

# 类比推理综述<sup>\*</sup>(下)

徐冬溶<sup>1</sup> 潘云鹤<sup>2</sup> 张畅<sup>2</sup> 王选<sup>1</sup>

(北京大学计算机研究所 北京 100871)<sup>1</sup> (浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)<sup>2</sup>

## 4 类比能力的发育

隐喻与类比的关系十分密切,可以说是类比的一种特例。为了研究类比推理,深刻地理解类比、隐喻之间的关系以及这种能力的发生和发展是十分重要的。然而这项研究的成果并不太多,研究者共知的事实只是,即使很小的小孩子也常表现出类比、隐喻(Metphor)的语气。关于隐喻和类比能力发展的研究常常引用一些相当复杂的任务,要求被试儿童针对一给定上下文产生或选择一个合适的比喻,或解释测试者提供的比喻。主要工作集中在6岁至青春期这一区间。但是研究者却常常忽略了这样一个问题,除了隐喻能力,还有很多因素会影响测试,测试

的设计应尽量去加以避免或消除。

(1)被试在以前生活中积累的经验,会左右其隐喻的使用。

(2)被试缺乏产生隐喻域或应用隐喻域中的概念性知识,并不表示其隐喻能力欠缺。

(3)测试者的要求有时暗示了被试,产生误导。

(4)为了便于事后的归类和分析而提供的标准化选择,掩盖了被试本身的隐喻能力的表现。

Verbrugge[Ver 1975]在分析隐喻和类比时将之分解为三个部分:主题和与主题相比较的载体(Vehicle),以及主题和载体的共同点一背景。他发现这种作为共同特性的背景内容在整个隐喻、类比的记忆中发挥着重要作用[Ver1973,75]。Gentner

数据库系统中简直是不能允许的。该算法的一种改进型称为分区式拷贝法,是将垃圾回收的范围限制在一小区域中,数据库的空间首先按逻辑或物理的标准划分成若干分区。要进行垃圾回收的这个区域一般被认定是在收集器的作用下能提供最大的自由空间,若分区中存在与其它分区的对象引用环,那么垃圾回收过程可能失败,这可通过扩大分区大小(将原来两个分区合并成一个)来解决,分区大小可扩大至整个数据库变成一个分区,保证垃圾回收工作的顺利进行。后二种算法也称为 Tracing-Based 垃圾回收法。

聚簇和垃圾回收是进行对象库存储重组的核心技术,也是目前对象库研究的热点之一。基于图分区的聚簇算法虽然聚簇效果最好,但由于其复杂性而未能在实际系统中采用,各类垃圾回收策略也面临着如何与应用程序行为相适应的挑战,因此,灵活、高效、实用的聚簇和垃圾回收技术将是一个有待进一步研究的目标。

### 参考文献

[1] Pamela Drew et al., The Performance and Utility of the Cactus Implementation Algorithms, Proc. of the

- 16th VLDB Conf. 1990
- [2] James W. Stamos, Static Grouping of Small Objects to Enhance Performance of a Paged Virtual Memory, ACM Trans. on Computer Systems, 2(2)1984
- [3] Manolis M. Tsangaris et al., A Stochastic Approach for Clustering in Object Bases, Proc. of ACM SIGMOD 1991
- [4] Ellis E. Chang, Rendy H. Kats, Exploiting Inheritance and Structure Semantics for Effective Clustering and Buffering in an Object-oriented DBMS
- [5] Manolis M. Tsangaris et al., On the Performance of Object Clustering Techniques, Proc. of ACM SIGMOD 1992
- [6] Margaret H. Butler, Storage Reclamation in Object oriented Database Systems, Proc. of ACM SIGMOD 1987
- [7] Voon-Fee Yong et al., Storage Reclamation and Reorganization in Client-Server Persistent Object Stores, Proc. of IEEE Conf. on Data Eng. 1994
- [8] Laurent Amsaleg et al., Efficient Incremental Garbage Collection for Client-Server Object Database Systems, Proc. of the 21th VLDB Conf. 1995

\* 本文受到国家自然科学基金、国家“八五”攻关项目、国家“八六三”计划及攀登计划资助。

的观点与之类似。她在研究儿童心理发育过程中,提出了一套比 Verbrugge 细致的工作方法 [Gen 1977a]。她认为,隐喻和类比从一个语义域(源)映射到另一个语义域(应用)中,传递了一些语义关系。这些语义关系实际上正是 Verbrugge 的等价物,构成了两个对照物之间的共性。将这种共性归为一个语义关系集合有利于规划对隐喻表现的评价的客观标准(参见 [[Gen 1977a]] 例)。

于是,一个简单的隐喻表达可以同时在两域之间传递不同的相似性。所能传递的概念越多,这个隐喻就越好,前提是保持内部的一致性,即从源到应用的关系映射不出现矛盾,这正是 Gentner 一贯强调的系统性原则。实际上,一个有效的隐喻必须在域间同时传递几个对应相似 [Ort 1975]。

隐喻和类比是一对十分相近的概念,本质上是相同的,但其表现形式和应用对象有所差异。Gentner 对此作了区分。她认为在源和靶对应对象之间的这种相似比较,如果是服务于一种高雅的目的,着重欣赏性和艺术性,那么就是隐喻;如果是服务于解释性的,旨在理解对象,则属于类比。因而,隐喻好坏的评价标准应是所建立的这种比较关系的新颖性和内涵的适宜性,而类比的标准则是实现的映射内容数量和系统一致性的保持状况。

针对儿童成长过程的心理学研究表明,随着年龄的增长,选择新颖而合适的隐喻的能力随之增长,类比能力的发展则相对较复杂一些。

研究材料选用的是一些学龄前儿童都熟知的对象,这样就较好地排除了一些额外因素的干扰。测验主要考察孩子们在类比映射中保持“系统一致性”的能力,从而反映出孩子们类比能力的状况。

通过将人体与一座山建立类比对对应关系的一个简单测验、一个较为复杂的方向性任务实验、以及关于统一映射到同一幅图的联合模式和分别将各部件映射到不同图的高散模式的两种方式的实验,表明很小的孩子已经具备了简单映射的能力,而且方向性问题没有明显的年龄差异,年龄与模式是无关的。另一个较复杂的特征试验中,要求被试有能力排除一些误导标记的干扰。结果表明,年龄因素与特征联系紧密。

关于类比能力的这组心理实验表明,成人缺乏一种在具有冲突的具体细节之下保持概念性关系的一个抽象集合的能力,他们一般较难在一些细节干扰下保持一种整体系统性。这种能力的缺乏,从另一个角度也可以理解为成人总是试图用一种比孩子们

用的更复杂的方式或自以为是更完美的方式来实现映射。这说明,在类比和隐喻的后期发展中,其他一些因素的作用干扰了“系统一致性”。

可以发现,类比能力是在小孩子时期就有的,当然小孩与成人之间在程度上还有区别。如前所述,它还受到经验、知识等一些因素的影响,但显然类比能力是一种语言应用以外的能力。

一直存在一种说法,即人的类比能力发展呈现曲线型,很小的孩子和成人都较好,而中间年龄则表现较差,这与以上的实验是相容的。

在 Gentner 的另一项研究中 [Gen 1980],她发现对于初学者,在类比匹配时,通常属性和类属比对象间的关系更重要;对于一个老手,情况相反,关系起更大的作用。这种关系在 Winston 的研究中被归为“原因性因素”,并提出了“原因致偏机制” [Win 1982]。Gentner 的进一步研究 [Gen 1986],提出了“透明度”概念,表达类比匹配时的对应关系清晰度。其结论是,透明度强烈地影响类比转换的精确度,并且年纪较大的孩子比幼儿能更好地把握“系统性”。与大人相比,小孩子的“系统性”不强,即使有所表现(尤其幼儿),也是无意识的,而大人则带有明显的倾向性。研究表明,8 岁以上的孩子能用高次约束来保持低次约束,表现出有意识的“系统性”。

总的来讲,小孩子天生具有类比能力,后天的学习使其在一定程度上有所提高,但其他一些因素起的作用,降低了无意识“系统一致性”的作用。这种降低,从另一角度来看,可以认为是他们希望用一种自己认为更好的“系统一致性”来起作用,有意识的“系统一致性”被加强了。

## 5 类比推理理论

迄今有关类比推理的研究尚不够深入,尽管积累下来的工作也已相当丰富,但类比和类比推理的定义却仍然是相当含糊的。在《韦伯斯特新世界辞典》中,类比的定义是 [Lei 1990]:

(1) Similarity in some respects between things otherwise unlike.

(2) The inference that certain admitted resemblances imply probable further similarity.

上述第一条是静态定义,注重于对象之间的共同与差异,第二条则与我们讨论的比较接近,是一种动态性的描述,指出了类比推理的含义及目标。

Winston [Win 1982] 认为,类比是一个过程,基于假设,“如果两个情形在某些方面存在相似,那么

它们必定在另一些方面存在相似”。Flood [Flo 1990]认为类比是“用新观点看一个现象,用一种新方式重新解释和重新推理旧的想法”,Large [Lar 1990]认为类比是“人类使用旧经验处理新情况的能力”,在另一些文献中[DeR 1992][Kea 1988][Kli 1971][Zha 1993],Kling, Rumelhart, Gick & Holyoak 等人甚至未对类比进行明确地定义就开始讨论研究类比推理了。赵沁平[Zha 1993]关于类比的定义是“由于认识到新情况和已知情况在某些方面的相似”从而推出它们在其他相关方面也相似。伊波[YiB 1990]定义为“类比是某种类型的相似性,是一种更确定更概念性的相似性”,并认为与其他相似性存在两层含义之不同,同时还给出类比推理的定义:“根据类比分析得到的类比对应扩充某些对应关系,或将某些基的性质转换成靶的性质,这种扩充或转换必须保持类比对应性质(类比对应的一致性),同时,至少在靶系统中是不矛盾的”。[YiB 1990]还对“类比分析”作了说明。张光鉴在其《相似论》[Zha 1992]中提到类比推理解释为“从两个对象(现象过程)的某些类似特性和一个对象的已知特性推出另一对象也具有这个类似的特性”,并列举了一些典型形式。

所有这些工作,都提及“相似性”,并将类比建立在“相似性”假设之上,然而对于“相似性”这个概念,以及什么是相似却都没有作认真深入的讨论。为了弥补这一缺陷,伊波等人[YiB 1992]从“认识论和方法论角度”给出了类似的两个形式定义,这一定义虽然很严格,但与类比的一般性和可操作性还存在一定距离。此外,Tversky [Tve 1970, 77]对“相似”作了专门研究并给出了一个理论上的计算模型。

在已有类比推理理论中,比较有代表性的是Winston的类比理论,Gentner的结构映射理论。此外,还有Evans的模型,Haraguchi [Har 1986]用Herbrand域间的部分等价定义两个逻辑程序上的类似对应,Carbonell [Car 1983a]基于MEA的类比求解问题的计算模型,Holyoak的ACME等。

### 5.1 Winston的类比理论

Winston的类比理论,主要研究类比的学习过程,关注一个人在学习过程中如何在两个领域的知识之间建立对应。Winston用简单的小故事标记莎士比亚戏剧片段的方式来研究这一过程,并由此判定它们之间存在怎样程度的相似。在这种匹配对应的过程中,计算模型各种可能的匹配组合,呈爆炸趋势,这是一个严重问题。当一方有 $N_1$ 个成分另一方

有 $N_2$ 个成分并且 $N_1 > N_2$ 时,可能组合是 $N_1! / (N_1 - N_2)!$ ,即使只与完全等同的成分匹配,这个计算量也是惊人的,当考虑到部分匹配时,问题就更严重了。为了消除这种不利的情况,Winston提出了两个办法,重要性匹配策略和预分类方法。他认为那些起原因作用的成分可以被看作是重要的,因而在匹配时通过首选重要性程度较高的成分进行匹配就可以极大地降低匹配计算量,他同时发现将有关成分进行预先分类并只在特定类成分间允许建立匹配也可以极大地削减计算量,这样,在考察罗密欧、朱丽叶与灰姑娘的对应关系时,首先就要确立罗密欧和王子都是男性,同时朱丽叶与灰姑娘都是女性,固定这两对关系,并对其余的成分之间进行匹配计算,这样,匹配的可能组合就被极大地减少了。但是正如Winston自己所指出的,这样的方法使得找到一个男性“灰姑娘”成为不可能,然而这种情况在实际生活中是存在的,比如在英国撒切尔首相时代,类比巴巴拉·布什的第一夫人关系时,那么谁是英国的第一夫人?对人来讲,丹尼斯·撒切尔的“第一丈夫”角色是与之相匹配的,而上述方法却会带来严重的错误。因此,一个好的匹配计算应在降低组合数量与提高可靠性之间进行权衡。

在Winston的方法中,要求对自然的输入作一些简单的演绎,例如,A与B结婚就有B与A结婚;A杀了B就有B死了。在选择重要关系时,使用了一种“致偏机制”(Biasintroducing Mechanism),只标记那些导致特殊关系的原因链中的关系为重要的,而不是一般地将原因链中所有关系都标为重要。这些关系之所以重要,是因为它们与可能从先例导出新情况的约束有关。为了能从先例和练习中类比得出规则,给出了三条原则:

(1)如果要求的关系存在于当前练习,则就引结束。

(2)若要求的关系在先例中是由其他关系引发的,建立练习中的另一些关系。

(3)若要求的关系不存在于练习,在先例中也无引发,则寻找另一个建立该先例的先例。

这样,原因性结构构成了一个模板,导致可能存在要求关系的先例。Winston给出了一些例子。进一步,Winston认为类比推理可用于证实或预测。他提出了AND树的概念。在树中,根是练习中求证的关系,叶是在练习中保有的关系,通过向上归结,就可求证,而树的结构是由先例提供的,这个过程得到类比结论。各分叉之间是AND关系,于是可用来对多

个原因性关系进行类比推导,而其中的原因性结构是重要的,值得重视。通过这样推导一个过程,简单的练习可以被完成而规则也被抽取了出来。AND 从上往下也可以进行一种类比推理,此时 AND 树不再是 AND 树。它通过类比,对一个原因可能产生的  $m$  种结果作出估计。Winston 对此也作了论证。此外,Winston 还研究了规则的表达、存储和检索的原则以及错误结论的回溯等工作,参见[Win 1978,79,80,82,86]。

## 5.2 Gentner 的结构映射理论(SM)

Gentner 是现代类比推理理论的主要奠基者之一,她从研究儿童心理学入手,系统地研究了人类类比能力和类比思维[Gen 86][Gen 77],并提出了著名的结构映射理论(Theory of Structure Mapping, SM)。

Gentner 将类比分为两类[Gen 82]:解释性类比,倾向于分析和预测;表达性类比,倾向于描述作用和启发作用。而解释性类比又分为好的解释性类比和差的解释性类比。为了区分这些类比,她提出了三个概念:透明度、富含度和系统性/抽象性。透明度是有关基与靶间的映射的,透明性差的映射会导致一对多或多对一的匹配;富含性是与谓词被可靠地映射的数量有关的,是对谓词“密度”的度量,系统性/抽象性是指输入的谓词对整个系统的整体概念性约束的从属程度。她认为解释性的类比通常具有较高的透明度和系统性,而富含度不高;另一方面,表达性的类比则具有较高的富含度而透明度和系统性较差。有关解释性类比的好坏,Gentner 没有给出清晰的辨别标准,但她认为透明度的欠缺和系统性的不足是差的解释的类比的主要特征。这暗示了结构性的差异是好坏的一条重要因素。可以发现,Gentner 关于解释性与表达性类比的区分与其关于隐喻和类比的区分[Gen 77]是一致的,在这里,她将原先的隐喻和类比统一在类比下进行研究。

Gentner 的结构映射理论[Gen 83]将类比论域的内容分为三类:关系(高阶和低阶)、属性和对象。这样,通过区别性的表达并限制映射只能在同类之间发生,就将类比匹配搜索时可能产生的组合数量大大地削减了。对象被用来表达单个的实体,属性则是一阶谓词,关系是多阶谓词。与 Winston 区分约束一样,Gentner 也将关系划分为原因性的和其他的。Gentner 采用的映射规则是:

(1)舍弃对象的属性; $Red(b_i) \not\rightarrow Red(t_i)$ ,但当这种属性是与高阶关系相关时,不舍弃。

(2)基中对象间的关系一般要被映射到靶中: $Collide(b_i, b_j) \rightarrow Collide(t_i, t_j)$

(3)特定关系的映射依据系统性原则,看高阶约束关系本身是否可被映射,例如:

$CAUSE(push(b_i, b_j), Collide(b_i, b_j)) \rightarrow Cause(push(t_i, t_j), Collide(t_i, t_j))$

在结构映射理论的计算模型 SME(结构映射机)[Fal 86][Sko 87]中,这一算法被用于计算可能的各种关系的匹配以及与之相关的对象之匹配,并依据靶中的系统性原则评估这些映射,然后根据评价价值选取具有较高系统特性的匹配映射。SME 对一个表达的处理分作三步:

首先,建立所有保持系统性的匹配并逐个计算,加以评估。系统性原则在此以某种形式起作用。

其次,将所得的各种可能匹配建立为全局匹配。这些可能的匹配被称为 G-map。

最后,采用三个标准来评估这些 G-map 的适宜性:(1)支持该 G-map 的证据多少;(2)使用该 G-map 而得到的域间映射的数量多少;(3)连通成分的相对大小和数量多少。

显然,Gentner 的结构映射理论是纯结构性的,其匹配是语法性的,与其内容含义无关。然而,学术界的争论和心理证据表明,语义性的内容又常常是重要的。为此,Gentner 对其理论作了修正,在其核心的结构映射之前和之后以目标和计划的形式采用了一些实用性因素,而其核心的 SM 机制并未改变[Gentner in press]。

Gentner 的纯结构性方法加上实用性因素保持了她在这一领域中奠基人地位,但她的理论存在很大局限性,即要求对目标和计划细节的准确表达,在评价机制中存在的细节之间的相互作用也不是十分清楚。这是因为她的理论建立在对研究对象的透彻了解和清晰表达之上。要做到这一点,通常是有难度的,尤其对实际问题更是这样。尽管如此,经过大量的类比测试,SME 表现出一些类似人的类比行为,仿佛人那样从仅在表面相似的匹配中区分出了可类比的故事,并在理论上取得了一定的进展。

## 5.3 Holyoak 和 Thagard 的类比约束映射机(ACME)

Holyoak 和他的同事首先提出了“实用性”概念。在他们看来,类比的映射不能仅仅依靠基和靶之间的结构对应关系,在很多情况下,实用性因素对类比源、映射和结论判定起着重要作用。举例来说,如果问尼加拉瓜与古巴有哪些可比较的,此时需考虑

有关两国各个方面的情况;如果问题是政治方面的,则考虑的对象缩减为有关知识的一个子集,考虑的知识集合都与特定的目的有关,这就是“实用性因素”。在类比结论的可信度问题上,也有实用性的作用。例如在基中已知谓词P和对象O,并且P和O映射到靶的P'和O'上,如果在基中公式P(O)成立,那么P'(O')在靶中成为一个候选定理。它是否成立与类比思考者的类比目标这样的实用性因素有关,也同类比者在靶域中的先验知识是否一致这样的实用性因素有关。

如果一个类比有m个谓词n个常量,则近匹配就有 $m!n!$ 种,典型情况下,m=10而n=15,则可能匹配就是4.7亿亿之巨。为了有效地进行类比,须使用一些有用的约束。Holyoak从Marr和Poggio的立体视觉[Mar 1976]工作受到启发,将类比匹配看作是同时满足多个约束,就象两眼看到的图象各有一个点相匹配,而没有先验的优先权规定匹配须在哪些对象之间进行,Holyoak提出的三个条件是:(1)结构性约束,(2)语义性约束,(3)实用性约束。

(1)结构一致性。许多理论,尤其Gentner,都强调结构一致性对应作为类比映射的一个标准[Bur 1986][Fal 1986][Gic 1980][Hof 1984][Win 1980]。一般说来,只有在两个类比物形成对应并在关系之间建立对应,才可能进行类比。因而结构性一致是一个重要条件,这可以通过“形态”的概念来形式化,如果靶T为: $T = (O, R_1, \dots, R_n)$ ,其中O是一个对象集合, $R_i$ 是O上的n个关系;基为: $S = (O', R'_1, \dots, R'_n)$ ,则其间的映射可定义为:

$$m: O_i \rightarrow O'_i, R_i \rightarrow R'_i$$

于是,m定义了一个合法的同态当且仅当m是一一对应且对T和S中任何对象有:

$$O_i R_k O_j \mapsto m(O_i) m(R_k) m(O_j)$$

$A = (T, S, m)$ 是一个合法的类比,这样, $O_i$ 与 $O'_i$ , $O_j$ 与 $O'_j$ 映射导致了 $R'$ 对 $R$ 的类比。

这种二元的结构一致性可以被扩展为N元关系,此时要求在基与靶中的命题与命题、子命题与子命题、参数与参数之间分别形成对应。

(2)语义相似性。结构相似性并不顾及两个类比对象之间可能存在的相似含义,通常语义的相似有时不如结构的相似对应重要,但许多研究者相信并被从实验观察到的证据证实,语义相似性对类比匹配存在显著影响。保持较高的语义相似可以降低映射难度[Gen 1986][Hol 1987][Ros 1987][Win 1980]。那么,问题就是怎样来考虑这种语义相似性。

实际上,对象的语义相似可以从谓词的相似性得来,如果两个谓词之间存在相似,则其作为参数的对象也是相似的。谓词的相似计算可以使用特性涵盖[Tve 1977]方法。另一种方法是语义相似性转化为结构相似性,即在结构相似匹配中附加一些条件,例如规定以相应关系必须是同名的[Fal 1986](Falkenhainer只要求多元关系同名而单元关系可不同名,他将函数表达为一元谓词,而SME可以映射不同名函数),或规定对应关系须共有某些特征[Burs 86][Win 1980]。同名方法要求过严,与心理学证据不太相容[Bur 1986],相比之下,属性共享的语义约束方法更可行。

(3)实用目的。是类比过程的另一个广为重视的因素,例如重视原因性知识[Hes 1966][Win 1980],重视高层计划和目标以及功能性知识[And 1989][Bur 1986][Car 1983,86][Ked 1985b]。虽然这些工作存在重要的差别,但都显式或隐式地使用了有关实用目的的知识帮助建立类比的映射过程。

实用性目的对初始有用类比源的选择和随后的方案修正阶段的工作有重要作用,Gentner从其修正的SME出发,认为实用性目的只在核心映射之前和之后起作用,但对映射操作本身无用,而通过这种实用目标对工作区内的存储方式和结构所起的作用也是间接地由对结构一致性的影响表现出来。Holyoak不同意这种观点[Hol 1989],认为实用性目的可以直接起作用。他认为从基映射到靶的命题存在极大的弹性,完全有可能选用了非期望的靶中结论[Gen 1989],这种额外开销,就是因为缺乏目的制导的缘故。缺乏对实用性目的的考虑就不能保证导出的靶中结论是否与推导者的目的相关。实际上,在类比的问题求解和解释过程中,类比者心中都存在一个预先构想的映射及结论,需要通过类比求得与之有关的信息来支持或否定这种先期的假设。此时,一般需要一个有关目标的形式制导。作为一个特例,一个靶的表达包含了代表所求信息的变量,指示类比去提供该内容,于是类比可以倾向于优先考虑使得该变量被实例化或赋值的相似对应。这样,有关原因就可以很快定位,而不必在无约束情况下将任何可能的情况都考虑一遍[Hol 1989]。

支持这种实用性目的观点的经验证据还有Brown的实验[Bro 1986]。他发现在类比中直接考虑目标结构的少儿比不直接考虑目标结构的少儿能更好地进行方案修正,而且事后当这后一种人在被

要求回忆目标结构时,他们都记得目标的关键内容。由此看来,后一种人的不良表现并非出于其记忆原因,而在于他们的选择性注意,他们根本没有想到要参考目标结构。

在建立 ACME 的匹配映射网时,使用了两条原则。第一,类型原则,规定只有相同类型的成分可以形成匹配,即命题与命题,N 元谓词与 N 元谓词,对象与对象;第二,分部分原则,当类比对象分为几个主要部分时,只有相应部分之间的内容可以按第一条原则形成匹配。第二条原则仅在对象分成几个部分时才有用。这两条原则实际上表达了结构性的约束。Holyoak 等在其论文中给出了一个简单的例子,通过一个动态的迭代计算来完成整个网络的匹配,采用了一个  $G(t)$  的量表达相似匹配的一个全局性质迭代规则[Gro 1978]。

与 Gentner 的结构映射理论相比,ACME 可以看作是建立在 SME 基础上的一个广义版本,它们在许多方面是相同的,都有一个全局匹配计算,求得一个最佳匹配,在映射进行过程中都忽略内容含义。但它们也有显著不同,ACME 将语义独立于结构相似,而 SME 要求谓词同名以求得多元关系的映射;ACME 允许没有相似性的关系建立对应,只要它们的参数数目相同,ACME 比 SME 的计算匹配的范围更大,计算的抽象级也较高,SME 强调系统性原则,ACME 也对系统性原则敏感,它将这种系统性归为关系的对称匹配,例如关系匹配引发对象匹配,对象匹配导致相应关系的对应;在 ACME 的匹配映射过程中,结构同态语义相似和实用目的性并行作用以求得最大的收敛和最佳的全局匹配,尤其值得注意的是 ACME 比 SME 的结构性原则增加了两个方面的考虑,即语义性和实用性。

ACME 的两个缺陷是[Kea 1988],(1)ACME 可以成功地对一个命题进行匹配,但不一定能对其所有的成分进行成功匹配,即对多变量大范围的匹配映射,其动态过程不一定能收敛,而人总是能完成这种大范围多变量的匹配[Gick & Holy 1980,1983][Kean 1985,1988],ACME 的应用范围有限。(2)ACME 只能指出一个最佳匹配和一个次最佳匹配,当结果在后期验证中由于某种原因被舍弃时,需重新修正初始映射以重新开动计算,求得新的结果。

#### 5.4 其他理论

Kean 根据自己的研究,认同了 Palmer[Pal 1989]和 Marr[Mar 1982]的观点,认为任何类比映射的充分理论应包含三个层次:信息约束、行为约束

和硬件约束,并且已有的类比理论只阐述了其中两个问题而未能解决行为约束问题,他认为只有他提出的增强类比机(Incremental Analogy Machine, IAM)最清晰地阐述了行为约束。

根据这种观点,他提出了使用结构约束、相似性约束和经验约束的要求,并认为结构约束是最重要的[Kea 1991]。由此,在其 IME 中,除了 ACME 和 SME 的各种约束之外,还引入了行为约束,包括工作内存限制和目的域知识,用以减少类比映射行为可能发生的错误使映射易化。IME 参考了人在处理问题时的方式,没有象 ACME 或 SME 那样去生成所有可能匹配再求出最佳,而是采用一种尝试性算法只选择建立一个可能的匹配集进行解答。当这种方案被发现不行时,再回溯使用下一个可能解。例如,现有一对多的可能映射,IME 并不逐个计算求出全局最佳,而是随机选用一个,例如从第一个匹配开始尝试[Kea 1988,90]。

在 IME 中使用了目标驱动机制,是一种实用性观点,IME 在语法性结构匹配上的开销较小,而侧重于对靶域的匹配合法性和相关性引起的连续性回溯。

Carbonell 是首先提出实用性因素的研究者之一,他十分强调整体目标、计划的导引作用。他提出了 T-space 的概念用以表达类比方案的变形空间(Analogy Transform Problem Space)[Car 1981,82,83],认为类比答案是由检索记忆获得类比源建立 T-space 经过各种操作对方案进行修改得来的。Carbonell 进一步指出由类比的解导出的内容可能比类比源或解的表达本身更有意义,但他未能给出这样一个计算模型[Car 1986],与 Kean 类似,Carbonell 在类比的映射过程中,利用靶域中已知知识和当前目标的差距采用了一种连续回溯的方式。Carbonell 提出的一个类比的计算模型是 MEA (Mean-Ends Analysis)[Car 1983]。

这一领域的其他的一些较活跃的研究者是 Rumelhart 和 Norman [Rume 1981]、Gick [Gic 1980][Gic 1983]、Sternberg[Ste 1977]、Silverman [Sil 1983,85]、伊波[YiB 1988,89,90,93]、赵沁平 [Zha 1990,91]等等,他们都为类比推理的研究做出了一定的贡献。

## 6 几个例子

类比推理的真正实用系统尚未见诸报告,各个研究者提供的都是一些实验性系统,例如 Burtein 的

Carl 用类比方法学习 BASIC 的赋值语句[Bur 1986b], 类比自动程序设计系统 APA[LiB 1993], 逻辑图论推理的类比学习系统 GAP, 用于工程设计的类比规划系统 ANAGRAM[Coo 1990], 以及用于生成 UNIX 程序的 APU[Bha 1993]等。

GAP 的系统结构参见[Cai 1989]。联想模块以输入的领域元素为关键字检索知识库, 求得类比对象, 并依反馈判定成功与否比较模块检查知识库中输入领域与类比领域的概念是否对应, 并根据是否进行概念类比决定转猜想模块还是转换模块。方法转换模块实现方法类比。猜想与概念迁移模块将基与靶之间还未建立对应的概念和知识通过基于联想的框架类比完成概念迁移。验证模块检验类比所得概念与已有知识的一致性, 并将出错信息传送至比较模块进行启发式搜索, 同时比较方法转换的结果与类比领域直接推出的结果是否有不相容, 若有, 则反馈。在一切正常时, 转入存储。存储模块将新近得到的知识存入库以完善输入领域。知识库包含对应多个子领域的子知识库, 其中包含有关概念、规律、公理、方法、技巧等。

在 GAP 中, 包括一组图推理规则, 推理联想关键词是逻辑推理, 通过类推命题逻辑形成图的逻辑推理[Cai 1989]。

APU 的系统框图参见[Bha 1991]。系统包含一个概念字典描述所有出现的对象、谓词和函数。它使用基于框架的表达, 包含各种属性槽和子类关系。各概念依其相似性被链接形成一定的序。规则库是知识库的核心, 并形成 APU 生成能力的基础, 首先处理高层问题求解策略, 这基本是与具体领域无关的。这一策略的例子是各个击破法和贪心法[Bha 1991]。下一层是逐渐细化的问题求解规划。这些规则包括总体规划, 也有最具体的与领域相关的规则。在 APU 中, 是与操作系统有关的。UNIX 规则直接与 UNIX 相关, 描述 UNIX 命令和子程序。

APU 的库包含三个部分。常规库表达了一些常用程序结构[Ric 1989][Wat 1985]。子程序部分详见[Bha 1991]。最重要的是导出历史库, 它包含一张列表, 记录着本系统曾经解决的问题以及解的步骤。

程序合成器的分层规划器基于概念的分层规划[Saq 1974][Sac 1977][Ste 1981], 首先构建包含高层目标的部分计划, 然后将之转化为更详细的子计划, 直到获得一个包含最低层操作符的计划, 因而该计划器可以工作在各个抽象级上。它使用逆向链检索规则。类比推理器使用类比加速程序的导出, 它采

用了启发式内容找到一个先前的可类比例子, 并试图依据当前上下文来重构程序。

在不使用类比机制时, APU 也能工作, 但总要去搜索一条正确规则以进行程序合成, 这导致大量时间花费在搜索和回溯之上。在 APU 的实际工作中, 由于采用了导出历史库, APU 能从该库中检出一个相似的导出计划步骤, 并按此历史针对当前问题进行修正, 大大缩短了工作时间。

一个包含子目标的问题的导出记录了这样一些内容: (1)子目标的表达。(2)解决子目标的子计划, 实际上是一个指向一串子目标的指针, 形成一个树形结构。(3)指向被分解问题用到的规则的指针。(4)可用规则集。(5)各种参数的类型。(6)在目标中下一层表达的规划变量族。

某一节点的子目标决定了该子计划是否可以被作为当前问题的类比对象, 它的检索依据是: (1)是否具有相似的抽象求解结构, 这由分解基问题的高级策略决定。(2)是否具有相似的系统一致性, 这与 Gentner 的系统性原则有一定关系[Gen 1983]; 如果两个问题说明的输入输出参数是一个共同的抽象关系系统的一部分, 则通常它们可类比。在 APU 中, 输入输出对应对象、谓词, 与此有关的函数对应关系。因而在 APU 中可类比问题的输入输出参数具有共同抽象关系系统中的类似作用。(3)解的结构相似和特定求解领域的特征是否相似。APU 对解的要求在问题描述一级上进行结构相似检索, 而对内容进行特征检索。(4)计算概念的距离, 依据对象对应的概念字典中的概念, 按其链的长度计算距离, 越近越类似。

与直接进行规划相比, 用类比方法, 将相应规划存在节点中, 可在两个方面加速程序的导出工作。(1)如果一条规划对一个类比源问题是运用的, 那么对当前问题一般也应适用。如果存在很多可能有用规则而只有极少数最终可导致成功, 那么类比方法将极大地提高速度。当然, 在特殊情况下, 也会有退化情况。当检索算法足够好, 这种情况很少出现。(2)当一个类比检索发现一条源规则是不适合的, 就避免了无类比情况下适用与否的大量计算, 尽管该规则对靶问题是合法的或不矛盾的。

ANAGRAM 是一个用图匹配技术实现类比规划的一个系统。给定一个目标问题描述, ANAGRAM 从数据库中找到一个相似问题求解, 该系统的特色是当一个库中实例只能部分地被用于靶问题而不能完全求得解时, 能够通过合并一些表达相关

## 基于有限布尔命题集上的条件事件代数及应用

姬东耀

(西安电子科技大学研究生部 西安 710071)

TP18

**摘 要** 本文以 Goodman 条件事件代数理论为基础,在有限布尔命题集上建立了一个自由布尔多项式代数  $B$ ,并在  $B$  上利用布尔关系 ( $b' = 0$ ) 给出条件事件的一种新的表示法。该表示法比 Goodman 的主理想陪集表示法直观且计算复杂度小,易于实际应用,并将结果用于解决专家系统中一类循环规则的合成问题与复杂条件命题概率计算问题。

**关键词** 条件事件,产生式规则,计算机,专家系统

条件事件代数是美国海军海洋系统中心 Goodman 教授等以专家系统中的产生式规则“if b, then a”为研究对象,在确保规则概率与条件概率相容的前提下,把布尔代数上的逻辑运算推广到条件事件(规则)集合中而得到的代数系统,目的是为智能系统中的条件推理建立一个数学基础,也是计算机进行高层次推理与建立高层次专家系统所必需的工具。所以,其理论与实践价值都是巨大的,美国军方已将其列为重要研究课题之一。文[1]、[3]中系统阐

述了这一理论。

在文[3]中,Goodman 等人提出了自由度量条件事件的概念,所谓自由度量条件事件就是自然语言中的蕴含陈述或命题“if b, then a”,我们把它简记为  $(a|b)$ ,而且对于任何概率度量  $P, P((a|b)) = P(a|b)$ 。要使这个等式成立,必须适当地表示  $(a|b)$ ,目前一般赞同把它表示为一种等价关系的等价类。Goodman 等人根据布尔环  $R$  上的等价关系  $(a|b) = (c|d)$  当且仅当  $ab = cd$  且  $b = d$ ,把  $(a|b)$  表示为布

实例库的图,形成一个虚拟库,从而扩展各个单独的图来为目标问题提供答案[Coo 1990]。一个例子是,对 Circular 和 Back-and-forth 产生出 Motion 的虚拟库,得到一个更抽象的实例。

## 7 小结

本世纪 60 年代,神经生理学的裂脑人实验表明 [Spe 1962, 64, 66, 68, 75, 76],人的左右大脑是分开独立进行思维,通常左脑进行抽象思维而右脑进行形象思维。切除右脑半球,左脑完整无损,便保留下基本上未受损害的语言能力,对言语字面上的意义大致理解,而对隐喻、音调变化和情绪音调,则一无所知[Bla 1980]。这说明类比是一种左右脑兼具的能力,而隐喻则主要是右脑的形象思维能力。然而,迄今为止除了心理学领域和哲学领域的研究,有关类比、隐喻的研究工作实际上都是基于抽象思维的,因而进一步研究类比推理对研究和模拟形象思维,具有重要意义,有可能会找到计算机真正模拟人类智能的捷径。另一方面,迄今为止,几乎所有类比研究工作都围绕问题求解,这与七十年代末 80 年代

初,当代类比研究先驱 Gentner、Winston 等人为类比定下的基调有关,他们都认为,类比就是当发现事物在某一方面相似而推知其另一些方面的共性。这使得长期以来,类比的工作实际上是进行类似对象的解移植,不能适用于生成性的设计活动。现有的号称通过类比进行设计的系统,实际上是一种模仿系统,在设计活动时要求有一个先例,当前问题的解是对该先例设计方案的移植与模仿。当从未存在过这样一个先例时,这种类比设计系统也就无能为力了。许多研究者已经注意到这一点,发现了处于类比源中间地带的潜在结果的重要性,相继提出了 Between-domain Analogy [Qia 1992] 和类比生成 [Xu & Pan 1995a] 的概念,甚至进一步提高到综合推理 [Pan 1994]。这样,类比开始具有了创新的设计能力,对先例不再是进行模仿和移植而是进行纯参考性的设计活动,这是多年来类比研究的一个进步!

限于篇幅,本文在许多细节上只能一掠而过,有兴趣的读者可参见 [Xu & Pan 1995c]。(参考文献共 168 篇略)