

本体集成研究综述^{*}

于娟 党延忠

(大连理工大学系统工程研究所 大连 116023)

摘要 本体集成(ontology integration)的目的是使异质的本体互操作,目前是本体研究的一个热点。本体集成首先发现实体间关系,生成本体映射,然后根据应用目的基于映射进行处理,最终达成本体对齐或者本体合并的目标。本文介绍了本体集成中的概念,给出本体集成的一般工程化方法。对国内外较具代表性的本体集成工具进行比较分析,讨论了现存的问题,指出了未来的研究方向。

关键词 本体,本体集成,本体异质,本体映射,本体对齐,本体合并

Review on Ontology Integration

YU Juan DANG Yan-zhong

(Institute of System Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract Ontology integration aims at the interoperation of heterogeneous ontologies, and is currently under hot research. To get two or more ontologies integrated, the first step is discovering and constructing ontology mappings, which settle relationships between/among different entities from different ontologies. Secondly, execute mappings according to the application. And finally ontology integration gets two of its goals, ontology alignment or ontology merging. This paper explains the terms and concepts in the above procedure, shows the regular ontology integration framework. It then analyzes several representative ontology integration tools. Based on that, it discusses the presently open problems and future research directions in this field.

Keywords Ontology, Ontology integration, Ontology heterogeneity, Ontology mapping, Ontology alignment, Ontology merging

1 引言

本体作为解决知识工程、语义 Web、人工智能等领域瓶颈问题的万灵丹(silver bullet)^[1],受到广泛关注,在欧美国家发展迅速,正在引入到工业应用。目前,计算机相关领域对于本体的研究主要有三个方面:本体构建(ontology building)、本体维护(ontology maintaining)和本体集成(ontology integration)。每一方面作为本体工程的一部分,都可以在一定程度上实现工程化,本文将分别称为本体构建工程(ontology building engineering)、本体维护工程(ontology maintaining engineering)和本体集成工程(ontology integration engineering)。其中,对于本体构建工程的研究集中于本体的自动构建,也就是本体学习(ontology learning),孔敬^[2]、杜小勇等人^[3]对本体学习进行了较为全面的综述。本体维护工程,也就是本体生成之后使用过程中对本体进行修改使其进化的工程,这一方面的研究在国际上还没有展开,马文峰等人^[4]简单介绍了本体进化的概念和研究前景。对于本体集成工程,目前还未见有研究综述出现。

本体集成的问题由欧洲委员会于 2001 年启动的 SWAP (Semantic Web and Peer-to-peer)项目^[5]发现。该项目需要一种能够在每个终端构建各自的本体之后生成一个大本体的工具,因而发现了将多个不同团队构建的多个小本体集成为一个大本体时的本体映射和本体合并的问题^[6]。另外,由欧洲

委员会资助的另外一个项目 SEKT (Semantically Enabled Knowledge technologies)^[7]也发现了本质上相同的问题,他们需要为使用多个不同本体的应用找出这些本体之间的关系,实现本体之间的交互,以达成基于这些本体的数据间的重用和互操作^[8],称其为“本体调解”(ontology mediation)^[9]。

2 本体集成中的概念

本体集成指的是,当某一本体任务(构建、维护或者应用)中应用到多个本体,而这些本体之间存在多方面的不一致(也称为本体异质)时,为了使得这些异质本体能够交互,在这些本体的实体间建立映射,处理映射,以达到本体对齐(ontology alignment,即本体的连接)或者是本体合并^[10](ontology merging,多个本体组合为一个一致的本体)的过程。例如,当某一任务需要企业中多个本体进行互操作,或者在语义 Web 环境下基于两个不同国家不同语言的本体进行网页查询和 Web 服务时,就遇到了本体集成的问题。

上面关于本体集成的阐述说明了:

1) 本体集成源于本体异质。尽管本体的目的就是实现领域知识的共享和重用,但是不同团队构建的本体本身即存在各种异质,阻碍本体的互操作。因此,要想达到知识的重用,必须首先解决本体的重用和互操作问题,这正是本体集成的目的。

2) 本体集成中,建立准确的本体映射是基础性的任务,达

^{*} 资助项目:国家自然科学基金资助重点项目(70431001),国家自然科学基金资助重大国际合作项目(70620140115)。于娟 博士研究生,研究方向为知识管理系统、领域本体;党延忠 教授,博导,主要研究方向为知识管理系统、系统工程、管理科学与工程。

到本体对齐或者本体合并是其目标。

3) 本体合并可以应用于本体构建过程中将多个小本体合并为一个大本体,也可以应用于本体的维护阶段,即将领域的新知识产生的小本体集成到原本体中。除此之外,本体合并一般较少应用。本体对齐则广泛应用于本体的联合查询。

4) 本体集成过程可以使用工程化的方法来实现,称为本体集成工程(Ontology Integration Engineering)。

目前本体映射、对齐和合并的研究大多只针对于一对一的集成,即一个本体与另外一个本体的对齐和合并,较少见两个以上本体的对齐和合并。本文后面说的本体集成如果没有特别指出,都是指一对一集成。

2.1 本体异质

Paolo Bouquet 等人^[11]给出了本体异质(ontology heterogeneity)的详细分析,指出在分布式和开放式系统中,本体异质是不可避免的,并根据本体异质产生的原因将其划分为四个层次:表示层,术语层,概念层和语义层^[11]。

表示层(syntactic)异质源于本体的表示形式不同。比如,两个分别使用 OWL 和 KIF 描述的本体,它们的基础形式化逻辑不同。对于这一层次的异质,研究者们普遍认为应该使用同样的本体表示语言来描述本体。2004 年, W3C 发布了一个本体表示语言的推荐标准 OWL^[12,13],也就是给出一个本体形式化的统一,如此,未来将不存在本体的表示层异质。

存在表示层异质的本体可以通过本体翻译来实现集成。

术语层(terminological)异质指的是本体中与实体(如个体,类,属性,关系)命名过程有关的不一致。主要表现为:(1)同义词,即同一个实体由不同的词汇进行定义;(2)一词多义,即同一个词汇被用于表示多个实体;(3)不同语言(汉语,英语,德语,希腊语等等)中的词汇来定义同一个实体;(4)同一个词汇的语义变种(不同读音、缩写、前后缀的不同用法等等)。

术语层的异质通过词汇映射来解决。

概念层(conceptual)异质指的是同一领域中的两个本体中内容上的不一致。概念层异质的产生原因主要有三种:(1)本体覆盖面(coverage)不同,即两个领域本体因所针对的子领域不同(或者就是相同的领域也可能)而产生异质;(2)详细度(granularity)不同,指两个本体因对于同一实体的描述详细程度不同而产生异质;(3)视角(perspective)不同,即针对同一领域,一个本体给出的领域描述因其视角与另外一个的不同而产生异质。

概念层异质与术语层异质不同,同一个概念可能使用不同的术语作为表现形式。术语层异质不像概念层异质那么深入,实际应用中大部分情况是在处理术语层异质。

概念层异质的解决需要通过对于整个本体进行考虑,查找不一致,进行对齐或合并。

语义层(或称为应用层, semiotic/pragmatic)异质产生的原因是,不同的个体或者团队在不同的上下文中对于相同的本体产生不同的理解。这种情况下,即使形式化语言正确地表示了本体的语义,也可能产生语义被错误识别和理解的情况,也就是对于本体构建者的意图没有正确理解。

语义层异质是最难以解决的异质问题,很少有人在这方面作研究;而随着本体表示语言的统一,表示层的异质也是比较容易解决的。因此,下文中的本体映射针对的本体异质解决方法主要指的是术语层和概念层的发现和解决。

2.2 本体映射

本体映射(ontology mapping)是不同本体的两个实体之间语义关系的形式化表示,是分布式环境下实现不同本体之间共享和交流的基础性任务。其中,实体可以是本体的任何构成对象,包括概念、属性、关系等;实体间的语义关系可以是相似关系、父子关系、简单集合论关系或者模糊关系等。可以看到,本体映射是达成信息在异质本体间流动的工具。需要说明的是,“映射”不是“影射”。国内的文章偶尔有人在应该是“映射”的地方写成了“影射”。影射源于含沙射影,是“一种暗指,借此说彼的说话方式”^[14],与映射相去甚远。

本体映射的表示形式可以根据应用自行定义。比如, Paolo Bouquet 等人^[11]使用四元组来表示映射: $\langle e, e', n, R \rangle$ 。这个映射反映的是两个实体 e 和 e' 间关系, n 是映射(而不是关系)的置信度, R 是这两个实体间的语义关系。

由于实际应用中的本体往往规模庞大,手工查找本体映射工作繁琐且易产生错误。因此,自动化的查找本体映射的方法和技术成为本体研究的方向之一。至于自动化查找本体映射的方法,袁洋等人^[15], Namyoun Choi 等^[16]将其视为模式匹配方法作了较为全面的综述介绍。黄烟波等人^[17]对本体映射方法进行分类介绍,按照本体定义模型将映射方法分为:(1)基于语法的方法;(2)基于概念实例的方法;(3)基于概念定义的方法;(4)基于本体结构的方法。另外,本文补充一种方法:基于公理的方法^[18],该方法基于本体的另外一个构成对象——公理,主要应用于重量级本体^[19]的集成。

可以看到,目前本体映射的方法主要是基于本体的构成对象——概念、关系和公理。其中,基于概念实例和概念定义的方法可以分别视为基于概念的外延和内涵进行映射。基于本体结构的方法可以视为基于关系的方法。在实际的本体映射工作中,往往将上述方法结合使用^[6,20,21],以提高准确率和召回率。

使用自动化的方法获得映射之后,就可以将映射进行实际应用了,也就是实现本体对齐或者本体合并。

2.3 本体对齐

本体对齐是描述两个不同本体中实体的相应关系的映射的集合^[22]。需要注意的是,本体对齐并不是关系实体间关系的集合,而是映射的集合。本体对齐将两个本体正确地连接起来,可以用于多个本体的联合查询等任务。

一些致力于实现语义 Web 的研究者们提出了本体匹配(ontology matching)^[23]的概念,实际上与本体对齐是一个概念。

从本体对齐的概念上可以看到,本体对齐方法就是找到所有的映射的方法,一般是半自动化的方法。

2.4 本体合并

本体合并指的是在两个不同的本体 A 和 B 中发现共同处并且产生一个新的本体 C 以助于实现分别基于 A 本体和 B 本体的计算机系统之间的互操作。C 本体可以只作为两个计算机系统的中间本体,也可以取代 A 或者 B。本体合并一般只用于本体构建过程中将多个本体合并为大本体或者是本体维护阶段,将一个“迷你本体(mini-ontology)”^[24](小部分概念和关系)合并到原本体中以对本体进行更新。除了这两种情况,本体的集成一般都是指本体对齐。本体合并与本体对齐不同之处在于,本体对齐不生成新的本体,只是在原有的需要对齐的本体之间建立一个映射集合以达成本体的互操作。而本体合并是在原有本体的基础之上根据应用的需要生成一个新的本体。

本体合并的方法是,得到映射之后,根据应用需要执行映射合并本体,并在执行之后进行后处理。本文认为比较有前途的两种本体合并方法是基于范畴论(Category)[25]的方法[26]和基于形式化概念分析(Formal Concept Analysis, FCA)[27]的方法[28,29]。范畴论和 FCA 都是抽象处理结构和结构间关系的理论。其中,FCA 仅适于处理轻量级本体[19]。

3 本体集成工程框架

本体集成可以使用工程化的方法来实现。集成分为本体对齐和本体合并,这两种集成的步骤都是:(1)本体预处理;(2)查找映射;(3)映射形式化;(4)集成(对齐或合并)。不同的本体集成工具中使用了不同的本体集成工程化方法。其中 MAFRA(an Ontology Mapping Framework)中实现的方法[30]目前比较受到推崇。Jos de Bruijn 等人[31]又对 MAFRA 提出的本体集成方法稍加修改,形成了一种新的本体合并方法。图 1 在 Jos de Bruijn 等人的本体合并框架上加修改,形成了本体集成工程的一般方法。

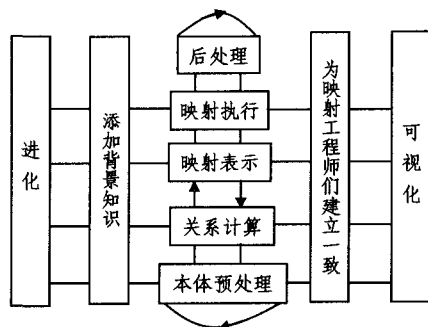


图 1 本体集成工程框架

图 1 中,横向维自底向上是本体集成过程的步骤,纵向维是本体映射过程的五个基本步骤。

横向维由五个模块构成,自底向上依次为:

(1)本体预处理模块引入本体并且标准化。该模块首先将本体以一个统一的表示形式引入,之后标准化本体的词汇,也就是消除词汇和语义上的差异(包括特殊字符、大写字母、缩写等)。有的本体映射方法在预处理阶段使用一组启发式规则来减少候选映射对的数目以提高集成的效率[32]。

(2)关系计算,以多种方法计算实体间关系。前述每一种本体映射的方法都给出了不同的关系计算的方法。

(3)映射表示,对本体中相关的实体及其之间的关系进行映射表示。一般在这一步骤中引入人工修改,目的在于提供更准确的映射。

(4)映射执行。映射表示工作完成之后,下一步就是如何使用本体及其之间的映射了。可以是相似实体的删除,可以是组合为新实体,也可以是声名新规则。MAFRA 在这一步骤中所做的工作是通过与上一步定义的映射表示函数相关的转换函数将源本体的实例声明为目的本体的实例[30]。

(5)后处理。在执行的基础之上,再次分析映射表示以提高执行的质量。例如,当发现映射过程中产生了一致性时,就使用不一致性的修理技术或者是选择基于多种并行一致方法的推理技术来解决不一致问题。

如果本体集成的目标是本体对齐,那么横向维执行到第(3)步就可以了。如果目标是本体合并,那么前述五个步骤视情况循环执行。

纵向维由以下四个模块构成:

(1)进化。使资料库和目标本体保持同步。

(2)添加背景知识。本体集成工具允许使用者加入额外信息(如 WordNet 之类的通用本体以辅助同义词的发现[33])以提高映射的质量。

(3)为映射工程师们建立一致。根据承担映射任务的工程师所提出的不同提议,在多个供选择的可能映射中建立一致。

(4)可视化界面。对源本体和目标本体的进行可视化处理。人机界面友好能够使得映射任务更为简单。

通过实现上述的本体集成工程框架可以生成一种本体集成工具,该工具界面友好,准确率高。

下一节按照出现时间介绍目前已经实现的本体集成工具并对它们进行了比较和分析。

4 知名本体集成工具简介及比较

4.1 常见本体集成工具简介

对于本体集成的工具,目前国外比较有代表性的有 PROMPT[34],OntoMerge[35],MAFRA[30],GLUE[36]和 Onto-Map[37],国内,天津大学的魏哲雄等人研发了一个本体集成工具的雏形 OnMerge[38]。

PROMPT(原 SMART[39,40])是 2000 年由美国的斯坦福大学医药信息研究小组开发的一个多本体管理的工具包,可以看作是本体合并和交互的工具包。PROMPT 是 Protégé[41]的插件,也是对 Protégé 本体编辑环境的扩展,实现了在 Protégé 环境中集成本体的功能。PROMPT 由四个相互关联的组件构成:(1)AnchorPROMPT 是一个从本体结构图中发现映射的工具;(2)PROMPTDiff 是从一个本体的不同版本中发现区别的工具;(3)IPROMPT 是交互的本体合并工具;(4)PROMPTFactor 能够从一个本体中抽取一部分。PROMPT 能够识别需要进行合并的操作(合并类、合并属性、合并类和属性间的关系,等等),并且能够识别应用了这些合并操作之后所产生的冲突,如命名冲突、空引用、类结构冗余、属性值限制与类继承冲突,等等。可以看到,PROMPT 不仅是一个本体集成工具,还可以胜任本体的半自动化维护[42,43]的任务。

OntoMerge 是 2002 年由美国的耶鲁大学研发的,这是一种通过本体合并实现本体翻译的方法,也可以算得上是一种本体集成方法。这种方法对不同本体通过公理语义的计算进行合并。合并过程首先对所有的术语根据名称空间的差异进行区分,然后使用“桥公理(Bridging Axioms)”[44]连接两个本体中的重叠部分。在这种集成工具中,两个相关本体的合并通过合并两个本体的术语和定义术语的公理,然后在本体中添加连接两个本体中相关术语的桥公理来实现。OntoMerge 中包含半自动化的产生桥公理的工具,产生出来的公理需要经过人类专家的确认。

MAFRA(an Ontology MApping FRamework)于 2002 年由德国卡尔斯鲁厄大学和葡萄牙 GECAD 联合研发,是一个集成在 KAON[45]之上的本体集成工具。MARFA 能够进行概念和属性的转换。它的主要目的是将源本体的实例转换成目标本体的实例。MARFA 研发了一个映射的形式化表示,用于描述语义桥(Semantic Bridge),语义桥的形式化基础是一个使用 DAML+OIL[46]描述的本体,称为语义桥本体(Semantic Bridge Ontology, SBO)。语义桥描述了怎样进行

转换以及如何对概念桥和属性桥进行分类。概念桥定义源实例和目的实例之间的转换,而属性桥定义的是源属性和目的属性之间的转换。另外,MAFRA 只考虑了 RDFS 本体的映射。

GLUE 系统是由美国华盛顿大学 AnHai Doan, Jayant Madhavan 等人于 2004 年研发的。GLUE 能够发现概念的一对一映射,该系统的作者称其未来的研究方向将是关系和属性的映射发现以及一对多映射的发现。GLUE 视本体为一个概念的层次结构,基于实例数据,使用机器学习技术和统计方法实现自动化的创建本体映射。GLUE 系统中的机器学习限于实例学习,基于实例描述(如,网页内容)为实例进行概念分类。使用一个机器学习的分类器来确定本体 O2 中的概念 B 的实例是否是本体 O1 中的概念 A 的实例,分类器的训练集是 A 的实例。训练后的分类器用于对概念 B 的实例进行分类,对于 B 每一个实例,确定其是否也是 A 的实例。然后,基于概念的实例集合的交集计算概念 A 和概念 B 的相似度。使用了统计方法(联合概率分布计算)分析输入的数据,计算四种概率 $P(A, B)$, $P(A, \bar{B})$, $P(\bar{A}, B)$ 和 $P(\bar{A}, \bar{B})$ 。其中, $P(A, \bar{B})$ 指的是一个实例属于 A 的外延集而不属于 B 的外延集的概率。然后通过用户指定的一个函数使用这四个概率计算概念 A 和概念 B 的联合概率分布。基于概率产生一个相似矩阵。最后,使用启发式规则来选择最有可能的一致关系来产生 O1 和 O2 的对齐。

OntoMap 是最新出现的一个本体对齐工具之一,2005 年

由德国卡尔斯鲁厄大学 AIFB 研究所研发。它是本体管理系统^[47,48] OntoStudio^[49] 的一个插件,OntoStudio 使用 OntoMap 支持本体映射的创建和管理。在 OntoMap 中,映射使用图形表示,使得对于映射的形式化声明透明化,用户只需要理解图形标记的语义含义(比如,箭线连接两个概念)即可。OntoMap 支持拖放动作,支持简单的属性一致性检验。OntoMap 能够进行概念间映射,属性间映射,关系映射以及属性与概念间的映射。另外,OntoMap 可以对于概念间的映射施加属性值的限制。比如,概念“货车”可以根据其是否超过一定的(由不同国家的法律来定义的)重量限制映射为“汽车”或者“卡车”。如果要定义 OntoMap 图形工具无法表示的复杂映射的话(可能是因为本体使用复杂逻辑表示或者是内置式本体),就需要手工输入到计算机里。OntoStudio 中能够表示的映射都是基于一阶逻辑的。

OnMerge 是国内的一个本体合并工具的雏形,2006 年由天津大学的魏哲雄等人研发。该工具基于编辑距离计算概念与概念之间,属性与属性之间的相似度,形成合并建议,将建议图形化提供给人类专家,合并之后进行后处理。OnMerge 是一个半自动化的本体集成工具。该工具在 Eclipse 平台下使用 Java 语言开发。

4.2 工具的比较与分析

表 1 从集成方式、映射范围、方法等方面对目前较具代表性的本体集成工具进行了比较分析。

表 1 本体集成工具比较

工具名称	PROMPT	OntoMerge	MAFRA	GLUE	OntoMap	OnMerge
集成方式	对齐,合并	合并	合并	对齐	合并	合并
映射范围	概念间映射	术语映射, 公理映射	概念间映射, 属性间映射 (为实例翻译服务)	概念映射	概念映射,属性 映射,关系映射,属性 与概念间的映射	概念映射, 属性映射
映射方法	基于本体结构	基于名称空间	基于概念定义	统计学,实例机器学习,	语义匹配	基于编辑距离
自动化程度	半自动	半自动	半自动	自动	半自动	半自动
支持语言	Protégé 支持 的所有语言	DAML	RDFS	不限	OWL, RDF, F-Logic, OXML	OWL
人机交互方式	GUI	自然语言	GUI	否	GUI	GUI
工具研发者 给出的工具 的性能评价	90%的建议会被人类 专家采纳;而 74%人 类专家的操作会被 PROMPT 推荐列出	好	无	在多个不同应用领域 中都达到较高的召回 率但准确率取决于实 例库	无	无

从表 1 可以看到:

(1) 由于本体映射方法大多不涉及到语言层面,因此,对于国外的本体集成工具稍加改动,都可以用于中文本体集成。

(2) 目前,大多数的本体映射方法为一对一集成,较少见一对多或者多对多的方法,未见多对多的本体集成工具出现。这可以作为未来的研究方向。

(3) 上述集成工具中涉及到本体合并的均为半自动化。因为本体映射的召回率和准确率还不够高,需要有性能更优的算法出现,才有可能实现完全自动化的本体合并。

(4) 除了 OntoMap 之外,上述工具在计算本体映射时,使用的方法都较为单一。可以考虑将多种计算方法结合起来以提高算法的性能。

(5) 由于本体映射的方法主要是基于本体的构成对象,因

此映射性能很大程度上受到本体构建技术的影响。当本体的自动构建(如本体的规范性,不同领域的异质等)得以突破时,本体映射的自动或半自动化实现也会得到推进。

(6) 绝大部分集成方法都只是在小型本体的测试集上是有效的。也就是说,目前所有的本体集成方法和工具都面临着一个问题:试验使用的本体的规模极其有限,当面对真正的本体时,这些方法和工具是否有效。

5 存在的问题和未来的研究方向

尽管本体映射方法的效率和性能很大程度上受到本体构建方法的影响,目前看来,由于缺少一个世界通用的大本体,因此本体集成的问题近几年势必受到研究者的关注。国内因为本体的研究起步较晚,还没有涉及到大型领域本体的合作

构建,因而没有遇到集成难题,这方面的研究还没有在实际层面展开。

目前本体集成工程中存在的问题以及可继续努力的方向主要有:

(1)集成方法的改进。目前看来,因为映射和合并的准确率不能够保证,本体集成都是半自动化的。当采用多种方法结合进行集成会取得更好的效果,但是仍然不足以满足完全自动化的要求。当然,准确率和召回率也与构建的本体本身有关。如果能够在本体的构建上考虑到集成阶段的困难,并采取适当措施来改善本体,就能够以较高的准确率和召回率来自动化地进行本体集成。

另外,目前的映射方法和合并方法都是一对一的情况,无法进行一对多和多对多的映射,这也使得本体的集成只能一对一集成。

(2)集成工具的改进。目前,本体集成工具只能处理特定的本体。由于工具的有限性,目前还未见中文本体集成工具。

(3)对于集成结果的评价。目前通用的评价方法是准确率和召回率,也有基于测试集合的方法^[50]。但是这些评价方法均无法反映本体工具使用者的满意度,也就是集成得到的本体是否符合用户的应用。本文认为可以借鉴 Alexander Maedche 等人^[51]对于学习得到的本体关系的评价进行本体集成结果的评价,即将得到的本体与理想本体进行比较,观察贴合度来判断集成工具的优劣。

本文认为,随着语义 Web、知识管理、人工智能等领域的发展,以及本体在这些领域的应用前景的逐渐明朗,本体的研究将会日益成为热点,本体的集成也将成为亟待解决的问题。需要特别指出的是,进行本体集成研究时,不仅要提出方法和算法,还需要将其形成为工具,以支持本体构建和维护。

参 考 文 献

- [1] Fensel D. Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce[M]. Springer-Verlag, Berlin, 2000
- [2] 孔敬. 本体学习: 原理、方法与相关进展[J]. 情报学报, 2006, 12, 25(6): 657-665
- [3] 杜小勇, 李曼, 王珊. 本体学习研究综述[J]. 软件学报, 2006, 17(9): 1837-1847
- [4] 马文峰, 杜小勇. 领域本体进化研究[J]. 图书情报工作, 2006, 50(6): 71-75
- [5] SWAP. <http://swap.semanticweb.org/>, (Accessed on Oct 16, 2006)
- [6] Ehrig M, Sure Y. Ontology Mapping- An Integrated Approach [C]// Proceedings of the 1st European Semantic Web Symposium. Heraklion Greece, springer, LNCS, 2004(5): 10-12
- [7] SEKT. <http://www.sekt-project.com/>, (Accessed on Oct 16, 2006)
- [8] de Bruijn J, Ehrig M, Feier C, et al. Ontology mediation, merging and aligning[C]// Davies J, Studer R, Warren P, eds. Semantic Web Technologies: Trends and Research in Ontology-based Systems, Wiley, UK, 2006
- [9] de Bruijn J. Ontology mediation [EB/OL]. http://www.keapro.net/sekt/m_ontology_mediation.htm, 2004 (Accessed on Oct 16, 2006)
- [10] Sowa J F. Building, Sharing, and Merging Ontologies [EB/OL]. Unpublished paper. 2001. <http://www.jfsowa.com/ontology/ontoshar.htm>. (Accessed on Nov 5, 2006)
- [11] Bouquet P, Ehrig M, Euzenat J, et al. Specification of a common framework for characterizing alignment[EB/OL]. KnowledgeWeb deliverable D2.2.1v2, 2004. (Accessed online www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/phi/pub/kweb-221.pdf, Nov 13, 2006)
- [12] Dean M, Schreiber G, et al. OWL Web Ontology Language Reference [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-ref-20040210/>, (Accessed on Jan. 1, 2005)
- [13] Michael K, Smith, Welty C, et al. OWL Web Ontology Language Guide [EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>, (Accessed on Jan. 1, 2005)
- [14] 在线新华字典. http://xh.5156edu.com/show.php?id=7394&f_key=影射. (Accessed on Jul. 2, 2007)
- [15] 袁洋, 李善平. 基于语义 Web 的本体映射方法综述[J]. 计算机科学, 2004, 31(5): 5-8
- [16] Choi N, Song I-Y, Han H. A Survey on Ontology Mapping [J]. SIGMOD Record, 2006, 35(3)
- [17] 黄烟波, 张红宇, 李建华, 等. 本体映射方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2005(18): 27-29
- [18] Furst F, Trichet F. Axiom-based ontology matching: a method and an experiment[R]. <http://www.sciences.univ-nantes.fr/lina/>. 2005. 3, (Accessed on Oct. 28, 2006)
- [19] Gangemi A, Grimm S, Mika P, et al. Core Ontology of Software-Software Components-Services [EB/OL]. <http://cos.ontotware.org/> (Accessed on Oct 13, 2006)
- [20] 程勇, 黄河, 邱莉榕, 等. 一个基于相似度计算的动态多维概念映射算法[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(6): 975-979
- [21] 曹泽文, 钱杰, 张维明, 等. 一种改进的本体映射方法[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(19): 3078-3082
- [22] Euzenat J, Bach T L, Barrasa J, et al. D2.2.3: State of the art on ontology alignment [EB/OL]. 2004. (Accessed on Nov 9, 2006)
- [23] Ontology Matching. <http://www.ontologymatching.org/>. (Accessed on Nov 9, 2006)
- [24] Vit Novacek. Ontology Learning [D]. 捷克马萨里克大学信息学院, 2005(12): 13
- [25] 贺伟. 范畴论 [M]. 北京: 科学出版社, 2006(7)
- [26] Hitzler P, Krotzsch M, Ehrig M, et al. What Is Ontology Merging- A Category-Theoretical Perspective using Pushouts [J]. American Association for Artificial Intelligence, 2005
- [27] Wolff K E. A First Course in Formal Concept Analysis- How to Understand Line Diagrams [C]// Faulbaum F, ed. SoftStat'93. Advances in Statistical Software, 1993: 429-438
- [28] 周文, 刘宗田, 陈慧琼. FCA 与本体结合研究的综述[J]. 计算机科学, 2006, 33(2): 8-12
- [29] Stumme G, Maedche A. FCA-Merge: Bottom-Up Merging of Ontologies // Proceedings of the Seventeenth International Conference on Artificial Intelligence (IJCAI01). Seattle, WA, USA, 2001: 225-230
- [30] Maedche A, Motik B, Silva N n, et al. MAFRA- A Mapping FRamework for Distributed Ontologies // Proceedings of the 13th European Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management EKAW-2002. Madrid, Spain, 2002
- [31] de Bruijn J, Martin-Recuerda F, Ehrig M, et al. D4.4.1 Ontology Mediation Management V1 [EB/OL]. Deliverable D4.4.1. SEKT, 2004, (Accessed on Nov 9, 2006)
- [32] Ehrig M, Staab S. QOM- quick ontology mapping [C]// Frank van Harmelen, Sheila McIlraith, and Dimitris Plexousakis, eds. Proceedings of the Third International Semantic Web Conference (ISWC2004). LNCS, Hiroshima, Japan, Springer, 2004: 683-696
- [33] Cho M, Kim H, Kim P, et al. A New Method for Ontology Merging based on Concept using WordNet [C]. Advanced Communication Technology. ICACT'06 // The 8th International Conference. 2006(2): 1573-1576
- [34] Noy N F, Musen M A. PROMPT: Algorithm and tool for automated ontology merging and alignment [C]// Proc. 17th Natl. Conf. on Artificial Intelligence (AAAI2000). Austin, Texas, USA, 2000
- [35] Dou Dejing, McDermott D, Qi Peishen. Ontology translation by ontology merging and automated reasoning [C]// Proc. EKAW2002 Workshop on Ontologies for Multi-Agent Systems. 2002: 3-18

(下转第 18 页)

- tual organization; Graph spectral partitioning and learning automata. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(5): 504-525
- [9] Ding C, He X, Zha H, et al. Spectral Min-Max cut for Graph Partitioning and Data Clustering[C]//Proc. of the IEEE Intl Conf. on Data Mining, 2001, 107-114
- [10] Meila M, Xu L. Multiway cuts and spectral clustering. U. Washington Tech Report. 2003
- [11] Zhou D, Bousquet O, Lal T N, et al. Scholkopf; Learning with Local and Global Consistency. *Advances in Neural Information Processing Systems*//Thrun, S. L. Saul and B. Scholkopf, eds. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2004, 16: 321-328
- [12] Verma D, Meila M. A comparison of spectral clustering algorithms. Technical report, 2003. UW CSE Technical report 03-05-01
- [13] Perona P, Freeman W T. A factorization approach to grouping //H. Burkardt and B. Neumann, eds. *Proc. ECCV*. 1998: 655-670
- [14] Scott G L, Longuet-Higgins H C. Feature grouping by relocalization of eigenvectors of the proximity matrix// *Proc. British Machine Vision Conference*. 1990: 103-108
- [15] Kannan R, Vempala S, Vetta A. On clusterings- good, bad and spectral. In *FOCS*, 2000: 367-377
- [16] Ding C, He X F, Zha H Y, et al. A min-max cut algorithm for graph partitioning and data clustering[A]//The 2001 IEEE International Conference on Data mining. San Jose, USA, 2001
- [17] Alpert C, Kahnh A, Yao S. Spectral partitioning: The more eigenvectors, the better. *Discrete Applied Math.*, 1999, 90: 3-26
- [18] Malik J, Belongie S, Leung T, et al. Contour and texture analysis for image segmentation. In *Perceptual Organization for Artificial Vision Systems*. Kluwer, 2000
- [19] Ng A Y, Jordan M I, Weiss Y. On spectral clustering; Analysis and an algorithm//T. G. Dietterich, S. Becker, and Ghahramani, eds. *Advances in Neural Information Processing Systems*, Cambridge, MA, MIT Press, 2002, 14: 849-856
- [20] Meila M, Shi J. Learning segmentation by random walks. In *NIPS*, 2000: 873-879
- [21] Chan P K, Schlag D F, Zien J. Spectral k-way ratio-cut partitioning and clustering[J]. *IEEE Tran on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 1994, 13(9): 1088-1096
- [22] Luxburg U. A Tutorial on Spectral Clustering. Technical report. 2006
- [23] Brand M, Kun H. A Unifying Theorem for Spectral Embedding and Clustering[C]// *Proceeding of the 9th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*. Key West, Florida, 2003
- [24] Dhillon S, Guan Y, Kulis B. A unified view of kernel k-means, spectral clustering and graph cuts. University of Texas at Austin UTCS Technical Report TR-04-25. 2004
- [25] Zhang T, Ando R. Analysis of spectral kernel design based semi-supervised learning//Y. Weiss, B. Scholkopf and J. Platt, eds. *Advances in neural information processing systems 18*. Cambridge, MA; MIT Press, 2006
- [26] David S, Luxburg U, Pal D. A sober look on clustering stability //G. Lugosi and H. Simon, eds. *Proceedings of the 19th Annual Conference on Learning Theory (COLT)*. Berlin, Springer, 2006: 5-9
- [27] Bie T D, Cristianini N. Fast SD Prelaxations of graph cut clustering, transduction, and other combinatorial problems. *JMRL*, 2006(7): 1409-1436
- [28] Lang K. Fixing two weaknesses of the spectral method//Weiss Y, Scholkopf B, Platt J, eds. *Advances in Neural Information Processing Systems*, Cambridge, MA; MIT Press, 2006, 18: 715-722
- (上接第 13 页)
- [36] Doan A, Madhavan J, Domingos P, et al. Ontology matching: A machine learning approach[C]//S. Staab & R. Studer, eds. *Handbook on Ontologies in Information Systems*, Springer-Verlag, 2004: 397-416
- [37] Schnurr H-P, Angele J. Do Not Use This gear with a Switching Lever! Automotive Industry Experience with Semantic Guides [C] // 4th International Semantic Web Conference (ISWC2005). LNCS 3729, 2005: 1029-1040
- [38] 魏哲雄, 冯志勇. 基于字典技术的本体整合系统[J]. *计算机应用*, 2007, 27(2): 428-430
- [39] Noy N F, Musen M A. An Algorithm for Merging and Aligning Ontologies; Automation and Tool Support[C]// *Proceedings of the Workshop on Ontology Management at the Sixteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-99)*. Orlando, 1999
- [40] Noy N F, Musen M A. SMART: Automated Support for Ontology Merging and Alignment[C]// *Proceedings of the Twelfth Workshop on Knowledge Acquisition Modeling and Management*. Banff, Canada, 1999(7)
- [41] Horridge M, Knublauch H, et al. A practical guide to building OWL ontology using the protégé-OWL Plugin and CO-ODE tools[EB/OL]. The University of Manchester, 2004(8)
- [42] Noy N F, Klein M. Ontology evolution; Not the same as schema evolution[J]. *Knowledge and Information Systems*, 2004, 6(4): 428-440
- [43] Klein M, Noy N F. A Component-Based Framework for Ontology Evolution[C]// *Workshop on Ontologies and Distributed Systems at IJCAI-03*. Aapulco, Mexico, 2003
- [44] Dou Dejiang, McDermott D, Qi Peishen. Ontology Translation on the Semantic Web[J]// *Proceedings Int'l Conf. on Ontologies, Databases and Applications of Semantics (ODBA-SE2003)*. LNCS 2888, 2003: 952-969
- [45] AIFB. University of Karlsruhe. KAON Demo Page[EB/OL]. <http://kaon.semanticweb.org/>. (Accessed on Oct. 6, 2006)
- [46] <http://www.daml.org/language/>. (Accessed on Mar. 20, 2004)
- [47] Ding Ying. Ontology Management System[EB/OL]. http://sw-portal.deri.at/papers/deliverables/d17_v01.pdf, 2004. 8. 31. (Accessed on Dec 21, 2006)
- [48] Harrison R, Chan C W. Distributed ontology management system[C]// *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. 2005(5)
- [49] Ontoprise. OntoStudio[EB/OL]. <http://ontoworld.org/wiki/OntoStudio>. (Accessed on Dec. 16, 2006)
- [50] Euzenat J. Evaluating ontology alignment methods[C]// *Dagstuhl Seminar Proceedings. Semantic Interoperability and Integration*. 2005
- [51] Maedche A, Staab S. Discovering Conceptual Relations from Text[C]// *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2000)*. Amsterdam; IOS Press, 2000: 321-325