

用描述逻辑处理概称句

马丽

逻辑、语言与计算中心

北京大学

2011 年 10 月 10 日

摘 要

语义网是由万维网(WWW)的发明者、W3C主席Tim Berners-Lee于1998年首次提出的,其基本思想是扩展当前的万维网,使其能够表达计算机能够“理解”的语义。万维网是面向人的,它只关心信息格式的,而不关系信息的内容和语义。而语义网是面向计算机的,使得计算机“理解”网页所表达的信息的含义,从而可以实现计算机之间的信息共享和交流。甚至智能代理可以自动化地,人性化地为人类服务。语义网的核心技术之一就是本体(ontology)。OWL(Web Ontology Language)是W3C开发的一种网络本体语言,用于对本体进行语义描述。而OWL是以描述逻辑为基础的。随着语义网的研究,描述逻辑也越来越被关注。描述逻辑是基于对象的知识表示的形式化工具,是一阶逻辑的一个可判定子集。描述逻辑只是从基于概念的外延对概念进行处理,但是诸如“鸟飞”(birds fly.)这样的概称句只从外延进行处理的话,就会在推理中出现矛盾。本文简单介绍了描述逻辑、概称句等方面的相关研究,自己给出用描述逻辑处理概称句的两种方案,并且分别给出语法和语义分析。

关键词: 语义网, 描述逻辑, 概称句, 语法, 语义

Abstract

Keywords: description logics, generic sentences, syntax expression, semantics

§1 引言

§2 描述逻辑

§2.1 描述逻辑概述

描述逻辑(Description Logic)是基于对象的知识表示的形式化,它吸取了KL-ONE的主要思想,是一阶谓词逻辑的一个可判定子集。除了知识表示以外,描述逻辑还用其它许多领域,它被认为是以对象为中心的表示语言的最为重要的归一形式。描述逻辑的重要特征是很强的表达能力和可判定性,它能保证推理算法总能停止,并返回正确的结果。在众多知识表示的形式化方法中,描述逻辑在十多年来受到人们的特别关注,主要原因在于:它们有清晰的模型-理论机制;很适合于通过概念分类学来表示应用领域;并提供了很多有用的推理服务。

描述逻辑(DLs)是知识表示体系族的最近才使用的名字,首先,通过定义该领域内的相关概念(terminology),表示一个应用领域(the"world")的知识;然后,使用这些概念指明出现在该领域(the world description)内的对象和个体的性质。正如DL的名字所显示的,这些语言的特点之一在于,不像他们的前辈一样,他们装备了一个形式的、基于逻辑的语义。另外一个显著的特点在于以推理为中心服务作为重点:推理允许我们从知识库中的外层知识得到蕴含在其内部的知识。DL支持出现在很多智能信息处理系统的应用中的推理模式,它也是人们用来构建和理解世界的:概念和个体的分类。概念的分类确定了给定的术语(terminology)中概念间的子概念/父概念的关系(在DL中称为包含),而且分类允许我们以包含层级的形式去构造术语。这种层级为不同概念间的联系提供了有用的信息,而且能被用来提高其他推理服务。个体的分类确定了一个给定的个体是否总是一个概念的实例(也就是说,这种实例关系是否由个体的描述和概念的定义来暗示),这样就提供了个体性质的有用信息,更为有用的是,实例关系可以触发那些想知识库中插入附加事实的规则的应用。

基于DL的知识表示系统提供了建立知识库、推理知识库中的内容以及处理这些内容的工具。一个知识库(KB)包含了两部分:TBox和ABox。Tbox介绍术语,也就是一个应用领域的词汇表,而Abox中则包含了根据这个词汇表

的命名个体的声明。这个词汇表包含了表示个体的集合的概念 (concept), 以及表示个体之间二元关系的角色 (roles), 除了原子概念和角色 (概念和角色名) 之外, 所有的DL系统都允许它们的使用者构建复杂的概念和角色描述。一个DL系统不仅要存储terminologies 和assertions, 而且还要提供terminologies 和assertions的推理服务。terminology 的典型的推理任务, 是要确定一个描述是否是可以满足的 (也就是说是没有矛盾的), 或者一个描述是否比另外一个更加概括, 即第一个是否包含第二个。ABox的重要问题是要弄清楚它的断言 (assertions) 集合是否是一致的, 也就是说, 它是否有一个模型, 而且Abox中的断言是不是使得一个特定的个体是一个给定概念描述的实例。描述的可满足性检查和断言集合的一致性检查, 可以确定一个知识库是否有意义。

§2.2 描述逻辑语言

基本的描述有原子概念和原子角色, 通过使用概念构造算子, 复杂的描述可以在基本描述的基础上归纳性地构建, 在抽象符号中, 我们使用字母A、B代表原子概念, 使用字母R代表原子角色, 使用C、D代表概念描述。描述语言因为它们本身提供的构造算子的不同而不同。下面, 我们将讨论AL语言族中各种各样的语言, AL (attributive language) 语言, 作为有实用价值的最小的语言, 在[Schmidt-SchauB and Smolka,1991]中被介绍过。该族系中的其他语言都是AL语言的扩展。

§2.2.1 AL语言

AL语言中的概念描述根据下面的语法规则构成:

$C, D \rightarrow A$		(原子概念)
\top		(顶概念)
\perp		(底概念)
$\neg A$		(原子概念的否定)
$C \sqcap D$		(概念的交)
$\forall R.C$		(值约束)
$\exists R.T$		(有限制的存在变量)

需要注意的是, 在AL语言中, 否定只能被应用于原子概念, 而且, 在某

角色的存在变量的范围内，只允许全局变量使用。因为历史的原因，AL语言的子语言中，不允许否定应用于原子概念的被称为 FL^- ， FL^- 的子语言中，不允许使用由限制的存在变量的，叫 FL^0 。为了给AL语言中描述的概念一个形象的例子。我们假设Person和Female是原子概念，那么， $Person \cap Female$ 和 $Person \cap \neg Female$ 就是AL语言中描述的概念，分别表示概念：女人，非女人。如果我们假设hasChild是一个原子角色，我们可以使用概念 $person \cap \exists hasChild$ 、 \top 和 $person \cap \forall hasChild$ 、 $female$ 表示那些有孩子的人，以及那些没有儿子的人。使用底概念，我们也可以用 $person \cap \exists hasChild$ 、 \perp 描述那些没有孩子的人。

§2.2.2 AL语义

为了定义AL语言中概念的形式语义，我们使用解释I，和一个非空集合 Δ^I 作为解释的域。I给每一个原子概念A指派一个集合 $A^I \subseteq \Delta^I$ ，给每一个角色R指派一个二元关系 $R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$ 。通过下面定义，给出AL中概念和关系的语义解释。

$$\top^I = \Delta^I$$

$$\perp^I = \emptyset$$

$$\neg A^I = \Delta^I \setminus A^I$$

$$(C \cap D)^I = C^I \cap D^I$$

$$\forall R.C^I = \{ a \in \Delta^I \mid \forall b. (a,b) \in R^I \rightarrow b \in C^I \}$$

$$(\exists R.T)^I = \{ a \in \Delta^I \mid \exists b. (a,b) \in R^I \}$$

如果对于所有的解释I都有 $C^I = D^I$ ，那么，我们说这两个概念C、D是等价的，写做 $C \equiv D$ 。

§3 概称句

§3.1 概称句概述

概称句(generic sentence)是我们日常思维中最为常用的一种句子。关于概称句的研究始于上世纪70年代，目前已提出了多种理论和形式处理，但因尚未形成统一和公认的理论，仍处于初期阶段。概称句研究在非单调推理、人工智能以及语言学研究等多方面都有重要意义。

概称句又称特征句,指的是“鸟会飞”,“马铃薯含维生素C”等这类句子。概称句有不同的种类。与本文有关的概称句是“鸟会飞(Birds fly)”这类概称句。这类概称句从句子的语言结构上看有两个特点:(1)表现为主谓结构。如“鸟会飞”,其中鸟是主项(或主语),记作S,“会飞”是谓项(或谓语),记作P。这种概称句通常又记作SP。(2)主项S是复数,或用通常普通逻辑类教科书的术语,S是“普遍词项”或“普遍概念”。这种概称句是我们最常用的概称句。

§3.2 已有的概称句研究成果

本文主要参考了周北海老师对于概称句的研究成果,其中对概称句有两种不同的处理方案:主要参见【1】(《概称句本质与概念》)和【2】(《涵义语义与关于概称句推理的词项逻辑》)。

§3.2.1 基于一阶逻辑的概称句研究

概称句的形式语言可以在一阶语言基础上扩张得到。

一阶语言L L有可数无穷多个变元符号、常项符号以及一元谓词符号,这三类符号的集合分别记作Var, C, Pred,并有命题常项符号 \perp ,联结词 \rightarrow, \neg ,量词符号 \forall 。L中的项和公式定义如常。所有L公式的集合记作F(L)。语法符号x, y, z等表示任意的变元符号, c表示任意的常项符号, t表示任意的项, P, Q等表示任意谓词符号。 α, β, γ 等表示任意的公式。各类语法符号均可加下标或上标。被定义符号有 $\forall, \alpha, \wedge, \leftrightarrow, \top, \exists$ 。

形式语言L G L G是一阶语言的扩张。在一阶语言L的基础上,增加符号 $>, N, \lambda$ 。L G公式是在L公式的基础上增加以下条件得到的公式:如果 α, β 是公式,那么 $(\alpha > \beta), (\lambda x \alpha) t, N(\lambda x \alpha, \lambda x \beta) t$ 也是公式。所有L G公式的集合记作F(L G)。对任意的公式 α ,其中有自由变元x, $\lambda x \alpha$ 称为 λ -表达式。将来 λ -表达式的解释是一个映射。该映射对任一可能世界确定所有使得 α 关于变目x为真的那些个体的集合。其直观意思将在后面解释。一个主项为S谓项为P的概称句SP在L G中的表达式为 $Px (N(\lambda x Sx, \lambda x Px) x > Px)$ 。通过引入被定义符号G和 $;$,这一概称句又可以表示为 $Gx (Sx ; Px)$ 。一般地, $Gx (\alpha ; \beta) =_{df} Px (N(\lambda x \alpha, \lambda x \beta) x > \beta)$ 。

在对一阶语言做了表达概称句的扩张之后,【1】给出了F(LG)中公式的

语义解释:

设 $M = \langle W, D, N, \otimes, \eta, \sigma \rangle$ 是任意模型, γ 是任意公式。 $\| \gamma \|$ - 是满足如下条件的集合:

- (1) $\| \perp \| ^M = \emptyset$
- (2) $\| Pt \| ^M = \{ w \in W: t^M \in \eta (P, w) \}$
- (3) $\| \alpha \rightarrow \beta \| ^M = (W - \| \alpha \| ^M) \cup \| \beta \| ^M$
- (4) $\| \alpha > \beta \| ^M = \cup X \subseteq W: \otimes (X, \| \alpha \| ^M) \subseteq \| \beta \| ^M$
- (5) $\| \forall x \alpha \| ^M = \{ w \in W: \text{对任意的 } d \in D, w \in \| \alpha \| ^{M(d/x)} \}$
- (6) $\| N (\lambda x \alpha, \lambda x \beta) t \| ^M = \{ w \in W: t^M \subseteq (N ((\lambda x \alpha)^M, (\lambda x \beta)^M) (w)) \}$

其中 $(\lambda x \alpha)^M \in P(D)^W$, 是满足以下条件的映射: 对任意的 $w \in W$, $(\lambda x \alpha)^M (w) = \{ d \in D^M : w \in \| \alpha \| ^{M(d/x)} \}$ 。

模型 $M = \langle W, D, N, \otimes, \eta, \sigma \rangle$ 中各元素的详细定义见【1】。

§3.2.2 基于词项逻辑的概称句研究

概称句推理具有以词项为单位的特征并且词项的涵义在其中起到了重要的作用。已有的处理【1】中用 λ -表达式表达涵义, 不够简洁和自然。亚里斯多德三段论是一种词项逻辑, 但它是外延的和单调的。这两方面的情况使得有必要考虑新的词项逻辑。涵义语义的基本观点是: 语词首先表达的是涵义, 通过涵义的作用, 语词有了指称, 表达概念。概称句三段论是更为常用的推理, [2]中有两个基本形式GAG 和Gaa。在涵义语义的基础上建立的系统GAG 和Gaa 是关于这两种推理的公理系统。

在目前的研究中, 基于对概称句的不同理解, 出现了对概称句的不同的形式表达。在这里, 考虑按词项逻辑的方法, 用表示主、谓项之间概称关系的词项G 代替原来的表示全称肯定关系的词项A, 于是, “鸟会飞” 这样的概称句可以表示为MGP。从现代逻辑的观点看, 在MAP 和MGP这样的表达中, A和G 都是逻辑常项, 从语义方面看是某种关系或运算, 于是, 可以将MAP 和MGP 分别表示为A(S,P), G(S,P)。按这个方法, 亚里士多德三段论AAA) 和Aaa-1可以分别表示为:

$$AAA: (A(M,P) \wedge A(S,M) \rightarrow A(S,P))$$

$$Aaa: (A(M,P) \wedge Ms \rightarrow Ps)$$

与这两个推理形式相对应，关于概称句推理也有两个基本形式：

GAG: $(G(M,P) \wedge A(S,M)) > G(S,P)$ (概称句+ 称句 \Rightarrow 概称句)

Gaa: $(G(M,P) \wedge Ms) > Ps$ (概称句+单称句 \Rightarrow 单称句)

与这4种形式相应的推理以下分别称为AAA)推理, Aaa-1推理, GAG推理和Gaa推理。后两种推理形式和推理以下又称为概称句三段论或概称句三段论推理。

形式语言L 符号有可数无穷的个体变元、个体常项、一元谓词符号, 所有变元的集合记作Ver; 谓词函项 \sim, N ; 词句函项A, G; 命题常项 \perp ; 命题联结词 $\rightarrow, >, \neg$; 量词符号 \forall ; 辅助符号(,)。被定义的符号有 $\top, \wedge, \vee, \Leftrightarrow, \exists$ 按通常定义。词(1)个体词: 个体变元x, y, z; 常项a, b, c。t表示任意的个体词。(2)谓词: 谓词符号; 若P, Q是谓词, 则 $\sim P, N(P, Q)$ 也是谓词。*P表示P或 $\sim P$ 。

公式 α : $::= \perp \mid Pt \mid \alpha \rightarrow \beta \mid \forall x\alpha \mid A(P, *Q) \mid G(P, *Q) \mid N(P,*Q)t \mid \alpha > \beta \mid$

没有自由变元的公式是句子。在L的符号中, \sim, N , 特别是A, G, 是不同于通常语言的特有符号。其中 \sim 和N是从谓词到谓词的映射, A和G是从词项(谓词)到句子的映射, 所以分别称为谓词函项和词句函项。

涵义语义: $M = \langle W, D, C, \otimes, \varepsilon, \sigma \rangle$ 是任意模型, γ 是任意公式, $\|\gamma\|^M$ 是满足如下条件的集合:

$$1 \|\perp\|^M = \emptyset.$$

$$2 \|\Pt\|^M = \{w \in W : t^M(w) \in P^\varepsilon(w)\}$$

$$3 \|\N(S,P)t\|^M = \{w \in W : t^M(w) \in N(S^\varepsilon, P^\varepsilon)(w)\}$$

$$4 \|\A(S,P)\|^M = \{w \in W : S^\varepsilon(w) \subseteq P^\varepsilon(w)\}$$

$$5 \|\G(S,P)\|^M = g^*(S^\varepsilon, P^\varepsilon) = \{w \in W : P^\varepsilon \in S^{\varepsilon C}(w)\}$$

$$6 \|\alpha \rightarrow \beta\|^M = (W - \|\alpha\|^M) \cup \|\beta\|^M$$

$$7 \|\alpha > \beta\|^M = \bigcup \{X \subseteq W : \otimes(X, \|\alpha\|^M) \subseteq \|\beta\|^M\}$$

$$8 \|\forall x\alpha\|^M = \{w \in W : \text{对任意的 } d \in D, w \in \|\alpha\|^{M(d/x)}\}$$

具体 $M = \langle W, D, C, \otimes, \varepsilon, \sigma \rangle$ 中各元素的详细定义参见参考文献【2】

§4 用描述逻辑处理概称句的两个方案

上面两章分别简单介绍了描述逻辑的基本原理、语言及语义解释；概称句的简单说明以及基于一阶逻辑和词项逻辑的两种处理概称句的方案。作者研究发现在描述逻辑和概称句的研究现状中存在以下问题：1. 语义网是以描述逻辑为基础，2. 语义网处理自然语言必然要处理概称句，3. 描述逻辑没有目前没有关注概称句，4. 概称句的出现在描述逻辑的知识库TBOX及ABOX的推理中会出现矛盾。基于以上4个问题，用描述逻辑处理概称句对于完善语义网具有非常重要的意义。在本章作者将给出用描述逻辑处理概称句的两个尝试性方案。

说明：从上面对概称句的介绍我们知道，概称句有多种形式，其中以主谓结构SP，主语S是复数的形式最为常见。下面作者将选取SP形式的概称句作为研究目标，用描述逻辑进行处理。

从上面对描述逻辑的介绍我们得知，描述逻辑的最小语言AL的表达能力有限，在应用中为了满足只是表达的要求，一般是对语言进行扩种，加入适当的概念或者关系构造算子。用描述逻辑处理概称句也同样要扩种描述逻辑的语言，这里涌现了一下几个问题：1. 我们往描述逻辑的语言中加入什么构造算子？2. 是否只能增加构造算子，还有没有其他方式？3. 对描述逻辑的语言扩充之后描述逻辑的知识库内部结构是否需要重新整理？以上面三个问题为思路指引，不同的回答，产生不同的解决方案。

§4.1 方案1

方案一：在知识库中加入一个固定的关系generallyAre，将所有SP形式的概称句都表达为generallyAre(S,P)（S,P在这里是相应的概念，如鸟飞，S = 鸟，P = 会飞的动物）。将所有形如generallyAre(S,P)的公式作为公理放在一起，不妨称之为GBOX。这样描述逻辑的知识库就由原来的TBOX、ABOX两部分变为TBOX、ABOX和GBOX三个部分。

§4.2 方案2

方案二：在描述逻辑语言中加入 \sqsubseteq_G ，将所有SP形式的概称句表达为 $S \sqsubseteq_G P$ 。然后将 $S \sqsubseteq_G P$ 形式的公理放在一起，称之为GBOX。这样描述逻辑的知识库就由原来的TBOX、ABOX两部分变为TBOX、ABOX和GBOX三个部分。

问题:

1这两种方案本质上是否相同?

2两种方案的语义解释如何处理?

3两种方案的推理算法是什么?

.....

§5 结语

参考文献

- [1] J.L.Bell, M.Machover, A Course in Mathematical Logic, North-Holland Publishing Company, 1977.
- [2] N.Cutland, Computability (An introduction to recursive function theory) , Cambridge University Press, 1980.
- [3] Heinz-Dieter Ebbinghaus,Jorg Flum,Finite Model Theory, Springer-Verlag Berlin , Second Revised and Enlarged Edition, 1999.
- [4] M.Gelfond, H. Przymusinska, and T.Ptzymusinki, On the Relationship Between Circumscription and Negation as Failure, Artificial Intelligence 38 (1989) , 75-94
- [5] M.Gelfond, V. Lifschitz, The Stable Model Semantics for Logic Programming, In Proceedings of the 5th International Conference on Logic Programming, 1070-1080, The MIT Press, 1988.
- [6] M.Gelfond, V. Lifschitz, Classical Negation in Logic Programs and Disjunction Database, New Generation Computing, 9 (1991) ,365-385.
- [7] G.Gogic, H. Kautz, C. Papadimitriou, and B. Selman, The Comparative Linguistics of Knowledge Representation, In Proceedings of IJCAI-95, Montreal, Canada, 1995.
- [8] A.G.Hamilton,Logic for Mathematicians, (Revised Edition), 清华大学出版社, 2003.
- [9] T.Janhunen, E. Oikarinen, Capturing Parallel Circumscription with Disjunctive Logic Programs, Proceedings JELIA'04,134-146。
- [10] M. Karpinski, H. Kleine Büning, and P.H. Schmitt, On the Computational Complexity of Quantified Horn Clauses, Lecture Notes in Computer Science 329, 129-137, Springer-Verlag, 1987.

- [11] H.Kleine Buning, Theodor Lettman, Propositional Logic Deduction and Algorithms, Cambridge University Press,1999.
- [12] V.Lifschitz, Circumscription, in Handbook of Logic in AI and Logic Programming, vol. 3, 298-352, Oxford University Press, 1994.
- [13] J.W.Lloyd Foundations of Logic Programming, Springer-Verlag Berlin, Second editon,1987.
- [14] D.Mundici, Many-Valued logic via Renyi-Ulam games .
- [15] G.Priest, An Introduction to Non-Classical Logic, Cambridge University Press, 2001
- [16] T.Przymusinski, On the Declarative and Procedural Semantics of Stratation Computing 9 (1991) , 401-424.
- [17] T.Przymusinski, On the Declarative and Procedural Semantics of Stratified Deductive Database, In Foundation of Deductive Database and Logic Programming, 193-216, Morgan Kaufman, 1988.
- [18] M.Sipser, Introduction to the Theory of Computation, China, Machine Press, 2002.
- [19] X.Zhao ,Hans Kleine Buning, Model-Equivalent Reductions, Springer-Verlag Berlin Heidelberg , 2005
- [20] X.Zhao, Representing Systems and Model-Equivalence Reductions, 2007
- [21] X.Zhao, A Comparison of Semantics of Disjunctive Logic Programs Based on Model-Equivalent Reduction, 2007
- [22] 王怀民, 逻辑程序的语义问题 (I), 计算机科学1994 Vol.21.NO.1 。
- [23] D.Poole, A.Mackworth, R.Goebel. Computational Intelligence. New York, Oxford, Oxford University Press, 1998, p193.

后记