

SWRL 推理规则在平面几何证明中的应用

王海林

(山西财经大学 信息管理学院, 山西 太原 030006)

摘 要: OWL 由于其具有较强的知识表示能力目前已成为语义 Web 知识建模的主要语言, 尽管如此, 它在知识推理方面存在着许多不足。语义网规则语言(SWRL)是为了弥补 OWL 的不足发展起来的, 它是以 OWL 的子语言 OWL DL 以及其它规则标记语言为基础的规则描述语言, 将 SWRL 推理规则引入 OWL DL 可以大大改善 OWL DL 的推理能力。运用 SWRL 推理规则和 Jess 推理机对平面几何证明题进行了推理和证明, 结果验证了 SWRL 推理规则的有效性和正确性, 在实践中同时也发现了 SWRL 存在的一些问题, 有待今后进一步研究。

关键词: OWL DL; SWRL; 平面几何; Jess; 推理规则

中图分类号: TP181

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)09-0218-04

An Application of SWRL Rules in Proof of Plane Geometry

WANG Hai-lin

(College of Information Management, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030006, China)

Abstract: OWL has now become a major modeling - building language of semantic Web because of its strong ability of knowledge representation. Nevertheless, there are a lot of inadequate in its reasoning. Semantic Web Rule Language (SWRL) is developed to compensate for the lack of OWL. It is a rule description language based on OWL DL, an OWL sublanguage, and other rule markup languages. Applying SWRL rules to OWL DL can improve the reasoning ability of OWL DL dramatically. Introduces an application of SWRL rules and Jess reasoner in the proof in plane geometry. It solves a given proving problem of plane geometry by using the reasoner. The result verifies the validity of SWRL rules. At the same time, also found some problems of SWRL in practice, pending further research in the future.

Key words: OWL DL; SWRL; plane geometry; Jess; reasoning rule

0 引 言

知识的表示和知识的推理是人工智能最具活力的研究领域^[1]。知识表示主要研究用什么样的方法将解决问题所需的知识存储在计算机中,并便于计算机处理。知识表示的适当与否直接关系到一个知识库系统的成败^[2]。近年来在知识工程领域中出现的本体建模技术及本体语言 OWL 因其丰富的语义表达能力而被越来越多的业内人士所看好,已成为目前比较好的知识表示工具,从而也解决了知识库系统的知识表示问题。但本体建模技术及本体语言 OWL 在知识推理方面的能力很有限,不能很好地解决知识库系统的智能化推理问题,主要表现是推理效果差、知识的可利用价值低、知识库维护难等。因此,知识推理已成为目前阻碍知识库系统推广应用的主要瓶颈,亟待解决。

文中介绍的基于 SWRL 推理规则的推理方法可以弥补本体建模技术及本体语言 OWL 的不足^[3],并以平面几何知识推理为例详细说明 SWRL 推理规则的构建和推理过程,为知识库系统建立高智能、可共享与复用的推理规则库提供了参考。文中选择平面几何(即欧氏几何)作为本体推理的领域,一是因为它很少被有关本体推理的论文所谈及,二是因为它与现代逻辑学联系密切(现代逻辑学追随数学——公理化^[4]),三是因为它是一个严密而完备的公理系统(德国数学家 D. 希尔伯特于 1899 年发表了著名的著作《几何基础》,书中成功地建立了欧几里得几何的完整的公理体系),几何本体和推理规则比较容易构建,同时也容易验证推理规则的有效性和完整性。

1 OWL DL 简介

OWL(Web Ontology Language)是一种基于 Web 的本体语言,目前已成为 W3C(万维网联盟)标准。它包括了三种表达能力递增的子语言,即 OWL Lite、OWL DL(Description Logic,描述逻辑)和 OWL Full。

收稿日期:2010-01-09;修回日期:2010-04-03

基金项目:山西省筹资金资助项目(晋留管办发(2009)4号)

作者简介:王海林(1962-),男,山西大同人,副教授,硕士,研究方向为知识推理、领域本体建模、语义网、XML 数据库。

OWL Lite 常用于提供给那些只需要一个分类层次和简单约束的用户。因为 OWL Lite 表达能力较弱,为其开发支持工具要比其他两个子语言容易一些。OWL DL 建立在描述逻辑(一阶逻辑的子集)基础上,可支持那些需要较强表达能力和推理能力的用户,它具有保证计算的完全性(computational completeness,即所有的结论都能够保证被计算出来)和可判定性(decidability,即所有的计算都在有限的时间内完成)^[5],从而保证了语义网上的推理不仅可以进行,而且能保证一定的效率。OWL Full 包含 OWL 的全部语言成分并取消了 OWL DL 中的限制,它将 RDFS 扩展为一个完备的本体语言,支持那些不需要可计算性保证但需要最强表达能力和完全自由的 RDFS 用户。由于 OWL Full 取消了基数限制中对可传递性质的约束,因此不能保证可判定推理^[5]。考虑到推理的可判定性,文中选取 OWL DL 作为平面几何本体建模子语言。

SHION(D)是 OWL DL 所对应的描述逻辑^[6],它包括原子性概念(atomic concept,)、一般性概念(general concept)和角色(role)^[7],例如:

原子性概念: C, C_1, C_2

一般性概念: $\neg C, C_1 \sqcap C_2, C_1 \sqcup C_2$

角色: $\exists R.C, \forall R.C, R:o$

SHION(D)还包括: TBox 公理(axiom)、RBox 公理和 ABox 公理,例如:

TBox 公理: $D \sqsubseteq E_2, C_1 \equiv C_2, D_1 \sqcap D_2 = \perp$, 其中 D, E_2, C_1, C_2, D_1 和 D_2 均为一般性概念;

RBox 公理: $R_1 \equiv R_2, R_1 \sqsubseteq R_2, \geq 1R \sqsubseteq R_2, T \sqsubseteq \forall R.C_2, U_1 \sqsubseteq U_2, U_1 \equiv U_2$, 其中 R, R_1, R_2 为对象属性(object property), U_1, U_2 为数据类型属性(datatype property);

ABox 公理: $o \in C_2, \{o, o_1\} \in R_1, o_1 = o_2, o_1 \neq o_2$, 其中 o, o_1, o_2 均为个体(individual)。遗憾的是在 OWL DL 公理中不能描述如下形式的公理:

$\text{isOlder}(?x, ?y) \sqcap \text{isOlder}(?y, ?z) \rightarrow \text{isOlder}(?x, ?z)$,

公理的含义为:如果 x 比 y 年龄大、 y 比 z 年龄大,则 x 比 z 年龄大。因此,OWL DL 的推理能力受到了很大的制约,需要引入 SWRL 来弥补这一不足。

2 平面几何本体元模型的构建

在构建几何本体之前,首先要构建几何本体元模型(也称为元本体,即本体的本体^[8])。本体元模型可以说是更高层次的本体,是领域内概念的抽象。平面几何本体元模型可形式化为一个三元组:

(Concept, Hierarchy, Relation)

其中各个部分的含义如下:

Concept 是一个概念的集合;

Hierarchy 是一个概念的层次关系集合,即概念的父子关系^[9];

Relation 是一个概念的非层次关系的集合;

Concept 中的每个概念就是一个几何对象类(class),如 $\text{Concept} = \{\text{点}, \text{线段}, \text{角}, \text{弧}, \text{圆}, \text{三角形}, \text{四边形} \dots\}$, 一个几何对象类模型可形式化为:

(Attribute, Fact, Rule)

其中 Attribute 是一个对象属性的集合, Facts 是一个对象事实的集合,用以描述对象的特点、性质以及属性之间的逻辑关系, Rule 是一个基于对象事实的推理规则的集合。例如,平面几何中的一个圆用上述对象类模型可描述为:

Attribute = $\{\pi, O, r, D, C, L, S, \dots\}$, 其中 O, r, C, L, S 分别表示圆周率、圆心、半径、直径、周长、弧长和面积;

Fact = $\{\pi = 3.1415926, D = 2r, C = 2\pi r, L = r\theta, S = \pi r^2, \pi = 180^\circ, \dots\}$;

Rule = $\{\{\pi = 3.1415926\} \leftrightarrow \{\pi = 180^\circ\}, \{r_1 = r_2\} \leftrightarrow \{S_1 = S_2\}, \{L = C\} \leftrightarrow \{\theta = 2\pi\}, \dots\}$ 。

本体元模型中的 Hierarchy 是一个几何对象类的层次关系集合,为了直观起见,这种层次关系集合可用图来表示,图 4 为四边形的层次关系图。

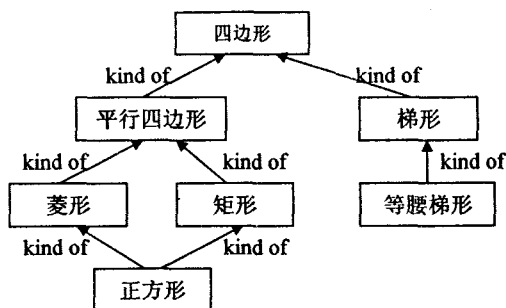


图 1 四边形的层次关系图

Relation 是一个概念的非层次关系的集合,如点与线段之间的“属于”关系、线段与线段之间的“平行”关系和“垂直”关系、三角形之间的“相似”关系和“全等”关系、圆与三角形的“内切”关系和“外接”关系等。

3 SWRL 推理规则的表达

语义 Web 规则语言(SWRL, Semantic Web Rule Language)是一种基于语义网的表示规则的语言,由于它具有很强的表达能力,所以它的使用越来越广泛。SWRL 作为 W3C 的一个建议,是以 OWL 子语言 OWL DL 与 OWL Lite 以及 Unary/Binay Datalog RuleML 为基础的规则描述语言^[10],其目的是为了驱使 Horn like 规则可与 OWL 知识库相结合,从而弥补了 OWL 在规

则描述以及推理方面的不足。

3.1 抽象的语法表示

SWRL 在编写规则的时候,一个规则是由推理前提 antecedent(body) 和推理结论 consequent(head) 构成的,每个前提和结论都是由多个元素(Atom)组成的,规则也可以指定 URI,用于定义规则资源的位置^[11]:

```
rule ::= 'Implies(' [URIreference] { annotation }
antecedent consequent ')
```

```
antecedent ::= 'Antecedent(' { atom } ')
```

```
consequent ::= 'Consequent(' { atom } ')
```

一条规则如果其前提满足(为逻辑真),那么结论也必然为真。一个规则含空的前提其结论常被认为是真实的,而一个规则含空的结论则被认为是假的。因此当规则中没有前提的时候常被用来表示适用于任何条件的真理,但这样的情况一般可以直接通过 OWL 本体进行定义,而不使用 SWRL 规则。SWRL 规则的前提和结论只有在所涉及的元素成立时才能成立。根据上述情况,SWRL 规则中的结论将可以被分解成为多个子规则进行判断。

```
atom ::= description('i-object ')
```

```
| dataRange('d-object ')
```

```
| individualvaluedPropertyID('i-object i-object
'),
```

```
| datavaluedPropertyID('i-object d-object ')
```

```
| sameAs('i-object i-object ')
```

```
| differentFrom('i-object i-object ')
```

```
| builtIn('builtinID { d-object } ')
```

```
builtinID ::= URIreference
```

规则中的元素可以表示为 $C(x)$ 、 $P(x, y)$ 、 $\text{SameAs}(x, y)$ 、 $\text{DifferentFrom}(x, y)$ 和 $\text{BuiltIn}(r, x, \dots)$, 其中 C 可以是一个 OWL 描述或者数值范围, P 为 OWL 属性, r 则是 Built-In 关系, x 和 y 可以是变量、OWL 个体和 OWL 数据值。在 OWL Lite 中,所谓的 OWL 描述则通常指的是类的名称。一般来讲,如果 x 是类的实例或是 C 的数值范围,则 $C(x)$ 成立;如果 x 通过属性 P 与 y 发生联系,则 $P(x, y)$ 成立;若 x 被描述为与 y 是同一个对象,则 $\text{SameAs}(x, y)$ 成立;若 x 被描述为与 y 不是同一对象,则 $\text{DifferentFrom}(x, y)$ 成立;如果 Built-In 关系 r 在其参数解释中成立,则 $\text{Built-In}(r, x, \dots)$ 成立。

```
i-object ::= i-variable | individualID
```

```
d-object ::= d-variable | dataLiteral
```

规则中的元素一般分为个体、数据、个体变量和数据变量。变量作为指定范围内的全称量词,用来表示通用的个体。通常只有变量在前提中成立则结论才能

成立,这种情况被称为安全模式(safety)。

```
i-variable ::= 'I-variable(' URIreference ')
```

```
d-variable ::= 'D-variable(' URIreference ')
```

3.2 易读的语法表示

SWRL 抽象的语法表示是为了兼容 OWL,但不易于人们的阅读和使用,下面给出 SWRL 规则的简约形式:即

Antecedent \rightarrow consequent

前提和结论均可表示为 $a_1 \wedge \dots \wedge a_n$ 的形式,其中 $a_1 \dots a_n$ 为元素,变量的前缀为问号?,例如? x 。用这种语法可将一个规则表示为如下的形式:

```
father(?x, ?y)  $\wedge$  brother(?y, ?z)  $\rightarrow$  uncle(?x, ?z)
```

该规则的含义为: x 的父亲是 y , y 和 z 是兄弟,则 z 是 x 的叔叔,其中 x 、 y 和 z 均为 person 个体,这些个体以及个体之间的关系都可以事先在 OWL 本体中创建好,然后由 SWRL 通过对本体中已定义好的个体以及它们之间的关系推理出结果来。尽管 SWRL 的推理都是基于个体的,但为了在本体中创建个体,必须先创建个体所属的类,为了建立个体之间的关系,必须先创建属性。由 SWRL 推理出的个体之间的新的关系(如 x 和 z 的 uncle 关系)将会自动地被加入到本体中,以丰富和完善本体中的语义。

4 基于 OWL DL 的平面几何本体和 SWRL 推理规则的构建

下面以一个简单的平面几何证明题为例说明几何本体及 SWRL 推理规则的构建过程。

示例:已知一平行四边形 ABCD 如图 2 所示,在对角线 AC 上有两点 E、F,使得 $AE = CF$ 成立,证明 $\triangle ADE \cong \triangle BCF$ 。

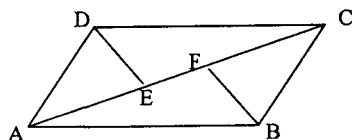


图 2 平面几何证明题示例

构建一个平面几何本体首先要确定本体涉及的概念及其它它们之间的关系, OWL DL 用类表示概念,类之间的层次关系用类公理^[12] subClassOf 表示,类的非层次关系(准确地说说是类的个体之间的关系)用对象属性(ObjectProperty)来表示,为方便叙述,文中只给出几何本体中涉及上述示例部分的内容,具体构建步骤:

* 首先建立一个对应于本体元模型的抽象类 PlaneGeometry,该抽象类作为 OWL: Thing 的子类和所有其它类的超类,在该类下面建立表示常用几何概念的子类层次结构,上述示例涉及子类包括:点

Point、线段 LineSegment、角 Angle、三角形 Triangle 和平行四边形 Parallelogram。

* 建立属性。如角相等 angleEqual、线段相等 lineSegmentEqual、三角形相似 triangleResemble 和全等 triangleEqual;定义三角形类的三个角(angle)和三个边(edge);定义平行四边形的对顶角(oppositeAngle)、内错角(alternateAngle)、和平行对边(parallelEdge)。

* 建立各类的个体。如线段的个体有 AB、BC、CD、...,三角形的个体有 ABC、BCD、ABF、...

* 编写 SWRL 推理规则。部分规则说明如下:

Parallelogram(? x) \wedge alternateAnglePair1(? x, ? y)
 \wedge alternateAnglePair1(? x, ? z)

\rightarrow angleEqual(? y, ? z), 四边形的内错角相等;

Parallelogram(? x) \wedge oppositeAnglePair1(? x, ? y) \wedge
oppositeAnglePair1(? x, ? z)

\rightarrow angleEqual(? y, ? z), 平行四边形的对顶角相等;

Parallelogram(? x) \wedge parallelEdgePair1(? x, ? y) \wedge
parallelEdgePair1(? x, ? z)

\rightarrow lineSegmentEqual(? y, ? z), 平行四边形的对边相等;

Triangle(? x) \wedge Triangle(? y) \wedge angle(? x, ? a1) \wedge
angle(? x, ? a2) \wedge angle(? x, ? a3) \wedge differentFrom(?
a1, ? a2) \wedge differentFrom(? a1, ? a3) \wedge differentFrom(?
a2, ? a3) \wedge angle(? y, ? b1) \wedge angle(? y, ? b2) \wedge angle(?
y, ? b3) \wedge differentFrom(? b1, ? b2) \wedge differentFrom(?
b1, ? b3) \wedge differentFrom(? b2, ? b3) \wedge angleEqual(? a1, ?
b1) \wedge angleEqual(? a2, ? b2)

\rightarrow angleEqual(? a3, ? a3), 若两个三角形的两个角对应相等,则第三个角也对应相等;

Triangle(? x) \wedge Triangle(? y) \wedge angle(? x, ? a1) \wedge
angle(? x, ? a2) \wedge differentFrom(? a1, ? a2) \wedge angle(? y, ?
b1) \wedge angle(? y, ? b2) \wedge differentFrom(? b1, ? b2) \wedge an-
gleEqual(? a1, ? b1) \wedge angleEqual(? a2, ? b2)

\rightarrow triangleResemble(? x, ? y), 若两个三角形的两个角对应相等,则这两个三角形相似;

Triangle(? x) \wedge Triangle(? y) \wedge edge(? x, ? a1) \wedge
edge(? x, ? b1) \wedge differentFrom(? a1, ? b1) \wedge angle(? x, ?
ab1) \wedge edgeAngle(? ab1, ? c1) \wedge differentFrom(? a1, ? c1)
 \wedge differentFrom(? b1, ? c1) \wedge edge(? y, ? a2) \wedge edge(?
y, ? b2) \wedge differentFrom(? a2, ? b2) \wedge angle(? y, ? ab2) \wedge
edgeAngle(? ab2, ? c2) \wedge differentFrom(? a2, ? c2) \wedge dif-
ferentFrom(? b2, ? c2) \wedge lineSegmentEqual(? a1, ? a2) \wedge
lineSegmentEqual(? b1, ? b2) \wedge angleEqual(? ab1, ? ab2)

\rightarrow trianlgeEqual(? x, ? y), 若两个三角形的两条边

及其夹角对应相等,则这两个三角形全等。

Triangle(? x) \wedge Triangle(? y) \wedge triangleResemble(?
x, ? y) \wedge edge(? x, ? a1) \wedge edge(? y, ? a2) \wedge lineSeg-
mentEqual(? a1, ? a2)

\rightarrow trianlgeEqual(? x, ? y), 若两个三角形相似且有一条边对应相等,则这两个三角形全等。

5 平面几何证明中推理的实现

推理规则建好后可以进行几何本体的推理和查询了,不过目前还没有专门用于 SWRL 的推理引擎,因此需要借助其它推理工具进行推理,文中使用的是 JESS 推理引擎进行语义推理。Jess(Java Expert System Shell^[13])是一个用 Java 实现的经过扩充的 CLIPS 版本,是一个通过规则和描述语言进行推理的规则推理引擎。Jess 的优点在于它的小巧、轻便,并能与所有的 Java API 兼容,常被用于具有知识组织和推理的系统中。

文中将本体中的个体和 SWRL 规则通过 Protégé SwrlJessTab 转换为 Jess 的个体和规则后,然后用 Jess 推理机进行推理,最后再将结果转换为 OWL 的格式。

6 结束语

OWL DL 是目前知识工程中比较活跃的技术,将 SWRL 推理规则引入 OWL DL 可以大大改善 OWL DL 的推理能力。文中运用 SWRL 推理规则和 Jess 推理工具对平面几何证明题进行了推理和证明,结果验证了 SWRL 推理规则的有效性和正确性。与此同时也发现了 SWRL 的一些局限性和不足之处,如遇到诸如“在线段 AB、CD 和 EF 长度不确定的情况下,已知 AB 是 CD 的一半长、是 EF 的三分之一长,证明 AB 加 CD 等于 EF。”的问题就显得十分棘手,因为无法用 SWRL 写出此问题的推理规则,当然也不能通过对本体的描述解决该问题,因为本体就不能表示值不确定的变量,看来 SWRL 语言还有很大的提高和完善的空间。目前 SWRL 语言还处于规范制定阶段(还没有正式的版本推出),但关于 SWRL 语言的研究却一刻也没有停息过,而且逐渐成为知识工程中的一个研究热点,有理由相信,尽早涉足该领域一定会有较好的收获。

参考文献:

- [1] Brachman R J, Levesque H J. Knowledge Representation and Reasoning[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.

获取的数据实时推送至响应业务模块中,减少浏览器冗余请求,降低服务器压力,提高系统运行效率。

Spring 框架是在 J2EE 的基础上实现的一个轻量级 J2EE 框架^[12]。本系统用它来为程序提供 Bean 的配置、AOP 的支持、抽象事务支持,组织系统中的业务服务层、数据访问层对象,实现组件对象创建与使用之间的松耦合。

4.4 系统接口

系统提供 4 种接口与现有的遗留系统进行数据交换,4 种接口分别是 WebService、JMS、文本文件、数据库。前两种是函数层面的接口调用,后两种是文件层面的接口调用。

5 结束语

文中在对汽车生产流程进行分析的基础上,将 RFID 技术融入汽车生产制造执行系统之中,提出了一种基于 RFID 技术的汽车总装制造执行应用方案以及相应的体系架构。据该系统在安徽某汽车生产企业总装生产线上的实际运行情况表明,基于 RFID 技术的汽车总装制造执行系统使得企业能够及时、准确地掌握生产线状态,提高生产效率,确实有利于 MES 系统和 LES 系统之间协同工作,为产品的质量跟踪提供了精确的数据保障。

参考文献:

- [1] 陈斗雪,黎毅明,陈一天,等.无线射频识别及其在制造业中的应用[J].计算机工程与设计,2006,27(8):1359-1361.
- [2] 谢杏,林敏锐,侯文君,等.RFID 技术在离散制造业生产线的探索[J].中国自动识别技术,2007(3):45-47.
- [3] Zhong Run yang, Dai Qing yun, Zhou Ke, et al. Design and Implementation of DMES Based on RFID[C]//Anti-counterfeiting, Security and Identification. USA: IEEE, 2008: 475-477.
- [4] 胡春,李平.连续工业生产与离散工业生产 MES 的比较[J].化工自动化及仪表,2003,30(5):1-4.
- [5] 孙棣华,银国超,赵敏,等.基于 RFID 的生产线监控技术与应用[J].重庆工学院学报,2008,22(4):27-30.
- [6] 赵洪涛,马辉,尹景春.RFID 产品识别及信息处理在汽车离合器装配生产线中的应用[J].自动化技术与应用,2009,28(2):52-55.
- [7] Hua Jiwei, Liang Tao, Lei Zhaoming. Study and Design Real-time Manufacturing Execution System Based on RFID[C]//Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application. USA: IEEE, 2008: 591-594.
- [8] 刘卫宁,黄文雷,孙棣华,等.基于射频识别的离散制造业制造执行系统设计与实现[J].计算机集成制造系统,2007,13(10):1886-1890.
- [9] 符光宝,邵定宏,李兰友.基于 Struts 框架的档案管理系统应用研究[J].计算机工程与设计,2008,29(18):2100-2105.
- [10] 湛湘情,狄文辉,孙冬.基于 SSH 框架与 AJAX 技术的 Java Web 应用开发[J].计算机工程与设计,2009,30(10):2590-2596.
- [11] 王霓虹,金兴. Ajax 技术及其 DWR 框架实现[J].自动化技术与应用,2007,26(12):92-94.
- [12] 袁华强,王亚强,朱君.利用 J2EE 轻量级框架构建[J].计算机工程与设计,2007,28(1):22-23.
- [2] 徐宝祥,叶培华.知识表示的方法研究[J].情报科学,2007,25(5):690-694.
- [3] 赵追,黄勇奇.基于地理本体和 SWRL 的地理时空信息与时空推理规则表达[J].安徽农业科学,2009,37(3):1375-1379.
- [4] 贾可荣,张彦铎.人工智能[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [5] Bechhofer S. Owl Web Ontology Language Reference[DB/OL]. 2004-02-10. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>.
- [6] Patel-Schneider P F, Hayes P, Horrocks I. OWL Web Ontology Language: Semantics & Abstract Syntax[DB/OL]. 2004-02-10. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-semantics-20040210/>.
- [7] Lüttich K, Mossakowski T, Krieg-Brückner B. Ontologies for the Semantic Web in CASL[M]. Berlin: Springer, 2005.
- [8] 李恒杰,李军权,李明.领域本体建模方法研究[J].计算机工程与设计,2008,29(2):381-384.
- [9] 张东民,廖文和,胡建,等.基于本体的设计知识建模[J].华南理工大学学报:自然科学版,2005,33(5):26-33.
- [10] 王欢,曹茜.基于本体和 SWRL 的空间关系的表示与推理方法[J].微电子学与计算机,2007,24(7):166-172.
- [11] Horrocks I, Patel-Schneider P F, Boley H. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML[DB/OL]. 2008-04-03. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>.
- [12] World Wide Web Consortium (W3C). OWL Web Ontology Language Overview[DB/OL]. 2004-02-10. <http://www.w3.org/TR/owl/features/>.
- [13] Fridman-Hill E J. Java Expert System Shell (Jess)[R]. Livermore: Sandia National Laboratories, 1998.

(上接第 221 页)