

基于符号学的逻辑本体建模方法

胡易容¹, 张克²

- (1. 桂林电子科技大学 艺术与艺术学院, 广西 桂林 541000;
2. 桂林电子科技大学 计算机与信息安全学院, 广西 桂林 541000)

摘要: 针对本体建模缺乏逻辑层知识表达的问题, 通过阐释符号与符号过程的概念, 联系符号框架理论, 将知识表达和关联过程分为3个维度, 即语法、语义、语用; 结合属性分析, 在阐述符号谓词逻辑的基础上, 抽象实体, 生成本体映射表。提出符号分析流程, 把具备智能体和可供性属性的词组成概念声明表, 使用模型构建与功能分析法, 结合谓词逻辑生成本体关联; 生成逻辑本体, 丰富完善这种基于符号逻辑本体建模的开发流程。该方法为以面向对象的本体建模在逻辑层的构建建立了基于符号学的描述基础与推理理论。

关键词: 符号学; 本体; 逻辑; 知识; 可供性

中图分类号: TP182 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2017) 07-1917-07

doi: 10.16208/j.issn1000-7024.2017.07.039

Semiotics method in ontology logic modeling

HU Yi-Rong¹, ZHANG Ke²

- (1. School of Art and Design, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541000, China;
2. School of Computer Science and Information Security, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541000, China)

Abstract: Aiming at the lack of logic knowledge expression in ontology modeling, the knowledge expression and association process were divided into three dimensions including grammar, pragmatic meaning and context by interpreting the concept of semiotics and semiotics progress with the theory of symbols frame. After the analysis of attributes, based on expounding the symbolic predicate logic, all entities were abstracted and ontology mapping table was generated. The symbolic analysis process was proposed. Attribute words with agents and the affordance were combined to form the concept statement. The model construction and function analysis method were used, and ontology association was generated using predicate logic. Logic ontology was generated, and the ontology model process based on symbolic logic was developed and enriched. The purpose to establish theory and reasoning based on object-oriented semiotics in ontology modeling on logic layer construction is achieved.

Key words: semiotics; ontology; logic; knowledge; affordance

0 引言

因为本体强大的知识表现能力与关联推理机制^[1], 知识使用本体表达则具有一定的优越性。Gruninger^[2]认为本体建模就是通过非形式化描述来建立知识的形式化逻辑模型。

本体逻辑层建模需要解决以下两个问题: ①如何区别抽象对象和值对象^[3]。其中, 抽象对象内涵了稳定的标识特性, 语义对应到语境中实体对象, 与其它抽象对象进行关联; 而值对象是数学的抽象, 是一种数据结构, 出现在

实体的属性定义中。②在开发流程中, 在不同领域或不同专家系统交互协同, 对知识的表达不一致, 这种情况下, 也会产生语义混乱。

针对以上情况, 文献 [4, 5] 通过谓词选取、关联规则以及连接方法等做了理论探索和实验。然而, 这些学者提出的这些方法是基于行为而不是主体, 所以仅能选取、分析不带量词的谓词。具体应用中, 由于数据中的逻辑规则通常比较复杂, 采用这种命题逻辑规则模型难于有效表达复杂的逻辑规则。文献 [6] 采用的是将学习技术应用于谓词推理中去, 通过对谓词所传递的行为进行学习, 并用

收稿日期: 2016-03-30; 修订日期: 2016-06-30

基金项目: 广西区高校重点人文社科基金项目 (ZFWT201508011); 桂林电子科技大学研究生教育创新计划基金项目 (YJXCXS201545)

作者简介: 胡易容 (1978-), 男, 广西桂林人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为数字媒体、符号学传播; 张克 (1989-), 男, 江苏常州人, 硕士, 研究方向为数字媒体、人工智能。E-mail: zk158189@qq.com

推理来寻找状态之间、动作之间的各种关联，以分析推理前提和推理效果，这种方法谓词之间依赖关系过于复杂，且无法保证规则的精度。

符号学是在系统中进行符号循环的尝试，为构建自立智能系统，包括完成模型构建和行为生成的学说。符号化对信息传递过程的去噪和表达有着重要的作用。而本体是概念模型的表示，体现了概念之间的各种关系，引入本体可以明确化和形式化知识交流共享模型。本文提出一种基于符号学谓词表达基本规则并扩充了本体建模方法，即实现是逻辑层的知识表达本体模型构建。

1 符号与符号分解

符号学是关于信号的学说，其意义在于寻找什么构成了信号，组织构成这些信号的规律和法则是什么。符号覆盖了信号一词的全部过程，从信号的产生到传递到使用，并解释信号的效果。皮尔斯认为符号包含3个方面的内容：语法，语义，语用。语义是在预示前提下，研究信号的重要性。语法即在不考虑信号的意义系时，研究信号的组合关系。语用是信息产生与表达的上下文。莫里斯认为符号即是把某个物体放在某个组织中看作一个信号来理解的过程。这种符号过程也叫做介质解释过程。符号指称某物，叫所指。对于解释者来说，更具解释可以得到原意，即能指。分解符号本身，其包含3个方面：①符号行为，产生符号；②按照规约关联符号以及递归过程，即一个符号可以用另一种符号表示；③解释符号，从宏观视角给与一定解释。所以，对于符号，则构成了以下关系，如图1所示。

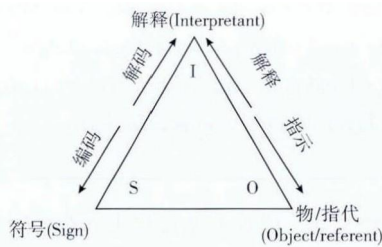


图1 符号语义三角

符号学可以视为由符号构建经验结构。使用符号结果，即使用符号解释项，则整个符号过程就叫推理。因为推理的存在，符号学作为方法论则本身具备了精确化的属性，被用于各种学科。例如计算系统，作为另一个领域，与符号产生了极大的关联性，则产生了计算符号学^[7]。与计算领域的研究方向结合，形成计算符号系统，如图2所示。

在计算背景下，视符号为计算符号系统，其包含了符号行为，包括符号的创造，符号的关联与解释，和符号的使用。3种行为产生了3种分支，符号作为人工制品，则产生了人机工程和交互设计学科^[8]；符号的关联解释被视为知识的产物，产生了认知科学与认知工程学学科，比如人

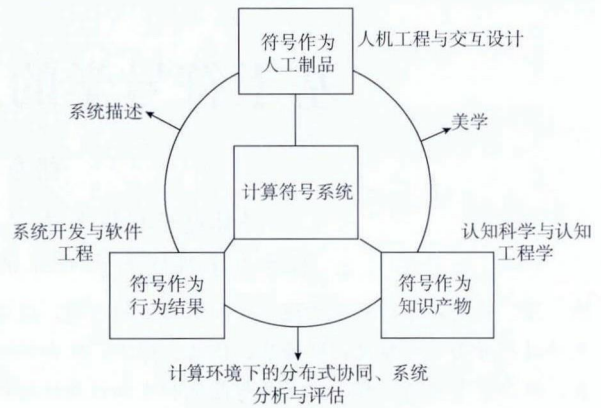


图2 计算符号系统

工智能^[9]；符号的使用，视为行为结果，则产生了软件工程^[10-13]。

本文研究符号学在本体构建中的作用，主要用过组织结构 and 符号关系来发现、分析、描述、解释新的方法。不仅仅研究知识如何表达的，而且研究本体的结构形式，因为过程关联着结构行为的变化。

2 符号框架与知识表述的可行性

符号框架是实现符号建模所设计的描述所论对象属性的数据结构。在这结构中可以对某个具体属性进行专门改进，能够使得整个开发过程更好的实现。

符号框架是基于符号学科，从语法，语义和语用三维度逐步递进，这3个维度在模型中分别代表结构，意义和信号的使用。针对解决建模表达模糊问题，符号框架会首先定义问题的边界，进而将相关过程约束在这个边界内，保持框架在解决问题方面上的内聚性。现引用的符号框架由 Stamper 提出^[14]，如图3所示。

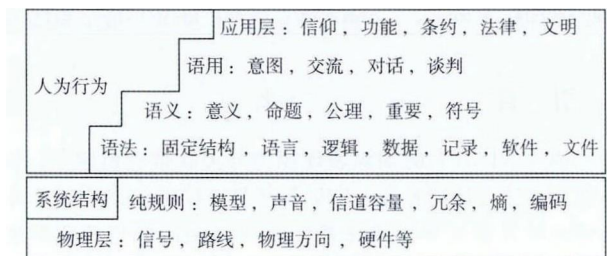


图3 符号框架

框架中，物理层表示信号的来源，是无规则的信息。在规则层，信号被按照一定的规律表达，比如按照进制或按照类型被分别表达，以便被发送与接收。语法层是规则层和物理层的高层，信号按照固定的结构被组织，同时信号传递双方也需使用相同的规则，信息也可以被公式化表达，并且公式之间能够相互推演，这些表达方式统称为语法。表达出来的语法被人为赋予一定的含义，这是语义层

的作用, 该层将意义与信号关联起来, 所以又叫行为意义层。语用层是代入意义上下文(语境), 一般指的是时间和空间向度, 也就是符号的共时性和历时性, 使得语义表达更精准。进入应用层中, 符号形成系统, 此时表达含义更为复杂。当信号到达语法层时, 人为被赋予意义, 此时信号已经具备符号功能。到达语用层时, 包含完整意义的符号已经形成。该框架规定了每一层的功能, 以实现本体环境中的互连性、互传递。

知识的可表达性通过两种方式体现: 符号表示法; 连接机制表示法。符号表示法是通过抽象知识及其关系, 形成符号, 再进行不同的排列组合表示出来。该类方法包含符号学, 并主要用于表达逻辑性知识。而且重要的一点是, 知识本身是由信息所构成, 所以符号学中符号形成符号体系与知识的产生与表达具有很高的相似度, 基于符号学的逻辑本体建模则具有可行性。

3 从本体库中获取产生式规则

本体被定义为“概念模型的显式表示”, 在模型建立中代表公共概念的集合, 该领域的公共语义被包含在集合中, 并且概念之间的关系体现^[15]。因为本体能够实现对领域知识形式化和结构化的描述, 同时也支持语义层面的集成和共享。

现有的本体表示语言分为两类, 第一类是基于描述逻辑(Description-Logic), 如框架逻辑(Frame-Logic)等; 还有一种是基于XML标准的本体语言^[16]。基于描述谓词表示法具有丰富的表达能力, 同时也能进行符号推理^[17]。专家系统构建可以使用符号推理, 包括模型推理, 通过对对象结构和知识的抽象来表达对象的特征和行为, 并建立相应逻辑关系描述对象的结构模型, 针对整个符号过程进行表达, 以及对符号关系精简, 最终形成深知识在推理中使用。

3.1 符号知识特征

通过基于符号学的逻辑谓词建立的模型是一种逻辑本体模型。这种模型和面向对象开发模型的内涵上比较相似, 但与面向对象的开发模型有所不同, 它更多地强调知识的逻辑表达作用。与传统的一阶谓词逻辑建模相比, 基于符号学表达知识表达手段对关系、数据抽象、继承、限制约束等提供了更好的支持。而且这些手段支持推理描述, 则其需具备以下4个逻辑特征:

- (1) 分类。相似性质的实体和功能的抽象。
- (2) 特征化。添加对实体或功能的概念组织描述与归属。
- (3) 合并。由特征化之后的实体或添加描述之后的功能以过程为主的方式构造出更加复杂的实体类型的模型。
- (4) 关联。表示存在关系的合并个体以集合的形式对本体进行描述。

相对应, 知识具有以下几个特征:

- (1) 功能可供与本体依赖。可供性与依赖性同时存在。
- (2) 时序关系。因为行为是具备时间线, 所以需要时序运算符表达时间的关系。
- (3) 身份关系和限定词^[18]。身份用于区分 agent 在一段关系中处于什么角色, 而限定词是决定该角色的属性变量。
- (4) 种属关系。表达 agent 间的共享一些属性, 用于描述关系的种属结构。
- (5) 权威定义与责任归属。这些属性表达的是一种限制约束规则。

以上这些过程构成了本体模型的基础, 并实现在本体的构建中。

3.2 定义知识表达

Agent(智能体)是一种处于一定环境下包装的计算机系统, 为实现设计目的, 能在该环境下灵活的, 自主的活动^[19]。概括讲是自主活动的软件或者硬件实体, 是行为的产生者。在逻辑层中, agent 是对象, 不管 agent 的行为过程类型是有多复杂, 都通过谓词抽象以寻找行为的不变量。综合第二节符号过程三维度, 文献[14]给出定理1。

定理1 在知识表达中, 不存在脱离 agent 的知识, 也不存在脱离 action(行为)的符号过程。

知识必须被表达出来, 如果存在表达, 则必须存在 Agent, 单独的表达就是纯信号, 即是噪音。符号过程也必须包含行为。所以将公理进行规则化, 形成一元谓词表达式(原子概念)该定理用公式表示推得定义1。

定义1

$$\langle \text{knower} - \text{term} \rangle \langle \text{behavior} - \text{term} \rangle \\ \langle \text{agent} - \text{term} \rangle \langle \text{action} - \text{term} \rangle$$

其中, $\langle \rangle$ 为上下文, 是并列结构, 属于时序运算。

则基本表达范式为 Ax 。例1: A 为 agent, x 为具体行为动作。由于符号过程具备一定的上下文, 则:

定义2 具体域 D 为一个一元组 (ΔD) , ΔD 为模态谓词集合, 如“必然”, “可能”和“必然非”。

通过定义1和定义2, 推出定理2, 即:

定理2 符号过程在本体的传递中有两个条件, 一个是上下文(语境), 一个是条件。condition 和具体域 D 可以为空。范式为

$$\langle \text{condition} \rangle \rightarrow \langle D \rangle \langle \text{agent} - \text{term} \rangle \langle \text{action} - \text{term} \rangle$$

根据定理2, 对知识基本特征表示如下:

- (1) 可供性与本体依赖性

可供性(affordance)不是 agent 的属性, 指的是事物具备发生某种行为可能, 是 agent 和语境产生连接的一种过程。一些定理的可供性取决于前提定义的可供性, 是知识表达的核心^[20]。比如一个人可以跌倒, 但是他首先是站立或走路的; 夫妻离婚, 那么首先他们要结婚。在本语句中, “站立

或走路”“结婚”是本体先行词，显然，“跌倒”“离婚”是本体依赖词，本体先行词和依赖词相对于 agent 而言，都包含于可供性。以上两种表达可以用以下表达式表示：

Axy ，例：*a man walk stumbling*

$(A,B)xy$ ，例：*(husband,wife)marriage divorce*

在大部分情况下，对 agent 和行为的分析比较复杂一些，因为 agent 不一定是简单的一个人或机器，可能是一个群体，或者是个行为产生者，甚至是一个机构。agent 和行为可以被视为利用可供性的一次递归。如 agent 产生一些行为的同时，其也可以产生另一个，有如下表达式：

$A(x,y)$ ，‘，’解释为“while”，其为约束。例如：*person(stand,sing)*。

当 agent 表示至少进行一种行为时，则可以表示为：

$A(x;y)$ ，‘;’解释为“or-while”，其为合取。例如：*person(speak;sing)*。

当 agent 表达只能进行一种行为时，可以表示为：

$A(x;y)$ ，‘;’解释为“while-not”，本意析取。例如：*person(sit;sing)*。

可供性也包括复合功能，例如 part-of 的引入：

$Ax.y$ ，‘.’解释为 y 是 x 的一部分，“*y is a part of x*”。例如：*Company department. Officer. Part-of* 是知识表达领域中概念交互的关系。

(2) 时序关系

范式的意义仅仅使一个 agent 的行为得以表示。为了保证语义与表达的精确性，使行为具备过程性，就需要用时间限制可供性的边界。符号行为可以表示如下：

$Ax<$ ，例如“*Person cry<*”解释为：一个人开始哭，可能在之后是一直哭，也可能之后没有哭，但是开始哭这个行为已经成功发生。

$Ax>$ ，例如“*Person cry>*”解释为：一个人最后是哭的状态，可能全程在哭，也可能后来哭，此规则表示以哭的状态结束是成功的。

(3) 身份与限定词

Agent 和可供性都拥有一些属性，这些属性是相同本质上因为参数不同而得以区分，这些参数就是限定词。这类的属性与参数的关系由以下范式描述：

$A\#x$ ， $Ax\#y$ ，规定：在‘#’之后的词为限定词。例如：“*person#name*”，“*Salary#amount*”。在本体中，需要靠限定词来确定 Agent 在本体所处的位置。例如 agent 的身份/角色，范式为：*(person#husband, person#wife)marriage*。

(4) 种属关系

Agent 和可供性置于种属结构中，才能判断其是否能够共享一些属性（属性重合）或者区分一些属性。在实际建模中，可以发现通过具代表性关系才能够定义属性是否具有共有条件。表达种属关系因遵循如下范式：

$A((b;c;d:e)\rightarrow f)$ ，解释： b, c, d, e 是下位属性且 f 为上位属性。例如：*Society((natural-person: corporate-body: government)\rightarrow leagal-person)* 解释为：自然人，法人，政府都是由人构成。但是种属关系是依具体情况而定，并非逻辑必然存在。

(5) 权威定义与责任归属

责任在信息传递的各个阶段都与 agent 紧密相关。agent 产生行为，agent 需要为行为负责。当某些行为只能由该 agent 产生。这种能力叫做权威。权威与责任都是约束。用范式表示：

$A(x@y)$ ，解释：用 $@\rightarrow$ 表示 x 的权威性来自 y 。例如：*Nation(Law@Parliament)*

3.3 语义本体映射表建立

结合 agent 的本体结构，与以行为为代表的可供性，任何复杂的逻辑过程都可以表述出来。原本的行为触发条件和行为模式约束因现实复杂性而难以理解，本体结构却给理解行为模式带来了可行性。根据以上内容，利用符号关系，本文建立本体语义关系映射见表 1。

表 1 本体语义关系映射

文本	本体结构表示	意义					
Ax	$A-x$	x is an affordance of A					
$Ax.y$	$A-x \cdot y$	y is a part of x ; x is an affordance					
$Ax\#y$	$A-x\#y$	y is a determiner of x ; x is an affordance of A ;					
$A((a;b;c;d)\rightarrow f)$	A ——— <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>f</td></tr><tr><td>a</td></tr><tr><td>b</td></tr><tr><td>c</td></tr><tr><td>d</td></tr></table>	f	a	b	c	d	a, b, c, d are specifics of f
f							
a							
b							
c							
d							
$(A\#x, B\#y)z$	A ——— <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>(x)</td></tr></table> ——— <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>(y)</td></tr></table> ——— z	(x)	(y)	The role name of A is x ; The role name of B is y ; z is an affordance of both A and B ;			
(x)							
(y)							

4 基于符号学逻辑本体建模过程

上两节, 根据符号自我形成过程, 对知识的自我表达特征进行了分析。本节主要内容就是依照符号框架进行知识表达, 提出本体表达步骤并实现本体建模。最终用示例实现这个过程。

4.1 本体建模概念

概念类 C 、关系 R 、函数 F 、公理 Rel 和实例 Ao 构成本体, 其结构公式化为 $O := \{C, R, F, Rel, Ao\}^{[21]}$ 。 Rel 是公理集合, 定义如下:

定义 3 设 L 为一逻辑语言, 对本体 O 的 L 公理系统 A 为一对偶: $A := (AI, \alpha)$, 其中 AI 为公理标志符的集合; $\alpha: AI \rightarrow L$ 是一个映射; $A := \alpha(AI)$ 中的元素成为公理。

在前一节, 已经完成了关联约束与映射定义, 且本体能够对领域概念的定义进行精确描述, 本节通过概念关系反映语义, 把相关的背景知识和语义连接, 并明确了隐含的语义关系, 保障语义的一致性^[22]。

4.2 基于符号逻辑建模实例

以下实例是一个简单的 EXPRESS 文档, 该文档以公

司项目管理为例, 为公司项目管理设计计算机系统:

In the company, departments are responsible for projects. Each department and each project has a budget.

Employees work in one department but can be assigned to different projects. Projects do not belong to a single department. Work activities are charged at an hourly rate which depends on the function of the employee.

The total time which an employee spends on the project is imputed to it at the hourly rate, and the total cost cost of the project is computed.

(1) 理解问题域

发现与识别名词有利于整理出 agent 与属性的关系。在这个阶段, 需要把概念, 关系, 行为等关键词整理出来, 通过对描述文档的收集, 标出符号对象与属性, 具体在语义候选中, 使用名次动词法, 标出可能具备 agent 和可供性的名词、名词词组、动词、动词词组和属性组成备选词汇表。因为表中每一个符号单元决定了构成规则, 决定了概念和关联, 因此决定了 agent 和可供性, 因此在属性中设 agent 和可供性标签。语义候选是为下一步做准备的, 不代表最后会出现在本体模型中。案例生成备选类列见表 2。

表 2 备选词汇

Company	Charged	Department	Hourly rate
Responsible for	Depend on	Project	Function
Budget	Total time	Employee	Spend
Work	Imputed to	Assigned to	Total cost
Belong to	Computed	activity	

(2) 确定备选类属性以及之间的关系

得到备选词列表之后, 需要标记无用词语, 无用词语排除使用人工筛选, 除去系统外概念、系统本身、统计范围词汇如数量 (amount)、非问题域本质等, 然后建立抽象关系, 因为类并非是单独存在, 大多是按照某种方式, 彼此协作, 此时按照第三小节添加逻辑表达式, 来表述类之间关系。根据描述文档将符号单元添加 agent 和可供性属性描述, 可供性属性具体又分为行为 (action), 角色 (role) 等, 现阶段工作主要为下阶段所准备。

再根据一般-特殊关系, 种属关系等, 把逻辑词结合本体对照表, 生成本体结构片段。同时组成的片段需要形成完整概念。得到最初类模型, 如图 4 所示。

进行该步骤主要用于适时调整, 在符号分析时, 可以及时修改或重新定义行为过程。

(3) 属性添加与本体生成

上一步已经得到知识的抽象以及关系, 本步骤开始进行组合, 需要标记知识与行为, 最终生成本体。由于该需

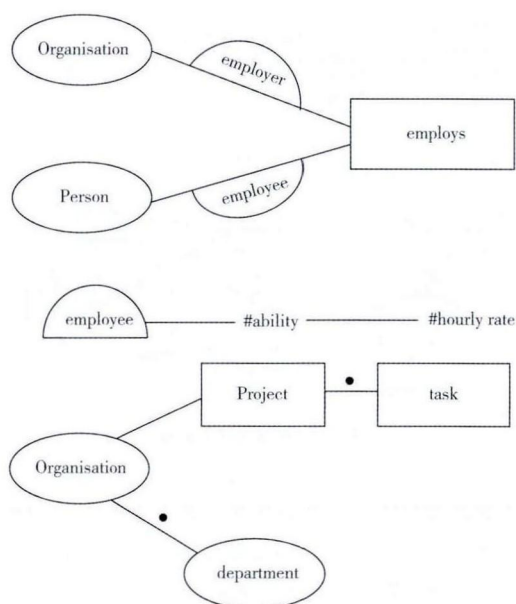


图 4 最初类模型

求中隐藏关键类—公司主体 (organization)，即执行主体，则加入。此时，需要用到表 3 中不具备 affordance 属性的词，并连接所有结构片段的关键在于本体决策词。最终本体生成如图 5 所示。

表 3 Agent 与可供性词汇

名词	属性
Organisation	agent
department	Agent, part-of
responsible for	Affordance(a department)
project	Affordance
budget	Affordance
amount	determiner of budget
employee	role name
work	Affordance
Assigned to	Affordance
Belong to	Affordance(of department and project)
activity	Affordance(of employee)
charge	Affordance
Hourly rate	Determiner(of ability? Or activity?)
Depend on	Affordance(of ability?)
ability	Determiner(of employee)
spend	Affordance
Imputed to	Complex action
computed	Complex action
Total time	Determiner(a derived value, ignored)
Total cost	Determiner(a derived value, ignored)

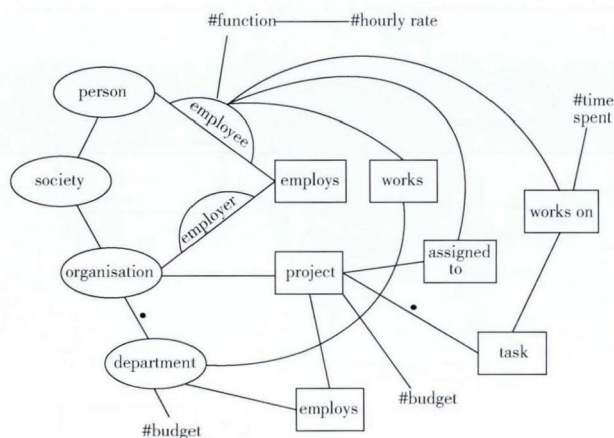


图 5 生成示例本体

本系统模型通过本体表达了一些上文所提到的谓词方法。在本体图中围绕问题域需要定义一个根类，此根类负责为其它元素提供一个语境，本图中为 society。

如图 5 所示，project 是由 organisation 所决定，而不是由 department。表明 project 与 department 关系是相互独

立，但是存在间接参与关系，employee 可以借助 department 而参与 project。参与 project 的 employee 需要完成 task，但是 task 的衡量由 time spent 所决定。

在此步骤中，要确保知识能够通过不同的路径传播，具体实践中还需要数据的检验。反之，通过约束和条件，也可以把本体图转换为传统谓词逻辑来验证分析有效性。例如，所有着手 (work_on) 在 task 上的员工肯定是属于该项目的，可以被表达为

assigned_to(employee, project)
while task(project) → works_on(employee, task)

4.3 知识表达过程与建模步骤

基于符号逻辑的知识表达与建模步骤的目的是细化与精确需求，建模的思想与步骤来源基于两个理论基础，一种是符号组织理论基础，另一种是符号框架。

终上几节所述，基于符号学的谓词逻辑表示具体知识的步骤如下：①分析给定命题中的量词、个体词和谓词，并以特定的符号表达；②预先建立符号学逻辑联结符（见表 1），并用此联结符来表示命题复合关系；③知识特征化与逻辑描述，即构造出命题相对应的表达式。④逻辑本体图生成。

4.4 具体应用

在符号学推理机制下可以完成本体的一致性检查和概念的一致性检查。可以检查单个实体对象在本体中的一致性，即如果这个本体具有一致性，且本体中去除这个概念和与该概念关联的属性后所得到的本体也是一致的。可以用于定位本体中出错概念。

描述 Agent 行为的知识，本文通过基于符号学定义谓词来描述语境和表示行为，通过使用谓词来表示各个 Agent 行为状态。并按照对象行为过程，替换原有对象状态，把初始状态关联到目标状态。通过以上步骤，同时建立起计算机系统的知识库，今后就可以实现形式化表示命题集和复杂的知识进而将其输入到计算机中，最终实现机器定理的证明，以及问题求解。

5 结束语

本文讨论了基于符号学的逻辑推理表示知识过程，这种方法主要是通过符号化将知识形式化地表示出来，最终使其有效合理的传输并存储到计算机中。同时完善了基于 Stamper 的符号建模系统学说，并通过 4 个步骤实现本体建模，①知识定义，生成知识表，其中包含符号，解释，指代的设定；②知识特征化与逻辑描述，筛选 agent 和可供性词汇；③确定关系与生成初始模型；④属性添加与本体图生成。这种方法适用于语义分析阶段，可以无误的描述功能本体。进行了严格的分析步骤，可以丰富了过程性知识表达流程。该方法有以下几个优点：用基于行为的谓词公式推导本体结构，并且能够表述清楚与语义相关的约束；

符号逻辑的去噪作用使得知识表达过程有效的去除冗余信息。缺点在于: 由于这种方法完善需要多态支持, 即需要使用面向对象的设计方法实现该模型转换, 但是目前没有该本体直接转换方法。现已经实现了基于符号学的知识逻辑描述, 下一步工作将围绕此展开。

参考文献:

- [1] WANG Hao, GU Jun, SU Xinning. Research on the model and its application of ontology-driven knowledge management system [J]. *Journal of Library Science in China*, 2013, 39 (2): 98-110 (in Chinese). [王昊, 谷俊, 苏新宁. 本体驱动的知识管理系统模型及其应用研究 [J]. *中国图书馆学报*, 2013, 39 (2): 98-110.]
- [2] HUANG Qingxian, HU Guyu, WANG Lifeng. Concept, modeling and application of ontology [J]. *Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2005, 6 (2): 123-126 (in Chinese). [黄卿贤, 胡谷雨, 王立峰. 本体的概念·建模与应用 [J]. *解放军理工大学学报 (自然科学版)*, 2005, 6 (2): 123-126.]
- [3] Csutoras C, Kiss A. Ontology visualization methods—a survey [J]. *ACM Computing Surveys*, 2015, 39 (4): 415-416.
- [4] Zhang X, Li X. A semantic study of the first-order predicate logic with uncertainty involved [J]. *Fuzzy Optimization & Decision Making*, 2014, 13 (4): 357-367.
- [5] Yassin MA, Alazba AA, Mattar MA. Comparison between gene expression programming and traditional models for estimating evapotranspiration under hyper arid conditions [J]. *Water Resources*, 2016, 43 (2): 412-427.
- [6] RAO Dongning, JIANG Zhihua, JIANG Yunfei, et al. Learning first-order rules for derived predicates from plan examples [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2010, 33 (2): 251-266 (in Chinese). [饶东宁, 蒋志华, 姜云飞, 等. 从规划解中学习一阶派生谓词规则 [J]. *计算机学报*, 2010, 33 (2): 251-266.]
- [7] Andersen PB. A semiotic approach to construction and assessment of computer systems [M]. Cambridge University Press, 2015: 465-514.
- [8] Brejcha J. Semiotics of interaction: Towards a UI alphabet [J]. *International Conference on Human-Computer Interaction: Human-Centred Design Approaches*, 2013, 69A (3): 13-21.
- [9] Vickers P, Faith J, Rossiter N. Understanding visualization: A formal approach using category theory and semiotics [J]. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, 2013, 19 (6): 1048-1061.
- [10] Zingale S. Wayfinding for All. The contribution of semiotics [M]. *Design for All-The Project for Everyone, Methods, Tools, Applications*. 2014.
- [11] Liu S, Li W, Liu K. Assessing pragmatic interoperability of information systems from a semiotic perspective [J]. *IFIP Advances in Information & Communication Technology*, 2014, 426 (3): 32-41.
- [12] Cunningham DJ. Beyond educational psychology: Steps toward an educational semiotics [J]. *Educational Psychology Review*, 1992, 4 (2): 165-194.
- [13] Islam MN, Bouwman H. An assessment of a semiotic framework for evaluating user-intuitive Web interface signs [J]. *Universal Access in the Information Society*, 2015, 14 (4): 563-582.
- [14] Baker RS. Stupid tutoring systems, intelligent humans [J]. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2016, 26 (2): 600-614.
- [15] Benfell A. Enriching enterprise resource planning systems for strategic advantage: A semiotic motivated approach [C] // *International Conference on Informatics & Semiotics in Organisations*, 2013: 199-200.
- [16] CHEN Kai, HE Keqing, LI Bing, et al. Research on ontology modeling using object-oriented technology [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2005, 41 (2): 40-43 (in Chinese). [陈凯, 何克清, 李兵, 等. 面向对象的本体建模研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2005, 41 (2): 40-43.]
- [17] WANG Xiangyun. The application of first-order predicate logic in the field of knowledge representation of artificial intelligence [J]. *Journal of Chongqing Institute of Technology (Social Science Edition)*, 2007, 21 (9): 60-71 (in Chinese). [王湘云. 一阶谓词在人工智能知识表示中的应用 [J]. *重庆工学院学报 (社会科学版)*, 2007, 21 (9): 60-71.]
- [18] Arantes FL. Requirements engineering of a web portal using organizational semiotics artifacts and participatory practices [J]. *Computer Science*, 2013, 5 (2): 131-137.
- [19] LI Yanhong, FAN Tongke. Design of intelligent tutoring system based on Agent technology [J]. *International Electronic Elements*, 2016, 24 (7): 26-36 (in Chinese). [李艳红, 樊同科. 基于 Agent 技术的智能导学系统设计 [J]. *电子设计工程*, 2016, 24 (7): 26-36.]
- [20] Hartmann T. A semiotic framework to understand how signs in construction process simulations convey information [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2013, 27 (3): 378-385.
- [21] LIU Chao, LI Wei. Semantic retrieval research based on ontology [J]. *Techniques of Automation and Application*, 2014, 33 (2): 9-12 (in Chinese). [刘超, 李伟. 基于本体语义检索技术研究 [J]. *自动化技术与应用*, 2014, 33 (2): 9-12.]
- [22] GAO Zaiwei, WU Jiang, LIU Weihong. Research on application of ontology in product knowledge representation [J]. *Computer Technology and Development*, 2007, 17 (2): 23-26 (in Chinese). [高在伟, 吴江, 刘卫红. 本体在产品知识表达中的应用研究 [J]. *计算机技术与应用*, 2007, 17 (2): 23-26.]