

# 隐喻理解的计算模型综述<sup>\*)</sup>

黄孝喜<sup>1</sup> 周昌乐<sup>1,2</sup>

(浙江大学计算机科学与技术学院 杭州 310027)<sup>1</sup> (厦门大学计算机科学系 厦门 361005)<sup>2</sup>

**摘要** 国际上,隐喻在思维及语言中所处的中心地位正逐渐引起人工智能研究者的重视。但在国内学术界,还鲜有开展隐喻计算化这方面研究的;实际上,作为异常用法的隐喻现象是自然语言中的普遍情况,因此隐喻问题若得不到很好的解决,将成为制约自然语言理解和机器翻译的瓶颈问题。本文结合相关的隐喻理论基础,根据不同的计算路线对已有隐喻理解计算模型进行分类,包括基于语义优先方法、基于知识表示的方法、基于逻辑的方法和基于统计语料库的方法,并在分析这些方法的适用范围和优缺点的基础上,对隐喻的计算理解方法以及面向汉语的隐喻理解计算模型研究提出了展望和建议。

**关键词** 隐喻,自然语言理解,优先语义学,计算模型

## Computational Models for Metaphor Comprehension: a Survey

HUANG Xiao Xi<sup>1</sup> ZHOU Chang Le<sup>1,2</sup>

(College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027)<sup>1</sup>

(Department of Computer Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005)<sup>2</sup>

**Abstract** Metaphor is prevalent in natural language. Researchers have realized that it is the focus of mind and language mechanism. The comprehension of metaphor by machine will be a bottle neck problem in natural language understanding and machine translation. In this paper, current available computational models for metaphor comprehension are reviewed. According to their computational methods, the models are divided into preference semantics based, metaphorical knowledge based, logic based, and corpus based approaches. The advantage and limitation of each model are also analyzed. At last, prospect and advice to computational model for metaphor comprehension are proposed. As a conclusion, the research of computational model for Chinese metaphors is important for Chinese information processing.

**Keywords** Metaphor, Natural language understanding, Preference semantics, Computational model

## 1 引言

近些年来,隐喻的研究逐渐引起重视,人们越来越清楚地认识到隐喻在思维及语言中所处的中心地位,即作为“异常”语言用法的隐喻现象是语言中的普遍情况,而非隐喻使用才是例外的“异常”。基于此,从计算语言学和自然语言理解角度来考虑,隐喻问题若不能得到很好的处理,语篇理解和机器翻译的效果就不会提高<sup>[1]</sup>。但时至今日,还没有一个稳定的广泛使用的隐喻计算解释系统。

对隐喻的研究可以追溯到古希腊的亚里斯多德,他提出的对比论和替代论一直影响着修辞学领域的隐喻研究。但其仅将隐喻看作是词语层次的一种修辞方式,将隐喻的功能看作是一种附加的、可有可无的“装饰”,缺乏对隐喻本质的认识和阐述。20世纪30年代以来, Richards 和 Black 分别从修辞哲学和结构主义语言学角度提出了隐喻的互动理论学说<sup>[2]</sup>,把隐喻的研究推向了句子层面,指出隐喻的理解过程涉及到本体概念和喻体概念之间的互动过程,为后续认知语言学派的隐喻研究打下了理论基础。80年代, Lakoff 和 Johnson 从认知角度提出概念隐喻理论<sup>[3]</sup>,逐步确立了隐喻在思维及语言中的中心地位。之后,出现了隐喻理解的多种认知模型,如结构映射匹配理论<sup>[4,5]</sup>、现代隐喻理论<sup>[6]</sup>、概念映射模型<sup>[7]</sup>等。此外,隐喻的研究还受到了语用学家的重视, Searle<sup>[8]</sup>从言语行为理论角度,提出了隐喻的识别和理解的八项原则,对隐喻理解有着重要意义。国内语言学界对隐喻的研究也给予了极大的热情,主要集中于有关汉语隐喻修辞的语言学和心

理学范畴的讨论<sup>[2,9-12]</sup>,在隐喻计算化方面的研究才刚刚起步<sup>[13-15]</sup>。

本文主要是从隐喻理解计算化的角度去探讨隐喻问题,介绍了自20世纪70年代以来出现的一些隐喻语言理解计算模型,如基于优先语义的方法,包括优先语义方法<sup>[16]</sup>、词汇语义方法<sup>[17,18]</sup>;基于知识表示的方法,包括隐喻突显理论<sup>[19]</sup>、基于实例的模型<sup>[20,21]</sup>和人工神经网络模型<sup>[22,23]</sup>;基于类比推理、逻辑推理的方法,包括隐喻的结构理论(SMT)<sup>[24]</sup>和隐喻逻辑理论<sup>[13,14]</sup>。随着语料库语言学的发展,利用统计方法来处理语言信息得到了越来越多的关注,除了 Kintsch<sup>[25,26]</sup>利用潜在语义分析方法从语料库中挖掘语义信息外, Mason 给出了一种基于语料库的隐喻句提取引擎 CorMet<sup>[27]</sup>。

本文组织结构如下:首先根据不同的计算路线对隐喻计算模型进行分类,分析它们的详细理解过程和涉及的计算技术,并结合相关的隐喻理论基础,探讨这些方法的适用范围和优缺点,最后进行总结,分析可借鉴的方法,并提出了汉语隐喻研究的主要内容和研究方向。

## 2 基于优先语义的方法

这种方法认为理解隐喻语言的方法要不同于理解字面语言的方法,而不强调隐喻知识在语言理解中的运用。将输入的语句一律看作为一般的直陈句进行理解,只有在字面意义获取出现不一致(即选择限制冲突)时,才作为隐喻来处理。

### 2.1 优先语义学

Wilks<sup>[16]</sup>基于优先语义学(Preference Semantics)理论,给

\*)国家自然科学基金资助项目(60373080)。黄孝喜 博士研究生,主要研究领域为计算语言学、认知逻辑学;周昌乐 博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算语言学、理论脑科学和认知逻辑学。

出了隐喻理解的选择优先限制(Selectional Preference restrictions)异常中断方法。Wilks认为隐喻的出现必定会导致语义上的优先中断(Preference breaking)。因此,在优先语义模型上增加一个“隐喻识别”模块,通过语义限制的异常来触发对隐喻的分析。此外,还有一个带有情景知识结构的辅助解释机制,情景知识采用伪文本(pseudo text)表示。一旦一个语义优先异常被触发,隐喻解释系统就从伪文本中选择一个合适的语义框架,并把异常的语义框架结构投影过去。伪文本是一种类似于谓词格式的实体知识,比如实体“汽车”,有“非生命体”、“消耗汽油”、“能行驶”、“可载客”、“载货”、“行驶速度”等信息。对于隐喻句“my car drinks gasoline”,由于动词drink的语义优先公式<sup>18)</sup>为(( \* ANI SUBJ) (( FLOW STUFF) OBJE) ( MOVE CAUSE)),即drink的施事应是生命体,而car是非生命体,从而触发一个语义优先异常,隐喻解释系统从汽车的伪文本里选择一个合适的语义框架来替代,即“消耗”。

## 2.2 修正语义学

Fass<sup>17)</sup>基于优先中断思想,提出了修正语义学(Collative Semantics)方法,旨在一个统一的语义框架内对转喻(metonymy)、隐喻和词义异常使用进行解释,并给出了实现程序Meta5。在此基础上,还给出了一个用于解释隐喻性语言的Met \*系统。Met \*区分了转喻、隐喻、字面语言以及异常语言。在Met \*中,转喻是指用一个事物引用另一个事物的方法,主要是基于事物之间的基本关系,允许一个事物代替另一个事物。而隐喻则是基于相关概念之间共有的属性,揭示两个事物之间关系的方法。对于形如“X is a Y”语句,Met \*首先查找X与Y之间是否满足优选限制。若满足,则表示可以从字面意义理解,算法结束;若存在优选限制冲突,则进入转喻搜索,寻找可用的转喻。若找到,表示X与Y之间可以通过转喻解释来形成字面意义关系;若没有,则继续在转喻链寻找其他可用的转喻关系,直到所有可能的转喻均没有找到,跳出转喻搜索,进入寻找隐喻关系。若没有,则认为X和Y之间是属于异常运用。Met \*中,动词的意义由一个向量来表示,其中的元素为动词参数的优先选择类型。如动词“drink”的优先选择向量是( animal, drink, liquid),通过实际词义向量与动词优先参数和实际参数共同祖先的匹配向量进行隐喻的解释。比如对于“My car drinks gasoline”,词义向量表示为( car, drink, gasoline),这与drink的优先向量( animal, drink, liquid)不匹配,系统为两个向量搜索一个公共的祖先向量,即( thing, use, energy source)。因此,该隐喻就解释为“My car uses gasoline as an energy source”。

这种方法认为隐喻语言的理解可以通过使用所涉及概念的泛化知识来理解,而不需要具体词义。但是,这就要求首先要通过判断,辨别其是否偏离了已知字面解释的语义,从而识别出隐喻句的存在,也就是要有个识别隐喻句的过程。这说明隐喻的解释被看作作为一种认知过程,需要上下文、世界知识以及类比推理技术,符合认知语言学的观点。然而,基于优先语义学的方法受限于所构造的本体(ontology),也依赖于手工构造的字面意义选择优先,因此在构造规模和一致性上难以保障。

## 3 基于知识表示的方法

### 3.1 语义网络方法

Weiner<sup>19)</sup>从突显性(Salience)、非对称性(asymmetry)、不一致性(incongruity)、夸张性(hyperbole)、不可言表性(inexpressibility)、原型性(prototypicality)以及取值范围(proba-

ble value range)等方面来分析隐喻,提出了一种基于语义网络的隐喻理解方法。隐喻通常都是非对称的,形如“A is a B”的隐喻,可以理解为A具有B的某些显著特征,即B的某些特征在A中得到突显,这些特征对于A来说一般会较B要弱一些,而通过隐喻使得这些特征得到强调。实际上,突显(highlighting)和消隐(suppression)是隐喻思维机制的两个方面<sup>20)</sup>。忽略差异性,突显有选择的相似性,这符合隐喻机制的“同从异出”原则。喻体的有选择相似特性随从本体刻画,而喻体的差异性则剔除出本体刻画。原型性是指隐喻的喻体概念通常是某个概念领域的具体原型,比如“小玲的脸颊像只苹果”。在这里,喻体“苹果”的原型应该是“新鲜的、圆形的、红的苹果”,而不是“干瘪的、绿色的酸苹果”。取值范围是指隐喻解释需要有关喻体特征谓词的取值范围。这些信息有助于识别隐喻句,比如“他的手像冰一样”,冰的温度明显超出了手的温度属性,因而判定该句为隐喻句。

Weiner认为隐喻理解中隐含着某种概念表示,他选择用KL ONE作为知识表示语言。KL ONE采用层次结构来表示概念体系,允许上层的概念属性可以被下层具体概念继承。同时,把概念表示为结构化的对象,并能够描述概念之间的关系。利用KL ONE的层次结构可以方便地处理概念之间的属性关系和类属关系。但对于处理隐喻的原型性还存在不足,这是因为隐喻还涉及到人们对事物的一般认识。为此,Weiner提出引入子知识网络(sub knowledge network)的方法来表示隐喻理解者的知识状态,即人们对事物的一般认识。

Weiner的方法充分考虑了隐喻现象所涉及的各种特性,同时采用层次结构的知识表示语言来描述通用概念本体,结合子知识网络作为理解主体的知识,考虑了理解者的主观因素。虽然Weiner的方法强调了原型在隐喻理解中的重要性,但对于结构复杂的隐喻还无法解释,而实现依赖于手工创建的原型关系知识库。随着语义Web的提出,已出现了多种大规模的通用本体,比如SUMO, Wordnet<sup>21)</sup>等。还有各种领域本体,Weiner方法中遇到的缺陷可以在某种程度上得以避免,因此这种方法对于构造更合理的隐喻理解模型具有较好的参考价值。

### 3.2 基于实例的方法

Martin<sup>20, 21)</sup>给出了一种隐喻解释的计算模型MIDAS (Metaphor Interpretation, Denotation, and Acquisition),并应用于UNIX操作系统的教学软件(UNIX Consultant, UC),它能够用英语回答有关如何使用UNIX的问题。

MIDAS采用KL ONE的扩展语义系统KODIAK作为知识表示语言,KODIAK通过继承机制和概念层次结构联结各知识元素。MIDAS中隐喻映射的层次关系如图1所示,图中方框内的小箭头表示把前一个概念看作为后一个概念,方框之间的箭头表示映射之间的继承关系。

在MIDAS系统中,常规隐喻被表示为一组源概念和目标概念之间的关系。上层的通用隐喻称为“核心隐喻”(Core Metaphors),下层用于处理新的隐喻称为“扩展隐喻”(Extended Metaphor)。因此,MIDAS由两个子系统组成,即隐喻解释系统(Metaphor Interpretation System, MIS)和隐喻扩展系统(Metaphor Extended System, MES)。隐喻解释系统分两步处理:第一步对输入的句子进行句法分析,并形成初步的语义表示,这一步得到的是初步内容(primal content),可以认为是解释过程的一个中间阶段,主要来源于分析器的语法和词库;第二步把这个初步内容替换为能解释输入的具体解释,即真实内容,它可能是字面意义或者是某个常规隐喻解释。第二步中涉及两种推理模式:一种称为具体化模式,用具体概

念替换抽象概念;另一种是用相应的目标概念替换源概念。当出现新的隐喻时,MIDAS通过隐喻扩展系统(MES)对现有的隐喻进行扩展来解释。其中涉及到3种扩展推理方法:相似性扩展主要是基于类比推理原则,同一个喻源概念可应用于类似的目标概念;核心扩展的前提是喻源概念之间的关系可以根据核心保留的原则转移到目标领域;组合扩展则综合了前两种扩展。隐喻扩展算法首先搜索与新隐喻相关的隐喻,然后通过计算新隐喻与各相关隐喻之间的概念距离来选取概念上最接近的相关隐喻,应用该隐喻来解释新隐喻,最后存储新的隐喻。

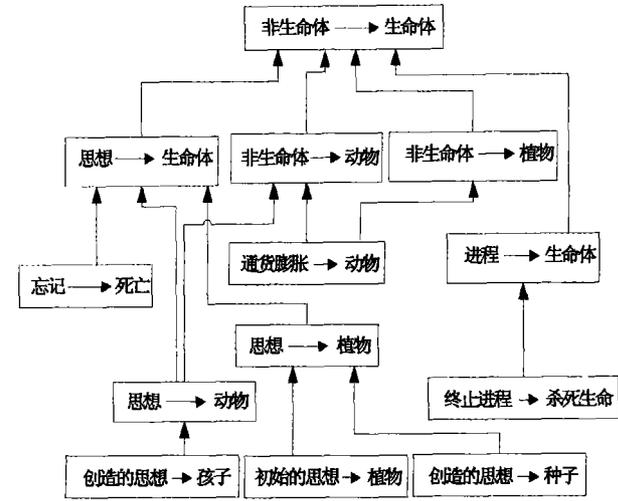


图1 隐喻映射的层次关系<sup>[20, 21]</sup>

UC接收一句输入后,先试着从字面进行解释。如果字面意义发生选择优先异常,则调用MIDAS进行隐喻解释。MIDAS首先搜索已有的隐喻,看是否存在该语句的隐喻解释。如果不存在,则选择一个已知的规范隐喻。利用隐喻扩展系统对它进行泛化,使之能解释输入的语句。MIDAS能够快速理解新奇隐喻,只要系统中存在它们的“祖先”隐喻,但是,MIDAS忽略了复合隐喻和隐喻之间除继承关系外的其他关系。此外,并不是所有的新奇隐喻都来源于常见的已知的规范隐喻。

Martin认为他的系统与其他计算模型的最大区别在于MIDAS的基于知识方法,能够理解新进入系统的隐喻,但他的所谓基于“知识”的方法中的“知识”只是已被系统吸收的相关隐喻,从某种程度上具有一定的误导<sup>[11, 30]</sup>,称MIDAS为基于实例的方法更为合适。

### 3.3 连接主义方法

Veale<sup>[22]</sup>给出了一个自顶向下/自底向上的隐喻解释框架。自顶向下部分称为概念平台(Conceptual Scaffolding, CS),用于获取概念间的关联,建立概念之间的语义关系;自底向上部分称为Sapper,采用一个连接主义结构表示语义模型,其中的节点用于表示一个概念,而节点之间的连接表示概念之间的相互关系。隐喻是一种学习新概念结构的方式,Veale使用概念桥(Conceptual bridges)来表示两个不同概念领域的概念之间的语义关联,建立隐喻双方的图式联系。概念桥建立后,首先处于休眠状态,称为潜伏桥(dormant bridges)。潜伏桥的建立称为符号模式处理,主要利用三角规则(Triangulation rule)和修整规则(Squaring rule)。三角规则是指如果两个概念与第三个概念均有关联,则认为这两者之间可能存在一个潜伏桥,比如“手术刀”和“屠刀”通过它们的共有属性“血”而建立关联。修整规则是一个二阶相似度计算,如果两个概念分别与另外两个概念有关联,而后两个概念

之间存在一个唤醒(awaken)的概念桥,则认为这两者之间也可能存在一个潜伏桥,比如“首长”操纵着“指挥中心”,“脑外科医生”操纵着“大脑”,而“指挥中心”和“大脑”通过共有属性“智能控制中心”存在着一个概念桥,从而根据修整规则,“首长”与“脑外科医生”之间可以建立一个潜伏桥。CS/Sapper框架体现了Black的隐喻互动理论。隐喻互动论认为,隐喻将两个概念领域同时在大脑思维中激活,然后两个概念领域开始互动,使得两者的意义各自发生相应的变化。通过CS/Sapper对潜伏桥的激活,使得公共属性在潜伏桥的两个概念领域中的权重分别得到了加强。CS/Sapper框架能够比较好地解释隐喻理解的认知规律,但相关的语义结构不能自动形成,需要人工进行构建。此外,Sapper的描述语言过于简单,在实际应用中需要设置更多的标记。

为了避免手工构造语义知识的困难,Sun<sup>[23]</sup>提出了一种基于微特征(micro feature)的隐喻解释连接主义模型,采用连接主义系统自动产生与给定词语相关的知识,通过一系列的反向传播、迭代,为每个词语产生一个微特征向量。微特征对应于神经网络中的隐含节点,它们都没有特定的解释。系统在名词组以及与之相关的形容词集上进行训练。为了解释形如“X is a Y”的隐喻,假设X和Y均为训练集中的名词,系统寻找出在喻体概念领域中突显,而与本体领域无关的形容词,这样喻体概念领域的重要特征就转移到本体领域了。这种思想与Weiner方法是一致的,其主要优点在于利用机器学习方法来产生隐喻知识,避免手工构造知识库的缺陷。

## 4 基于逻辑的方法

隐喻的理解还涉及到人们应用常识进行推理的能力,因此采用逻辑的方法来进行隐喻的机器理解也是值得尝试的方法<sup>[31]</sup>。

### 4.1 隐喻结构理论(STM)

Steinhart<sup>[24]</sup>提出了一个结合类比理论的隐喻逻辑系统。采用可能世界语义学方法给出了某些隐喻类型的真值条件,称为隐喻的结构理论(structural theory of metaphor, STM)。把词典看作为一个概念网络,其中的语义由内涵谓词演算提供,称为扩展的谓词演算(extended predicate calculus, XPC)。Steinhart区分了语言的表面结构和深层结构,表面结构即自然语言的句子,深层结构则为XPC中的命题集合。他认为在自然语言中,句子有多种意义,其中对于隐喻句则至少有“字面意义(Literal meaning)”和“隐喻意义(metaphorical meaning)”两种,每种意义都是从可能世界到真值的一个函数。XPC从3个方面扩展了传统谓词演算:一是在命题中增加论元角色(thematic role),如AGENT、PATIENT、OBJECT、SOURCE、RECIPIENT和INSTRUMENT等,类似于菲尔墨的格语法<sup>[32]</sup>。如命题“John loves Mary”在XPC中就由[loves(John, Mary)]扩展为[loves(AGENT: John, PATIENT: Mary)]。二是XPC增加了对事件的处理,事件使得状态也成为一个个体的。三是把逻辑空间从可能世界中继续细分到情境(Situation),包含具有某些属性的个体及其相互之间存在的某些关系。相对于可能世界语义中的可达关系,隐喻逻辑中的可达性是类比,情境S是T可达的,当且仅当S可类比于T。如果S可类比于T,则存在一个类比映射函数f,使得S中的个体(或者事件或属性)与T中的个体关联起来。因此,Steinhart还为隐喻结构理论SMT提供了一个类比推理理论,来为基于逻辑的结构之间类比提供基础。该类比推理理论来源于类比结构映射理论(SMT, Structural Mapping Theory)<sup>[4]</sup>,强调源领域和目标领域之间结构相似的重要性。一个类比表示两个领域(目标域T和源域S)的共有结

构。形式为(A is to B as C is to D)的类比意思是存在一个关系R,使得 $R(A, B) \in T$ 且 $R(C, D) \in S$ 。一个类比可以表示为三元组(S, T, f),映射函数f保留源域S的关系结构,使得如果 $R(x, y) \in S$ ,则对应的 $R(f(x), f(y)) \in T$ 。Steinhart采用受限满足类映射(ACME, Analogical Constraint Mapping Engine)<sup>[33]</sup>作为类映射函数,将源领域的知识转移到目标领域中,在目标领域建立新命题,然后根据隐喻真值赋值规则,判断新命题的真值,说明隐喻同样具有逻辑真值条件。

在STM的实现程序NETMET中,知识库结构如图2所示。对于隐喻“原子是一个太阳系”,需要16条命题来构成知识,其中contains, orbits, surrounds表示谓词,AGENT, PATIENT分别表示对应谓词的施事和受事。如命题P1表示“太阳系由太阳、小行星带、行星系统组成”,命题P6表示“行星围绕太阳轨道运转”。有了结构清晰的知识库后,就可以构建可能世界,并利用类比映射建立本体和喻体之间的关联。在NETMET中,每个隐喻句都需要有一个手工构造的知识库。

P16
P1: contains (太阳系, { 太阳, 小行星带, 行星系统 })
P2: contains (小行星带, { 小行星 })
P3: contains (行星系统, { 行星, 月亮, 环 })
P4: contains (环, { 子环 })
P5: contains (子环, { 碎片 })
P6: orbits (AGENT: 行星, PATIENT: 太阳)
P7: orbits (AGENT: 行星系统, PATIENT: 太阳)
P8: orbits (AGENT: 月亮, PATIENT: 行星)
P9: orbits (AGENT: 碎片, PATIENT: 行星)
P10: surrounds (AGENT: 小行星带, PATIENT: 太阳)
P11: surrounds (AGENT: 环, PATIENT: 行星)
P12: contains (原子, { 原子核, 电子云 })
P13: contains (电子云, { 电子核 })
P14: contains (电子核, { 电子 })
P15: orbits (AGENT: 电子, PATIENT: 原子核)
P16: surrounds (AGENT: 电子云, PATIENT: 原子核)

图2 NETMET中隐喻“原子是一个太阳系”的知识库结构

隐喻的结构理论STM用内涵演算(即扩展的谓词演算XPC)来提供逻辑真值条件的方法将隐喻带入了可能世界语义学的领域,给出了系统的隐喻逻辑机器推理解释方法。这说明话语的字面意义与隐喻意义是可以区分的,并能用形式逻辑的方法加以表达和获取。但STM的局限性也是很明显的,由于它采用的类比推理是结构映射理论,因而强调喻体和本体各方面系统性的对应,这对于结构性明显的隐喻比较适用,比如“原子是太阳”。而对于一般的隐喻,特别是文学隐喻和日常语言隐喻,由于涉及基于主观知识的选择性推理,某些方面的对应性常常被强调,而另一些方面的对应性则被忽略,即隐喻理解机制的突显与消隐<sup>[24]</sup>,这显然违背了结构映射理论的系统性对应原则。

#### 4.2 汉语隐喻逻辑系统

张威<sup>[13, 14]</sup>从解决逻辑全知问题和隐喻的语义真值角度,提出了一种汉语隐喻逻辑系统。其主要思想是参考局部框架理论,采用池空间概念来替代可能世界,引入理解算子 $U_p$ 、关系符 $\prec$ 以及格式塔规则。池空间可看作是由某些属性或命题组成的集合。 $U_p\alpha$ 表示主体在池空间 $p$ 下,理解或接受 $\alpha$ 公式。 $\alpha$ 是命题或一阶谓词逻辑。另外给出一个关系符 $\prec$ ,是为表示隐喻而引入的比较关系符。公式 $\alpha \prec \beta$ 表示“ $\alpha$ 与 $\beta$ 一样”的类比度,称为格式塔公式。公式 $U_p(\alpha \prec \beta)$ 为真,表示在 $p$ 池空间下主体理解 $\alpha$ 和 $\beta$ 一样为真。通过对变量进行细化,给出了一个基于该隐喻逻辑系统的隐喻计算系统,系统分为高层控制层和低层语义相关层两个层次。其中低层语义相关层利用统计的方法构建,高层控制层安排各项在池空间的排列顺序及重要程度。系统的池空间是先由低层语义相关层所构造的概念(包括实体和部分关系)集合组成的。如果 $\alpha$ 是

名词,通过语义相关度的计算,可以得到 $\alpha$ 的相关概念集合 $p$ 。高层控制层将与 $\alpha$ 有关的关系和根隐喻并入 $p$ ,然后将集合 $p$ 中各项与 $\alpha$ 分别组成命题测试。只有使命题为真的项才保留在 $p$ 中,为假的项则删去。系统根据最后的公式中是否含有格式塔公式来判断该命题是否隐喻句。例如,“律师是狐狸”,通过隐喻逻辑系统形式化后得到公式 $U_{\langle \text{法院, 罪犯, 案件, 狡猾} \rangle}$ 律师 $\wedge$ 是 $\wedge U_{\langle \text{森林, 狡猾, 多疑, 兔子} \rangle}$ 狐狸,根据格式塔规则进行归并,得到最后的公式 $U_{\langle \text{狡猾} \rangle}$ 律师 $\prec$ 狐狸,可解释为在狡猾的属性上,律师和狐狸可以理解为一样的。

张威的隐喻逻辑系统为汉语隐喻句的释义提供了很好的支持,但仅仅采用各种属性来组成池空间是不够的。我们认为,对于一个本体结构来说,属性只是描述概念特征的一个方面,还应该考虑概念与概念之间的各种关系。此外,由于格式塔规则的引入,破坏了逻辑系统的可靠性,不能保证系统所得的定理都是普遍有效的。

## 5 基于统计语料库的机器学习方法

### 5.1 向量空间模型

Kintsch<sup>[25, 26]</sup>给出了一个基于向量空间的隐喻解释计算系统,即GILSA框架,能处理形如“X is(a) Y”的隐喻。首先利用潜在语义分析方法(Latent Semantic Analysis, LSA)计算语义距离得到分别与X和Y语义相关或相似的词集合,然后建立构建集成(Construction Integration, CI)模型,把与喻体Y语义距离相近的词语选出,与本体喻体组成反馈网络,利用上下文影响网络参数,计算出本体X与哪些喻体相近词具有较高的语义联结,即为隐喻的解释。比如对于隐喻“My lawyer is a shark”,首先从37000段落92000个不同词的语料库中,生成词的向量空间矩阵,根据“语义接近的词,向量空间相近”的原理,将矩阵进行奇异值分解后计算词与词之间的语义距离,得到“shark”和“fin”、“dolphin”、“fish”、“diver”、“viciousness”等词的距离接近。而“lawyer”则与“justice”、“crime”、“viciousness”等接近。从中可以看出,虽然“lawyer”与“shark”并没有直接联系,但当“shark”加入“lawyer”的词语空间中时,“lawyer”与“viciousness”之间的语义相似度比原来提高了,从而“viciousness”在“My lawyer is a shark”意义中的比重得到加强,即该隐喻的可能解释为“My lawyer is vicious”。

Kintsch方法的理论基础也是隐喻的互动理论,认为隐喻的理解是隐喻本体和喻体之间意义的互动。同时,与Weiner的方法类似,Kintsch的方法只能把隐喻表示为个体特征的转移,且这些个体特征只是一些孤立的词项,而不考虑与词典中其他词项之间的关系。因此,Kintsch的方法实际上是Weiner关于隐喻突显理论的一种基于语料库的实现。

### 5.2 基于语料库的隐喻提取引擎CorMet

Mason<sup>[27]</sup>给出了一个基于语料库的识别和分析规范隐喻(Conventional Metaphor)的计算系统CorMet,主要关注大规模语料库中隐喻的识别与分析。前述的各种计算模型,大部分都依赖于手工构造的语义信息库,在完备性和通用性上具有较大的局限性。CorMet利用大规模语料库来挖掘语义信息来回避这一问题,并尽可能地扩大对隐喻的考察范围。其分析过程分为以下几个步骤。

第一步,通过搜索引擎,搜集各个领域语料。设定一个领域的关键字列表,利用OR和AND逻辑操作符,组成一个查询语句。通过搜索引擎从Internet中收集具体领域的语料库,然后利用英语语义分析器apple pie parser(APP)分析所搜集到的文档,获得语句的格框架,如(S(NP & OBJ)(VP(were| was| got| get)(VP WORDFORM PASSIVE))),表示获取的语句是被动语态。

第二步,获取领域的特征谓词。由于从一个领域中获得每一个动词的选择优先需要的时间复杂度过高,在 CorMet 中, Mason 退而求其次,采用事先从语料库中获取一个重要动词的子集的方法。根据语料库中各词干在所有词干中的比率与通用的频率词典进行比较,相对频率高的那些动词词干即为领域特征谓词。比如在实验室领域(LAB),动词 vapor 在领域语料中的出现频率为 0.0007,在通用英语频率词典中的频率为  $5.2e-07$ ,从而得到 vapor 的相对频率为 1325.237,这表明 vapor 出现在 LAB 领域的概率远远高于一般的领域。根据相对频率,CorMet 取前 20 位的动词词干作为领域的特征谓词,如实验室领域 LAB 和金融领域 FINANCE 的领域特征谓词词干分别为 { oxidize, sulfate, fluorine vapor, titrate, adsorb, electroplate, valence, atomize, amean, sinter, substitute, compound, hydrate, frit, ionize, deactivate, in termix, halogenate, solubilize } 和 { amortize, arbitrate, labor, overvalue, outsource, escrow, repurchase, refinance, forecast, invest, discount, stock, certify, bank, credit, yield bond rate, reinvest, leverage }。

第三步,利用学习算法获取领域概念的特征。CorMet 采用 Resnik 的选择优先学习算法<sup>[34]</sup>,获取一个动词的语义优先,即出现在动词各个格位上的词语偏好,由选择优先强度  $S_R(p)$  (Selectional preference strength)<sup>[34]</sup> 来度量。CorMet 中选取的格位包括主语 (subject)、宾语 (object)、间接宾语 (indirect object)、目标格 (to object)、来源格 (from object) 和工具格 (with object)。 $S_R(p)$  定义为后验概率  $P(d|p)$  和先验概率  $P(c)$  之间的相对熵,如式(1)。其中  $P(c)$  表示 Wordnet<sup>[29]</sup> 中节点  $c$  及其后继节点的出现概率, $P(d|p)$  表示概念  $c$  出现在动词  $p$  各个格位上的概率。

$$S_R(p) = D(P(d|p) || P(c)) = \sum_c P(d|p) \log \frac{P(d|p)}{P(c)} \quad (1)$$

$$\Delta_R(p, c) = \frac{1}{S_R(p)} P(d|p) \log \frac{P(d|p)}{P(c)} \quad (2)$$

而节点  $c$  与动词  $p$  之间的相关强度由选择相关来度量,定义如式(2)。谓词的选择优先表示为一个四元组 (verb, case, node, A),表示 Wordnet 节点 node 出现在动词 verb 的格位 case 上的选择优先度为 A。这样一个谓词 verb 在格位 case 上的选择优先可以由一个向量来表示,其中的元素对应于 WordNet 中相应节点与它之间的选择相关。然后利用最近邻 km 聚类分析算法对这些节点进行聚类,得到可以表示该领域的各类特征概念聚类,并记录支持各个概念类的谓词集。

第四步,确定概念转移方向。CorMet 利用极性 (polarity) 来确定两个概念在隐喻句中的成分,极性表示两个概念或领域之间概念转移的方向和数量。当一个概念在某个领域的语言特性被应用于在其他领域的另外一个概念时,极性就变为非零。如果一个概念  $a$  适用的动词同样应用于概念  $b$ ,而有些  $b$  适用的动词在  $a$  中不适用,则称  $a$  为喻体(源)概念, $b$  为本体(目标)概念。CorMet 给出了计算极性的详细算法。

最后,CorMet 还给出了一个映射的评判标准,其中包括支持谓词个数、极性值及同现的映射数,后面这个标准主要考虑到映射的系统性。

CorMet 系统结合了语料库分析和语义词库,利用机器学习方法,自动获取谓词的选择优先,避免基于优先语义方法中手工构造选择优先的缺点,对于具体领域的概念隐喻能够进行很好的解释。但是,由于它主要依赖于谓词来进行分析,因此 CorMet 所能处理的隐喻主要是隐喻的本体和喻体分属两个具体的领域<sup>[27]</sup>,并且两者可以通过共有的谓词进行关联,对于结构隐喻和领域区别往往比较模糊的文学隐喻则无法解释。

结论与展望 本文综述了隐喻理解的各种计算模型,它们都在某些局部领域或者针对某些特定的隐喻取得了较好的效果。虽然在应用性和普遍性上都存在一定的局限,但从中我们不难发现,这些方法对于我们开展汉语隐喻的机器理解研究具有重要的参考价值。

首先,各种模型都或多或少用到了知识库。这是由隐喻的认知性决定的。隐喻涉及本体概念和喻体概念之间的对比,因此隐喻计算模型的前提是要求系统具有概念描述和推理能力。Weiner 和 Martin 的系统均采用具有概念层次网络的知识表示语言来描述知识库,基于优先语义的方法和逻辑的方法则利用手工构造特殊的知识库,这些方法都受限于知识库的描述能力和规模。而对于基于统计语料库的方法,特别是 Mason 的 CorMet 系统,由于结合了语义词库和机器学习方法,通过对语料库的分析,自动获取隐喻理解的各类知识,解决了知识库规模的问题。

其次,每个模型基本上都是针对某一类隐喻进行分析的。大部分模型都是处理形如“X is Y”的概念隐喻,而这类隐喻也是认知语言学中研究得最多的。英语中的“is”和汉语的“是”均含有“类属”的含义,因此这类系统对于处理汉语中“X 是 Y”型隐喻是通用的。

再次,隐喻理解模型需要考虑主观因素。由于隐喻的理解涉及到理解者的知识,对同一个隐喻,不同人对其的解读可能会不同。这是因为每个人的知识构成不同,也就是他的主观状态不同,因此在隐喻的理解计算中,考理解主体的主观状态是必要的。Weiner 方法中的子知识网络可以看作是理解者的主观知识状态。而在基于逻辑的方法中,Steinhart 把可能世界语义引入到了隐喻的理解中来,张威在认知逻辑基础上引入理解算子。这些方法对于在隐喻模型中加入主观因素提供了参考。

基于以上分析,我们认为在汉语隐喻的计算机化研究中,以下几个方面是值得深入研究的。

首先,关于隐喻的分类。现有的隐喻分类方法主要是基于语言学,侧重于隐喻句的语言学特征,包括句法特征、体裁等。为了隐喻的计算机化研究需要,应该充分利用传统修辞学的理论成果。在当代隐喻学研究成果的基础上,利用语料统计的计算方法,针对隐喻理解方式的不同,建立一种汉语隐喻分类体系,并给出各类不同隐喻的表现特征、理解方式及涉及的属性知识等。

其次,隐喻意义的逻辑描述研究,包括语句的字面意义描述和表述意义描述,建立意义描述的逻辑系统。基于逻辑的隐喻理解方法的成果表明,在可能世界语义学范畴内进行隐喻意义的逻辑表述是可行的,但应考虑到隐喻理解中人的主观状态因素。

再次,有关知识表示和推理方法的研究。隐喻意义是两个概念领域之间的语义映射,如何建立一种概念知识表示方法和适合隐喻意义映射的推理机制,特别是能涉及认知主体的主观状态的推理机制,来建立起这种语义映射,应该成为隐喻计算机化研究的重点。

总之,隐喻的计算机化研究任重道远,特别是面向汉语的隐喻计算模型的研究应用,更是一项迫切需要解决的科学难题,其对于深化中文信息处理技术,有着十分重要的意义。

## 参考文献

- 1 周昌乐. 心脑计算举要. 北京: 清华大学出版社, 2003
- 2 束定芳. 隐喻学研究. 上海: 上海外语教育出版社, 2000
- 3 Lakoff G, Johnson M. Metaphors We Live By. Chicago: The University of Chicago Press, 1980
- 4 Gentner D. Structure Mapping: A Theoretical Framework for Analogy. Cognitive Science, 1983, 7: 155 ~ 170

- 5 Falkenhainer B, Forbus K D, Gentner D. The Structure Mapping Engine, Algorithm and Examples. Artificial Intelligence, 1989, 41: 1~63
- 6 Lakoff G. The Contemporary Theory of Metaphor. In: Ortony A, ed. 2nd ed. Metaphor and Thought. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 202~251
- 7 Ahrens K. When Love is not Digested; Underlying Reasons for Source to Target Domain Pairing in the Contemporary Theory of Metaphor. In: Proceedings of the first Cognitive Linguistics Conference, Taipei, 2002
- 8 Searle J R. Metaphor. In: Ortony A, ed. 2nd ed. Metaphor and Thought. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 83~111
- 9 林书武. 国外隐喻研究综述. 外语教学与研究, 1997; 1~12
- 10 冯晓虎. 隐喻——思维的基础 篇章的框架. 北京: 对外贸易大学出版社, 2004
- 11 胡壮麟. 认知隐喻学. 北京: 北京大学出版社, 2004
- 12 汤志群. 对一种比喻性语言: 隐喻的理解机制的研究: [博士学位论文]. 北京: 北京师范大学, 1998
- 13 张威. 汉语语篇理解中元指代和隐喻的机器消解研究: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2003
- 14 张威, 周昌乐. 汉语隐喻理解的逻辑描述初探. 中文信息学报, 2004, 18; 23~28
- 15 杨芸, 周昌乐. 基于机器理解的汉语隐喻分类研究初步. 中文信息学报, 2004, 18; 31~36
- 16 Wilks Y. A preferential pattern seeking semantics for natural language inference. Artificial Intelligence, 1975, 6; 53~74
- 17 Fass D. Met \*: A Method for Discriminating Metonymy and Metaphor by Computer. Computational Linguistics, 1991, 17; 49~90
- 18 Fass D, Wilks Y. Preference Semantics, Ill Formedness, and Metaphor. American Journal of Computational Linguistics, 1983, 9; 178~187
- 19 Weiner E J. A Knowledge Representation Approach to Understanding Metaphors. Computational Linguistics, 1984, 10; 1~14
- 20 Martin J H. A Computational Model of Metaphor Interpretation. Boston: Academic Press, 1990, 8
- 21 Martin J H. Representing UNIX Domain Metaphors. Artificial Intelligence Review, 2000, 14; 377~TP1
- 22 Veale T. Metaphor, Memory and Meaning, Symbolic and Connectionist Issues in Metaphor Interpretation; [PhD. Thesis]. Dublin: Trinity College, 1995
- 23 Sun R. A Microfeature Based Approach Towards Metaphor Interpretation. In: Proceedings of The International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'95). California: Morgan Kaufmann, 1995. 424~430
- 24 Steinhart E C. The Logic of Metaphor: Analogous Parts of Possible Worlds. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001
- 25 Kintsch W. Metaphor comprehension: A computational theory. Psychonomic Bulletin & Review, 2000, 7; 257~266
- 26 Kintsch W. Predication. Cognitive Science, 2001, 25; 173~202
- 27 Mason Z J. CorMet: A Computational, Corpus Based Conventional Metaphor Extraction System. Computational Linguistics, 2004, 30; 23~44
- 28 Goatly A. The Language of Metaphors. London: Routledge, 1997
- 29 Fellbaum C. WordNet: an electronic lexical database. Cambridge: MIT Press, 1998
- 30 Russell S W. Book Review: A computational Model of Metaphor Interpretation. Metaphor and Symbolic Activity, 1996, 11; 169~174
- 31 周昌乐. 隐喻、类比逻辑与可能世界. 外国语言文学研究, 2004, 4; 10~12
- 32 Fillmore C J. The Case for Case. In: Bach E, Harms R., Eds. Universals in Linguistic Theory, 1968. 1~88
- 33 Holyoak K J, Thagard P. Analogical Mapping by Constraint Satisfaction. Cognitive Science, 1989, 13; 295~355
- 34 Resnik P. Selection and Information: a Class Based Approach to Lexical Relationships; [PhD. Thesis]. Pennsylvania: University of Pennsylvania, 1993

(上接第94页)

11. Client→Server: Policy
  12. Client→Server: ClientDone
  13. Server→Client: Key
  14. Server→Client: Policy
  15. Server→Client: ServerDone
  16. Client→Server: Key
  17. Client→Server: Policy
  18. Client→Server: ClientDone
- 13~18 步可能来回多次, 直到满足各自的访问控制策略。
19. Server→Client: TrustNegotiationDone

## 5 安全性能分析

认证过程主要分两个阶段, 即协商信任阶段和密钥交换阶段, 协议的性能也取决于这两个阶段。这里将不对具体的密钥交换协议进行分析。

对于资源信任协商而言, hash 函数具有单向性, 所以属性不能伪造。另外对属性使用对称密码进行加密, 属性具有保密性。在向对方出示第一个解密属性的密钥以后, 接收方不能知道其他的属性值。接收方只能在发送方控制下逐步计算出属性值, 因此双方可以控制自己的属性值的出示, 保护自己的敏感属性。由于双方交互的消息是保密的, 因此 RCTN 也防止了传统信任协商存在的中间人攻击问题。

该认证协议与传统认证协议主要区别是多了一个建立信任的过程, 主要是由于传统认证协议是基于已经存在了信任关系这个隐含的条件。因此该认证过程要增加一定的计算量。但是在上面的例子里, 在 TLS 中引入资源限制信任协商基本上没有增加额外的负担。

## 参考文献

- 1 徐光祐, 史元春, 谢伟凯. 普适计算. 计算机学报, 2003, 26(9): 1042~1050
- 2 Balanz D, Smetters D K, Stewart P, Wong H C. Talking to strangers: authentication in Ad hoc wireless networks. In: the

- 9th Annual Network and Distributed System Security Symposium, San Diego, California, Feb. 2002
- 3 Kohl J, Neuman S. The kerberos network authentication service. IETF RFC 1510, 1993
- 4 Pirzada A A, McDonald C. Kerberos assisted authentication in mobile Ad hoc networks. In: Castro EV, ed. the 27th Conference on Australasian Computer Science. Dunedin, New Zealand, 2004, 26; 41~46
- 5 Asokan N, Ginzboorg P. Key agreement in Ad hoc Networks. Computer Communications, 2000, 23(17): 1627~1637
- 6 Stajano F, Anderson R. The resurrecting duckling: security issues for Ad hoc wireless networks. In: Christianson, B, Crispo B, Roe M, eds. The 7th Intl Workshop on Security Protocols, LNCS 1796, Springer Verlag, 1999. 172~194
- 7 Stajano F. The resurrecting duckling—what next? In: The 8th Intl Workshop on Security Protocols, LNCS 2133, Springer Verlag, Berlin Germany, April 2000. 204~214
- 8 Kagal L, Finin T, Joshi A. Trust based security in pervasive computing environments. IEEE Computer, 2001, 34(12): 154~157
- 9 Winslett M, Yu T, Seamons K, Hess A, Jacobson J, Jarvis R, Smith B, Yu L. Trust negotiation on the Web. IEEE Internet Computing, 2002, 6(6): 30~37
- 10 Hess A, Jacobson J, Mills H, Wamsley R, Seamons K E, Smith B. Advanced client/server authentication in TLS. Network and Distributed System Security Symposium, San Diego, California, Feb. 2002
- 11 Hess A, Holt J, Jacobson J, Seamons K E. Content triggered trust negotiation. ACM Transactions on Information and System Security, 2004, 7(3): 428~456
- 12 Jarvis R. Selective disclosure of credential content during trust negotiation. Master thesis, Department of Computer Science, Brigham Young University, 2003
- 13 Al Muhtadi J, Ranganathan A, Campbell R, Mickunas MD. A flexible, privacy preserving authentication framework for ubiquitous computing environments. In: the 22nd Intl Conference on Distributed Computing Systems Workshops 2002. 771~776
- 14 Blake Wilson S, Nystrom M, Hopwood D, Mikkelsen J, Wright T. Transport layer security(TLS) extensions. IETF RFC 3546, June 2003
- 15 肖道举, 郭杰, 陈晓苏. 一种对中间人攻击的防范策略的研究[J]. 计算机工程与科学, 2004, 26(9): 7~8