

# 国际图书情报领域本体研究的知识图谱分析\*

洪海娟 池晓波 万跃华

(浙江工业大学图书馆 杭州 310014)

**摘要** 为梳理20年来国际图书情报领域本体研究的理论演进路径,揭示研究热点和研究前沿,将1990-2012年ISI Web of Science数据库收录的图书情报领域本体研究728篇文献数据作为研究对象,应用CiteSpaceII知识可视化软件绘制文献共被引网络图谱,分析国际图书情报领域本体研究理论演进过程中的关键节点文献,并利用关键词聚类和膨胀词探测功能分析研究热点与研究前沿。

**关键词** 本体研究 图书情报 CiteSpaceII 知识图谱

**中图分类号** G202

**文献标识码** A

**文章编号** 1002-1965(2013)04-0102-06

## Knowledge Mapping Analysis of International Ontology Research in the Field of Library and Information Science

Hong Haijuan Chi Xiaobo Wan Yuehua

(Library, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

**Abstract** To reveal the theoretical evolution in the late two decades, research hotspots and research fronts of international ontology research in the field of library and information science, 728 papers published between 1990 and 2012 are retrieved from Web of Science with the topic search of ontology in library and information science. Using knowledge visualization tool CiteSpaceII, documents are visualized through a number of co-citation maps, which filtered the critical node documents in the evolution of ontology research. The functions of keywords clustering and burst terms detecting are used to analyze the research hotspots and research fronts.

**Key words** ontology research library and information science CiteSpaceII knowledge mapping

### 0 引言

本体(ontology)的概念源自于形而上学的哲学分支,原意是指对客观世界的事物进行分解,发现其基本的组成部分,进而发现其抽象本质的研究方法。20世纪90年代初,本体被引入到人工智能领域,用于描述知识的内涵,表达知识的语义,其概念的内涵也因此发生了改变。1993年斯坦福大学的Gruber给出了本体最为流行的定义:“本体是概念模型的明确的规范说明<sup>[1]</sup>。”在此基础上,1997年Borst给出了本体的另一种定义:“本体是共享概念模型的形式化规范说明<sup>[2]</sup>。”经过十几年的发展,本体成为了计算机领域中非常流行的一个概念,研究学者在不同的实践中应用

本体,不断赋予本体以新的内涵。特别是语义网的提出和兴起,作为其核心技术,本体概念被各国学者从不同角度逐步修正,本体的涵义不断充实完善。本体的概念和方法进入到图书情报领域目的是要解决信息检索、资源组织等问题。本文选取ISI Web of Science数据库所收录的图书情报领域本体研究的文献数据,借助CiteSpace II分析软件绘制本体研究的科学知识图谱,揭示图书情报领域本体研究的理论演进路径、研究热点和研究前沿,以期为国内学者在该领域的研究提供有益的参考。

### 1 数据来源与研究方法

#### 1.1 数据来源 本文以美国科学情报研究所

收稿日期:2012-12-11 修回日期:2013-02-01

基金项目:浙江省图书馆学会课题“利用文献计量学方法深化高校图书馆学科服务研究”(编号:Zlx2012A-11);浙江工业大学校级人文社科研究基金项目“基于ESI的学科前沿追踪研究”(编号:Z20120131)。

作者简介:洪海娟(1980-),女,硕士研究生,馆员,研究方向:信息计量、信息资源开发与利用;池晓波(1976-),女,副研究馆员,研究方向:信息资源建设与服务;万跃华(1959-),男,研究馆员,研究方向:数字图书馆、信息资源开发与利用。

(Institute for Scientific Information, ISI)出版的 Web of Science 数据库中的四个子库 (SCI-expanded, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH) 为数据来源。由于本体在不同领域各有自己的不同含义,斯坦福大学的 Guarino 与 Giarretta 建议用 Ontology (首字母大写) 指代哲学领域的本体论研究,ontology (首字母小写) 来表示人工智能等领域的本体系统和本体理论的研究<sup>[3]</sup>,本文在使用“ontology”这一英文术语时亦遵循这一惯例。检索策略为:主题 = (“ontology”),文献类型 = (Article or Proceedings Paper),选择学科类别为图书馆与信息科学,即学科类别 = (INFORMATION SCIENCE & LIBRARY SCIENCE),时间范围确定为 1990–2012 年,检索日期为 2012 年 10 月 10 日,共检索到 728 篇来源文献。

将数据下载的方式设定为“全记录并且包含所引用的参考文献”,并以 download \*.txt 为文件名进行保存。

**1.2 研究方法** 本文采用美国德雷克塞尔大学(Drexel University)著名信息可视化专家、华人学者陈超美博士(Chaomei Chen)开发的基于 JAVA 平台的 CiteSpaceII 信息可视化应用软件作为本体研究的可视化分析工具。陈超美创造性地把信息可视化技术和科学计量学结合起来,开创了以知识计量和知识管理研究推进到以知识图谱与知识可视化辅助决策重要手段的新阶段。他所开发的文献计量分析软件 CiteSpace,对科学知识图谱理论与方法做出了奠基性贡献。CiteSpaceII 将信息可视化方法、文献计量方法和数据挖掘算法集成起来,是一个在引文数据中提取模式的交互式的可视化工具,通过分析学科研究前沿随着时间的变化,以及研究前沿与其知识基础之间的关系,利用共被引聚类,发现不同研究前沿之间的内部联系;通过对学科领域的文献信息可视化,使研究者能够直观地辨识出科学前沿的演化路径及学科领域的经典基础文献<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与讨论

**2.1 本体研究的理论演进路径分析** 陈超美把研究前沿定义为一组突现的动态概念和潜在的研究问题,而研究前沿的知识基础则是它在科学文献中的引

文和共引轨迹,通过对文献共被引进行知识图谱分析,可以寻找学科或研究领域演化的关键经典文献及演化动力<sup>[5]</sup>。设置 CiteSpaceII 软件的数据存放和项目运行目录,将上述数据导入,选择网络节点为共引参考文献(Cited Reference),主题词来源(Term Source)选择文献标题(title)、摘要(abstract)、关键词(descriptor)和标识符(identifiers),选择路径搜索算法(pathfinder),数据抽取对象为 top30,设置“Time Scaling”的值为 1,即将 1990–2012 年分成 22 个时段进行处理,阈值引文数量(C)、共被引频次(CC)、共被引系数(CCC)分别设定为(2,2,20),(3,3,20),(4,3,20),运行 CiteSpaceII,得到图书情报领域本体研究的文献共被引知识图谱,如图 1 所示,并提取相关包含研究论文、综述和专著等的关键节点文献(见表 1)。

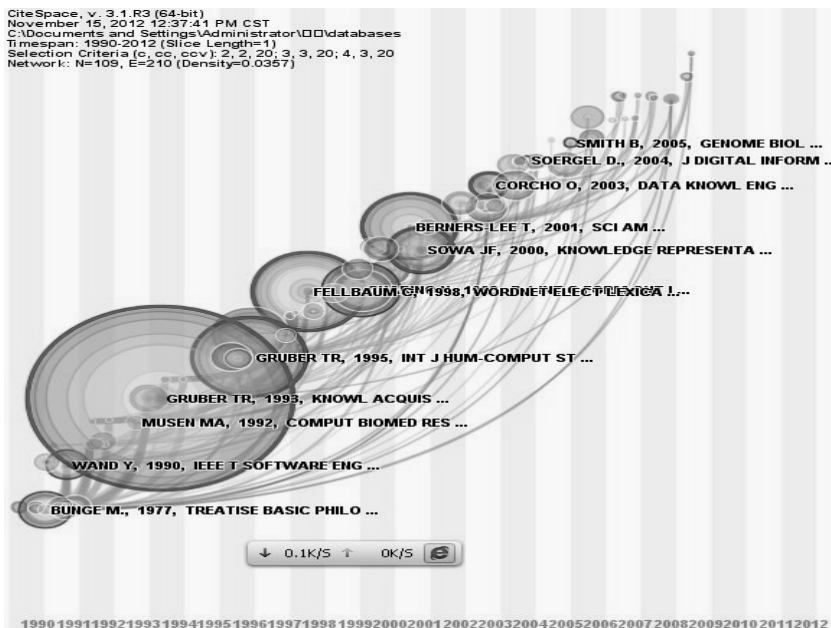


图1 本体研究的文献共被引知识图谱

在 CiteSpaceII 生成的可视化知识图谱中,关键节点被定义为中介中心性大于或者等于 0.1 的节点。结合图 1 和表 1 可以看出,国际图书情报领域本体研究的文献共被引知识图谱中共有 10 个关键节点文献,这些节点文献是连接各文献聚类的知识拐点,是提出重要新理论或者具有重大理论创新的文献,对本体研究起到非常重要的作用。按照时间顺序分析这 10 篇关键节点文献,即可梳理出图书情报领域本体研究的理论根源与演进路径:

最早一篇节点文献是著名科学哲学家马里奥·邦格(Mario Bunge)在 1977 年将自己在科学哲学、技术哲学、语义学、本体论和方法论等方面的研究成果汇集在一起而完成的八卷本巨著《基础哲学论集》中的第三卷。邦格在该书第三卷中阐述了逻辑、语义学和本体论之间的关系。书中指出研究本体论的基本原则就

表 1 本体研究的关键节点文献(按中心性排序)

序号	被引频次	中心性	发表年份	关键节点文献
1	40	0.35	1998	Christiane Fellbaum, WordNet: An Electronic Lexical Database
2	40	0.35	1995	GRUBER TR, Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing, INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER STUDIES ,V43, P907
3	23	0.33	2000	SOWA JF, Ontology, metadata, and semiotics, CONCEPTUAL STRUCTURES: LOGICAL, LINGUISTIC, ANDCOMPUTATIONAL ISSUES, PROCEEDINGS ,V1867, P55
4	31	0.28	2001	BERNERS-LEE T, The Semantic Web – A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities, SCIENTIFIC AMERICAN, V284, P34
5	90	0.25	1993	GRUBER TR. A Translation Approach to Portable Ontology Spcifications, Knowledge Acquisition, V5, P199
6	12	0.22	2003	CORCHO O. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?, DATA & KNOWLEDGE ENGINEERING, V46, P41
7	28	0.19	1998	GUARINO N, Formal ontology and information systems, FORMAL ONTOLOGY IN INFORMATION SYS-TEMS V43, P3
8	19	0.15	1977	Bunge M. Treatise on Basic Philosophy Ontology I: The Furniture of the World Series; Treatise on Basic Philoso-phy, Vol. 3Set; Treatise on Basic Philosophy, XVI, 354 p
9	15	0.12	1990	WAND Y. An Ontological Model of An Information-system, IEEE TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGI-NEERING, V16, P1
10	3	0.12	2004	SOERGEL D. ,Reengineering thesauri for new applications; the agrovoc example, Journal of Digital Information, V4, P

是使唯物主义哲学“精确化”,借助现代数学、逻辑学和自然科学所建构的精确理论,必然是句法逻辑与语义逻辑高度一致的理论。因此,通过语义分析来揭示理论的意义,从而将逻辑与语义学同本体论内在的统一起来<sup>[6]</sup>。

第二篇文献是 Wand Y 在 1990 年发表在《IEEE 软件工程会刊》上的《信息系统的本体模型》一文,文中提出了准确的信息系统本体模型的基本概念,例如系统、子系统和耦合等。该本体模型可以用来分析信息系统的静态特性和动态特性,并且可以用来检测是否构成一种好的信息系统。该文对一些主要的信息系统模型的各自优点和缺点做了简单介绍,阐述了一些基础模型的基本概念<sup>[7]</sup>。

第三篇文献是美国斯坦福大学知识系统实验室的 Gruber TR 在 1993 年发表在《知识获取》上的《便携式本体规范的翻译方法》一文。Gruber TR 是本体研究的权威人物,他在该文中提出了最著名并被引用最为广泛的本体定义,即“本体是概念化的明确规范说明”,并讨论了翻译过程中的两个技术问题:一是先要对某个领域进行抽象、归纳,即把这一领域概念化;二是再对这一概念化的结果用一种人、计算机、代理都可以理解的通用规范表达出来,表达出来后就形成了一个本体。文中还提出了基于知识交互格式和框架本体的构建语言 Ontolingua<sup>[8]</sup>。

第四篇文献是 Gruber T R 于 1995 年发表在《国际人机研究杂志》上的《用于知识共享的本体设计原则》一文,文中指出在人工智能领域研究者首先应开发本体用于知识的共享,提出了共享本体设计要求和设计标准,并利用数学工程的本体案例展示了如何应用这

些设计标准<sup>[9]</sup>。

第五篇文献是普林斯顿大学的 Christiane Fellbaum 在 1998 年编写的《WordNet: 电子词汇数据库》一书。这是一个里程碑式的著作,共分为三个部分,分别介绍了 WordNet 中的名词、动词、形容词、设计细节、相关软件和各种不同应用,以及从形式化的概念分析角度描述了 WordNet。WordNet 是一种基于认知语言学的英语词典,它不是光把单词以字母顺序排列,而且按照单词的意义组成一个“单词的网络”,因为包含了语义信息,所以说 WordNet 是刻画本体的一个字典<sup>[10]</sup>。

第六篇文献是 Guarino N 在 1998 年发表在《人工智能与应用前沿》上的《形式本体论与信息系统》一文。该文指出本体在计算机科学界越来越广泛,其重要性已被认定在多样性的研究和应用领域,包括知识工程、数据库设计和集成、信息检索和提取等。在其最广泛的意义上来说,将使用通用术语信息系统并统称这些应用前景。该文提出自己的本体论方法和建筑特点,通过一个跨学科高度的方法,从本体驱动信息系统的角度来发挥其中心作用<sup>[11]</sup>。

第七篇文献是 Sowa JF 在 2000 年发表在《概念结构:逻辑,语言和计算问题》上的《本体论、元数据和符号学》一文。文中指出互联网是一个巨大的符号系统,目前的本体和元数据被忽视了一些重要的功能标志,一些元数据失去了它们所代表的实体和代理。语法、语义、语言学和符号学提供了组织和使用标志,代表的东西处于某种目的的指导方针。该文介绍了如何在语义上等价的符号逻辑,包括受控自然语言和各种计算机语言的基本符号基元表示<sup>[12]</sup>。



第八篇文献是 Berners-Lee T 在 2001 年发表在《科学美国人》上的《语义网——一种能让计算机理解的新型 Web 内容形式,将引发对新的未知可能性的探索》一文。Berners-Lee T 是 Web 的创始人,他于 1998 年首次提出语义 Web(Semantic Web)的概念,并在 2000 年召开的 XML2000 会议上发布了语义 Web 体系结构,进一步明确阐述语义 Web 的设想。他在该文中指出语义 Web 广泛吸取人工智能、信息论、哲学、逻辑和计算理论等学科的研究成果,并非是全新的 Web,而是对现有万维网的扩展。语义 Web 的目标是让网络上的信息能够被机器理解,从而实现网络信息的自动处理,以利于人机间的合作与交互,并在此基础上实现各种智能化的应用<sup>[13]</sup>。

第九篇文献是 Corcho O 在 2003 年发表在《数据与知识工程》上的《构建本体的方法、工具和语言:他们的交汇点在哪里?》一文。该文指出构建本体的方法、工具和语言以及它们之间的关系在文献中已有报道,但是当今的本体论技术还不够成熟,因为许多方法、工具和语言都是现成的。这领域的未来工作应该朝着建立一个通用的集成平台来驱动本体的开发,从而促进本体的发展、交流、评价、演变和管理,这个工作平台不是重新开始创建,而是集成目前已有技术组件来完成<sup>[14]</sup>。

最后一篇节点文献是 Dagobert Soergel 在 2004 年发表在《数字化信息杂志》上的《针对新应用的叙词表再造工程:AGROVOC 实例》一文。该文指出现有的分类法和叙词表缺乏定义良好的语义和结构的一致性,文中提出一种概念结构和转换过程,以支持建立一个全面的语义丰富的 KOSs,构建的结构也符合其他 RDF(S)和 XML 在 Web 环境下的相互操作。AGROVOC 是由联合国粮食及农业组织 (FAO) 和欧共体开发和维护的一部多语种结构的叙词表,主要作用是将信息标引标准化,从而使得信息检索更加简单并且准确,为用户提供最准确的信息资源<sup>[15]</sup>。

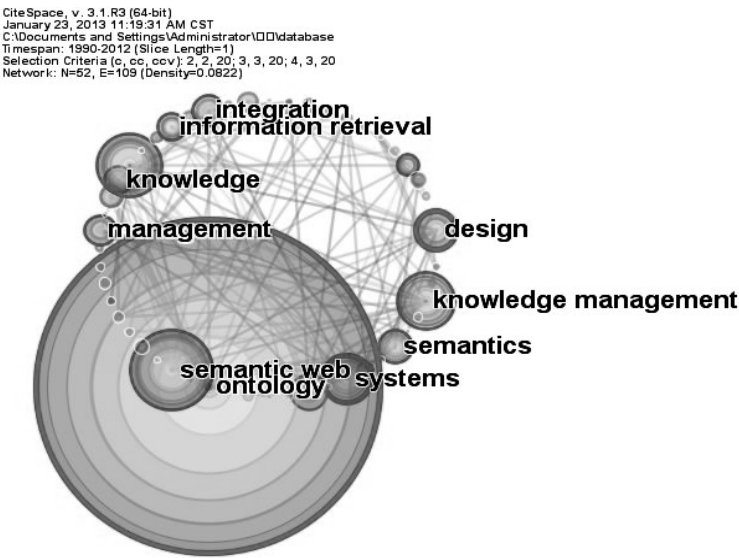
通过上述节点文献我们可以看出,在人工智能领域的研究者首先开发了本体论来便利知识共享和重用,自从 20 世纪 90 年代开始,本体论已经变成了一个流行的研究主题,并且一些人工智能研究领域(包括知识工程、自然语言处理和知识表示)都开始研究本体论。更近,本体的概念在很多领域都正在变得广泛,如智能信息集成、协作信息系统、信息检索、电子商务和知识管理等。本体论之所以变得流行的主要原因是它们许诺:能够跨越人类和应用程序系统的共享

和公共的理解。

2.2 本体研究的热点分析 文献的关键词是文章的核心与精髓,是作者对文章主题的高度概括和凝练,有着很强的代表性,因此,对文章的关键词进行分析,频次高的关键词常被用来确定一个研究领域的热点问题。另外,从文章中提取的名词短语也可以在一定程度上代表某个学科领域的研究热点<sup>[16]</sup>。在 CiteSpaceII 软件界面,网络节点选择“Keyword”,并选定名词短语(noun phrase)作为节点类型,其他策略不变,运行 CiteSpaceII 软件,得到由关键词和名词短语组成的本体研究热点知识图谱,如图 2 所示,并提取相关高频热点词汇(见表 2)。

表 2 本体研究高频热点词汇

序号	热点词汇	频次	中心性
1	ontology	227	0.20
2	semantic web	56	0.15
3	knowledge managemet	39	0.14
4	systems	34	0.24
5	information	26	0.10
6	design	25	0.25
7	semantics	23	0.16
8	management	23	0.13
9	model	21	0.00
10	knowledge	21	0.14
11	integration	21	0.12
12	information retrieval	20	0.12
13	knowledge representation	14	0.01
14	digital library	12	0.02
15	domain ontology	12	0.11
16	web	10	0.02



例外。除 ontology 外,主要热点词汇还有语义网(semantic web)、知识管理(knowledge management)、系统(systems)、信息(information)、设计(design)、语义(semantics)、管理(management)、建模(model)、知识(knowledge)、整合(integration)、信息检索(information retrieval)、知识表示(knowledge representation)、数字图书馆(digital library)、领域本体(domain ontology)等。综合起来可以判断,国际图书情报领域的本体研究主要有以下几个方面:语义 Web 和语义信息检索研究;数字图书馆的领域本体构建研究;本体在信息检索中的应用研究;基于本体的知识管理和知识表示研究;基于本体的信息资源整合研究等。

2.2.1 语义 Web 和语义信息检索研究。语义 Web 是美国信息专家 Berners-Lee 于 2000 年提出的,语义 Web 是一个使用能够表达语义(或机器可处理)的元素来描述信息,以满足智能软件代理对异构、分布信息的有效访问、合理交换、语义处理和准确检索等要求的公开环境。其核心想法是创造元数据来描述数据,进而使计算机能处理它。以本体技术为基础的语义 Web 是一种智能网络技术,可以通过该技术实现网络数据处理和网络服务的智能化。语义信息检索是在基于关键字词语匹配的传统信息检索无法满足用户需要的情况下提出来的,是智能信息检索的一个发展阶段。目前关于语义信息检索的研究主要集中在四个方面:基于自然语义处理技术的语义检索、基于概念的语义检索、基于潜在语义索引方法的语义检索和基于本体的语义检索。

2.2.2 数字图书馆的领域本体构建研究。网络技术、多媒体技术、虚拟现实技术等信息技术的不断升级,使数字图书馆的资源组织正由信息组织向知识组织迈进。在对数字资源的知识组织中,现有的知识组织模式已不能满足数字图书馆知识组织的要求。本体是针对特定领域的知识处理发展起来的,它以特定领域的知识资源为背景,通过某领域的形式本体可将该领域的知识组织起来,构成基于本体的知识研究体系。而领域本体专注于解决领域知识的抽象,是用于描述某个特定专业领域的本体,它定义了该领域的概念和概念间的关系,描述该领域的基本原理、主要实体和活动关系,提供领域内部知识共享和知识重用的公共理解基础。在数字图书馆领域中构建面向数字资源组织的领域本体,能有效解决传统知识组织模式在数字图书馆知识组织中的不足。

2.2.3 本体在信息检索中的应用研究。将本体引入信息检索领域的主要目的就是要通过本体技术提供一种范围广泛的知识共享和重用的途径,以提高用户查询信息的查准率和查全率。常规的直接基于关键

词的信息检索技术已不能满足用户在语义和知识上的需求,本体具有良好的概念层次结构和对逻辑推理的支持,因而在信息检索,特别是在基于知识的检索中得到广泛的应用。借助本体技术,可以为检索系统建立基于概念的语义索引,将基于关键词的信息检索改进为语义信息检索。

2.2.4 基于本体的知识管理研究。知识管理是知识获取和处理的核心环节,知识管理的目的是在组织中建构一个量化与质化的知识系统。现有的知识管理技术大多是基于数据的语法级知识表示形式,导致了知识推理困难,也使得知识的应用受到了极大的限制。基于语义的知识表示技术使得计算机能理解和处理 Web 信息,本体描述方法及工具的出现使得领域知识的形式化和可共享的语义表示成为可能。在知识管理领域,本体被运用在许多重要的方面,比如知识共享、资源平台的建立、知识管理系统等。

2.2.5 基于本体的信息资源整合研究。信息资源整合是根据用户的需求,对各个相对独立的信息资源中的信息对象、功能结构及其互动关系进行揭示、融合、聚类、重组,整合成一个新的效能优化的信息资源体系。它不仅是对信息资源本身的集中化整合,还包括对信息资源相关信息的整合。基于本体的信息资源整合是在资源集合的上层构建一个反映资源知识结构的本体概念模型,对资源进行基于语义的标注,从而实现知识检索。

2.3 本体研究的前沿分析 利用 CiteSpaceII 软件中提供的突现词探测(burst detection)技术和算法,通过考察词频从大量的主题词中探测出来,依据词频的变动趋势,而不仅仅是频次的高低,来揭示本体研究的前沿领域和发展趋势<sup>[17]</sup>。选择突现词(burst terms),其他策略不变,运行 CiteSpaceII 后,检测到本体研究的 2 个突现词:language(语言)和 model(建模)。

2.3.1 本体语言。本体语言是用于编制本体的形式化语言,常用的本体语言包括以下几种:描述逻辑(DL, Description Logics),资源框架描述(RDF, Resource Description Framework),RDFS(RDF Schema),Ontolingua, OKBC, OCML, 框架逻辑(Flogic, Frame Logic),Loom, XOL, SHOE, OIL, DAML, DAML+OIL, TM, Cycl, OWL, OWL-S。2002 年 7 月, W3C 在提交的 DAML+OIL 基础上发展了 OWL 语言,以使其成为国际通用的标准。OWL 建立在 XML/RDF 等已有标准基础上,通过添加大量的基于描述逻辑的语义原语来描述和构建各种本体。目前已经开发出大量 OWL 工具以支持 OWL 本体的实现,为本体知识表示方式的广泛应用奠定基础,例如 Protégé, SWOOP 等工具支持本体的编辑、管理和可视化; Jena, OWLAPI 为应用

程序利用本体进行开发提供接口;Racer、FaCT 和 Pellet 等实现 OWL 推理任务。

2.3.2 本体建模。构建本体可以为本体用户提供可共同理解的某一领域的知识,使得这部分知识得到明确化。本体模型质量的高低,决定了所建本体能否准确表达现实世界中的概念及其之间的关系。尽管对于本体构建方法和构建工具的选择,与本体推理、本体检索、本体可视化等技术相对独立,但本体的建模过程是上述方法、技术、过程得到完美应用的保证。因此,建模方法及建模工具的选用是本体开发过程中的关键步骤。目前,关于本体建模的方法以及相应评估的研究很多,但是没有一个统一的标准。比较有影响的是 Gruber TR 在 1995 年提出的 5 条本体建模准则:明确性和客观性、完整性、一致性、最大单向可扩展性、最小约束性。之后 Arpirez 在 1998 年面向具体操作提出了 3 个补充规则:概念名称命名标准化、概念层次多样化和语义距离最小化。其中,概念层次多样化是增强多继承机制的能力,语义距离最小化是尽可能把含义相似的概念抽象出来。

### 3 结束语

本文利用 CiteSpaceII 软件对 ISI Web of Science 数据库中 1990–2012 年的图书情报领域本体研究的 728 篇文献进行定量分析,研究了国际该领域研究的理论演进路径、研究热点和研究前沿。得出结论:国际图书情报领域本体研究的热点主要是语义 Web 和语义信息检索研究、数字图书馆的领域本体构建研究、本体在信息检索中的应用研究、基于本体的知识管理和知识表示研究、基于本体的信息资源整合研究等,未来发展方向是本体语言和本体建模。

#### 参考文献

- [1] Gruber TR. Ontolingua: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications [J]. Knowledge Acquisition, 1993, 2(5):199–220
- [2] Borst P. An Ontology Approach to Product Disassembly [J]. EKAW1997, Sant Feliu de Guxols, Spain, October:15–19
- [3] 邓仲华. 多语种叙词本体[M]. 武汉:武汉大学出版社,2011
- [4] Chen C. CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3):359–377
- [5] 刘则渊,侯海燕,陈悦. 科学知识图谱方法[M]. 北京:人民出版社,2008
- [6] Bunge M. Treatise on Basic Philosophy Ontology I: The Furniture of the World Series: Treatise on Basic Philosophy [M]. Vol. 3Set:Treatise on Basic Philosophy, 1977
- [7] WAND Y. An Ontological Model of An Information-system [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1990, 16(11):1282–1292
- [8] Gruber T R. Ontolingua: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications [J]. Knowledge Acquisition, 1993, 2(5):199–220
- [9] Gruber T R. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing [J]. International Journal of Human-Computer Studies, 1995, 43(5–6):907–928
- [10] Christiane Fellbaum. WordNet: An Electronic Lexical Database [M]. Cambridge:MIT Press, 1998
- [11] Guarino N. Formal Ontology and Information Systems [J]. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, 1998, 46:3–15
- [12] Sowa J F. Ontology, Metadata, and Semiotics[J]. Conceptual Structures: Logical, Linguistic, and Computational Issues, Proceedings, 2000, 1867:55–81
- [13] Berners-Lee T. The Semantic Web – A New form of Web Content that is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities[J]. SCIENTIFIC AMERICAN, 2001, 284(5):34
- [14] Corcho O. Methodologies, Tools and Languages for Building Ontologies. Where is their Meeting Point? [J]. DATA & KNOWLEDGE ENGINEERING, 2003, 46(1):41–64
- [15] Soergel D. Reengineering thesauri for new applications: the agrovoc example [J]. Journal of Digital Information, 2004, 4:1–14
- [16] 侯海燕,刘则渊,陈悦. 当代国际科学学研究热点演进趋势知识图谱[J]. 科研管理,2006(3):90–96
- [17] 栾春娟,侯海燕,王贤文. 国际科技政策研究热点与前沿的可视化分析[J]. 科学学研究,2009(2):240–243

(责编:白燕琼)