

语义搜索研究综述^{*})

文坤梅 卢正鼎 孙小林 李瑞轩

(华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)

摘要 语义搜索将语义 Web 技术引入搜索引擎,改善当前搜索引擎的搜索效果,近年来得到广泛关注。文章介绍了语义搜索领域的研究基础,包括研究现状和常用的研究方法,对语义搜索进行了分类研究和深入分析,语义搜索主要可分为基于传统搜索的增强型语义搜索和基于本体推理的知识型语义搜索;文章指出了语义搜索研究中存在的问题,并对未来开展语义搜索研究进行了总结和展望。

关键词 语义搜索,语义 Web,信息检索,本体

Research of Semantic Search: Overview

WEN Kun-mei LU Zheng-ding SUN Xiao-lin LI Rui-xuan

(School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract Semantic search brings the semantic search into search engine to improve the efficiency of search engine. Recently the research of semantic search gets more and more attentions. The research foundation is introduced including research actuality and general research methods. The classification research is analyzed deeply and the two kinds of semantic search are augment one based on traditional search and knowledge one based on ontology inference. Some problems existed in semantic search are pointed. Finally conclusions are made and some advice is given for the future research of semantic search.

Keywords Semantic search, Semantic Web, Information retrieval, Ontology

1 引言

随着 Internet 的爆炸性增长,WWW 已经发展成为包含多种信息资源、站点遍布全球的巨大动态信息服务网络,为用户提供了一个极具价值的信息源。搜索引擎技术能帮助人们从浩瀚的数据中抽取对用户有用的信息,能极大地节省用户的查询时间。

Web 上的搜索引擎部分地解决了资源发现问题,并取得了较大发展,例如 Google, Yahoo!, 百度等,但由于精确度不高等原因,其效果远不能使人满意。语义搜索是研究基于语义 Web 的搜索技术。其目的是通过语义 Web 技术提高当前的搜索性能,并构建下一代基于语义 Web 的新型搜索引擎。

2 语义搜索基础

Web 搜索技术已经得到了普及应用,但查全率和查准率仍然不能满足用户的需求。目前已有的搜索引擎大部分是基于关键字或者基于文本内容的检索,并不能充分表达语义信息。如何利用语义 Web 技术,将推理结合到检索过程中,从而提高当前的搜索效果;在语义 Web 环境下,如何高效地发现信息资源,实现新一代搜索引擎—语义搜索引擎,将是我们面临的新挑战。语义搜索技术可改善当前搜索引擎的搜索效果,包括查全率和查准率。作为未来语义 Web 的最主要应用之一,语义搜索将对人们的生活产生重大的影响。

语义搜索将语义 Web 技术引入搜索引擎,是一个很有研究价值但处于初期阶段的研究课题。近两年来国外学者采用不同的方法和技术对该课题进行了深入的研究,并得出了不少有益的结论,也建立了相关的原型系统。但是一方面由于语义 Web 处于发展阶段,另一方面也由于技术条件的限制,目前并不存在一个“通用”的解决方案,现有的语义搜索引擎系统也都处于初步研究阶段,离实用的商业化水平还相距甚远。

语义搜索涉及到多个研究领域,包括搜索引擎、语义 Web、Web 信息挖掘和人工智能等。运用的主要研究方法包括:(1)图理论,RDF 数据模型形成了图,图中的弧和路径中都包含着信息,因此在语义搜索中应用到了不同形式的图遍历方法,如实例扩展及查询的形式化等;(2)匹配算法,在语义搜索中主要是指概念与关键字或者实例与关键字之间的匹配,关键字提供了一种快速定位信息的入口,关键字和概念之间的匹配是语义搜索中的一般性方法;(3)逻辑特别是描述逻辑、模糊逻辑等。逻辑和推理被整合到未来的语义 Web 中。描述逻辑^[1]是知识的一种形式化表示方法,作为本体语言的基础为人们所熟知,如 OIL, DAML+OIL and OWL^[2]。大多数现代描述逻辑系统都是以 tableaux 算法^[3]为基础,相关优化方法^[4]得到了不断深入的研究,但推理机制目前仍然无法取代传统数据库的性能优势。

文献[5]将语义搜索的对象分为两种,一是搜索整个 In-

^{*})基金项目:国家自然科学基金项目(项目编号:60403027),湖北省自然科学基金项目(项目编号:2005ABA258),软件工程国家重点实验室开放基金项目(项目编号:SKLSE05-07),华为公司资助项目(项目编号:YBIN2006089)。文坤梅 博士研究生,讲师,主要研究方向为语义 Web、信息搜索等;卢正鼎 博士生导师,主要研究方向为分布式计算、语义网与本体论等;孙小林 研究方向为语义 Web 与描述逻辑;李瑞轩 博士,副教授,研究方向为信息安全、语义 Web 与本体论等。

ternet,二是搜索基于语义 Web 技术构建的语义 Portal。简单说来,语义 Portal^[6]中的信息主要由领域本体和存储在 Portal 中的知识库组成。

3 语义搜索分类研究

语义 Web^[7]是万维网发明人 Tim Berners-Lee 倡导的下一代万维网,旨在赋予万维网上所有资源唯一的标识,并在资源之间建立起机器可处理的各类语义联系。语义 Web 是对当代万维网的扩展和延伸,能够以一种明确的、形式化的方式来表示信息资源,提高异构系统之间的互操作性,促进知识共享。文献[8]在 2003 年提出语义搜索的概念。语义搜索将语义 Web 技术与搜索引擎相结合,其目的在于提高当前搜索引擎的搜索效果,最终实现未来基于语义 Web 的搜索引擎。近年来,该领域内逐步展开了相关研究,并取得了初步的发展。

传统的信息检索(IR)^[9]技术大多数基于文档中关键词出现的次数。Google 通过考虑 Web 链接结构信息,在此基础上改进了搜索效果。虽然 XML 检索系统也考虑到将结构查询与内容检索的结合^[10-13],但其数据模型结构相对语义网要简单,已有方法不能完全满足语义网检索。较早提出的语义搜索用两种方法改进传统 IR 的检索结果:利用语义网数据补充传统 IR 的检索结果,及利用语义网改进检索技术本身。但其研究对象仍是传统信息资源,而非语义网信息资源。文献[14]提出以向量空间模型为基础设计基于本体的检索模型,支持检索结果排序。该方法需要将关键字查询转化为结构查询,而不是在结构查询中结合对内容的检索。

语义 Web 提供大量结构化的、机器可理解的对象信息,为改善传统的搜索引擎提供了语义基础。当前越来越多的 Web 信息资源进行了语义标注,并以符合 RDF/XML 语法的语义网语言(如 RDF^[15]和 OWL^[16]等)进行描述。面对大量的语义网信息,如何提供比传统信息检索更有效的访问和更合理的检索结果成为语义搜索所面临的重要问题之一。RDF 查询语言如 RQL^[17]可以对 RDF 所描述的信息资源进行语义结构的查询,并按布尔查询模型给出精确查询结果。但存在的问题是无法对 Web 语义标注中富含的大量文本信息进行有效的模糊查询,同时也不具备对此类查询结果进行排序的能力。经过语义标注的信息资源不但具有资源间的结构信息,还包括被标注对象的内容信息,因此应该考虑将结构查询与内容检索结合。

根据本体技术在语义搜索中的作用,可将语义搜索分为三类:基于传统搜索的增强型语义搜索、基于本体推理的知识型语义搜索及其他形式的语义搜索。

3.1 基于传统搜索的增强型语义搜索

这一类型的语义搜索利用语义技术来改善传统搜索的效果。其核心仍然是传统的搜索引擎,本体技术以多种途径被用来增强关键字搜索,改善搜索的查全和查准率。

文献[18-20]利用 wordnet 词本体作查询扩展,定义词的同义词集合。关键词在本体中被检索,其他不同的概念通过图搜索的方式也被检索出来,与这些概念相关的词被用来扩展或者约束搜索。

Tap^[21-23]是斯坦福大学(Stanford University)和 IBM 等联合开发的,该系统将语义 Web 技术应用于 Google 中,通过增加已有的搜索结果达到改善搜索效果的目的。关键字与 RDF 库中的概念相匹配,匹配之后的概念被用来检索更多的文件。其实现主要还是通过传统的搜索引擎对用户请求给出

回答。只有当用户的请求与知识库中的个体匹配时,知识库中关于该个体的结构化语义信息也同时返回给用户。两种不同的搜索结果在同一张网页中显示出来。该方法只响应用户的关键字请求,不提供形式化的查询能力,因此该方法缺乏紧密融合两种方法(信息检索和形式化查询)的能力。

用户也可以通过选择来约束搜索。文献[24]对文本搜索提供了本体可视化界面。通过本体浏览器来可视化本体中的概念层次树,用户通过选择概念进行查询约束。

3.2 基于本体推理的知识型语义搜索

这一类型的语义搜索以本体构建的知识库为主体,通过本体知识库推理实现知识发现型的语义搜索。根据搜索对象的不同,我们可将其分为概念搜索和关联搜索。

3.2.1 概念搜索

根据用户查询的复杂程度,概念搜索可分为两类,一为简单概念搜索,二为复杂约束概念搜索。

(1)简单概念搜索

知识库中包含有正式的语义信息,主要是指概念、实例和关系。事实上用户感兴趣的数据并不是抽象的领域知识如“人”这样的笼统概念,而是属于某个概念的具体实例信息。因此,概念搜索的任务是快速有效地检索出属于某个概念的所有实例。简单概念搜索中用到的一般性方法是关键字和概念之间的匹配算法。

SHOE^[25,26]由马里兰大学(University of Maryland)开发。该系统收集网页上的语义标注,并将其存入知识库中。用户通过图形用户接口(可视化的本体概念子树)提交基于本体的形式化查询,用户可以选择他所查找实例所属的概念,在知识库支持下系统找到与查询相关的网页。当查询返回结果很少或者无结果返回时,该系统提供一个自动转换工具,将形式化的查询转换成对应的信息检索查询字符串,并提交给搜索引擎去找到相关的网页。因此在该方法中基于语义标注的信息检索只作为搜索引擎的补充,同时 SHOE 只能适应于单本体的应用,且不符合 W3C 所制定的标准。文献[27]实现了概念查询的形式化,例如,可通过形式化查询找到某个学生在某门课程中所作的报告。

文献[28-30]将信息检索和语义 Web 联系起来,并开发三个原型系统 OWLIR,Swangler 和 Swoogle。OWLIR 自动产生并提取网页的语义标注,同时也实现推理以产生更多关于网页的语义信息。搜索请求可以是针对语义信息的形式化查询,也可以是针对文本信息的关键字查询。满足这两种请求的所有网页都被返回给用户。Swangler 将语义标注转化为一般的文本查询关键字。Swoogle^[31]作为语义网搜索引擎,其检索结果是与查询关键字相关的语义网物理文档(例如 RDF,OWL 或 N3 格式的文件)。但 Swoogle 没有体现出语义网文档中的语义结构信息。查询较大的语义网文档时,返回文档本身对于查询者而言信息量小,查询者需分析整个文件来定位语义信息。

清华大学提出一种细粒度语义网检索模型^[32],对用户提供基于关键字的查询,用 RDF 图进行检索。检索以资源为单位,其查询结果是属性值中包含关键字的三元组集合。

(2)复杂约束概念查询

在查询中,可能会出现诸如此类的复杂约束查询,如:检索所有的老师,这些老师在 20 世纪 60 年代出生,同时指导 80 年代出生的硕士生完成研究生阶段学习,该查询属于典型的复杂约束概念查询。复杂约束概念查询在实现的过程中,

通常需要检索出一组概念,概念之间通过特定的联系被连接在一起。

在语义 Web 环境中,复杂约束概念查询的形式化不难实现。主要问题在于对用户来说如何表达复杂的约束查询并不容易。因此,研究者在用户查询接口方面已经展开了相关研究,其目的在于尽可能为用户提供较直观的查询模式。

文献[33]实现了图形化的用户接口 GRQL,该接口可创建基于本体浏览的图模式查询。查询定制的步骤为:首先选中本体中的概念,所有与此概念相关的属性被显示出来以供扩展。然后点击选中的属性,通过约束该属性扩展查询图,也可选择该属性的值域概念作进一步扩展。其他约束操作也可以在查询模式上执行,如可将某些概念限定为子概念,也可限定某些属性为子属性。文献[34]描述了另一种图形化查询界面。用户给出了领域模式来选择查询开始点,查询的定制可以通过属性限制概念,也可以是概念的可兼容性替代,例如用子概念或父概念替代此概念。

3.2.2 关联搜索

大部分研究者都将语义搜索定义为语义网中对资源的搜索,利用基本推理功能,找到用户需要的相关资源。该定义满足了大部分情况下的用户请求,但遗漏了实际上可能普遍存在的一类搜索,称作“关联搜索”,关联搜索在语义 Web 中搜索资源间的复杂关系,并对之进行排序。对象属性用来定义资源间的关联关系,资源间的链接路径在某些特定领域比资源本身更具价值,比如在国家安全领域通常需要搜索资源之间的链接关系,这些关系可能意味着某些潜在的安全威胁。

关联搜索中的主要问题在于,如何定义链接的兴趣尺度,且这种定义方法不仅能够消除用户不感兴趣的关联关系,而且可以搜索到数据之间复杂的、隐藏的关联关系。文献[35]提出了一种大众化且简单的形式化计算方法,尝试发现资源间有价值的关联关系。

关联关系搜索的结果排序^[36-39]也是语义搜索需要解决的关键技术,知识库中实体之间关系的个数可能会超出实体本身,语义关联就是指实体之间的复杂关系。传统搜索引擎采用的搜索结果排序方法只能对文本信息进行排序,无法对结构信息排序,无法满足语义搜索结果的排序。目前多是结合传统搜索引擎结果排序算法和信息检索技术,尝试新的语义搜索结果排序方法。文献[40]在现代信息检索^[41]基础上,利用语义 Web 资源的重要性对结果集进行排序。文献[42]对语义搜索结果的排序方法做了较为深入的探讨,将信息检索对象集中在语义元数据上,试图发现元数据上复杂的关系,提出了一种预测用户需求的排序方法来识别语义关联。

3.3 其他类型的语义搜索

华盛顿大学(University of Washington)Turing 中心是一个多学科交叉的研究中心,其开发的 KnowItAll 系统用于提取 Web 上的信息,目的在于构建一个人工智能系统,该系统在足够长的生命周期内可构建基于整个 Web 的知识库,以实现未来用信息提取的方式取代搜索引擎。文献[43-45]提出了若干种信息提取方法,用于搜索 Web 上的有用信息并构建领域知识库。

语义搜索通过推导出知识库中的隐含知识,实现对语义的识别,如利用包含关系扩展搜索中的语义。文献[46]提出用 spread activation 技术在给定的本体中找到相关的概念。描述了一种定位附加信息的算法,该算法试图找到相关的概念,如文件的作者、文件所指的项目等。文本注解形成 RDF

图。RDF 图的遍历通过 spread activation 算法实现。本体中的弧线根据兴趣给出权重,附加信息和查询相关联。

上海交通大学和香港科技大学联合提出一种增强的语义搜索模型^[47]。该模型认为关键字是本体中的概念,概念的实例属于某个概念是具有模糊值的。模糊逻辑的形式化被用来计算相关性。该模型针对语义 portal 进行搜索,将传统的信息检索技术引入结构化查询,其推理的实现基于模糊描述逻辑(fuzzy DL)^[48-51]。华中科技大学提出了一种应用在安全访问控制领域的语义搜索模型^[52],该模型的实现结合了传统搜索技术。

4 存在的问题

最新的本体语言标准 OWL 基于描述逻辑,然而目前很少有语义搜索中的推理是基于 OWL 的,大部分仍是基于规则的推理系统。主要原因在于语义 Web 上的推理是一个较难解决的问题,语义 Web 基于开放世界的假设,而大多数已实现的逻辑系统基于封闭世界假设。未来的语义 Web 将出现大量的数据,这对于当前大多数基于描述逻辑的推理算法来说也是一个大的挑战。

结束语 综上所述,目前国内外对语义搜索的研究还处于个案处理的初步阶段,并未形成一种通用的方法,更甬论建立一个实用的语义搜索系统。已提出的系统有的只利用了传统的信息检索功能,有的只能提供形式化的查询,并不存在能紧密结合两者功能的系统,实现的推理功能处于初步尝试过程中,目前也不存在较为成熟的基于语义的结果排序方法。

未来的语义搜索研究重点可归纳为以下几点:

(1)研究语义搜索概念模型。语义模型能改善当前搜索引擎的搜索效果,可扩展成为构建在语义 Web 上的新一代搜索引擎。

(2)语义搜索本体知识库的构建、维护与进化。研究领域本体知识库的构建方法;本体知识库设计方法与技术研究,构建较完备的领域本体知识库;本体知识库维护和进化系统框架研究,解决本体相容性冲突检测问题。

(3)语义搜索的推理机制。结合领域本体,研究语义搜索中基于描述逻辑以及模糊描述逻辑的推理,提高基于描述逻辑的本体推理技术的推理效率,扩大其推理算法的适用范围,结合文本信息检索获取语义,可以提高处理用户查询需求的准确度。

(4)语义搜索的结果排序方法研究。传统搜索引擎采用的搜索结果排序方法只能对文本信息进行排序,不能对实体之间的复杂关系排序,无法实现语义搜索结果的排序,因此需研究基于语义的结果排序方法,实现本体知识库中实体及实体之间关系的排序,提高返回结果的相关性。

(5)语义搜索引擎的原型实现及应用研究。基于以上研究基础,实现语义搜索引擎系统原型,在应用环境中进行测试并实现性能优化。

传统的搜索技术对于结合检索与推理的语义搜索有许多可借鉴的经验。因此,可在传统搜索引擎技术的基础上对语义搜索进行更深入的研究,建立实用性较强的语义搜索系统,改善当前的搜索效果,以期在更广泛的语义 Web 环境中发挥更大的作用。

语义 Web、机器学习、数据挖掘、模糊集和粗糙集等领域的研究成果都对语义搜索的发展做出了巨大贡献。相信随着这些领域中相关理论的发展、完善和相互渗透,语义搜索方法

也将得到更进一步的发展。

参考文献

- [1] Baader F, McGuinness D, Nardi D, et al. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2003
- [2] Horrocks I, Patel-Schneider P F, van Harmelen F. From SHIQ and RDF to OWL: The making of a web ontology language. *J. of Web Semantics*, 2003, 1(1):7-26
- [3] Horrocks I, Sattler U. A tableaux decision procedure for SHOIQ//Proc. of the 19th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI). 2005
- [4] Baader F, Sattler U. An Overview of Tableau Algorithms for Description Logics. *Studia Logica*, 2001, 69:5-40
- [5] Sheth A, Bertram C, Avant D, et al. Managing semantic content for the Web. *IEEE Internet Computing*, 2002, 6(4)
- [6] Staab S, Angele J, Decker S, et al. Semantic community web portals // Proc. of WWW9
- [7] Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The Semantic Web. *Scientific American*, May 2001
- [8] Guha R, McCool R, Miller E. Semantic search//Proceeding of the 12th International World Wide Web Conference (WWW 2003). Budapest, Hungary, May 2003: 700-709
- [9] Baeza-Yates R, Ribeiro-Neto B. *Modern Information Retrieval*. ACM Press/Addison-Wesley, 1999
- [10] Wu J, Chen Lin Z. Vector retrieval modeling using partial match pattern for text-rich xml documents. *ACTA ELECTRONICA SINICA*, 2002, 30(12A): 2169-2171
- [11] Chinenyanga Tapiwa T, Kushmerick N. An expressive and efficient language for xml information retrieval. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2002, 53(6): 438-453
- [12] Kotsakis E. Structured information retrieval in xml documents//Proceedings of the 2002 ACM Symposium on Applied Computing. New York, NY, USA, 2002: 663-667
- [13] Guo L, Shao F, Botev C, et al. Xrank: Ranked keyword search over xml documents. In *SIGMOD 2003*. San Diego, CA, June 2003
- [14] Vallet D, Fernández M, Castells P. An ontology-based information retrieval model//2nd European Semantic Web Conference (ESWC). Heraklion, Greece, May 2005
- [15] Manola F, Miller E. *Rdf primer*. W3C Recommendation, February 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210/>
- [16] McGuinness Deborah L, van Harmelen F. Owl web ontology language overview. W3C Recommendation, February 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- [17] Karvounarakis G, Alexaki S, Christophides V, et al. Rql: A declarative query language for rdf. In *WWW 2002*. Honolulu, Hawaii, USA, May 2002
- [18] Moldovan D I, Mihalcea R. Using wordnet and lexical operators to improve internet searches. *IEEE Internet Computing*, 2000 (4):34-43
- [19] Buscaldi D, Rosso P, Arnal E S. A wordnet-based query expansion method for geographical information retrieval// Working Notes for the CLEF Workshop. 2005
- [20] Kruse P M, Naujoks A, Roesner D, et al. Clever search: A wordnet based wrapper for internet search engines//Proceedings of the 2nd GermanNet Workshop. 2005
- [21] Guha R, McCool R. TAP: A Semantic Web Test-bed. *Journal of Web Semantics*, 2003, 1(1)
- [22] Guha R, McCool R. The tap knowledge base. <http://tap.stanford.edu/>
- [23] Guha R, McCool R. Tap: Towards a web of data. <http://tap.stanford.edu/>
- [24] Airio E, Järvelin K, Saatsi P, et al. Ciri-an ontology-based query interface for text retrieval//Hyvönen, E., Kauppinen, T., Salminen, et al., eds. *Web Intelligence: Proceedings of the 11th Finnish Artificial Intelligence Conference*. 2004
- [25] Heflin J D. *Towards the Semantic Web: Knowledge Representation in a Dynamic Distributed Environment*. PhD Thesis. University of Maryland, 2001
- [26] Heflin J, Hendler J. Searching the web with shoe// AAAI-2000 Workshop on AI for Web Search
- [27] Maedche A, Staab S, Stojanovic N, et al. Seal-a framework for developing semantic web portals//Advances in Databases, Proceedings of the 18th British National Conference on Databases. 2001:1-22
- [28] Shah U, Finin T, Joshi A, et al. Information Retrieval on the Semantic Web//10th International Conference on Information and Knowledge Management, November 2002
- [29] Mayfield J, Finin T. Information retrieval on the Semantic Web: Integrating inference and retrieval//SIGIR Workshop on the Semantic Web. Toronto, August 2004
- [30] Finin T, Mayfield J, Joshi A, et al. Information Retrieval and the Semantic Web//Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences. 2005
- [31] Ding L, Finin T, Joshi A, et al. Swoogle: A search and metadata engine for the semantic web. In *CIKM'04*. Washington DC, USA, November 2004
- [32] 吴刚, 唐杰, 李涓子, 等. 细粒度语义网检索. *清华大学学报(自然科学版)*, 2005, 45(1): 1865-1872
- [33] Athanasis N, Christophides V, Kotzinos D. Generating on the fly queries for the semantic web: The ics-forth graphical rql interface (grql)//Proceedings of the Third International Semantic Web Conference. 2004: 486-501
- [34] Catarci T, Dongilli P, Mascio T D, et al. An ontology based visual tool for query formulation support // Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence. IOS Press, 2004: 308-312
- [35] Anyanwu K, Sheth A P. -queries: enabling querying for semantic associations on the semantic web//Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web. 2003: 690-699
- [36] Aleman-Meza B, Halaschek-Wiener C, Arpinar I B, et al. Ranking Complex Relationships on the Semantic Web. *IEEE Internet Computing*, 2005, 9(3): 37-44
- [37] Stojanovic N, Studer R, Stojanovic L. An approach for the ranking of query results in the semantic web// Proc. of ISWC 2003
- [38] Aleman-Meza B, Halaschek C, Arpinar I B, et al. Context-Aware Semantic Association Ranking//First Intl. Workshop on Semantic Web and DBs. Berlin, Germany, 2003
- [39] Anyanwu K, Maduko A, Sheth A P. SemRank: Ranking Complex Relationship Search Results on the Semantic Web// Proceedings of the 14th International World Wide Web Conference. ACM Press, 2005
- [40] Bamba B, Mukherjea S. Utilizing Resource Importance for Ranking Semantic Web Query Results. *SWDB*, 2004: 185-198
- [41] Baeza-Yates, Ribeiro-Neto. *Modern Information*. Addison Wesley, 1999
- [42] Aleman-Meza B, Halaschek-Wiener C, Arpinar I B, et al. Ranking Complex Relationships on the Semantic Web. *IEEE Internet Computing*, 2005, 9(3): 37-44
- [43] Popescu A-M, et al. Extracting Product Features and Opinions from Reviews//Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing EMNLP. 2005
- [44] Cafarella M, Downey D, Soderland S, Etzioni O. KnowItAll: Fast, Scalable Information Extraction from the Web//Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing EMNLP. 2005
- [45] Downey D, Etzioni O, Soderland S. A Probabilistic Model of Redundancy in Information Extraction//Proceedings of the 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). 2005
- [46] Rocha C, Schwabe D, de Aragão M P. A hybrid approach for searching in the semantic web. *WWW*, 2004: 374-383
- [47] Zhang Lei, Yu Yong, Zhou Jian, et al. An enhanced model for searching in semantic portals. *WWW*, 2005: 453-462
- [48] Straccia U. Reasoning within fuzzy description logics. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2001(14)
- [49] Straccia U. Transforming fuzzy description logics into classical description logics//Proc. of the 9th European Conference on Logics in Artificial Intelligence(JELIA-04). 2004
- [50] Straccia U. Transforming fuzzy description logics into classical description logics//Proc. of the 9th European Conference on Logics in Artificial Intelligence(JELIA). 2004
- [51] Straccia U, Lopreiato A. alc-F: A fuzzy ALC reasoning engine. 2004. <http://faure.iei.pi.cnr.it/~straccia/software/alc-F/>
- [52] Wen Kunmei, Lu Zhengding, Li Ruixuan, et al. A Semantic Search Conceptual Model and Application in Security Access Control. v 4185 LNCS//The Semantic Web-ASWC 2006-First Asian Semantic Web Conference. Proceedings, 2006: 366-376