

基于粒结构的知识检索^{*})

曾毅¹ 姚一豫^{1,2} 钟宁^{1,3}

(北京工业大学计算机学院国际 WIC 研究院 北京 100022)¹

(里贾纳大学计算机科学系 里贾纳 加拿大 S4S 0A2)² (前桥工业大学信息工程系 前桥 日本 371-0816)³

摘要 本文以数据-信息-知识-智慧分层结构为基础,分析了三类检索系统,即数据检索系统(DRS)、信息检索系统(IRS)、知识检索系统(KRS)的特点和问题。知识检索用于满足用户对知识的需求,它将是检索系统发展的下一个重要方向。随后提出基于粒结构的知识检索能够更好地协助用户获取知识,给出了一个粒知识检索系统的模型,并以粒计算为工具讨论了一些基本问题。

关键词 知识检索,粒结构,知识表示,粒计算

Granular Structure Based Knowledge Retrieval

ZENG Yi¹ YAO Yi-Yu^{1,2} ZHONG Ning^{1,3}

(International WIC Institute, College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100022)¹

(Department of Computer Science, University of Regina, Regina, Canada S4S 0A2)²

(Department of Information Engineering, Maebashi Institute of Technology, Maebashi-City, Japan 371-0816)³

Abstract Based on the data-information-knowledge-wisdom hierarchy, this paper examines three types of retrieval systems, namely, data retrieval systems (DRS), information retrieval systems (IRS) and knowledge retrieval systems (KRS). It is argued that knowledge retrieval systems, which satisfy user needs of knowledge, will be the next generation in the evolution of retrieval systems. Granular structure based knowledge retrieval and its framework is proposed to meet users' requirement of knowledge acquisition, and some basic issues are studied.

Keywords Knowledge retrieval, Granular structure, Knowledge representation, Granular computing

1 引言

人们通过互联网搜索信息的目的之一是为了获取知识,现阶段的主要手段是通过信息检索获得相关文档并通过对文档的学习得到所需知识。然而随着网上信息的爆炸式增长,人们很难从迅速膨胀的检索结果中有效地提取所需知识。依据知识表示与推理理论,一种可能的解决办法是直接以知识的形式提供给用户所需的结果。

本文以信息科学和知识管理领域的系统分层结构为基础,分析了处于不同层面的检索系统的特点和问题,随后提出基于粒结构的知识检索,并以粒计算为工具论述了知识检索中粒知识及其结构的定义、表示、生成、浏览与检索等问题。可以预见,基于粒结构的知识检索也许能够解决检索领域的一些特定问题。

2 系统的分层结构与检索

从处理对象角度来讲,信息科学和知识管理领域的系统分层结构可以表示为数据、信息、知识、智慧四个层面^[1]。人们通过处于不同层面的系统存储的对象获取知识,用于辅助解决问题。这四个层面的复杂程度是逐步递增的,而人们对其认识和理解也是逐层加深的^[2]。

2.1 分层结构中的检索系统

在数据层面上,系统的存储介质主要是数据库,相应的检

索系统为数据检索系统(DRS),所处理的问题是结构化的,定义的概念是清晰的。基于数据库的数据挖掘可以辅助人们从海量数据中提取有用的知识。

在信息层面上,对应的检索系统是信息检索系统(IRS),所处理的问题是半结构化的,定义的部分概念是不清晰的。在这个层面中,人们通过输入查询关键字或其某种形式的组合检索到一些与此相关的信息,并通过对这些信息的学习获取知识。这种方法在检索结果量较小时仍然是可行的,然而关键字匹配和网页排序的方式提供的结果现在已不能很好地满足用户的需求。一方面,与输入关键字匹配的结果可能有上万条,即使通过网页排序后,最相关的结果也可能有上千条,逐一访问这些可能最有用的信息是有困难的。另一方面,排序算法推荐的检索结果并不一定满足用户的个性化需求,某些特定用户需要的结果很可能经处理后排在靠后的位置。

一些特定的检索任务引发了我们进一步地思考。以科学研究中的文献检索为例,大部分检索工作并不是针对某篇特定文章的,而是希望通过了解以往的科研成果,找到哪些工作是已经有结果的,哪些工作还尚未有结论。

哪些工作研究的人较多,哪些工作少有人涉足。在海量信息中想要提取这样的知识可能是有一定困难的,其原因要从计算机和人类思维中知识表示方式的差异探讨。

网络、文献库、数字图书馆等存储介质中的信息并不是以接近人类思维中知识表示的方式进行存储的,而采用的是文

^{*})本研究得到多媒体与智能软件技术北京市重点实验室开放课题资助。曾毅 博士研究生,主要从事粒计算、网络智能等研究。姚一豫 博士,教授,主要从事粗糙集、粒计算等研究。钟宁 博士,教授,主要从事网络智能、脑信息学等研究。

件、信息流等便于计算机存储的方式。这并不利于人们对信息的理解并最终构成知识,用户需要通过信息检索找到与自己期望得到的知识相关的文档,并从中提取隐含的知识,最终以符合人类知识表示的方式对信息进行重新组织,形成用户可理解的知识。

可以发现,很多问题实际上都不是信息层面能够很好解决的问题,用户想要得到的并非信息而是知识,因此我们认为从信息中发现隐藏的知识以及构建知识结构的任务可以由计算机完成,由计算机负责将信息组织成符合人类思维表示的方式并提供给用户,从而缩小计算机中信息表示和人类知识表示的差距。即将检索信息的过程变为直接检索知识的过程,使检索结果由相关文档变为符合检索条件的知识,传统信息检索面临的问题也许可以借助知识检索寻求解决的办法。

2.2 三类检索系统的比较

知识检索的关注点在知识层面,相应的检索系统为知识检索系统(KRS),需要解决的问题是如何提取、表示、使用隐藏在数据、信息中的知识^[1]。它将隐式的知识以结构化的方式呈现给用户,在推理模型、检索方法、结果集的组织等方面,与数据检索系统和信息检索系统都存在较大区别。文^[3]比较了数据检索系统和信息检索系统的部分区别,我们在此基础上扩展了一些讨论,并列出了知识检索与前两者的异同(如表1所示),下面就其中的部分特点做初步的探讨。

表1 数据检索、信息检索与知识检索的比较

	数据检索	信息检索	知识检索
匹配/推理	布尔匹配/演绎推理	部分匹配,最佳匹配/归纳推理	部分匹配,最佳匹配/检索+(演绎推理/归纳推理),关联推理,类比推理
模型	确定性模型	不确定模型	语义模型+推理模型
查询	人工语言	自然语言	知识结构+自然语言
组织方式	索引	索引	知识因子之间的关联与知识结构
表示	数值、信息表等	信息表、标签语言等	概念图、谓词逻辑、产生式规则、框架、本体、语义网络等。
存储方式	数据库	文档库	知识库
检索结果	数据集	文本段落或文档	知识因子/知识单元

数据检索系统和信息检索系统的核心都是检索子系统。其中数据检索系统主要是通过布尔匹配精确检索出数据库中所有明确满足给定查询的记录,结果中不允许包含不满足或部分满足查询条件的记录^[4]。而信息检索系统则依据概率模型和相关度等,只要求对查询条件的部分匹配^[3]。知识检索理想的情况是提供给用户精确的知识作为答案,而在Web环境下,由于时间和权威性等因素的限制,文档中包含的知识正确性难以确保,所以知识检索的匹配原则沿用信息检索的部分匹配或最佳匹配原则,提供给用户的答案也不必是唯一的。

另外从推理角度来看,知识检索系统的推理也要比另外两者复杂得多。数据检索系统主要运用演绎推理,信息检索系统中主要运用归纳推理来辅助检索^[3]。而对于Web环境下的知识检索系统来说,由于一些前提假设的限制,传统的逻辑系统(如一阶谓词逻辑的Horn子集)无法在用户可接受的时间内进行有效的推理^[5]。文^[6]中指出关联推理和类比推理可能是Web环境下有效的推理方法。另外,首先检索并按

照重要程度将待推理内容进行排序,而后按照用户需求执行推理任务^[5]也是一种可能的解决办法。

在检索模型方面,知识检索系统更注重语义。并且更关注于检索结果的后处理,即如何把信息中隐含的知识利用某种推理模型以结构化的方式表示出来。在组织方式上,数据检索和信息检索都采取索引的形式,而在知识检索中,系统主要是借助知识表示手段,通过知识因子之间的关联及知识结构将其组织起来。

3 一个粒知识检索系统的模型

3.1 粒知识与知识检索

从概念上明显界定信息检索与知识检索也许是困难的,例如文^[7]认为知识检索涵盖于信息检索之中。知识检索的概念不是本文讨论的重点,假设接受来自不同文献的提法,则近期这个领域的进展主要包括:大规模知识的获取与组织^[8]、网络环境下的知识表示与描述方法^[9, 10]、知识检索模型与方法^[7, 9, 10]等。

以结构化的方式表示的知识符合人类的知识表示习惯并容易被接受^[10, 11]。考虑用户仅对要检索的内容有一个概要了解,并不清楚需要检索的具体信息的情况,若能以结构化的方式将相关知识呈现出来,则有利于引导用户确定所需检索的内容。因此我们认为,知识检索应当是围绕知识结构的生成、表示、浏览与检索展开的。

树结构和概念图是可视化知识结构表示最为常用的两种方法^[10, 12, 13]。语义网络可以很好地描述以这些结构表示的知识^[11, 14],形式概念分析也是生成概念图的有力工具。而粒计算独立于这些具体的工具,为知识与知识检索提供了更抽象层次的表示和描述,由此我们提出基于粒结构的知识检索。

3.2 基本步骤与流程

基于粒结构的知识检索的基本流程,主要包括以下步骤(如图1所示)。

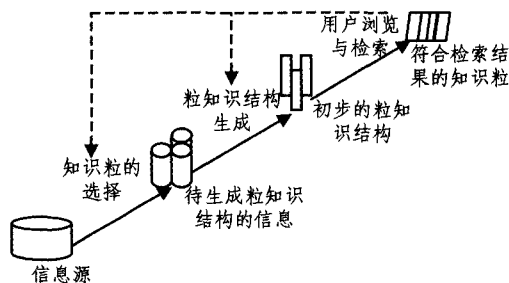


图1 基于粒结构的知识检索

(1) 知识粒的选择:通过用户输入的基本条件(与检索可能相关的模糊关键词)为所要检索的知识初步确定检索范围,并按照重要性排序。

(2) 粒知识结构生成:通过领域知识和用户背景知识进行推理,生成初步的粒知识结构。其中领域知识可以通过专家系统提供,用户可以修改粒结构以符合自身需求。

(3) 用户浏览与检索:用户通过初步生成的粒知识结构获得对所需知识一般性的了解,通过浏览粒知识的整体结构,进一步选择自己感兴趣的知识进行更细粒度的详细浏览,最终确定所要检索的知识。

值得注意的是,这个流程是带有反馈的,用户浏览与最终的检索结果将作为用户日志保存在系统中,作为用户背景个

性的需求用于改进生成的粒知识结构。

4 粒知识结构

在基于粒结构的知识检索系统中,粒知识结构的定义与表示、发现与构建、浏览与检索是系统要解决的关键问题所在。

4.1 粒知识结构的定义与表示

概念是人类思维和知识表示的基本单元,我们可以使用概念按照某种规则构建出知识结构。在知识表示的过程中,我们首先从信息粒中将概念粒显式地表示出来,随后对其进行解释、组织,则可以形成知识粒。在文[15]中,我们基于概念之间的关系给出了知识粒一种可能的表示。

知识的粒结构构建在概念粒的层次关系之上,至少包括三个层次的含义,即知识粒内部的结构、同层次中粒族的结构、以及粒网络的分层结构^[16]。构成整体结构的每一个知识粒可能由概念粒构成,也可能由粒度更小的知识粒构成,它们之间的关系可能是序关系,也可能是其它特殊的联接关系^[17]。这些单元之间的结构则构成了知识粒的内部结构。同一层次中的粒体现出来的结构则是知识粒在这一层次中具有的局部结构,而粒网络的分层结构则是对知识粒从粗粒度到细粒度(或从细粒度到粗粒度)变化的整体结构的表示。

4.2 粒知识结构的发现与构建

知识的两个要素是知识因子和知识关联^[7],知识因子可被认为是一个基本知识粒,复杂的粒知识结构则是建立在知识关联的基础上的。知识具有层次性,但其分层结构并不一定是显而易见的^[18],我们需要使用某种方法将隐藏在信息粒中的粒知识结构显式地表现出来,将无结构、半结构的信息粒转化为结构定义良好的知识粒。

考虑以语义树表示人类思维中的知识结构,语义树是分层表示的^[11],Collins 和 Quillian 在通过反应时间对思维结构的研究工作中还指出:人类的思维结构往往是由多棵语义树表示的,其中包括一棵默认树和至少一棵备选树^[11, 19]。这为我们使用计算机存储的信息生成贴近人类知识表示的知识结构以很好的启示,即知识及其粒结构的表示应当站在多视角、每一个视角应当采用多层次。文[15]给出了一个具体的例子:从内容、结构、用法三个角度对文献的粒知识结构进行了构建和分析。

层次化结构的发现过程实际上就是从粗粒度的信息粒中发现某些对象具有相同、相似或不同特征的过程,具有相同、相似特征的对象可能归结为同一粒中,相异特征的对象则被分配到不同的粒中^[18],从而形成较细粒度的表示。若以信息表来表示,特征的不同则是通过表中对象的属性值的不同体现出来的。在构建过程中,这种结构可以通过层次化聚类的方法生成^[18]。

知识的来源可能会影响其粒结构,知识的权威性和正确性无法在复杂的 Web 环境下得以保证,所以生成粒结构时可信来源的选择是一个关键问题。例如在研究领域,粒知识结构的生成就可以依据引用率首先对文献的重要程度排序,也可以指定其来源(如特定的期刊、会议)^[6, 15]。由于领域背景的差异和个人理解的不同,即使针对同样的事物,不同人对知识的描述也可能截然不同。粒知识结构的形成过程应当融入用户的背景知识,并允许其根据需要对粒知识结构进行改进。用户背景知识主要指与用户相关的信息,例如用户经常访问的信息就可能是其较为感兴趣的信息,这样的背景知识主要

通过用户使用日志获得。在知识检索系统中,粒知识结构的改进主要分为两个阶段:第一阶段的改进发生在检索任务之前,用户可以根据自身背景或个性化的需求对粒知识结构进行重新组织;第二阶段的改进发生在检索任务之后,系统可以根据用户的检索日志对粒知识结构进行调整。这种方法避免了约束来源仅从存储的知识产生,使用户融入到整个粒知识结构的形成过程中。

4.3 粒知识结构的浏览与检索

基于粒结构的知识检索的特点之一是:在更为精确的检索进行之前,增加了对感兴趣话题的粒结构的浏览任务。在浏览过程中,系统主要进行的运算包括放大和缩小运算。其中放大运算用于形成粒度较小的知识粒,为查询提供更为精确地浏览。考虑信息粒的划分模型,放大运算即是从粒度较大的商集转化为粒度较小的商集^[20]。缩小运算用于形成粒度较大的知识粒,为查询提供较为粗糙的浏览,便于用户把握整体知识结构,我们可以通过粗糙集上、下近似进行缩小运算^[20]。覆盖模型下的相关讨论参见文[21]。具体的运算过程中,放大、缩小运算可以通过增加或减少约束属性实现。

用户的检索任务主要是通过交互的方式选择自己感兴趣的可视化粒结构中的结点初步实现的。在信息表中,则是通过满足属性-值对定义的公式来对检索结果粒进行组织,若某个对象满足查询请求,则它将被加入到结果粒中,结果粒对应的知识结构发生相应的变化,若做进一步选择时,某个对象不符合最新的查询请求,则从结果粒中删除。虽然在检索任务实现层面上,系统执行具体的粒知识结点检索时基本原理与信息检索系统类似,但是知识检索系统提供给用户的粒知识结构却帮助用户在对所需检索信息不十分确定的情况下进行更有效地检索起到了良好的引导作用。

以上讨论假设用户并不十分明确所需检索的具体内容,而当用户输入的查询条件十分明确时,知识检索系统的任务则是尽可能提供给用户直观的、正确的知识。这样的结果也是分层的,大粒度的结果提供较为一般化的回答,小粒度的结果是对问题答案具体的解释,粒度的选择是由系统与用户的交互确定的。

结论 从系统演化和用户获取知识的需求角度来讲,知识检索可能是检索系统发展的一个重要方向。但需要指出,这并不意味着数据检索系统和信息检索系统是无用的,三者只不过是对系统的关注层面有所不同,适用于解决各自领域的问题。

本文提出的基于粒结构的知识检索试图以多层次、多视角的方式提供给用户以结构化的方式组织的知识,从而将以文件、信息流形式存储的内容组织成方便用户理解的形式。由于粒知识结构能够较为有效地引导用户找到所需的知识,也许基于粒结构的知识检索可以解决一些以往检索领域的难题,帮助人们更有效地获取知识。

参考文献

- 1 Bellinger G, Castro D, Mills A. Data, Information, Knowledge, and Wisdom. (2007年5月12日访问) <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>
- 2 Yao Y Y. Web intelligence: new frontiers of exploration. In: Proc. of AMT'05, 2005. 3~8
- 3 Van Rijsbergen C J. Information Retrieval. Butterworths, London, 1979

(下转第 224 页)

模糊集,则我们称这样的信息系统为不完备模糊信息系统,仍记为 $S=(U,AT,V,F)$,此时, V_a 上的模糊子集 $F_a(x) \in F(V_a)$ 可以看成是 V_a 上的一个可能性分布,值 $F_a(x)(v), v \in V_a$, 表示对象 x 在属性 a 上取值为 v 的可能性程度。这里我们实际上作了这样一个假设: $\forall x \in U$ 和 $\forall a \in AT, V_a$ 中至少有一个值的取值是完备可能的,即存在 $v \in V_a$ 使得 $F_a(x)(v)=1$ 。

不完备模糊信息系统可以看成是完备信息系统和不完备信息系统的推广形式。一个完备信息系统是一个不完备模糊信息系统的极端情形,即每一个对象关于每一个属性的信息都是完备的,也就是说对于某个 $v \in V_a$ 有 $a(x)(v)=1$,而对于其它的 $s \neq v$ 有 $a(x)(s)=0$;缺省值不完备信息系统是不完备模糊信息系统的另一种极端情形,即对于某些缺省值我们认为对它的信息认识是完全不知道的,也就是说,对于任意 $v \in V_a$ 有 $a(x)(v)=1$ 。

例1 表1给出了一个不完备模糊信息系统 $S=(U, AT, V, F)$,其中

$$U = \{x_1, x_2, \dots, x_8\}, AT = \{a_1, a_2, a_3\},$$

$$V_{a_1} = \{H, L, N\}, V_{a_2} = \{r, s, t\}, V_{a_3} = \{m, n, p\}$$

表1 一个不完备模糊信息系统

U	a_1	a_2	a_3
x_1	$1/H$	$1/s$	$1/m+0.1/p$
x_2	$1/H+0.3/N$	$1/s+0.4/t$	$1/m+0.5/n$
x_3	$1/H$	$1/r+1/s+1/t$	$1/m+1/n+1/p$
x_4	$1/N+1/L$	$1/t$	$1/n$
x_5	$1/N$	$1/r+0.6/s$	$0.7/m+1/p$
x_6	$0.1/H+0.4/N+1/L$	$1/r+1/s$	$1/m+1/p$
x_7	$1/H+1/N+1/L$	$1/t$	$1/n+0.2/p$
x_8	$0.8/N+1/L$	$0.7/s+1/t$	$0.8/m+1/n$

属性值 $F_{a_1}(x_7), F_{a_2}(x_3), F_{a_3}(x_3)$ 均为缺省值, $F_{a_1}(x_4)$ 不取“H”值, $F_{a_2}(x_6)$ 不取“t”值, $F_{a_3}(x_6)$ 不取“n”值*。值 $F_{a_1}(x_1), F_{a_1}(x_3), F_{a_1}(x_5), F_{a_2}(x_1), F_{a_2}(x_4), F_{a_2}(x_7), F_{a_3}(x_4)$ 都是完备的。

设 $S=(U, AT, V, F)$ 是一个不完备模糊信息系统,对于 $a \in AT, F_a: U \rightarrow F(V_a)$ 是一个模糊集值函数,这样的模糊集值函数可以导出从 U 到 V_a 的一个模糊二元关系 $R_a: \forall (x, y) \in U \times V_a,$

$$R_a(x, y) = F_a(x)(y)$$

因此,由模糊集值函数 F_a 可以导出一个模糊近似空间 $(U, V_a, F_a), \forall M \in F(V_a)$, 由定义3可得 M 关于近似空间 (U, V_a, F_a) 的上近似 $\overline{F_a}(M): \forall u \in U,$

$$\overline{F_a}(M)(u) = \bigvee_{v \in V_a} [F_a(u)(v) \wedge M(v)]$$

则 $\overline{F_a}$ 是从 $F(V_a)$ 到 $F(U)$ 的模糊算子。特别地,对于 $x, y \in U$, 当 $M = F_a(x)$ 时,记

$$S_a(x, y) = \overline{F_a}(F_a(x))(y) = \bigvee_{v \in V_a} [F_a(y)(v) \wedge F_a(x)(v)]$$

则 S_a 是 U 上的一个模糊二元关系,由于对于任意 $x \in U, F_a(x)$ 是正则的,所以

$$S_a(x, x) = \bigvee_{v \in V_a} [F_a(x)(v) \wedge F_a(x)(v)] = 1$$

故 S_a 是模糊自反关系,显然 S_a 是对称的,因此, S_a 是模糊相似关系。记

$$S_A(x) = \overline{F_A}(F_A(x)), x \in U$$

则 $S_A(x) \in F(U)$ 是对象 x 在不完备模糊信息系统中关于属性 a 的模糊相似类。于是,我们通过计算每一个对象属性值的模糊上近似将对象-属性信息变换成为对象空间上的模糊信息(模糊相似类)。记

$$S_A(x) = \bigcap_{a \in A} S_a(x), x \in U, A \subseteq AT$$

则 $S_A(x) \in F(U)$ 是对象 x 在不完备模糊信息系统中关于属性集 A 的模糊相似类,它构成了对象 x 在系统中关于属性 A 的基本信息粒度。

例2 在例1中,表1给出了对象属性间的模糊关系,可以验证:

$$S_{AT}(x_1) = \bigcap_{a \in AT} S_a(x_1) = \bigcap_{a \in AT} \overline{F_a}(F_a(x_1)) = 1/x_1 + 1/x_2 + 1/x_3 + 0/x_4 + 0/x_5 + 0.1/x_6 + 0/x_7 + 0/x_8$$

同理,我们可得到其它对象关于属性集 AT 的信息粒度(模糊相似类)。

结束语 本文说明了粗糙集方法为信息系统的知识表示提供了一个合适的工具。通过信息系统中对象属性值关于对象属性近似空间的上近似可以得到与该对象具有相同或相似信息的对象集,即利用对象属性值关于对象属性近似空间的上近似将对象属性值信息变换成为对象的基本信息粒度。

参考文献

- Pawlak Z. Rough sets. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11: 341~356
- Pawlak Z. Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991
- Kryszkiewicz M. Rough set approach to incomplete information systems. Information Sciences, 1998, 112: 39~49
- Kryszkiewicz M. Rules in incomplete information systems. Information Sciences, 1999, 113: 271~292
- Wu Wei-Zhi, Zhang Wen-Xiu, Li Huai-Zu. Knowledge acquisition in incomplete fuzzy information systems via rough set approach. Expert Systems, 2003, 20(5): 280~286
- 张文修,梁怡,吴伟志. 信息系统与知识发现. 北京: 科学出版社, 2003
- Keil F C. Concepts, Kinds, and Cognitive Development. MIT Press, 1989
- Sowa J F. Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Brooks/Cole, 2000
- Yao Y Y, Zeng Y, Zhong N. Supporting literature exploration with granular knowledge structure. LNAI 4482, Springer, 2007. 182~189
- Yao Y Y. Three perspectives of granular computing. 南昌工程学院学报, 2006, 25(2): 16~21
- Langseth H, Aamodt A, Winnem O M. Learning retrieval knowledge from data. In: Proc. of the IJCAI99, 1999
- Tenenbaum J. Knowledge Representation: Spaces, Trees, Features. Course Lecture notes on Computational Cognitive Science, MIT Open Courseware, Fall 2004
- Collins A M, Quillian M R. Retrieval time from semantic Memory. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 1969. 240~248
- Yao Y Y. A partition model of granular computing. LNCS Transactions on Rough Sets, 2004, 1: 232~253
- 马建敏, 张文修, 姚一豫. 粗糙集与粒度计算. 粗糙集与概念格, 西安交通大学出版社, 2006

(上接第196页)

- Ricardo B Y, Berthier R N. Modern Information Retrieval. Addison Wesley, 1999
- Fensel D, van Harmelen F. Unifying reasoning and search to web scale, IEEE Internet Computing, 2007, 11(2): 94~96
- Berners L T, Hall W, Hendler J A, et al. A Framework for Web Science. Foundations and Trends in Web Science, 2006, 1(1)
- 周宁, 张玉峰, 张李义. 信息可视化与知识检索. 科学出版社, 2005
- Benjamins V R, Fensel D. Community is knowledge! in (KA)2. In: Proc. of KAW98, Banff, Canada, 1998
- Martin P, Eklund P W. Knowledge retrieval and the World Wide Web. IEEE Intelligent Systems, 2000, 15(3): 18~25
- Travers M. A visual representation for knowledge structures. In: Proc. of the 2nd annual ACM conference on Hypertext and Hypermedia, United States, 1989. 147~158
- Quillian M R. Semantic Memory. In: Semantic information processing. MIT Press, 1968. 216~270
- Martin P, Alpay L. Conceptual structures and structured documents. In: Proc. of Int Conf on Conceptual Structures, 1996. 145~159