

# 语义 Web 及其描述语言<sup>\*</sup>

李立宇<sup>1</sup> 谭少华<sup>1</sup> 唐世渭<sup>1,2</sup> 杨冬青<sup>2</sup> 王腾蛟<sup>2</sup>

(北京大学视觉听觉与信息处理国家重点实验室 北京 100871)<sup>1</sup>

(北京大学计算机科学技术系 北京 100871)<sup>2</sup>

## The Semantic Web and it's Description Language

LI Li-Yu<sup>1</sup> TAN Shao-Hua<sup>1</sup> TANG Shi-Wei<sup>1,2</sup> YANG Dong-Qing<sup>2</sup> WANG Teng-Jiao<sup>2</sup>

(National Laboratory of Machine Perception, Peking University, Beijing 100871)<sup>1</sup>

(Department of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing 100871)<sup>2</sup>

**Abstract** The semantic Web is the direction of the Internet. This paper introduces the framework of the semantic Web and some language used to describe it, including RDF/RDFS and DAML+OIL etc. At the same time, this paper dicusses that how denote the knowledge of the semantic Web with the logistic method, and makes a simple reason.

**Keywords** Semantic Web, Ontology, RDF, REF Schema, DAML+OIL

## 1. 引言

在万维网日益普及的今天,人们充分体会到网络的巨大魅力。现在,人们可以与处于地球上遥远地方的人进行交流,浏览世界各地的信息,享受网上冲浪的乐趣。但是上过网的人都知道,现在所使用的万维网的功能并不尽如人意,如网页单调枯燥、搜索引擎智能化程度低等。但是万维网是空前而非绝后的,那么万维网的未来又是什么样的呢? Tim Berners-Lee<sup>[1]</sup>提出了新一代的万维网——“语义 Web”(the Semantic Web)。

### 1.1 什么是“语义 Web”?

所谓“语义”就是文本的含义。语义需要理解文本的意思和结构,而与显示方式无关。语义 Web 就是能够根据语义进行判断的网络。

目前在万维网中,网页仅仅是一个单调的内容显示,电脑只负责将一个网页链接到另一个网页,网络不能按照用户的要求自动搜寻和检索网页,直至找到所需要的内容。而语义 Web 则是希望计算机能“看懂”网页的内容,使计算机成为“智能”的导航工具。当然语义 Web 还并不仅仅能完成这个功能,它比这还要“聪明”得多。

简单地说,语义 Web 是一种能理解人类语言的智能网络,它不但能够理解人类的语言,而且还可以使人与电脑之间的交流变得像人与人之间交流一样轻松。

语义 Web 就好比一个巨型的大脑,它由智能化程度极高、协调能力非常强大的各个部分组成,可以解决各种难题。在语义 Web 上连接的每一部电脑,都能分享人类历史上所有科学、商业和艺术等知识。它不但能够理解词语和概念,而且还能够理解它们之间的逻辑关系。

### 1.2 语义 Web 与万维网的区别

目前我们所使用的万维网,实际上是一个存储和共享图像、文本的媒介,计算机所能看到的只是一堆文字或图像,对

其内容无法进行识别。万维网中的信息,如果能让计算机进行处理的话,就必须首先将这些信息加工成计算机可以理解的原始信息后才能进行处理,这是相当麻烦的事情。而语义 Web 的建立则将问题变得简单得多。

语义 Web 是对万维网本质的变革,它的主要开发任务是使数据更加便于计算机进行处理和查找。其最终目标是让用户变成全能的上帝,对因特网上的海量资源达到几乎无所不知的程度,计算机可以在这些资源中找到你所需要的信息,从而将万维网中一个个现存的信息孤岛,发展成一个巨大的数据库。

语义 Web 将使人类从搜索相关网页的繁重劳动中解放出来,因为网中的计算机能利用自己的智能软件,在搜索数以万计的网页时,通过“智能代理”从中筛选出相关的有用信息。而不像现在的万维网,只给你罗列出数以万计的无用搜索结果。

例如,在进行在线登记参加会议时,会议主办方在网站上列出了时间、地点,以及附近宾馆的打折信息。如果使用万维网的话,此时你必须上网查看时间表,并进行拷贝和粘贴,然后打电话或在线预订机票和宾馆等。但假如使用的是语义 Web,那么一切都变得很简单了,此时安装在你计算机上的 Agent 会自动替你完成上述步骤,你所做的仅仅是用鼠标按几个按钮而已。

总之,语义 Web 是一种更丰富多彩、更个性化的网络,你可以给予其高度信任,让它帮助你选出你所喜欢的内容,使得你能够在网络上更加随心所欲。

## 2. 语义 Web 结构

在 Tim Berners Lee 的语义 Web 蓝图中将语义 Web 分为图 1 中的七个层次, Unicode + URI, XML + NS + XMLSchema, RDF + RDFS Schema, Ontology Vocabulary, Logic, Proof 和 Trust。

<sup>\*</sup> 本文研究得到国家重点基础研究发展规划 973 项目资助(课题编号:G1999032705)和国家高技术研究发展计划(863 计划)数据库管理系统及其应用重大专项资助(课题编号:2002AA4Z3440)。李立宇 博士生,主要研究领域为数据库和信息系统;唐世渭 教授,博士生导师,主要研究领域为数据库与信息系统;杨冬青 教授,博士生导师,主要研究领域为数据库与信息系统。

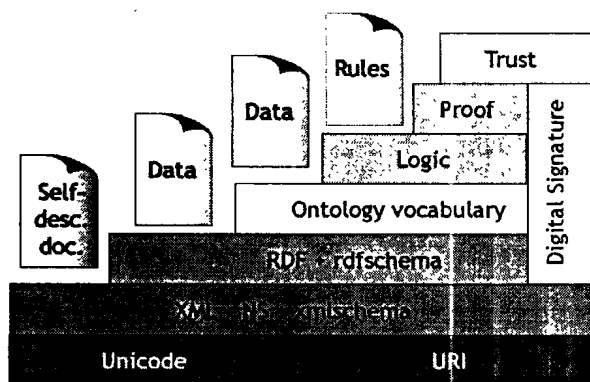


图1 语义 Web 的层次结构

## 2.1 Unicode 和 URI

Unicode 是一种 16 位字符编码标准,它对世界上多种语言进行编码,包括中文、日文、希伯来文等各种文字,也包括数学或技术上用的字符。通过 Unicode,可以确保计算机能正确识别网上各种语言编码的资源。

URI<sup>[17]</sup>是用于确定一个抽象或者物理资源的字符串。URI 是在 URL (Internet Resource Locators)[RFC1736]和 URN(Uniform Resource Names)[RFC1737]的基础上发展起来的,是 Web 的基础,通过 URI 可以确定 Web 上的任何一个资源的位置。

URI 提供了一种确定 Web 资源的手段,人们可以在 URI 中引入部分语义来帮助记忆,例如 URI, <http://logicerror.com/myWeavingTheWeb> 代表一本名为 Weaving the Web 书的介绍。但是 URI 指向的资源并不保证就包含其字面上代表的内容,计算机更加无法根据 URI 来判断资源所包含的内容。因此,URI 仅仅是一种资源的定位符号,想要依靠 URI 来寻找资源的内容那是远远不够的。

## 2.2 XML

XML(Extensible Markup Language)<sup>[12]</sup>最初是被设计为用于 Web 上的文档传输。它允许每个人都定义一套自己的文档格式,并写出带有标记的文档。尽管标记可以协助人们理解文档的内容,可是相对 HTML 而言,XML 的标记同样无法被机器所理解,因为 `<H1>dog</H1>` 中的 H1 与 `<animal>dog</animal>` 中的 animal 对计算机来说同样是一个无法识别的字符串。因此,需要在 XML 的基础上再进行定义,使 XML 中的标记能被计算机所理解。

## 2.3 RDF

RDF(Resource Description Framework)<sup>[13]</sup>定义了一种用以描述资源及其相互关系的简单模型,其基本数据模型包含三种类型的对象:资源(Resources)、属性(Properties)和陈述(Statements)。资源之间的关系通过属性和值来描述。

RDF 以 XML 和 URI 为基础,为资源的描述提供了统一的描述语言。这种描述框架简单但有效,可以应用于各种语义信息的描述。它为在语义 Web 中描述知识提供了强有力的表达工具。

## 2.4 Schema 和 Ontology

如何发布数据库中的数据到网上也是很有讲究的,并不是数据库中所有的数据都是有用的,简单地直接拷贝数据库中的内容到 Web 上,并不是一个明智的选择。

如何发布我们的数据到 Web 上,需要机器能够理解数据所代表的含义,这就需要定义一种人和计算机都理解的含义

的术语集合。Ontology 就可以帮助解决这个问题。在语义 Web 上使用的 Ontology 语言包括 RDF Schema 和 DAML+OIL<sup>[5]</sup>,以及后来出现的 OWL<sup>[9]</sup>。

RDF 通过属性和值描述了资源及资源之间的关系,但并没有提供描述这些属性及属性相互间关系的机制。RDF Schema 则提供了这种表达机制,它描述了 RDF properties 的使用规则,为 RDF 定义了领域字典,并利用 subclass 和 subproperty 定义层次结构来组织领域字典。

从面向对象的观点来看,RDF 描述的是对象(object),而 RDF Schema 描述的则是更高层次的抽象——类(class)。RDF Schema 定义了资源的种类,以及不同类别的资源所拥有的属性、不同类别资源之间的关系。这种定义为使用 RDF 描述具体的资源对象提供了语义结构上的约束。RDF Schema 可以帮助用户在知识管理中,建立知识表示的模型和框架;同时,也为用户表达语义提供了 Ontology 支持。

但是 RDFS 只是轻量级 Ontology 语言。从 1999 年开始 DARPA 就支持开发一种描述能力更强的语言,用面向对象方法和知识的框架表示方法来扩展 RDF,得到 DAML (DARPA Agent Markup Language)。尽管 DAML 不是由 W3C 开发,但是包括 Tim Berners-Lee 等 W3C 组织的成员也参与了 DAML 的开发。几乎与此同时一些欧洲的研究人员也开始着手开发一种类似于 DAML 的语言,称为 OIL<sup>[11,12]</sup>。同 DAML-ONT 一样,OIL 也有基于 RDFS 的语法和一个基于框架语言的语言构造子。OIL 的开发者非常强调形式的严谨,OIL 语言可以映射为描述逻辑 SHIQ<sup>[22]</sup>。

2001 年 3 月,两部分研究人员将 DAML-ONT 和 OIL 两种语言合并发布了 DAML+OIL。新的语言具有一个形式和语义使机器和人都能理解,并从 DAML 和 OIL 的基础上产生了新的语言组成部分。

## 2.5 Logic、Proofs 和 Trust

在上述基础上,语义 Web 已经有足够的表达能力来在广泛的范围内帮助用户实现丰富的应用,还可以利用 KIF (Knowledge Interchange Format)或 RDF Notation3 等逻辑语言来进行逻辑操作。

逻辑层是利用万维网各处的断言导出新知识的地方,更高层(具有复杂逻辑和交换证明以建立信任关系)将拥有更丰富的功能。证明层就是在逻辑层的基础上实现的。

信任层利用数字签名技术来实现。数字签名跨越了多层,通过它使一个团体在一定范围内可信任。

## 2.6 各个层次之间的关系

下面图 2 是 Tim Berners-Lee 给出的 Semantic Web 的流程。在图左边 Web 部分,给出了如何从 URI,通过 HTTP 传输数据,转变成一个用 MIME 类型表示的文档的过程。然后再将 XML 解析成一个 RDF,产生 RDF 图,或者在逻辑层生成逻辑公式。在图右边的语义部分,给出了从 URI 和 Literal 到 RDF 的一个 Statement,再到一个语义 Web 的推理和逻辑部分的过程。

# 3 构建语义 Web 的重要语言

## 3.1 RDF 和 RDFS

RDF(Resource Description Framework)即资源定义框架。它以 XML 语法为基础,描述了网络资源,以及资源之间关系的模型与语法格式。采用 RDF 格式定义的信息,是机器和人均可理解的,这样就可以支持网络资源的自动处理,也能够在此之上实现网上的互操作。

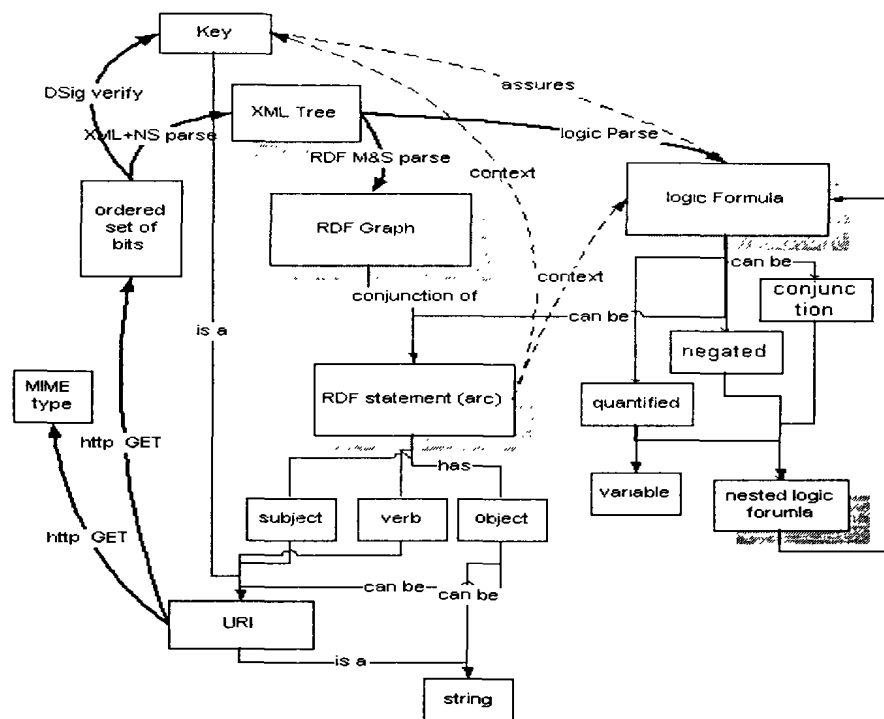


图2 Semantic Web 的流程图

RDF 具有通用性,所以它并不限于某个领域的网络资源定义。而它所描述的网络资源也可以是任意格式的,既可以是 XML 格式的,也可以不是。总之,RDF 是 W3C 提出的一种知识表示模型,它希望支持网络上的信息共享与信息交换。

目前 RDF 的规范主要有两个:

- RDF 模型和语法: RDF 模型和语法规则提出抽象世界,可以由资源(Resource),属性(Property),声明(Statement)构成数据模型。通过属性及其相应的值,这个数据模型可以描述资源之间的内在关系。这一点上与 ER 图类似。

RDF 模型和语法规则也提出描述这个数据模型的基本语法,主要包括下面几个部分内容。

- 规定了描述资源,属性,声明语法的巴科斯范式(BNF),以及 RDF 的缩写格式。

- 三种容器(Container), Bag, Queue, Alternative 表示资源的集合。

- 为了实现声明(statement)的自定义,提出了 reification 的方法,提供了四个属性(subject, predicate, object, type)来描述之。

- RDF Schema: 提出了抽象世界中主要关系——由此建立了类型系统,从而支持了从客观世界到抽象世界的映射,也为知识共享打下基础。属性就是资源之间的关系。其中内容包括:

- 提出了类(class)的概念;
- 不但描述存在哪些主要属性,也可以描述属性可以从属于哪些类;
- 提出了利用子类(subclass)和子属性(subproperty)来按层次组织的方法;
- 提出了限定(constrain)的概念。

**RDF 与 XML 的区别** RDF 是一种元数据模型,而 XML 只是一种语法格式(syntax)。RDF 数据模型可以用 XML 表示,同时 RDF 数据模型也可以用其他语法格式描述。RDF Schema 则是基于 XML 对 RDF 的一种实现。

数据模型分成通用(general)模型和专用(application-specific)模型。目前有很多通用模型,包括 XML Information Set(定义了 XML 数据模型)、RDF 数据模型,这两种数据模型是平级的。在这里数据模型是一种抽象的概念,而语言是对这个抽象概念的形象描述。

RDF 的数据模型 包含以下三种对象类型:

- 资源(Resource): 所有可以被 RDF expression 表示的东西是资源,例如网页,网站,书。一般都用 URI 标识资源。

资源由资源 ID(resource identifier)唯一标识,资源 ID 由 URI 加上一个特定的锚(anchor)组成。

- 属性(Property): 用于描述资源,每一个属性都有特定的含义,并定义其可以描述的资源类型(定义域)、允许的值(值域)以及它与其他属性的关系。在 RDF 中,资源之间的关系是通过 Property 描述的。

- 声明(Statements): 一个特定的资源加上属性和属性的值称为一个 RDF 的声明(Statement)。声明由三部分构成:(相当于汉语的主谓宾)

- 主体(subject), 一个特定的资源。用椭圆标记。

- 谓词(predicate), 一个命名的属性。用箭头标记。

对象(object), 在该资源中该属性的取值。用矩形标记,可以是另外一个资源或者是一个文字(Literal)。

**RDF Schema** RDF 定义了一个简单模型来描述资源之间的关系,类似于实体关系模型。RDF 属性可以认为是资源的属性,在这个意义上可以认为是对应着传统的属性-值对。尽管如此,RDF 模型本身并不提供机制来描述它的属性,也不提供任何机制来描述属性之间的关系。RDF 词汇描述语言 RDFS 就定义了一套类和属性来用于描述其他的类和属性。资源描述需要能够描述对象是哪种资源。例如为了描述书籍目录资源,就需要包括 author, title, subject 等公共的属性。RDF Schema 就提供了描述这样一些属性及其相应语义的手段。在 Schema 中不仅定义资源的属性(例如 title, author, subject, size, color 等),还要定义资源的类型(例如 books,

Web pages, people, companies 等)。在 RDF Schema 规范中只是提供了一个描述这样一些类和属性的机制,因此可以说 RDFS 就是一个词汇描述语言。

图 3 是一个用 RDF Schema 词汇表来描述 class 和 properties 的一个经典实例。

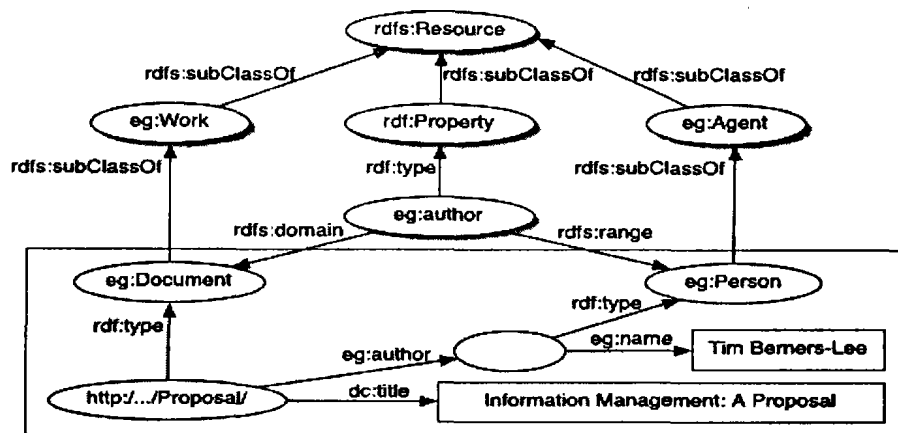


图 3

在图 3 中给出了用 RDFS 描述现实世界的途径,有类 `eg:Person` 和 `eg:Document`,还有属性 `eg:author`。在本例中,用 RDFS 的属性 `eg:author` 将 `eg:Document` 和 `eg:Person` 关联起来。在这里所有的 `eg:Document` 都是 `eg:Work` 的子类, `eg:Person` 都是 `eg:Agent` 的子类。

所有 RDF 词汇表共享一些基本的公共结构:它们描述资源的 class 和资源间关系的类型。RDFS 规范定义了一个 RDF 资源集合,这些资源能够用来描述其他 RDF 资源(包括属性),核心的 RDF 词汇用名字空间 'rdfs' 作为前缀,用 URI `http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#` 标识。

RDFS 的类和属性系统有点类似于面向对象方法中的定义,但是 RDF 与面向对象方法中的根据实例(instance)来定义属性不同,RDF 是根据需要应用的资源的类来定义属性。在 RDF 中的属性有 `rdfs:domain` 和 `rdfs:range`。例如我们定义 `eg:author` property 具有 `eg:Document` 这个 domain 和 `eg:Person` 这个 range。而在传统的 OO 系统中,是按照类为中心来进行定义的,例如上面例子中定义的是一个类 `eg:Book` 具有一个 `eg:Person` 类型的属性 `eg:author`。而在 RDF 中,是以属性为中心的,任何人都很容易为上面例子中的 domain Document 和 range Person 定义新的 property,而不需要重写定义它们的类描述。一个 RDF 潜在的优点就是任何人都很容易地对存在的资源作出任何评论,这就是语义 Web 的基本原则。

### 3.2 DAML+OIL

如果元数据标注是资源能够被 agent 更容易地访问,那么被这些 agent 所理解就变得非常关键。Ontology 提供了一个用于这些元数据的共享的准确的术语定义,并在其中扮演重要的角色。一个 Ontology 通常包括领域中重要概念层次结构的描述和每个概念属性的描述,由概念(Concepts),性质(Properties),公理(Axiom),取值(Values/Ranges)和名义(Nominals)组成。由本体和实例共同组成知识库。下面是 Ontology 的一些应用领域:

- 在电子商务网站<sup>[25]</sup>,Ontology 能够使买卖双方的基于机器的交流变得便利,并允许这个描述在不同的市场重用。
- 在搜索引擎<sup>[26]</sup>,Ontology 能够帮助关键词之外的搜索,使之能够找到句法不同语法相似的词或短语。

• 4 •

- 在 Web Service<sup>[28]</sup>,Ontology 能够支持语义丰富的服务描述,能够很容易地由智能 agent 解释。

DAML+OIL 对 RDFS 的改进

DAML+OIL 是以 RDFS 为基础开发的,并在下面几个方面扩展了 RDFS 的功能:

- 类的定义  
增加了类之间的关系操作,布尔联合等。
- 属性的定义  
包括基本和特定类型的定义,还可以增加更多的限制。
- 限定(Restriction)  
增加了基本的构造子(如 `daml:Restriction`, `daml:onProperty`),值和类型的限定,个数限定,联合等操作。
- 个体  
DAML+OIL 增加了个体定义。
- 数据类型  
DAML+OIL 支持 XML Schema 定义的数据类型。

## 4 语义 Web 的逻辑特性

### 4.1 DAML+OIL 与一阶逻辑

我们可以利用一个 FOL(First Order Logic)公理集合将 DAML+OIL 的 statement 转换成 FOL 的句子。将 DAML+OIL 映射到 FOL 后可以使用户能够更精确地理解 DAML+OIL 的内涵,还可以利用 FOL 已有的理论进行推理工作。尽管现在已经可以将 DAML+OIL 的描述转换成 FOL 形式,但是由于 DAML+OIL 的设计者们仍然在不停地增加新的特征,因此这个映射也需要随着 DAML+OIL 语言的发展而变化。

将 DAML+OIL 描述转换 FOL 我们通过将 RDF 的声明转换成一阶关系语句的方法来将 DAML+OIL 映射到 FOL。由于 DAML+OIL 是建立在 RDF 之上的,所有的 DAML+OIL 的声明都是 RDF 的声明,因此一个从 RDF 到 FOL 的映射同样能够用来映射 DAML+OIL 的声明。

从 DAML+OIL 转换到 FOL 的步骤:

- (1)将 DAML+OIL 知识库从它的紧凑语法表示转换到一个 RDF statement 集合。
- (2)转换每个 RDF statement 的 property P、subject S 和

object O 到 FOL 的 (PropertyValue P S O)。这里的 PropertyValue 表示一个三元关系。

(3)为 RDF, RDF Schema 和 DAML+OIL 的 property, class 和 constant 增加相应的公理(Axiom)。

DAML+OIL 的紧凑语法是不同于 (property, subject, object) 三元组形式。因此第一步工作就是将这样的紧凑语法转换成 RDF 的 statement。在这个步骤中只需要将 RDF statement 中的每个元素用 URI 或 literal 标记, 或者由转换器为其生成一个唯一的 label。

在第二步中, 将 DAML+OIL 的声明 (property P of resource R has value V) 用 KIF<sup>[20]</sup> (PropertyValue P R V) 来表示。因为 type 属性是 RDF 的核心, 可以在 KIF 中另外定义一个二元关系 Type 来支持这个转换。

( $\langle = \rangle$ ) (Type ? r ? v) (PropertyValue type ? r ? v))

它的含义是 RDF 声明 “property P of resource R has value V” 等价于 “Property ‘type’ of resource R has value V”。在 KIF 中 ( $\langle = \rangle$ ) 的含义是 “当且仅当”。

第三步中为 RDFS 和 DAML+OIL 中的 class 和 property 词汇增加相应的公理描述, 参见文[21]。

将 DAML+OIL 转换成 FOL 后, 就是可以利用 FOL 成熟的推理机制来进行逻辑推理, 由此语义 Web 就具备了逻辑推理能力。

**结束语** Tim Berners-Lee 在 2001 年描绘出了一幅语义 Web 的蓝图。在未来的语义 Web 中, 人们可以利用 Agent 来完成目标信息的自动查找, 计划的安排, 与其他 Agent 进行交流等工作。

语义 Web 中使用的 Ontology 语言也在不断地补充和发展。继 DAML+OIL 语言之后, 2002 年, W3C 公布了 Web Ontology Language (OWL) 工作草案, 该草案提出了 OWL 语言, 目前该草案仍然处于讨论和修改之中, 相信不久就会成为 W3C 新的标准。

## 参考文献

- 1 Berners-Lee Tim, Fischetti M. Weaveing the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by its Inventor. San Francisco: Harper. 1999
- 2 Bray T, Paoli J, Sperberg C. Extensible Markup Language (XML) 1.0. W3C Recommendation. Available at: <http://www.w3.org/TR/REC-xml>. 1998

- 3 Brickley D, Guha R V. Resource Description Framework (RDF) Schema Specification. W3C Candidate Recommendation. Available at: <http://www.w3.org/TR/PR-rdf-schema>. 2000
- 4 Horrocks I, Fensel D, Harmelen F, Decker S, Erdmann M, Klein M. OIL in a Nutshell. In: 12<sup>th</sup> Intl. Conf. in Knowledge Engineering and Knowledge Management, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1-16. Berlin, Germany. Springer-Verlag. Available at: <http://www.cs.vu.nl/~ontoknow/oil/down/oilnutshell.pdf>. 2000
- 5 Horrocks I, van Harmelen F. Reference description of the DAML+OIL ontology markup language. Draft report, 20001. Available at: <http://www.daml.org/2000/12/reference.html>. 2001
- 6 Kent R. Conceptual Knowledge Markup Language (Version 0.2). <http://sern.ucalgary.ca/KSI/KAW/KAW99/papers/Kent/CKML.pdf>. 1998
- 7 Luk S, Heflin J. SHOE 1.01. Proposed Specification. SHOE Project. Available at: <http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/spec1.01.htm>. 2000
- 8 SHOE. <http://www.cs.umd.edu/projects/plus/SHOE/KnowledgeAnnotator.html>. 2002
- 9 Web Ontology Language (OWL) Reference Version 1.0. W3C Working Draft 12 November 2002. Available at: <http://www.w3.org/TR/2002/WD-owl-ref-20021112/>. 2002
- 10 Connolly D, van Harmelen F, Horrocks I, et al. DAML+OIL (March 2001) Reference Description. W3C Note 18 December 2001. Available at: <http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference>. 2002
- 11 Fensel D. The Semantic Web and its languages [J]. IEEE Intelligent Systems, 2000(11/12): 67~73
- 12 Berners-Lee T, Connolly D, Swick R. Web Architecture: Description and Exchanging Data. Available at: <http://www.w3.org/1999/04/WebData.html>. s
- 13 Berners-Lee T. Semantic Web-xml2000-Slide “Architecture”. Available at: <http://www.w3.org/2000/?Talks-xml2k-tbl/Overview.html>
- 14 Decker S, Mitra P, Melnik S. Framework for the Semantic Web: A RDF Tutorial [J]. IEEE Internet Computing, 2000(11/12): 68~73
- 15 Bechhofer S, et al. An informal description of stanford OIL and instance OIL. Available at: <http://www.ontoknowledge3.org/oil/>
- 16 Hendler J. Agents and the Semantic Web [J]. IEEE Intelligent System, 2001(3/4)
- 17 Berners-Lee T, Fielding R, Masinter L. Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax. RFC 2396, Aug. 1998
- 18 Berners-Lee T. Web Architecture from 50,000 feet. Available at: <http://www.w3.org/DesignIssues/Architecture.html>
- 19 Berners-Lee T. Semantic Web Road map. Available at: <http://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>
- 20 Knowledge Interchange Format (KIF) Available at: <http://logic.stanford.edu/kif/kif.html>
- 21 McGuinness D L, Fikes R, Hendler J, et al. DAML+OIL: An ontology language for the semantic web. In: Proc. of the 18th Nat. Conf. on Artificial Intelligence (AAAI 2002), 2002

(上接第 128 页)

## 参考文献

- 1 Lassila O, Swick R R. Resource description framework (RDF) Model and syntax specification. Recommendation, W3C, February 1999. <http://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222>
- 2 W3C. RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema. W3C Candidate Recommendations are available at <http://www.w3.org/TR>, 30 April 2002. Edited by Dan Brickley and R. V. Guha
- 3 Horrocks I, Fensel D, Goble C, et al. The ontology inference layer oil: [Technical report]. Free University of Amsterdam, 2000. <http://www.ontoknowledge.org/oil/>
- 4 Decker S, Fensel D, van Harmelen F, et al. Knowledge representation on the web. In: Proc. of the 2000 Intl. Workshop on Description Logics (DL2000), Aachen, Germany, 2000
- 5 Horrocks I, Sattler U. Ontology reasoning in the SHOQ (D) description logic. In: B. Nebel, ed. Proc. of the Seventeenth Intl.

Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI-01), Morgan Kaufmann, Los Altos, 2001. 199~204

- 6 Horrocks I. A denotational semantics for Standard OIL and Instance OIL, 2000. <http://www.ontoknowledge.org/oil/down/semantics.pdf>
- 7 Horrocks I, Sattler U, Tobies S. Reasoning with individuals for the description logic shiq. In: Proc. of CADE-17, number 1831 in LNCS, Springer-Verlag, 2000. 482~496
- 8 Franklin S, Graesser A. Is it an Agent, or just a Program: A Taxonomy for Autonomous Agents. In: Proc. of the Third Intl. Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages (ATAL-96), Budapest, Hungary, 1996. 193~206
- 9 Stojanovic L, Stojanovic N, Handschuh S. Evolution of the Metadata in the Ontology-based Knowledge Management Systems. In: Mirjam Minor, Steffen Staab, eds. Proc. 1<sup>st</sup> German Workshop on Experience Management, March, 2002
- 10 Doran J E, Franklin S, Jennings N R, Norman T J. On cooperation in multi-agent systems. The Knowledge Engineering Review, 1997, 12(3). Available at: <http://www.elec.qmw.ac.uk/dai/pubs/fomas.html>