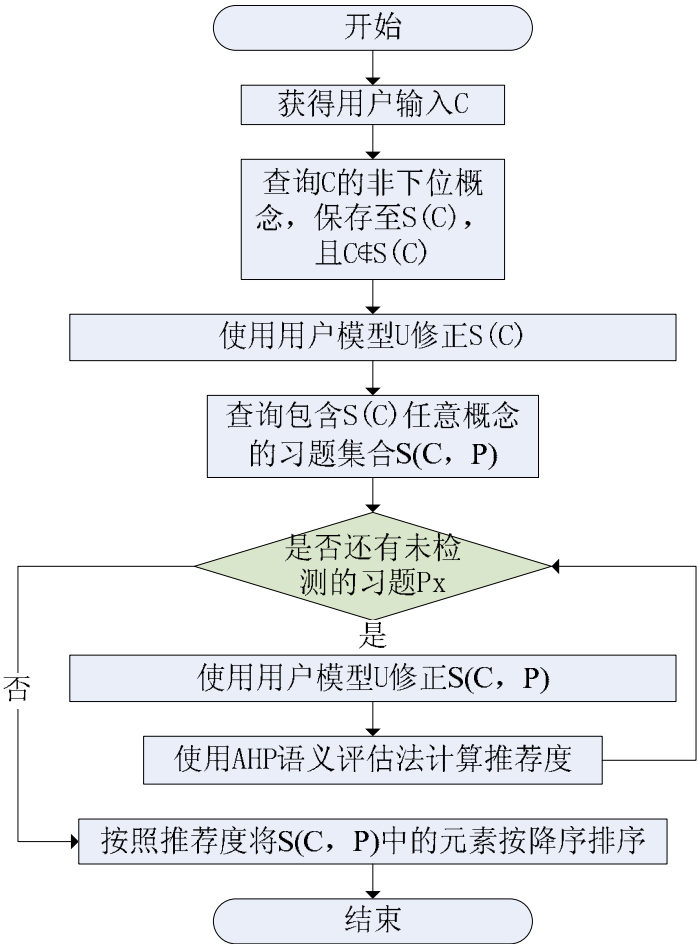


图 5-14 预习推荐算法流程图

5.5.2 同步推荐模块实现

同步推荐算法即为 3.6.3 节描述的算法流程，系统经过语义扩展、资源检索、模型过滤以及推荐度排序四个环节，为用户提供个性化推荐服务。鉴于第三章已对此进行了详细描述，故在此不再赘述。

概念集扩展部分关键代码如图 5-15 所示。

```
OntoQuery query=GlobalInfo.getQuery();
OntoServer server=GlobalInfo.server;
try {
    String concept="jn."+conceptString;
    String strQueryString=server.getNamespacePrefix()+"select ?a ?b where{ "+
        ""+concept+" ?a ?b}";
    ValueSetIterator it=query.queryBySPARQL(false, false, strQueryString);
    for(int k=0;it.hasNext();k++){
        ValueObject[] objects=it.next();
        Triple_store tripleStore=new Triple_store();
        tripleStore.subject=conceptString;
        for(int j=0;j<objects.length;j++){
            ValueObject term=objects[j];
            term中保存了每一个结果第a和b的内容
            String subString=getRel(term);
            // 如果j=0 term表示关系 else if (j=1) term表示宾语
            if(filterArrayList.contains(subString)&&j==0){
                tripleStore.predicate=subString;
                j++;
                tripleStore.object=getRel(objects[j]);
                triplesList.add(tripleStore);
            }
        }
        server.closeTripleStore();
    }
}
```

图 5-15 概念集扩展部分关键代码

用户模型修正推荐资源关键代码如图 5-16 所示。

```
public void Filter(){
    //对得到的recomendList进行过滤
    for(int i=0;i<InputConcepts.size();i++){
        String conString=(String)InputConcepts.get(i);
        Filter filter=new Filter(1, conString,ob);
        ArrayList<String> praxise=praxisMap.get(conString);
        praxise=filter.filterByLearned(praxise, concepts);
        praxisMap.put(conString, praxise);
    }
}
```

图 5-16 用户模型修正推荐资源关键代码

资源概念间语义相关度计算关键代码如图 5-17 所示。

```
public double calContributionValue(ArrayList<String> concepts){
    ##计算concepts数组中保存的概念对该题目的贡献度水平
    double sum=0;
    Map<String,Double> sr=calSR(concepts);
    for(int i=0;i<concepts.size();i++){
        String concept=concepts.get(i);
        double srDouble=sr.get(concept);
        srDouble=1/srDouble;
        sum+=srDouble;
    }
    sum=sum/concepts.size();
    return sum;
}

public Map calSR(ArrayList<String> concepts){
    ##计算题目中涉及的概念和特测概念的相似度，保存到一个map中
    Map<String,Double> object=new HashMap<String, Double>();
    for(int i=0;i<concepts.size();i++){
        SemanticRelevance sr=new SemanticRelevance(concepts.get(i),concept);
        double result=sr.getResult(sr);
        ##调用sr对象计算concepts.get(i)与concept的相关度
        object.put(concepts.get(i), result);
        sr.close();
    }
    return object;
}
```

图 5-17 AHP 相关度计算关键代码

资源推荐度计算关键代码如图 5-18 所示。

```
public double calContributionValue(ArrayList<String> concepts){
    ##计算concepts数组中保存的概念对该题目的贡献度水平
    double sum=0;
    Map<String,Double> sr=calSR(concepts);
    for(int i=0;i<concepts.size();i++){
        String concept=concepts.get(i);
        double srDouble=sr.get(concept);
        srDouble=1/srDouble;
        sum+=srDouble;
    }
    sum=sum/concepts.size();
    return sum;
}

public Map calSR(ArrayList<String> concepts){
    ##计算题目中涉及的概念和特测概念的相似度，保存到一个map中
    Map<String,Double> object=new HashMap<String, Double>();
    for(int i=0;i<concepts.size();i++){
        SemanticRelevance sr=new SemanticRelevance(concepts.get(i),concept);
        double result=sr.getResult(sr);
        ##调用sr对象计算concepts.get(i)与concept的相关度
        object.put(concepts.get(i), result);
        sr.close();
    }
    return object;
}
```

图 5-18 推荐度计算关键代码

5.5.3 复习推荐模块实现

当用户选择推荐模式为复习推荐时，我们认为，用户已经学习了全部初中数学知识，此时选择复习推荐，是为了针对某一概念进行“期末”性质的针对性总复习，因此在该模式下，推荐系统省略了用户模型对推荐资源的修正，即对语义概念集得到的所有待选资源进行推荐度排序。这样做还造成的一个结果就是推荐资源可能会包含用户模型中不存在的概念，因此，在用户提交做题结果时，评测模型不但要更新用户已有概念的掌握分值，还需要将用户没有学习过的概念及其掌握分值一并插入数据库中，更新用户模型。经过复习推荐模型的训练，用户掌握知识点的范围得到扩大，在下一此进行同步推荐或预习推荐时，系统会根据扩大后的用户模型得到更新、更符合用户学习需求的推荐结果。其推荐流程如图 5-19 所示。

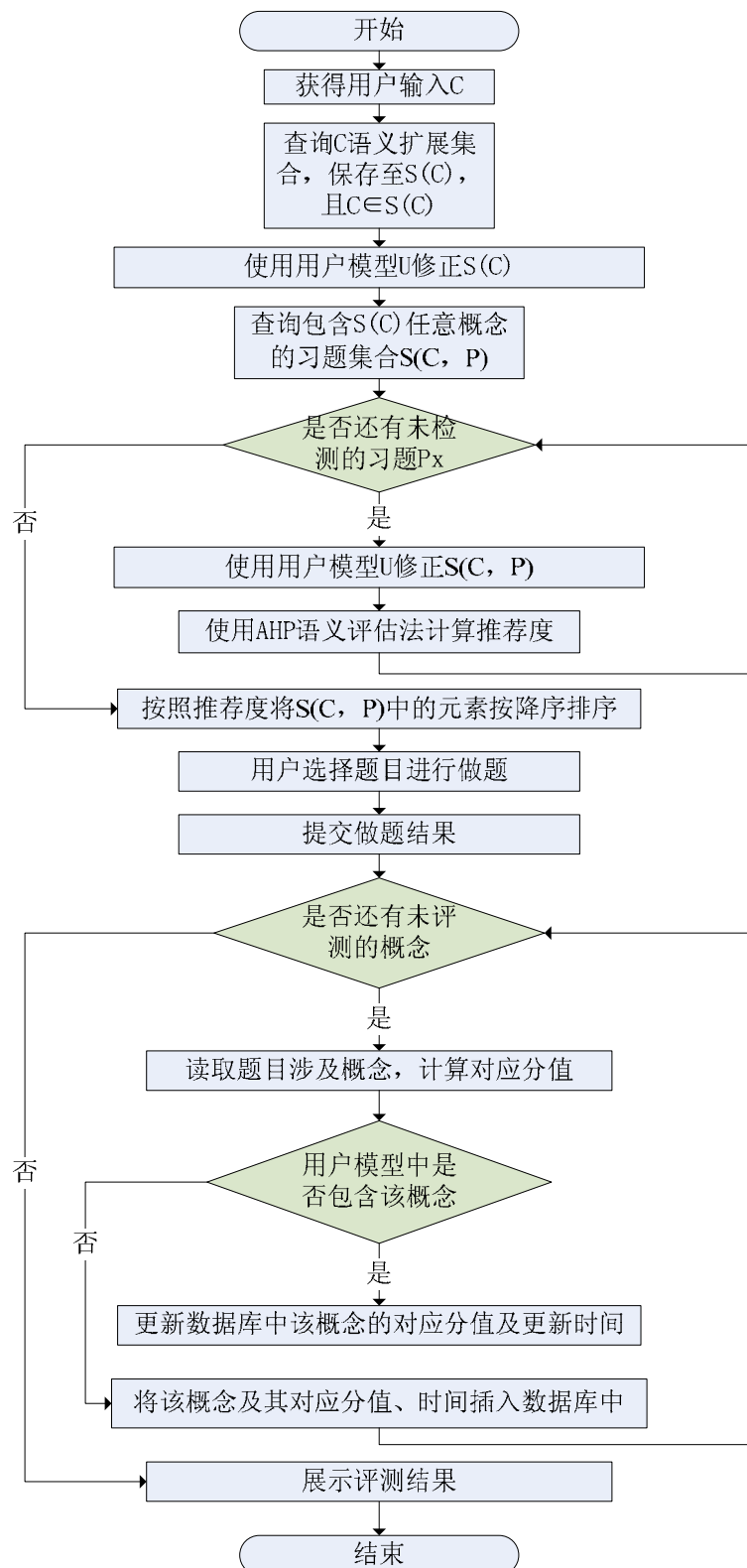


图 5-19 复习推荐算法流程图

5.5.4 系统展示

用户在使用系统时，首先使用的是用户的注册、登录模块，如图 5-20 所示。当用户使用正确的用户名和密码登录系统后，系统进入推荐首页，如图 5-21 所示。首页采用搜索引擎式的页面设计风格，用户通过选择推荐模式、手动输入概念的方式来直接检索题库中的资源。同时，首页会将用户模型中保存的概念掌握情况展示给用户，用户根据列表现实的掌握情况点击“搜题”按钮，同样可以检索相应资源。



图 5-20 智能教辅系统登录注册页面



图 5-21 用户概念列表页面

无论采用输入检索的方式还是采用点击按钮的方式，系统都将根据用户选择

的推荐模式来为用户推荐出相应的习题资源。在资源展示页面，推荐资源的文件名称、题目描述、推荐度和题目涉及到的知识点都将展示给用户，供用户选择，如图 5-22 所示。



图 5-22 资源展示页面

当用户点击相应的资源链接，系统跳转至流程化解题页面。该页面对资源相应的 XML 文件进行解析，利用 HTML5 提供的标签生成可供用户拖拽的解题控件。这些控件的内容包括 XML 文件中定义的已知条件、每一个解题步骤的结果和原因，用户通过对这些控件进行组合，最终生成该题目的树状流程图，完成解答。如图 5-23 所示。

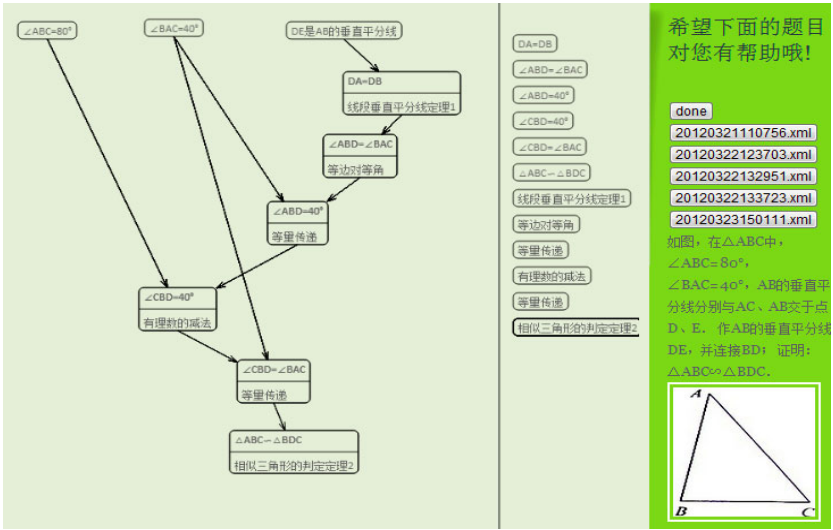


图 5-23 流程化解题页面

5.5.5 系统测试

前文对个性化推荐系统的设计与实现进行了阐述，展示了个性化推荐系统的最终实现效果，但是对于该个性化推荐系统而言，其工作流程中产生的后台相关数据并没有进行展示，本节将重点展示个性化推荐系统工作流程，以相关实验证明该系统的可行性。

对于为用户提供个性化服务的个性化推荐系统，首先应当明确的是用户本身，对于用户模型，包括了用户的基本信息、用户概念评测数据以及用户已经做过的习题记录。现假设有用户 U ，该用户学习过的概念如表 5-6 所示。

表 5-6 用户 U 已学概念

	概念	分值	初次学习时间	最新学习时间
用户已掌握概念	角角边判定定理	1	2012-05-15	2012-05-15
	矩形	0.47	2012-05-15	2012-05-15
	矩形的判定定理 1	0.47	2012-05-15	2012-05-15
	直角	2.3	2012-05-15	2012-05-15
	三角形内角和定理	1.24	2012-05-15	2012-05-15
	有理数的混合运算	3.21	2012-05-15	2012-05-15
	全等三角形的性质	0.2	2012-05-15	2012-05-15
	平行线的判定定理 1	0.3	2012-05-15	2012-05-15
	平行线的性质 1	1.7	2012-05-15	2012-05-15
	平行线的性质 2	2.4	2012-05-15	2012-05-15
	线段公理	2.4	2012-05-15	2012-05-15
	角边角判定定理	3.2	2012-05-15	2012-05-15
	正方形	1.4	2012-05-15	2012-05-15
	正方形的性质 1	2.31	2012-05-15	2012-05-15
	边角边判定定理	0.67	2012-05-15	2012-05-15

表 5-6 说明，用户 U 掌握的概念即 $SL(U)=\{\text{角角边判定定理，矩形，矩形的判定定理 1，直角，三角形内角和定理，有理数的混合运算，全等三角形的性质，平行线的判定定理 1，线段公理，角边角判定定理，正方形，正方形的性质 1，边角边判定定理，平行线的性质 1，平行线的性质 2}\}$ 。

在系统提示下，用户 U 根据自己学习过的概念及其对应分值，选择“正方形”作为希望推荐的概念，如图 5-24 所示。

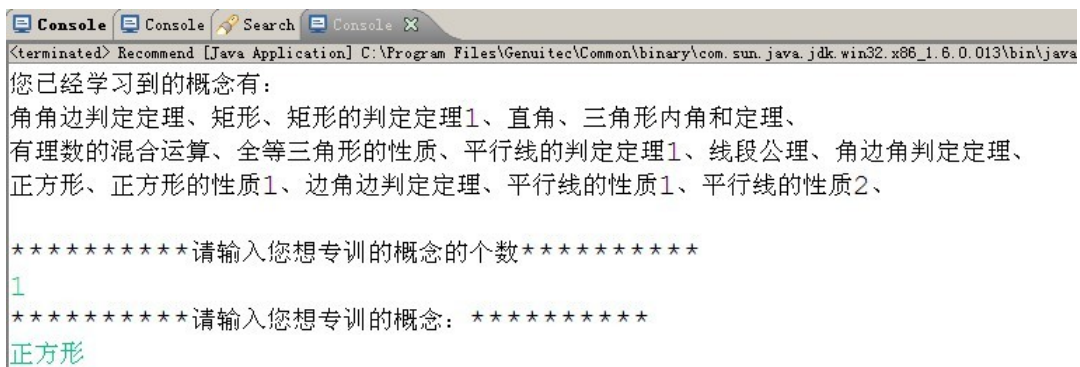


图 5-24 用户输入“正方形”为推荐概念

首先，概念集扩展：概念“正方形”经过本体查询，扩展了用户的查询粒度，将基于关键字的查询变成了基于本体语义的查询，单一的概念“正方形”扩展为一组与“正方形”具有直接语义关系的概念集合，如表 5-7 所示。

表 5-7 “正方形”扩展概念集

	语义关系	概念名
正方形	前驱关系	长方形
	相关判定定理	正方形的判定定理 1
	相关判定定理	正方形的判定定理 2
	相关判定定理	正方形的判定定理 3
	comment	四边相等，且四个角都是直角的四边形
	相关性质	正方形的性质 1
	相关性质	正方形的性质 2
	相关性质	正方形的性质 3
	相关性质	正方形的性质 4
	相关性质	平行四边形的性质 1
	相关性质	平行四边形的性质 2
	相关性质	平行四边形的性质 3
	相关性质	菱形的性质 1
	相关性质	菱形的性质 2
	相关性质	菱形的性质 3
	相关性质	菱形的性质 4
	相关性质	矩形的性质 1
	相关性质	矩形的性质 2
	相关性质	矩形的性质 3
	相关性质	矩形的性质 4
	相关章节	19.2

此时， $S(\text{“正方形”}) = \{\text{长方形，正方形的判定定理 1，正方形的判定定理 2，正方形的判定定理 3，四边相等，且四个角都是直角的四边形，平行四边形的性质 1，平行四边形的性质 2，平行四边形的性质 3，平行四边形的性质 4，菱形的性质 1，菱形的性质 2，菱形的性质 3，菱形的性质 4，矩形的性质 1，矩形的性质 2，矩形的性质 3，矩形的性质 4}\}$

3, 正方形的性质 1, 正方形的性质 2, 正方形的性质 3, 平行四边形的性质 4, 平行四边形的性质 1, 菱形的性质 1, 菱形的性质 2, 菱形的性质 3, 菱形的性质 4, 矩形的性质 1, 矩形的性质 2, 矩形的性质 3, 矩形的性质 4, 19.2}, 为确保系统不会为用户推荐包含自己未学习过的概念的题目, 需要对 $S(\text{“正方形”})$ 与 $SL(U)$ 求交集, 得:

$S(\text{“正方形”}) = S(\text{“正方形”}) \cap SL(U) = \{\text{正方形的性质 1, 平行线的性质 1, 平行线的性质 2}\}$ 。

第二步, 资源检索: 从习题资源库中检索同时包含 $S(\text{“正方形”})$ 任意元素和概念“正方形”的习题 P_x , 得推荐资源共 10 道, 每个题目中涉及到的概念、原因等相关知识除可能包含 $S(\text{“正方形”})$ 中任意元素外, 必有概念“正方形”, 所有的习题资源形成 $Stmp(C, P)$ 集合, 如表 5-8 所示。

表 5-8 “正方形”得到的习题资源 $Stmp(C, P)$

序号	习题名	描述	解题涉及知识点			是否包含非 $SL(U)$ 元素
			强语义组	弱语义组	微语义组	
1	20120319212130.xml	如图, 将 $\square ABCD$ 的边 DC 延长到点 E , 使 $CE=DC$, 连接 AE , 交 BC 于点 F 。求证: $\triangle ABF \cong \triangle ECF$	正方形, 正方形的性质 1	边角边判定定理, 全等三角形的性质	无	否
2	20120319214954.xml	点 M 为正方形 $ABCD$ 对角线 BD 上一点, 分别连接 AM 、 CM 。求证: $\angle B=20^\circ$	正方形的性质 1	三角形内角和定理	有理数的减法, 等比性质, 有理数的混合运算	是
3	20120321145803.xml	如图, 四边形 $ABCD$ 是正方形, 点 E, K 分别在 BC, AB 上, 点 G 在 BA 的延长线上, 且 $CE=BK=AG$ 。求证: $DE \perp DG$	正方形	边角边判定定理, 全等三角形的性质	等量传递, 正方形面积 $HCAF$	是

表 5-8 “正方形”得到的习题资源 $Stmp(C, P)$ (续)

序号	习题名	描述	解题涉及知识点			是否包含非 SL(U)元素
			强语义组	弱语义组	微语义组	
4	2012032 1154434 .xml	如图,在一方形 ABCD 中 . E 为 对角线 AC 上一 点,连接 EB、 ED , 求 证 : BEC DEC	正方形 , 正方形的 性质 1	边角边判定 定理,平行 线 的 性 质 1 ,平行线的 性质 2	无	否
5	2012032 1170251 3.xml	如图,点 P 是正 方形 ABCD 边 AB 上一点(不 与点 A , B 重 合),连接 PD 并将线段 PD 绕 点 P 顺时针方向 旋转 90° 得到线 段 PE , PE 交边 BC 于点 F ,连接 BE , DF . 求证 : ADP= EPB ;	正方形	三角形内角 和定理,平 角	有理数的 减法,图 形的旋转	是
6	2012032 7103024 .xml	如图,在一方形 ABCD 中 . E 为 对角线 AC 上一 点,连接 EB、 ED , 求 证 : ADE= ABE ;	正方形	边角边判定 定理,全等 三角形的性 质	无	否
7	2012032 8105752 .xml	点 M 为正方形 ABCD 对 角 线 BD 上一点,分 别 连 接 AM、 CM . 求 证 : AM=CM .	正方形 , 正方形的 性质 1	边角边判定 定理,全等 三角形的性 质	无	否

表 5-8 “正方形”得到的习题资源 $Stmp(C,P)$ (续)

序号	习题名	描述	解题涉及知识点			是否包含非 SL(U)元素
			强语义组	弱语义组	微语义组	
8	2012040 9220525 .xml	如图, 直角梯形 ABCD 中, AD // BC, $\angle A=90^\circ$, AB=AD=6, DE // DC 交 AB 于 E, DF 平分 $\angle EDC$ 交 BC 于 F, 连结 EF. 证 明: EF=CF;	正方形	垂直平分 线, 角边角 判定定理, 全等三角形 的性质, 角 的平分线, 边角边判定 定理	连接两个 点作辅助线, 正 方形面积 HCAF	是
9	2012041 0113332 .xml	在正方形 ABCD 中, 点 G 是 BC 上任意一点, 连 接 AG, 过 B, D 两点分别作 BE \perp AG, DF \perp AG, 垂足 分别为 E, F 两 点, 求证: $\angle ADF = \angle BAE$.	正方形	三角形内角 和定理的推 论 1	正方形面 积 HCAF	是
10	2012041 0171810 .xml	若一个正方形的 边长为 a, 求证 这个正方形的周 长是 4a	正方形, 正方形的 性质 1	无	无	否

第三步, 评测模型修正: 从 $Stmp(C,P)$ 中可以看到, 序号为“2”, “3”, “5”, “8”, “6”的资源中包含用户模型中未有的概念, 如“连接两个点作辅助线”、“垂直平分线”, “图形的旋转”等, 这样类似的题目共 5 道, 占总数的 50%, 对于这样的题目, 应当全部从 $Stmp(C,P)$ 删除, 得到 $S(C,P)$, 表 5-9 显示了过滤后剩余的题目。

表 5-9 用户模型修正后的习题资源 $S(C,P)$

序号	习题名	描述	解题涉及知识点			是否包含非 SL(U)元素
			强语义组	弱语义组	微语义组	
1	2012031 9212130 .xml	如图,将□ABCD 的边 DC 延长到 点 E,使 CE=DC, 连接 AE,交 BC 于点 F。求证: ABF ECF	正方形 正方形的 性质 1	边角边判定 定理 全等三角形 的性质	无	1
4	2012032 1154434 .xml	如图,在一方形 ABCD 中 . E 为 对角线 AC 上一 点,连接 EB、 ED , 求 证 : BEC DEC	正方形 正方形的 性质 1	边角边判定 定理 平行线的性 质 1 平行线的性 质 2	无	4
6	2012032 7103024 .xml	如图,在一方形 ABCD 中 . E 为 对角线 AC 上一 点,连接 EB、 ED , 求 证 : ADE= ABE	正方形	边角边判定 定理 全等三角形 的性质	无	6

此时 $S(C,P)=\{20120319212130.xml, 20120321154434.xml, 20120327103024.xml, 20120328105752.xml, 20120410171810.xml\}$ 。

第四步,推荐度排序:根据公式(3-8)、公式(3-9)和公式(3-10),我们可以得到每个题目相对于概念“正方形”的推荐度,推荐结果如图 5-25 所示。

习题名	涉及概念与“正方形”的语义相关度					
	强语义组		弱语义组			
	正方形	正方形的性质1	边角边判定定理	全等三角形的性质	平行线的性质1	平行线的性质2
20120319212130.xml	1	0.5	0.21	0.21	无	无
20120321154434.xml	1	0.5	0.21	无	0.42	0.42
20120327103024.xml	1	无	0.21	0.21	无	无
20120328105752.xml	1	0.5	0.21	0.21	无	无
20120410171810.xml	1	0.5	无	无	无	无
习题名	RMD(QSc)	RMD(RSc)	Recd(Px, C, U)			
20120319212130.xml	50.00%	50.00%	0.48			
20120321154434.xml	40%	60%	0.51			
20120327103024.xml	33.30%	66.70%	0.473			
20120328105752.xml	50.00%	50.00%	0.48			
20120410171810.xml	100%	0%	0.75			

图 5-25 概念“正方形”推荐结果

从图 5-25 中可以看出，推荐度最高的是习题“20120410171810.xml”，该题目包含的概念“正方形”和“正方形的性质 1”都是与正方形具有强语义关系知识点，不含弱语义关系和微语义关系的概念，符合推荐预期；对于习题“20120319212130.xml”和“20120328105752.xml”而言，由于两者解题涉及到的知识点完全一致，因此他们的推荐度相同，都为 0.48，与推荐度为 0.51 的习题“20120321154434.xml”相比，后者拥有相关度相对较高的两个弱语义概念，即“平行线的性质 1”和“平行线的性质 2”，因此该题目的推荐度略高于习题“20120319212130.xml”和“20120328105752.xml”；而对于推荐度为 0.473 的习题“20120327103024.xml”而言，该题目解题过程中需要的强语义知识点仅有“正方形”一个，弱语义知识点“边角边判定定理”和“全等三角形的性质”两个，且这两个弱语义知识点相对于“正方形”的语义相关度较低，为 0.21，最终导致该题目的推荐度略低于二者。

实验结果表明，基于本体和 AHP 语义评估法设计的个性化推荐算法具有良好的推荐效果，其有关推荐度的计算较为真实地反映了用户对系统的推荐预期。

5.6 本章小结

本章首先对基于本体的个性化推荐系统的系统结构设计、功能模块设计以及数据库设计进行了详细地描述；其次对以个性化推荐算法的应用：预习推荐模块、同步推荐模块以及复习推荐模块进行了分别阐述，阐述内容包含算法流程展示和部分实现代码展示；最后，本章对个性化推荐系统的实现效果进行了展示，并通过跟踪推荐过程，获得具体实验数据，以此证明该系统的推荐结果符合用户期望。

第六章 总结与展望

6.1 工作总结

本文的研究命题是基于本体的个性化推荐系统。该系统主要是为了解决传统智能教辅系统无法为用户提供个性化资源检索服务的问题，主要研究内容包括以下几个方面：

首页，本文对传统的个性化推荐算法进行了简单分类介绍，指出传统基于行为的推荐算法面临的诸多问题与不足，在此基础上，本文提出基于本体的个性化推荐算法无论是在知识表示上还是在知识蕴涵信息的利用上，都具有极强的优势，将本体与个性化推荐相结合可以满足智能教辅系统对知识认知的需求，证明了本文的研究价值。同时，本文还对该个性化推荐系统涉及到的技术进行简单介绍，主要包括了本体的相关知识、本体构建及其构建标准、语义相关度的计算方法、AHP 层次分析法等，为进一步研究打下理论基础。

其次，本文在前人已有研究的基础上总结分析，提出了一种衡量本体概念间语义相关度的算法：AHP 语义评估法。该算法提出了四种衡量语义相关度的指标：语义距离、语义重合度、概念层次差以及语义权重，并将运筹学的经典决策算法 AHP 决策分析法用于计算机领域，用以综合上述四种指标决策计算本体概念间的语义相关度，并通过对比实验证明了该方法与传统的同类语义相关度计算方法相比，无论是在通用本体上还是在本文研究对象初中数学本体上都具有明显的优势。

再次，本文在此理论研究的基础上，进一步提出了基于本体的个性化推荐算法，该算法将推荐过程分为分为“基于本体的概念集扩展”、“以语义集合为关键字的资源查询”、“语义相关度计算”和“推荐度计算”四个环节，充分利用了本体和资源可以提供的认知信息将单一概念转化为一组与之具有一定语义相关度的学习资源，并根据资源涉及的概念与待推荐概念之间语义关系的强弱综合计算该资源的推荐度，从而实现较为准确地本体推荐。

最后，本文设计了基于本体的个性化推荐算法的应用：智能教辅系统，对该系统的结构设计、数据库设计以及算法设计进行了详细地说明，并对系统主要模块的实现效果进行展示。同时，本文还对该实现进行测试，通过相关实验数据证明以该算法为思想设计的推荐系统可以针对用户的学习需求推荐出符合用户期望

的资源，证明了该算法的有效性。

6.2 展望

由于时间、能力有限，本文仍然存在许多不足之处：

(1) 评测模型在评价用户学习情况时，本文对用户做题产生的每一步的解题行为进行跟踪，并以此为标准对用户掌握知识点的情况进行评价，此种评测方式仍然有一定的局限性：用户的学习行为是一种复杂的认知过程，评价其掌握情况，应当还有多种可度量的指标纳入考虑范围之内，如何设计一种更加科学、可信的评测算法虽并非本文的研究重点，但对于智能教辅更加精确地评价学生学习行为、给出针对性的辅导意见而言具有重要的意义，其相关理论算法仍然有待研究。

(2) 在本文中，由评测系统更新和维护的用户模型在个性化推荐系统中对待推荐资源起到刷选的作用，但是系统目前仍然是简单地判断资源中是否包含用户模型中的概念，在未来研究中，模型中保存的每个概念的分值应当利用起来，对于掌握程度不同的概念，在待推荐资源中应当允许以不同比例出现，而不是以绝对的“有”或“无”作为过滤标准，这就需要将用户的认知过程与数学领域相关知识相结合，建立一个可以更加准确反映用户学习情况的用户模型，从而实现筛选过程的优化。

(3) 本文设计的个性化推荐算法其实质是基于内容的推荐，对于个性化推荐系统而言，当用户数量不断增大，用户信息不断增多时，系统便可以收集到丰富的用户行为数据，此时，将基于行为的推荐如协同过滤算法与本文提出的基于本体的推荐算法相结合，相信无论是在理论层面还是在应用层面上，都将具有极大的研究价值。

致 谢

首先，我要感谢的我导师符红光教授。作为一名站在理论前沿的研究者，符老师无愧于良师的称号，每当我学习研究遇到瓶颈时，符老师总能及时为我指明研究方向，他认真、踏实的研究精神和学术态度不断地激励着我努力学习。本文无论是在选题还是关键思想上，符老师都给予我莫大的帮助和指导。符老师作为一名学者所特有的睿智与踏实将是我终身学习的榜样。

其次，我还要感谢王庆先和钟秀琴两位老师，她们如朋友一样关心着我们的学习和生活，让我们这些离家的学子感受到家般的温暖。

我还要感谢和我一起学习、工作过的同学们，是你们构成了我这三年最美好的回忆。在校园里我们一起欢笑，在实验室中我们一同解决难题，愿未来你们前程锦绣，愿我们的友谊地久天长。

最后，我还要感谢我的父母，你们无私的爱让我拥有了一个美好的人生，让我知道无论未来遇到多大的困难、气馁和彷徨，你们都是我温暖的港湾，让我躲风避雨。在“家”的庇护下，我会努力工作、努力奋斗，用成绩来回报你们，愿你们身体健康，平安幸福。

三年时光匆匆流过，感谢电子科技大学为我们提供了成长的沃土，感谢这里的老师、同学留给我的点点回忆，这回忆如同校园的银杏一般，经历时如夏叶般葱郁，回想时同秋叶般绚烂。

参考文献

- [1] A. K. W. Wu, M. C. Lee. Intelligent tutoring systems as design[J]. Computers in Human Behavior, 1998, 14(2): 209-220.
- [2] 许高攀,曾文华,黄翠兰.智能教学系统研究综述[J]. 计算机应用研究, 2009(11): 4019-4022.
- [3] 李珊,何建敏,厉浩.基于知识的协同过滤推荐系统研究[J]. 情报学报, 2008, 27(3): 357-362.
- [4] 许琳.基于本体的个性化信息服务用户模型构建研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008, 50-53.
- [5] 杨靖.领域本体自动构建的关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008, 1-2.
- [6] 雷霄.语义网格中本体的管理策略[D]. 南京: 东南大学, 2006, 31-33.
- [7] 何琳.领域本体评价研究[J]. 图书馆杂志, 2010(2): 57-62.
- [8] 刘宏哲,须德.基于本体的语义相似度和相关度计算研究综述[J]. 计算机科学, 2012(2): 8-13.
- [9] 田萱,李冬梅.领域本体中概念间语义相关度的概率估计[J]. 计算机工程与应用, 2011(27): 136-140.
- [10] 王家琴,李仁发,李仲生,等.一种基于本体的概念语义相似度方法的研究[J]. 计算机工程, 2007(11): 201-203.
- [11] R. Rada, H. Mili, E. Bicknell, et al. Development and application of a metric on semantic nets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1989, v(n): 17-30.
- [12] R. S. A. F. Richardson. Using WordNet in a knowledge-based approach to information retrieval[J]. Working Paper, CA-0395, School of Computer Applications, Dublin City University, Ireland. 1995.
- [13] Z. P. M. Wu. Verbs semantics and lexical selection[C]. Morristown, NJ, USA, 1994, 133-138.
- [14] 吴喜之,闫洁,苏立民,等.基于关联规则的个性化推荐在传统商业中的应用[J]. 兰州学刊, 2007(2): 87-90.
- [15] 刘建国,周涛,汪秉宏.个性化推荐系统的研究进展[J]. 自然科学进展, 2009(1): 1-15.
- [16] 曹毅,贺卫红.基于内容过滤的电子商务推荐系统研究[J]. 计算机技术与发展, 2009(6): 182-185.
- [17] Y. Zhang, J. Callan, T. Minka. Novelty and redundancy detection in adaptive filtering[C]. Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, New York, 2002, 81-88.

- [18] Y. Zhang, J. Callan. Maximum Likelihood estimation for filtering thresholds[C]. Proceedings of the 24th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, New York, 2001, 294-302.
- [19] S. Yuan, C. Cheng. Ontology-based personalized couple clustering for heterogeneous product recommendation in mobile marketing[J]. Expert Systems with Applications, 2004, 26(4): 461-476.
- [20] Chun I G, Hong I S. The implementation of knowledge-based recommender system for electronic commerce using Java expert system library[C]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, Pusan, 2001, 1766-1770.
- [21] 郑晓娟. 基于领域本体的个性化推荐系统研究与应用[D]. 武汉：武汉理工大学，2009, 25-36.
- [22] T. L. Saaty. How to make a decision. The Analytic Hierarchy Process[J]. European Journal of Operational Research, 1990, 48(1): 9-26.
- [23] R. Neches, R. Fikes, T. Finin, et al. Enabling technology for knowledge sharing[J]. AI Magazine, 1991, 12(3): 36-56.
- [24] T. R. Gruber. A translation approach to portable ontology specifications[J]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199-220.
- [25] R. Studer, V. R. Benjamins, Fensel D. Knowledge Engineering: principles and methods[J]. Data and Knowledge Engineering, 1998, 25(1-2): 161-197.
- [26] 甘健侯, 姜跃, 夏幼明. 本体方法及其应用[M]. 北京：科学出版社，2011, 13.
- [27] A. Fink, O. Schlake. Scenario management - An approach for strategic foresight[J]. IEEE Engineering Management Review, 2001, 29(1): 25-32.
- [28] SHOE[EB/OL]. <http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/>.
- [29] OML[EB/OL]. <http://www.ontologos.org/OML/OML%200.3.htm>.
- [30] RDF/RDFS[EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/rdf-primer/>.
- [31] 尹奇韡, 李善平. 语义Web语言DAML+OIL及其应用初探[J]. 计算机科学, 2003(1): 139-141.
- [32] Owl[EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>.
- [33] Knowledge Interchange Format[EB/OL]. <http://logic.stanford.edu/kif/dpans.html>.
- [34] Ontolingua[EB/OL]. <http://www.ksl.stanford.edu/kst/ontolingua.html>.
- [35] LOOM[EB/OL]. <http://www.isi.edu/isd/LOOM/LOOM-HOME.html>.
- [36] 姚天顺, 张俐, 高竹. WordNet综述[J]. 语言文字应用, 2001(1): 27-32.
- [37] Conceptual Graphs[EB/OL]. <http://www.jfsowa.com/cg/>.

- [38] R. Delmonte. Semantic parsing with LFG and conceptual representations[J]. Computers and the Humanities, 1990(5-6).
- [39] T. R. Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing[J]. International Journal of Human Computer Studies, 1995, 43(5-6): 907.
- [40] 陈瓏.领域本体构建技术概述[J]. 科技广场, 2011(6): 15-17.
- [41] 李景, 孟连生.构建知识本体方法体系的比较研究[J]. 现代图书情报技术, 2004(7): 17-22.
- [42] Protégé[EB/OL]. <http://protege.stanford.edu/>.
- [43] 董坚峰, 胡凤.基于OWL本体的知识表示研究[J]. 情报理论与实践, 2010(9): 89-92.
- [44] 刘宏哲, 须德.基于本体的语义相似度和相关度计算研究综述[J]. 计算机科学, 2012(2): 8-13.
- [45] 吕洁华, 邹敏, 宋丽影, 等.伊春林业资源型城市接替产业建设的AHP-SWOT研究[J]. 林业经济, 2012(10): 112-116.
- [46] 林玫, 陈涵.基于AHP电子商务网站建设中技术指标的评价[J]. 宁波职业技术学院学报, 2011(5): 53-55.
- [47] 陈海旺, 刘殿功, 胡旭, 等.AHP法在长果型黄瓜商品性状评价上的应用[J]. 北方园艺, 2012(23): 39-41.
- [48] 王磊, 黄梦醒.云计算环境下基于灰色AHP的供应商信任评估研究[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3): 742-744.
- [49] Act-R[EB/OL]. <http://act-r.psy.cmu.edu/>.
- [50] 曹正强.基于本体的学习资源推荐应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010, 31-32.
- [51] 冉婕, 谢树云, 黄吉亚.一种基于本体的概念相似度计算及其应用[J]. 微计算机信息, 2012(2): 50-52.
- [52] 蒋卓人, 陈燕, 王永清.基于数据元语义树的概念语义相关度算法研究[J]. 大连海事大学学报, 2012(4): 59-63.

攻硕期间取得的研究成果

一、参加的科研项目

- [1] 基于本体的认知推理模型及其应用研究

二、发表的论文

- [1] 王璐, 符红光. 一种基于本体和 AHP 的语义相关度算法[C]. 2012 年电子科技大学计算机科学与工程学院硕士生学术论坛. 成都, 2012.

三、软件著作权

- [1] 平面几何-可信智能知识评测系统 1.0(软件著作权编号: 2012SR038126)

四、获奖情况

- [1] 获得 2010 年度电子科技大学研究生三等入学奖学金
- [2] 获得 2010-2011 年度电子科技大学研究生一等奖学金
- [3] 获得 2011-2012 年度电子科技大学研究生二等奖学金



硕士学位论文

MASTER THESIS