第 36 卷 第 7 期 计 算 机 工 程 2010 年 4 月
Vol.36 No.7 Computer Engineering April 2010
·软件技术与数据库· 文章编号：1000—3428(2010)07—0050—02 文献标识码：A 中图分类号：TP301

基于属性粒度商空间的本体形式化与检验

王晓东，孙 滨，刘进营，赵爱玲
(河南师范大学计算机与信息技术学院，新乡 453007)

摘 要：针对传统的本体形式化过程中从一个本体层次空间跳转到另一个本体层次空间存在的问题，将粒度计算思想引入本体建模领域，利用属性粒度商空间理论构建本体形式化模型，定义模型的各个部分，在此基础上对基于属性粒度商空间的本体形式化模型进行检验，验证该模型可以较好地满足本体层次之间的跳转及推理关系。

关键词：本体；粒度计算；商空间；形式化；属性

Ontology Formalization and Its Test Based on Property Granular Quotient Space

WANG Xiao-dong, SUN Bin, LIU Jin-ying, ZHAO Ai-ling
(Institute of Computer and Information Technology, Henan Normal University, Xinxiang 453007)

【Abstract】Aiming at the problem of jumping from one ontology-level space to another in traditional ontology formalization process, this paper introduces the idea of granular computing to the field of ontology modeling, which uses the theory of property granular quotient space to construct ontology formalization model and defines various parts of it. The ontology formalization model based on property granular quotient space is tested, whose results prove that the model can meet reasoning relations among ontological levels better.

【Key words】ontology; granular computing; quotient space; formalization; property

在语义网中，本体具有非常重要的地位，是解决语义层次上 Web 信息共享和重用的基础[1-3]，被广泛应用在智能体间的通信、异构信息源的集成、语义 Web 等领域。形式化本体模型及其推理问题一直是人工智能中的研究热点。本文利用属性粒度商空间法对本体进行形式化的研究，为人类全局分析能力建立智能模型。本文基于属性粒度商空间探讨了本体形式化和检验问题。

1 属性粒度商空间模型

文献[4-5]提出商空间理论，建立了基于属性粒度商空间理论的粒度计算模型，在该模型中，对属性取粒度商空间，设属性函数：$F=(F_1, F_2,\cdots,F_n)$, F_i：$X\text{->}Y$, $i=1, 2,\cdots, n$，对 Y_i 取粒度得值域的商集$[Y_i]$，设其对应的等价关系为 R_i，其对应的论域 X 上的等价关系为 G_i：$x\sim y \Leftrightarrow F_i(x)R_iF_i(y)$，其中，$x, y\in X$，这样就得到 X 上的一个等价关系 G_i，由此得到对应的商空间$([X]_i, [F]_i, [T]_i)$。逐步细化，将问题表示成不同的粒度世界，达到简化问题、解决问题的目的。

2 本体模型的建立

目前对于本体的定义使用最多的是共享概念模型的形式化规范说明[6]。

2.1 本体形式化模型

2.1.1 形式化模型的定义

本文以基于商空间理论[4]的粒度计算模型构建本体形式化模型，对于给定术语构造符集 S，定义三元组 $O=<X, F, T>$ 为本体，其中，论域 X 表示本体论域集合；$F(\cdot)$表示论域集(元素)上的属性，F: $X\text{->}Y$，Y 可以是 n 维空间，也可以是一般的集合，属性包括类属性和数值属性，类属性表示类间的关系，而数值属性表示类的属性；T 是论域集的结构，它表示论域集中各元素之间的关系。

2.1.2 形式化模型的概念

给定术语构造符集 S，定义本体 $O=<X, F, T>$就是定义对应的属性集 F 上的等价关系集 R，并对属性集 F 取粒度空间$[F]$，由此根据 F: $X\text{->}Y$ 得到对应论域集 X 的等价关系集 G 及对应论域集商空间$[X]$，从而对所得到的本体商空间进行分析和研究。当论域集 X 很复杂时，人们常从比较“粗”的属性粒度来考察本体。

定义 1 假设给定本体 $O=<X, F, T>$及对属性集 F 的一种等价关系集 R，根据 R 可得与 R 相对应的一个属性集商集$[F]$，当商集$[F]$确定之后，与商集$[F]$对应的论域集的商集$[X]$和关系的商集$[T]$也随即确定。

根据此定义可以得到本体 O 的一个商空间$[O]$，记作 $O/R=[O]=<[X], [F], [T]>$。

设 R 表示由属性集 F 上一切关系组成的集合，可以定义如下关系：

定义 2 设 $R_1, R_2\in R$，如果对于任意的 $f_1, f_2\in F$，都有 $f_1R_1f_2\Rightarrow f_1R_2f_2$，就称 R_1 比 R_2 细，记作 $R_2<R_1$。

这样一个 n 层的本体结构树对应的 n 个关系有如下的序关系：$R_0<R_1<\cdots<R_n$。

设 R_i 对应的商集为$[F]_i$, $i=0,1,\cdots,n$，则不同层次的粒度属性集商空间有如下的序关系：$[F]_0<[F]_1<\cdots<[F]_n$。

根据 F: $X\text{->}Y$ 得到对应的论域集 X 上的等价关系集

基金项目：河南省科技攻关计划基金资助项目(08210221007)
作者简介：王晓东(1963－)，男，教授、博士，主研方向：语义 Web，本体，知识工程；孙 滨、刘进营、赵爱玲，硕士研究生
收稿日期：2009-09-02 **E-mail：**sunbin428420@163.com

$G=\{G_0, G_1,\cdots,G_n\}$存在以下序关系：$G_0<G_1<\cdots<G_n$。

令 G_i 对应的商集为$[X]_i$, $i=0, 1,\cdots, n$，则对应于属性商空间，论域集商空间有如下的序关系：$[X]_0<[X]_1<\cdots<[X]_n$，其中，$G_0\in G$ 为第 1 层对应的等价关系，即本体顶层论域集$[X]_0$(原始概念集)；$G_n\in G$ 为第 n 层对应的等价关系，即实例集$[X]_n$。

那么，属性集等价关系 R_i 对应的本体商空间为 $[O]_i=O/R_i=[O]_i= <[X]_i, [F]_i, [T]_i>$，其中，论域集商空间$[X]_i$为等价关系 R_i 对应的等价关系 G_i 的本体商空间的论域集，属性商集$[F]_i$ 为对应等价关系 R_i 本体商空间$[O]_i$ 的属性集；关系商集$[T]_i$ 为由$[X]_i$, $[F]_i$ 确定的本体商空间$[O]_i$ 的关系集。

2.2　模型中各个部分的定义

2.2.1　模型的术语集

定义 3 术语表达式：给定术语构造符集 S，遵循以下语法的表达式称为基于 S 的术语公式，简称 S^-术语公式：

$$D,E\rightarrow C\,|\,\bot\,|\,T\,|\,\neg C\,|\,D\cap E\,|\,\forall P.D\,|\,\exists P.T$$

其中，(1)任何原子类术语 C 都是一个 S^-术语公式；(2)任何原子类术语的否 $\neg C$ 都是一个 S^-术语公式；(3)通用类$\top$和空类$\bot$也是 S^-术语公式；(4)假设 D 和 E 为术语公式，P 为原子属性，以下形式也是 S^-术语公式：$D\cap E$，$\forall P.D$，$\exists P.\top$。

定义 3 中含有 6 种基本的术语构造符：$\top$为通用类；$\bot$为空类；$\neg C$ 为原子否；$D\cap E$ 为术语合取；$\forall P.D$ 为属性值约束；$\exists P.\top$ 为限定性存在约束。

定义 4 包含关系：给定术语构造符集 S 和本体 $O=<X, F, T>$，D, E 为 2 个 S^-术语公式，若对于任意本体，有 $D\subseteq E$，则称 E 包含 D。

定义 5 等价关系：给定术语构造符集 S 和本体 $O=<X, F, T>$，D, E 为 2 个 S^-术语公式，若对于任意本体，有 $D\subseteq E$ 和 $E\subseteq D$，则称 D 与 E 等价，记为 $D\equiv E$。

2.2.2　属性集等价关系集 R 和对应论域集等价关系集 G

给定本体 $O=<X, F, T>$，确定属性集等价关系集 $R=\{R_0, R_1,\cdots, R_n\}$，使本体能够按照属性函数：$F=(F_1, F_2, \cdots, F_n)$, $F_i: X\text{->}Y$, $i=1, 2,\cdots, n$ 对属性集 F 划分成不同层次的属性集商空间$[F]_i$, $i=1,2,\cdots, n$，得到对应的论域集等价关系 $G=\{G_0, G_1,\cdots, G_n\}$，从而能够在同一商空间上或不同商空间中对本体进行分析和推理。同时定义 $R_0\in R$ 对应最“粗”的本体商空间，$R_n\in R$ 对应最“细”的本体商空间。

定义 6 属性集等价关系集 R 是属性集 F 上的不可区分关系集。

定义 7 给定本体 $O=<X, F, T>$，确定属性集等价关系集 $R=\{R_0, R_1,\cdots, R_n\}$，如果等价关系 R_i, R_j 满足：$R_i, R_j\in R$, $i, j\in\{1,2,\cdots,n\}$, $i\leqslant j$，则存在关系：$R_i\subseteq R_j$，即 R_j 是在 R_i 的基础之上进行的商空间运算。

2.2.3　属性集商空间

给定本体 $O=<X, F, T>$和属性集等价关系集 R，用 P^*表示类属性，用 $P*^*$表示数值谓词。类属性表示类间的关系，而数值属性表示类的属性，记作 $F=<P^*, P*^*>$。

任意给定一些术语公式 $x,\cdots, y$，假如谓词 F 可以有任意个参数，则表示为类谓词时，其可表示为 $P^*(x,\cdots, y)$，表示为数值谓词时，其可表示为 $P^{**}(x,\cdots, y)$。术语或者公式只可表示为两者中的一种。

那么，在属性集等价关系集 R 的作用下，得到属性集商空间$[F]=\{[F]_0, [F]_1,\cdots,[F]_n\}$，对应的论域集商空间为 $X=\{[X]_0, [X]_2,\cdots, [X]_n\}$，其中，$[X]_i$ 下对应的属性集商空间为$[F]_i=<[P^*]_i, [P*^*]_i>$, $i\in\{0,1,\cdots,n\}$。

2.2.4　论域集商空间

给定本体 $O=<X, F, T>$、属性集等价关系集 R 及属性函数：$F=(F_1, F_2,\cdots,F_n)$, $F_i: X\text{->}Y$, $i=1, 2, \cdots, n$，可以得到对应的论域集等价关系集 G。论域集 X 分为概念集 C(也称为类集)和实例集 E，属性集等价关系集 R 一旦确定，论域集等价关系集 G 随即确定，就可以根据 G 确定其不同层次的论域集商空间$[X]_i$, $i\in\{0,1,\cdots,n\}$。对应的论域集商空间的概念集商空间$[C]_i$ 和实例集商空间$[E]_i$ 为$[X]_i=<[C]_i, [E]_i>$, $i\in\{0, 1,\cdots, n\}$。

2.2.5　关系集商空间

关系集 T 在不同的论域商空间下也存在相应的关系集商空间$[T]$。

给定本体 $O=<X, F, T>$和属性集等价关系集 R，根据等价关系集 R，就可以对属性集 F 进行商空间运算。同时可以得到对应不同层次的关系集商空间$[T]_i$, $i\in\{0, 1,\cdots,n\}$。

任意一个本体的商空间为$[O]_i=<[X]_i,[F]_i,[T]_i>$, $i\in\{0, 1,\cdots,n\}$，其中，$[T]_i$ 表示不同层次的商空间以及同层次商空间之间的关系。

2.2.6　实例集商空间$[O]_n$

给定本体 $O=<X, F, T>$和属性集等价关系集 R，根据属性集等价关系 $R_n\in R$ 得到对应的论域集等价关系 $G_n\in G$，从而得到本体的实例集$[O]_n$(即本体商空间的最“细”商空间)。

2.2.7　实例声明集

实例声明集包括类的实例与属性的实例声明：

(1)类的实例声明，记为$[C]_i([a]_n)$, $i\in 1, 2,\cdots, n$，表示个体$[a]_n$ 属于类$[C]_i$，如 Man(Tom), Woman(Alice)。

(2)属性的实例声明，记为$[P]_i([a]_n, [b]_n)$, $i\in 1, 2,\cdots, n$，表示个体$[a]_n$,$[b]_n$ 之间存在关系$[P]_i$，如 hasHuaband(Alice,Tom), hasChild(Alice, Mary)。

给定本体 $O=<X, F, T>$和属性集等价关系集 R，如果类的实例声明$[C]_i([a]_n)$, $i\in 1,2,\cdots,n$ 成立，则有$[a]_n\in[C]_i$, $i\in 1, 2,\cdots,n$。如果属性的实例声明$[P]_i([a]_n, [b]_n)$, $i\in 1, 2,\cdots, n$ 成立，则有$([a]_n, [b]_n)\in[P]_i$, $i\in 1, 2,\cdots, n$。

定义 8 实例声明的模型：给定本体 $O=<X, F, T>$，若存在本体属性集等价关系集 R，使得实例声明 β 成立，则称属性集等价关系集 R 为 β 的一个模型。如果属性集等价关系集 R 是$[O]_n$ 声明的模型，则称 R 为$[O]_n$ 的一个模型。

3　本体模型的检验

3.1　术语检验

对定义的本体模型 $O=<X, F, T>$和属性集等价关系集 R 进行以下方面的术语检验，其中，x, y 为原子术语或者术语公式：

(1)可满足性检验。给定术语集 S，如果对于任意 2 个原子术语或者术语公式 x, y，存在一个本体商空间$[O]_i=<[X]_i, [F]_i, [T]_i>$, $i\in\{0, 1,\cdots, n\}$，使得$[x]\neq\varnothing$，则 x 关于 y 是可满足的，反之，x 关于 y 是不可满足的。

(2)术语的包含性检验。给定术语集 S，如果对于任意 2 个原子术语或者术语公式 x, y 和任意一个本体商空间 $[O]_i=<[X]_i, [F]_i, [T]_i>$, $i\in\{0, 1,\cdots, n\}$，有$[x]\subseteq[y]$，则称 y 包含 x。

(3)术语的等价性检验。给定术语集 S，如果对于任意 2 个原子术语或者术语公式 x, y 和任意一个本体商空间 $[O]_i=<[X]_i, [F]_i, [T]_i>$, $i\in\{0, 1,\cdots, n\}$，有$[x]\subseteq[y]$和$[y]\subseteq[x]$，则称 $x\equiv y$。

（下转第 54 页）