

# 基于语义推理的 DSS 模型研究与应用

田 飞, 刘 鲁

TIAN Fei, LIU Lu

北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100083

School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China

E-mail: kissmett@gmail.com

**TIAN Fei, LIU Lu. Research and applications of semantic Web based DSS model. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(17): 11-15.**

**Abstract:** A semantic Web based reasoning DSS model is introduced, which takes the architecture of Resource Description Framework (RDF) to describe the factors in a special domain, annotates the operation data semantically to form fact base, and reasons on the presetting rules in the rule base to support decision making. The architecture of the model, the procedure of modeling and the reasoning flow of the reasoning engine in the model are also described in detail. A comparison between ordinary DSS models and the new one is made to express the characteristic of the new DSS model. At last an application case based on the model, called Equipment Recommendation System, focused to resolve the problem of equipment recommendation in the domain of construction project, is presented to explain the system architecture of the DSS model and the reasoning procedure. The system provides some experience and mode for designing and developing Semantic Web based application.

**Key words:** semantic web; ontology; reasoning engine; Decision Support System(DSS)

**摘 要:** 基于语义网理论建立基于语义推理的 DSS 模型。该模型引用 W3C 提出的资源描述框架(RDF)以描述业务领域中各要素, 形成领域本体。并对领域中业务数据进行语义标注, 构建事实库。在所构建事实库的基础上, 系统根据预设规则进行推理, 以达到决策支持的目的。最后基于以上方法对施工项目设备推荐领域进行实例建模, 建立设备推荐系统。该系统将 Semantic Web 与 Ontology 理论引入到施工项目领域, 以解决施工项目过程中存在的设备选型推荐问题, 并作为语义 Web 理论在该领域内应用的一次尝试。

**关键词:** 语义网; 本体; 推理引擎; 决策支持系统

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.17.004 **文章编号:** 1002-8331(2009)17-0011-05 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP39

## 1 前言

### 1.1 DSS 模型的国内外现状

在 IT 技术飞速发展的过去的 10 余年中, 越来越多的学者对 DSS 建模方法进行深入研究, 并在理论和实践领域取得了许多新的研究进展和成果。

在 DSS 建模理论研究领域, 文献[1]将过程代数(Process Algebra)理论引入 DSS 建模系统, 从而对 DSS 模型中涉及的属性进行概念描述, 这些属性包括: 意愿假设、选择、循环、同步和一致。

文献[2]在计算机自动编程的领域, 基于基因算法的转换调节 DSS 模型被用于解决程序优化问题。

在 DSS 建模应用研究领域, 软件组件技术被广泛应用到 DSS 模型的设计和实现中, 组件技术也大大提高了 DSS 应用的性能<sup>[3]</sup>。

文献[4]实践性地将数据挖掘和 DSS 整合, 这个整合模型

采用三阶段法为决策支持中的数据获取提供了一个有效的解决方案。

可以说, DSS 在各个领域都取得了很多理论和应用上的成果。针对各种特殊应用的 DSS 模型结合不同的算法和软件技术发挥了巨大的作用。但从系统可扩展性可移植性方面, 现在的 DSS 模型体系还有很大的扩展空间, 特别是基于规则的 DSS 模型。

### 1.2 可扩展可推理的语义 Web

语义 Web(Semantic Web)建立的目标是使得 Web 上的信息具有计算机可以理解的语义, 满足智能软件代理对 Web 上异构和分布信息的有效访问和检索<sup>[5]</sup>。国际互联网组织 W3C 制定了资源描述框架语言 RDF(S)来规范对知识的表示, 支持语义 Web 理论, 推动其应用的发展。RDF 现已成为 Web 上知识表示的标准语言。语义 Web 中本体建模可以捕获相关领域的知识, 提供对该领域知识的共同理解, 确定该领域内共同认同

**基金项目:** 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.70671007); 中国教育部博士点基金(No.20040006023)。

**作者简介:** 田飞(1980-), 男, 汉, 博士, 研究方向为决策支持系统, 企业应用集成, 语义网, 数据挖掘; 刘鲁(1947-), 教授, 博士生导师, 研究方向主要为电子商务, 知识管理, 基于 Web 的信息系统, 信息系统研究方法论。

**收稿日期:** 2008-10-29

**修回日期:** 2009-03-17

的词汇,并从不同层次的形式化模式上给出这些词汇(术语)和词汇之间相互关系的明确定义。用标准化的语言对某特定研究领域进行本体建模,建立领域本体模型,对领域内各业务对象要素、对象属性要素以及各要素之间的关系进行形式化、规范化的描述。基于这些描述运用相关成熟的推理技术可以进行逻辑推理,达到决策支持的目的。

### 1.3 基于语义推理的 DSS 模型

本研究基于语义网和本体建模理论,结合语义网的可推理和可扩展的特性,在基于规则的 DSS 系统的扩展性和移植性方面进行实践,并将模型应用于施工项目领域,解决施工过程中存在的设备选型推荐问题,是作为语义 Web 理论在该领域应用的一次尝试。本文介绍建模涉及的相关概念、关键技术以及模型结构,最后以设备推荐作为案例介绍系统模型组成以及系统体系结构。

## 2 Semantic Web 关键技术

语义 Web 被互联网创始人 Tim Berners-Lee 称为互联网的第三阶段,现在已经成为国际互联网组织 W3C 制定的关于未来 Web 的一个蓝图<sup>[6]</sup>,其主旨是在 XML 的基础上进一步提供语义级互操作。语义 Web 的目标是让计算机能够“理解和处理”现在的 Web 仅能显示的数据,并为人们提供各种智能服务。

Berners-Lee 给出了语义 Web 的层次关系(图 1)。它以 XML 为语法基础,提供多种数据类型及检验机制;以 RDF/RDFS 为元语言基础,提供对领域资源元数据语义描述的标准化规范;并在此之上构建本体和逻辑推理规则。

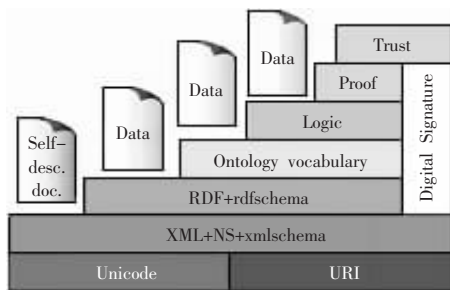


图 1 语义 Web 体系结构

### 2.1 本体

被广泛接受的本体定义是由 Gruber 提出的:本体是一个共享概念模型的明确形式化说明规范<sup>[7]</sup>。基于本体的知识集成,要求所有应用系统对领域知识的理解是在领域本体的环境中进行的,或者是通过转义代理来进行知识共享。为此,每个领域必须建立标准的领域本体,领域知识的表示必须在领域本体之上进行<sup>[8]</sup>。

### 2.2 RDF

语义网中可以用来表示本体的语言很多,其中 RDF(Resource Description Framework)是 W3C 组织推荐使用的用来描述资源及其之间关系的语义规范<sup>[9]</sup>。RDF 提供了一种简单但功能强大的数据模型来描述资源,它以 XML 为实现语言。RDF 模型定义为:包含一系列节点;包含一系列属性类;模型是一个三元组:(属性类,节点,节点或者原生值);每个数据模型可以看成是一个实体——关系图。RDF 的数据模型可以方便地描述对象以及它们的关系。RDF 的数据模型实质上是一种二元关系的表达,由于任何复杂的关系都可以分解为多个二元关系,

因此 RDF 的数据模型可以作为其他任何复杂关系模型的基础模型。

### 2.3 Semantic Web Query Language RDQL

RDQL 语言是 W3C 组织推荐的 RDF 本体查询语言,具有类似 SQL 的语法。其中 select 子句用于识别查询中所需返回的变量;from 子句用于指定 RDF 模型所使用的 URI;where 子句用于指定 RDF 模型中的三元组;and 子句用于指定布尔表达式;using 子句提供了 URI 的缩写方式。

### 2.4 Prolog Reasoning Engine

Prolog 语言是人工智能与专家系统领域最著名的逻辑程序设计语言。它是建立在逻辑学的理论基础之上的,最初是运用于自然语言的研究领域,而现在它被广泛地应用在人工智能的研究中。它可以用来建造专家系统、自然语言理解、智能知识库等,同时它对一些通常的应用程序的编写也很有帮助<sup>[10]</sup>。它的编程方法是使用逻辑的语言来描述程序,所以使用它能够比其他的语言更快速地开发程序。

当前已存在很多可供选取的推理引擎产品,比如支持 Java 调用的 Jena、InterProlog、JavaLog、PrologCafe 等;支持 C++ 的 Berkeley Prolog、C++WAM;支持 DotNet Framework 的 P# 等。

### 2.5 RDFS 推理模型

描述逻辑(Description Logic, DL)中,包括 TBox(Terminology Box)和 ABox(Assertion Box)。

Tbox 是一个关于断言的有限集合,具有如下的形式: $C/D$ ,这里  $C$  和  $D$  为概念。例如  $\$hasCardNumber.Human\#Human$ ,语义含义是指 only humans can have human children。Tbox 中存在的断言是推理机制推理的依据,它相当于知识库的规则。

Abox 是实例断言的集合:形如  $C(a)$ ,其中  $C$  是一个概念, $a$  是一个个体;或者形为  $P(a,b)$ ,其中  $P$  是一个原始关系, $a,b$  为两个个体。举例如下:Equipment(斯太尔重型卡车 001 号)、hasCardNumber(斯太尔重型卡车 001 号,“鄂 E XXXXX”),前者指个体 斯太尔重型卡车 001 号 是关系 Equipment 所指的实例,即 斯太尔重型卡车 001 号 IS-A Equipment。后者指个体 斯太尔重型卡车 001 号 通过关系 hasCardNumber 和个体“鄂 E XXXXX”相连,语义含义是指该设备车牌号是“鄂 E XXXXX”。

RDFS 提供了 RDF 模型中使用的一个基本类型系统。这个类型系统有些类似于面向对象的编程语言。从描述逻辑的观点来看,RDFS 相当于 Tbox,而 RDF 相当于 Abox。RDF 描述的是资源(Resource)和资源之间的关系,而没有定义资源所属的类(Class)和类之间的层次、继承的关系。而 RDFS 定义了这方面的约束。可以用面向对象来类比一下,RDF 定义的是 object 一层的概念,而 RDFS 定义的是 Class 一层的概念。

RDFS 推理模型如图 2 所示分为 4 个层级,包括:RDF/RDFS 层和命名空间,本体模型原层和命名空间,领域应用模式和应用空间和领域应用数据实例层。

另外,OWL(Web Ontology Language)是 W3C 推荐标准,设计用来“明确表示词汇表中词语的意义以及那些词语之间的关系”。与 RDFS 一起,OWL 提供了一种正式描述 RDF 模型的机制。除了定义资源可以属于的层次结构类,OWL 还允许表达资源的属性(关系)特征。

所以,RDFS 可以定义类和类之间关系的规则,和关系与关系之间的规则,从而可以运用描述逻辑(DL)进行推理。

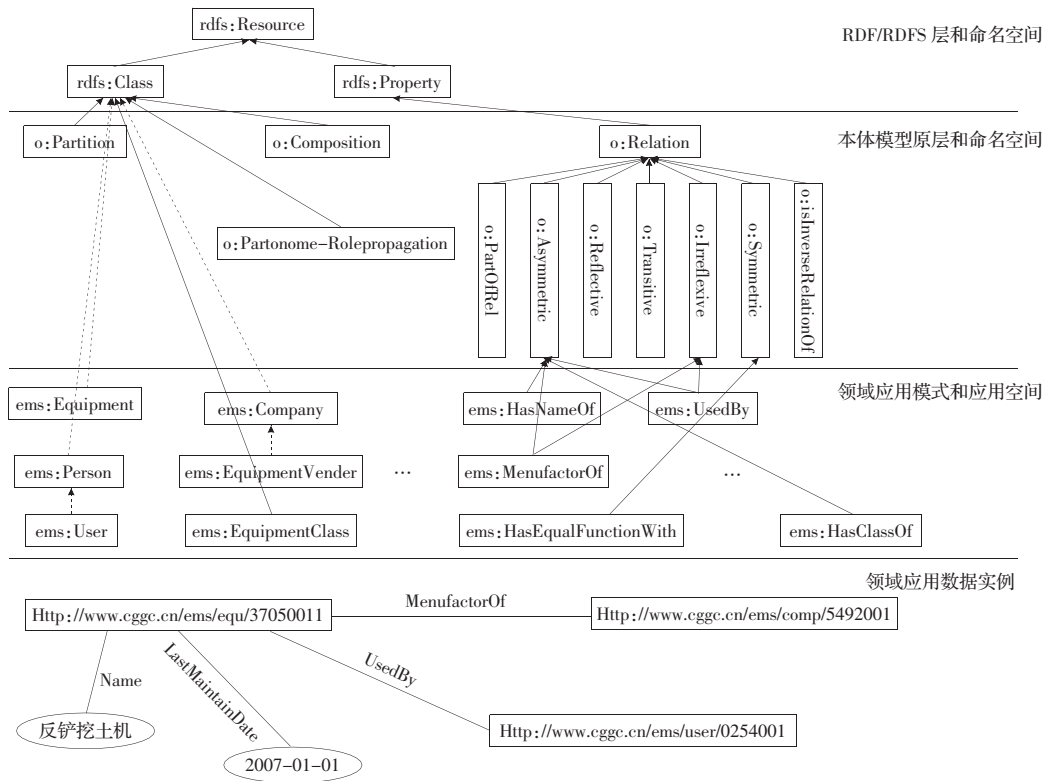


图2 RDFS推理模型层级结构

### 3 基于 Semantic Web 推理的 DSS 模型

#### 3.1 模型构架

模型分为4部分:客户端浏览器,Web服务器,应用服务器和知识库。图3为模型体系结构示意图。

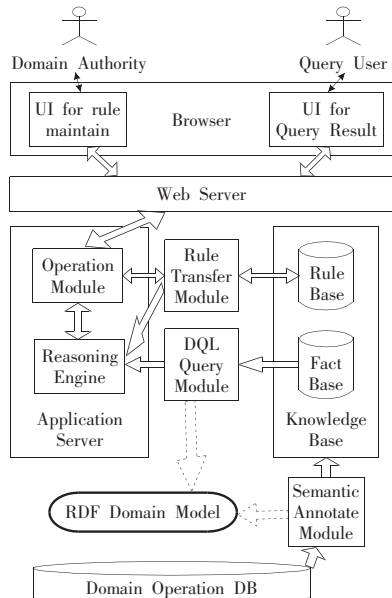


图3 基于语义推理决策支持系统体系结构图

浏览器为用户提供交互界面,获取用户输入,现实运行结果。

应用服务器提供应答用户请求和推理分析功能,是系统的核心组成部分。它包括一般业务模块,推理引擎,DQL查询器,规则翻译程序四部分。一般业务模块是和具体业务领域相关的模块,它完成该领域的业务需求;推理引擎接受以对象约束逻辑形式表示的查询请求,调用知识库内事实数据进行反演推

理,实现基于语义的演绎查询;DQL查询器响应推理引擎发出的DQL请求,从知识库中检索符合条件的事实数据返回给推理引擎;规则翻译程序响应来自推理引擎的规则查询请求,将知识库中的规则转译为引擎可识别的形式并返回给引擎。

知识库是系统运行的数据基础,和一般决策支持系统一样,分为事实库和规则库两部分,分别存储事实数据和规则数据。和一般决策支持系统不同的是,本模型中的事实库和规则库的存储与组织形式为符合语义Web规范的RDF格式,即对现有或者Web上的数据进行语义标注和语义提升而形成的知识。

#### 3.2 建模步骤

**步骤1 构造本体。**领域本体构建,由领域专家主导系统开发人员辅助,描述领域中的概念及概念相互间的关系。

**步骤2 使用RDF(S)描述领域本体中涉及的各要素、属性以及它们之间的关系。**定义领域中涉及到的各种数据的RDF Schema。

**步骤3 根据建立的RDF领域本体描述模型对现有数据或网络数据进行语义标注,对领域数据进行语义提升,使用RDF进行统一表示。**

**步骤4 由开发人员辅助领域专家建立规则库,并结合步骤3形成的业务数据共同构建知识库。**

**步骤5 选取相应的推理引擎,开发人员开发相应的规则转换程序以及用户界面,模型建立完毕。**

#### 3.3 推理流程

该模型中推理引擎的逻辑推理步骤描述如下:

**步骤1 输入分析:**建立用户请求列表(ReqList)和一个空的结果列表(ResList)。

**步骤2 是否存在需要处理的请求,即ReqList是否含有请求条目(ReqItem)?**如果是,则继续下一步;如果否则跳转至步骤6。

**步骤 3** 根据优先级以及重要程度，从用户请求列表 ReqList 中读取一条 ReqItem，根据数据读取对应处理规则(RuleItem)。

**步骤 4** 对结果列表 ResList 中所有的数据(ResItem)按照处理规则(RuleItem)中的规则进行规则检验。

对于 AND 类规则，看对于  $\forall ResItem \in ResList$  是否符合，符合则说明 ResItem 与规则不冲突，该 ResItem 保留在 ResList 中并跳转至步骤 2；不符合说明该 ResItem 与规则冲突，将其从 ResList 中删除并跳转至步骤 2。

对于 OR 类规则，则直接跳转到步骤 5。

需要说明：空的 ResList 和 ResItem 符合任何规则，不与任何规则冲突。请求的第一个规则作为 OR 规则处理。

**步骤 5** 将规则 RuleItem 翻译为 DQL 请求，并在事实库中检索相应的业务数据作为 ResItem 添加到 ResList 中。跳转到步骤 2。

其中，在将 ResItem 添加到 ResList 时，系统自动将重复 ResItem 剪枝合并。

**步骤 6** 返回结果集给用户，结束推理过程。

图 4 显示了推理引擎的推理流程。

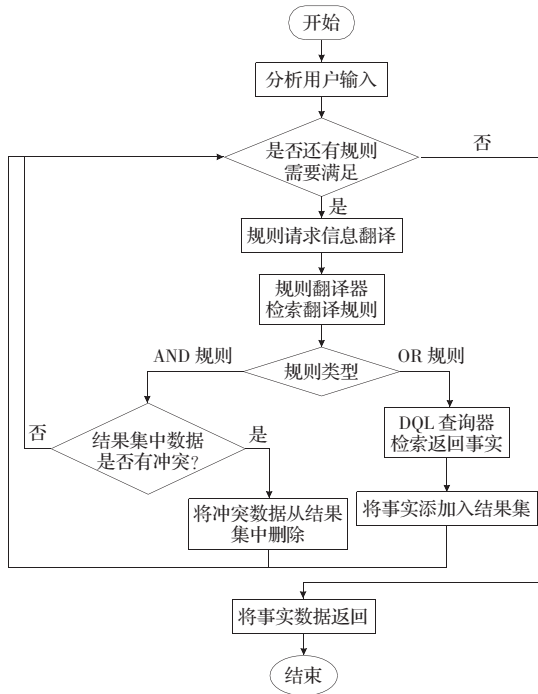


图 4 模型推理流程图

### 3.4 Jena 推理以及冲突发现

Jena 是惠普实验室开源项目之一，是面向语义 Web 的应用开发包，包含的内容比较全面，推理机只是其中一部分。Jena 提供的推理机是针对本体的推理机。Jena 的推理是基于 RDF 三元组，就是说 Jena 设定一些规则，然后利用这些规则在三元组中匹配出相关的关系。

给定了本体和模型后，Jena 的推理引擎可以派生模型未明确表达的其他语句。Jena 提供了多个 Reasoner 类型来使用不同类型的本体。研究中中使用 OWLReasoner 了。

例如，在项目中根据一个 AND 规则(RDQL 语言)：

```
SELECT ?equipment
WHERE(?equipment, <ems: LocatedAt>, "宜昌")
```

即“位于宜昌的设备”。Jena 从事实库里检索出符合条件的某设备本体实例列表 ResList，其中包括一实例：

```
<ems:Equipment rdf:about="equ001">
  <ems:LocationAt rdf:Resource="宜昌"/>
  <ems:HasStatus rdf:Resource="&ems:检修"/>
</ems:Equipment>
```

然后系统读取第二个 AND 规则：

```
SELECT ?equipment
WHERE(?equipment, <ems: HasStatus>, "正常")
```

即，状态正常的设备

Jena 的 OWLReasoner 在 ResList 中发现这个冲突，于是系统将该设备本体实例从 ResList 中排除掉。

在上例中，Jena 的 OWLReasoner 进行的是图 2 中“领域应用数据实例”层级的推理。根据不同的规则，Jena 可以在模型中不同层级上进行推理。

### 3.5 模型对比

和其他 DSS 模型相比，基于语义网推理的 DSS 模型具有如表 1 所示的特点。

表 1 DSS 模型的对比

	业务模型 可移植性	应用程序和应用 领域的关系	应用程序和推理 引擎的关系
一般 DSS 模型	困难	紧耦合	紧耦合
基于语义推理的 DSS 模型	容易, 可共享	松耦合	松耦合

## 4 应用实例: 设备推荐系统

基于语义网推理决策支持模型具有上述特点，适合应用于多种业务领域。为系统地介绍模型的建模方法和步骤，作者以一个正在研究中的模型应用项目为实例，给以详细的说明。

### 4.1 应用背景

施工设备管理是项目生产要素和施工过程管理的一个重要组成部分，它按照项目的内在规律，通过设备资源优化配置和动态管理来实现其项目目标。施工项目管理中非常重要的一环是：施工设备的选择。即按项目施工组织设计，依据工程量的大小、工期等因素，决定所需设备规格型号、数量，编制适合该项目的机械使用计划和编排所需施工机械进出场的时间计划，做好施工设备总量、进度控制。

当前关于施工设备选择通常是由人来进行的。即由一些领域专家从项目的实际情况入手，参考设备的技术性能参数，结合专家自身的经验，给出项目需要调度、租赁、购买的设备资源清单，以及设备的使用、租赁时间计划。这种人工解决该问题的方法缺乏效率，出错率高。

### 4.2 应用目标

该施工设备推荐系统(ERS)基于领域本体的语义 Web 理论和推理引擎进行施工项目设备推荐，解决人工施工设备推荐的不足。作者的研究目标是实现一个基于语义 Web 环境的应用系统，建立项目施工领域中与项目施工和设备相关的领域本体模型，对相关数据进行语义标注，支持应用程序代理用户完成基于领域本体事实库的信息推理查询以及查询结果的表现。

### 4.3 系统模型中的本体要素

在施工项目设备推荐领域，ERS 系统关注的 3 大业务实体：施工单位，施工项目和施工设备。以下列出实体包含主要属性和实体之间主要关系(图 5)。

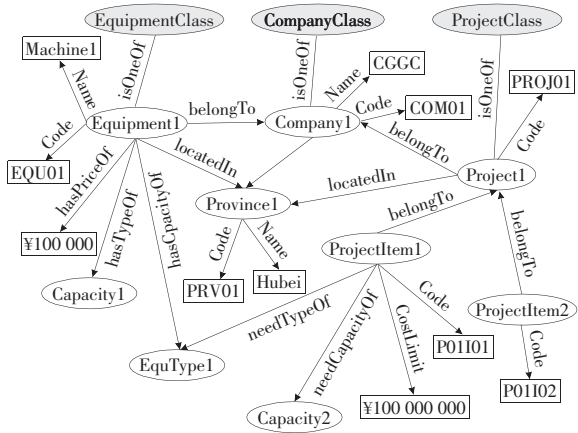


图5 ERS 实体模型以及属性关系

系统中对这 3 种业务实体分别考虑如下主要属性。

施工设备:设备型号,设计能力,所属单位,所在地区,购买价格,租赁价格;

施工项目:项目预算,分项工程,工程性质,工程量,所需设备能力,所在地区;

施工单位:所在地区。

### 4.4 本体模型的 RDF 描述

如上有关项目施工领域本体模型用 Altova SemanticWorks 建模工具建立领域内 3 个主要业务实体的 RDF 描述(图 6)。

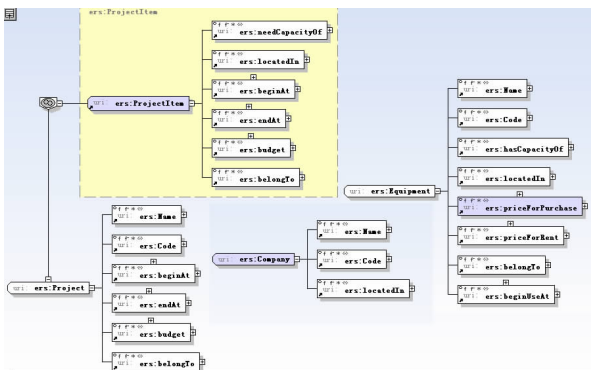


图6 施工设备推荐领域主要业务实体 RDF 描述图

### 4.5 系统构架

按照上述基于语义推理决策支持系统的模型,施工设备推荐系统(ERS)的知识库由事实库与规则库组成。系统提供相应的工具来形成知识库。语义标注程序按照以上建立的施工设备推荐领域的领域本体模型对企业原有的设备数据进行语义标注,形成 RDF(S)导入事实库。规则翻译程序将领域专家通过人机界面提交的数据翻译成推理引擎可以识别的规则导入规则库。

系统推理引擎采用 Jena 引擎处理用户输入的逻辑推理。该引擎具有 Java 语言的编程接口,可以很好地和应用程序结合完成推理逻辑。

系统面向两类用户:项目管理人员和领域专家。项目管理人员通过 Web 浏览器将施工项目属性信息提交给应用服务器;服务器中相应的业务模块分解项目的各项属性,形成推理之前的初始条件,并将这些条件提交给系统的核心—推理引擎;推理引擎通过规则翻译程序从规则库读取推理规则,通过 RDQL 查询器从事实库中读取带有语义的施工设备信息,结合业务模块提交的初始条件,进行推理,最终得到符合项目要求

的施工设备的集合数据;这些数据再通过业务模块,应用服务器返回并表现在 Web 浏览器中。领域专家通过 Web 浏览器界面将自己的经验性知识,按照系统规定的格式提交给应用服务器,应用服务器调用相应的业务模块将这些规则性信息通过规则翻译程序存储到规则库中。

系统为用户提供类似如图 7 所示的查询界面。项目管理人员或者专家可以设置施工设备的筛选规则,用以初始化推理引擎。

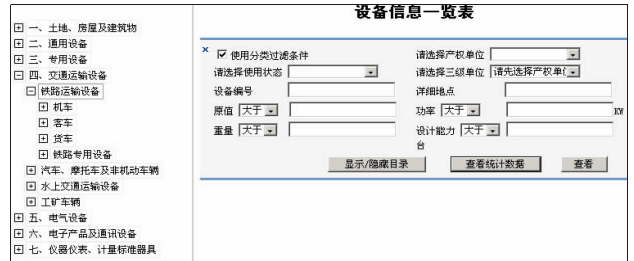


图7 用户规则设置界面

如图 8 显示了一次模拟的项目施工设备推荐过程由系统产生的推荐设备列表。

设备编号	设备名称	设备型号	设备使用历史	设备检验历史	产权单位名称	当前所在三级单位	当前所在二级单位名称	设备状态	编号
211199590906	钻床机 (配住家等)	ZY-2PC	设备使用历史	设备检验历史	二公司	耀家施工处	耀家施工处	使用	
211199590905	塔式起重机	ZY-2	设备使用历史	设备检验历史	二公司	耀家施工处	耀家施工处	使用	
211199590904	塔式起重机	ZY-2	设备使用历史	设备检验历史	二公司	耀家施工处	耀家施工处	使用	
211199590905	圆盘锯机	FJ7C2	设备使用历史	设备检验历史	二公司	仓库	仓库	使用	
211301509001	钻床机	35SE/0176	设备使用历史	设备检验历史	二公司	澜沧江一处	澜沧江一处	使用	890040
217105509007	铲焊机 (带焊机)	FEF600×900	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	
217105509008	铲焊机 (带焊机)	FEF600×900	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	
217105509009	铲焊机 (带焊机)	FE250×1250	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	
217105509010	铲焊机 (带焊机)	FE250×1250	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	
217105509011	铲焊机	FC3×4A	设备使用历史	设备检验历史	二公司	仓库	仓库	使用	
217105509012	铲焊机	FC3×4A	设备使用历史	设备检验历史	二公司	仓库	仓库	使用	
217105509013	铲焊机	FC3×4A	设备使用历史	设备检验历史	二公司	仓库	仓库	使用	
217105509014	铲焊机	FC3×4A	设备使用历史	设备检验历史	二公司	仓库	仓库	使用	
217105509015	铲焊机	FL-650	设备使用历史	设备检验历史	二公司	仓库	仓库	使用	00129
217105509016	铲焊机	S801液压铲焊机	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	3044
217105509001	立式复合机	FEL-1250	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	
217301509005	潜焊机	ZB31-20A	设备使用历史	设备检验历史	二公司	瓦屋山	瓦屋山	使用	
217301509006	铁树焊机	ZMF-A100×100	设备使用历史	设备检验历史	二公司	清坪	清坪	使用	961262
217301509007	潜焊机	ZB31-20型	设备使用历史	设备检验历史	二公司	清坪	清坪	使用	961262

图8 模拟施工设备推荐过程产生的设备列表

## 5 结论

基于语义 Web 推理的 DSS 模型通过建立语义领域模型并且提供一基于语义推理的推理引擎的开放式框架,在一定程度上解决 DSS 应用中普遍存在的一些问题。通过基于语义 Web 的本体建模技术和应用相应的推理引擎,这个 DSS 模型有较好的扩展性和可移植性。

基于语义推理的 DSS 模型的下一步研究将着重致力于建立一个从 Web 自动智能收集相关信息的机制,根据用户预先设置的条件扩展知识库中的事实库和规则库。

该系统目前尚在实现之中,研究也是初步的,关于施工设备推荐的规则以及推理逻辑也在完善之中。该系统的目标是建立一种自动获取设备业务数据并转换为领域本体事实库数据的机制。在这个系统中,用户输入施工项目的特征,系统自动推理解答,给出满足施工项目若干项指标要求的施工设备列表或者提供设备采购租赁建议,完成施工设备推荐的过程。

## 参考文献:

[1] SUN Jing,ZHAO Hui-qun.Modeling and implementing of DSS model system based on process algebra[J].Journal of Management Sciences in China,2003.