

非限定的概念获取表征重述方法^{*})

陈燕 危辉

(复旦大学计算机科学系认知算法模型实验室 复旦大学智能信息处理上海市重点实验室 上海 200433)

摘要 基于知识的问题求解需要一个丰富而相对完备的概念系统,尤其是当任务具有领域非限定特征时。本文以认知心理学领域的表征重述模型为理论基础,提出了一种基于对象表征的概念系统表征与发展方法,详细研究了概念在4种不同水平下的表征和发展过程。该研究突破了人工智能和认知心理学领域在这一问题研究上的局限性,有助于提高基于知识的系统的推理能力和问题求解能力。

关键词 概念化,表征,学习,语义系统

Nonrestrictive Concept-Acquisition by Representation Redescription

CHEN Yan WEI Hui

(Department of Computer Science, Lab of Algorithm for Cognitive Model, Intelligent Information Processing Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract A rich and complete concept system is required for Knowledge-based Problem Solving, especially when the problem is domain unrestrictive. This paper proposes an object-based representing method for concept system, focusing on the representation and development of concepts on four representing levels. Our approach overcomes the restriction on the research of concept system in both Artificial Intelligence and Cognitive Psychology and contributes to the improvement of reasoning and problem solving ability in knowledge-based systems.

Keywords Knowledge acquisition, Knowledge representation, Semantic system, Machine learning

1 概念系统发展

人工智能和认知心理学领域都从事对概念系统发展过程的研究,但两者研究问题的出发点和角度有很大不同。

在人工智能领域曾经提出过很多经典的知识表示方法,如产生式规则、语义网(semantic network)、框架(frame)、脚本(script)以及情境模式(situation model)等。但这些已有的知识表示方法,大多只适用于简单的、结构定义很好的知识或者规则,在面对跨领域问题和其他一些实际问题时效果非常不好。近年来,在新知识表示方法以及针对知识表达充分性、知识结构、概念系统、概念化等专题的研究相当缺乏。有一些研究针对已有知识表示方法进行了改进和组合,但这样的研究大多是以一个具体的应用为出发点,而不是基于对概念系统发展过程的研究,它们的可实现性很好,但无法达到心理学的理论深度。

Jouve 的概念框架方法^[1]就是其中的一个例子。它结合了概念图与框架两种表示方法,提出了一种应用于法律领域文本语义建模的概念框架方法。概念图的优点在于表达比较清晰,便于人机交互,但当所表达的概念十分复杂时,概念图可能会变得相当庞大而难以理解。而框架的优点在于良好的结构性。Jouve 把概念图片段内嵌到框架的槽中作为槽值,使两者的优点得以结合。但用这种方法所表示的是法律文件中的知识,它们具有标准规范的语义。虽然作者提出这种方法也可以应用到除法律之外的领域中去,但也仅限于那些同样有较好定义语义的领域。

人工智能系统中的概念获取与人的知识获取方式有显著不同^[2]。这种不同表现在人的概念系统发展过程中具有知识的依赖性,某些概念的学习必须在另外一些概念之后,而机器则不是这样。在以特定应用背景为目的的专家系统中,机器被给予所需的领域知识,以解决问题或提出建议。这种限制使得系统运用知识的方式十分不灵活,同时解决问题的能力也不强。因此,从发展角度来研究概念系统的建构是十分必要的。

发展心理学与认知心理学对概念系统的建构同样有很多的研究^[3],但这些领域对过程的研究多于对机制的研究,基本上可以说是粗线条的,均不在算法层次上,即使提出了一些对认知现象进行解释的模型,也因为缺乏对表征和加工过程衔接的细节研究,以及包含进太多尚未有定论的其它认知技能,从而使得这些模型很不精细,离可操作性有非常远的距离。尽管如此,这些研究为概念系统的建构仍然提供了丰富的理论依据。

大多数认知模型研究的都是高水平的认知技能,但 Son 和 Peterson 提出的 CLARION 模型^[4]是一个从事低水平认知技能学习研究的计算模型。模型中具有两种层次(底层和顶层)的知识表征。底层是程序性的表征,概念的各个特征被隐藏在一种分配表征(distributed representation)中,通过一个神经网络获取。顶层是陈述性的表征,它是一种局部表征(localist representation),一个结点代表一个概念。两种表征的形式不同,学习方法不同,所起的作用也不同。当系统不具备有足够的先验知识时,学习是自底向上的,反之则是自顶向

^{*})本研究得国家自然科学基金 60303007、国家基础研究重大项目(973)前期研究专项项目 2001CCA03000、中国科学院智能信息处理重点实验室开放基金项目 IIP2002-3 的资助。陈燕 硕士研究生,研究方向:人工智能;危辉 副教授,研究方向:人工智能,认知科学。

下的。Zacks 的研究^[5]也指出,在人们认识和理解事件的过程中,自动地在时间维度上把事件分割成有意义的部分。当具有足够的先验知识(如目的、期望、意图)时,人们倾向于根据现有的知识结构分割事件;当没有足够的知识时,物体特征成为分割的依据。这两个研究指出在认知过程中,自底向上的学习具有重要的作用。物理特征和现有的知识结构在概念系统的发展过程中都扮演着不可或缺的角色。而自底向上的概念学习,也是使概念系统能比较丰富和完备的唯一途径。

本研究的目标是为概念发展的表征形式找到一个可实现的方法,为计算机系统执行基于知识的任务时提供丰富详实的语义支持。这一研究基于这样一个理论背景,即探索认知结构,这是一个若干领域共有的核心科学问题^[6,7]。

2 表征重述理论

发展心理学致力于研究人的认知发展过程,其中较具代表性的观点有 Piaget 的后成建构论以及 Fodor 的模块先天论。Karmiloff-Smith 调和先天论与建构论中的某些方面,提出了表征重述过程与 RR(Representation Redescription)模型^[8]。她主张人类特有的获取知识的方式是通过表征重述过程,认为相同的知识可以有多种储存的形式和水平。RR 模型包括 3 个阶段以及维持这 3 个阶段的 4 种不同水平的表征。

第一阶段,人们主要从外部环境中抽取信息,形成表征附加物。这时的表征只是加在已有的材料之上,既不改变既存的稳定表征,也不与它们发生关系。在这一阶段的表征形式称为内隐(水平 I)表征。在这个水平上的表征以程序形式对外在环境中的刺激进行编码。水平 I 表征独立储存,可以产生成功的行为,但这种行为是相对不灵活的。

第二阶段是一个内部驱动的阶段,内部表征成为变化的重点。维持这一阶段的表征是外显 1(E1)表征。E1 表征是水平 I 表征重新编码为一种新的压缩形式的结果。水平 E1 涉及外显的表征,这些表征能被操作并与其他重述过的表征发生联系。它们还没有通达意识,也不能用言语报告,但显然超越了程序水平。

第三阶段,外部材料和内部表征调和了,在内部控制和外部控制之间达到了平衡。维持这个阶段的表征被称为外显 2/3(E2/3)水平表征。E2/3 表征超越了 E1 水平的表征,它们都涉及有意识的通达,区别是 E3 水平可言语报告,E2 则不能。

在每一个阶段,最后结果都必须是在现有表征水平下达到行为的连贯成功,这被称为行为掌握。在相邻两个阶段之间发生表征重述。表征重述过程以行为掌握为基础。通过表征重述,独立储存的、程序化的内隐信息逐渐变为可以被认知系统其他部分利用、较灵活的外显知识。表征重述过程在人的认知发展过程中的各个领域、各个时刻不断重复发生,且受到已有表征的内容和外显水平的制约。

RR 模型的提出为概念系统的建构提供了一种新的方法,即从表征的变化发展来研究认知发展。由于这个模型属于发展心理学领域,因此只是一个粗线条的假设,在计算角度上非常不精细。作者虽然提出了几种不同水平的表征,但并没有详细描述其表征形式,也没有给出重述过程具体遵循哪些因素、如何发生等细节。换句话说,RR 模型更多地是关心表征的内容而非形式^[9]。因此,如果想要把 RR 模型应用到知识系统的建构中来,如何表示各种不同水平的知识、选取哪

些特征、以何种形式进行重述等都是有待解决的问题。

3 表征的实现

RR 模型提出了 4 种不同水平的表征,但区别这 4 种水平表征的因素,如“是否通达意识”、“能否用言语报告”等无法简单地对应到概念系统中来,它们如何在计算和表征上对应,都是重大的悬而未决问题。在这里,我们借助面向对象(object orient)和对象的形式定义这一刻画个体行为与关系的手段,将它们巧妙地应用到概念系统的发展与构造上来。面向对象是一种结构很好而且为大家熟悉的对物理世界进行描述的手段,它在理论上、在实现方法上都有保证。最值得利用的地方在于对象的封装性、继承性。需要强调的一点是,在这里用面向对象方法表示结构,与面向对象程序设计没有多大关系,只是利用面向对象理论中用 object 描述世界的思想。面向对象表示既是一种数据结构,又是一种概念系统构成元素。现在我们以表示数数这种认知技能为例,用对象在属性与行为上的进化来解释认知能力上的发展。

内隐水平 I 根据发展心理学关于这一表征水平的行为特点,我们假设对单个孤立事件进行表征的对象是这一阶段外在表现的内在基础。此刻对象除了有可以通过感觉通道感知到的物理信息外,几乎没有属性项,或者几乎没有可变量,在行为上是囫圇吞枣的,不可被中断,缺乏依事件的历程、角色、地点所进行的大尺度分解与小尺度组合;没有模块性,该对象对外可见的部分就是整个行为,而且入口参数几乎没有,也就是说行为几乎是不可调控的和目的几乎唯一性的。

在这一水平,以学习计数能力的事件为例,某一次计数事件以实际对象 CountApple 的形式存在,其中的成分如 APPLE1-3(被计数物)和 Mary(计数者)都由常量来表示,并用表格表示每一个行为前后状态的变化情况。整个过程是不可分的。

CountApple

```
{
    const Apple APPLE1, APPLE2, APPLE3;
    const Person MARY;
    const Position HERE, THERE;
    Process()
    {
```

	Initial State
APPLE1	Position(APPLE1)= HERE
APPLE2	Position(APPLE2)= HERE
APPLE3	Position(APPLE3)= HERE
	HERE

//初始状态

```
MARY. Move(APPLE1);
MARY. Say(ONE);
```

	Initial State
APPLE1	Position(APPLE1)= THERE
APPLE2	Position(APPLE2)= HERE
APPLE3	Position(APPLE3)= HERE

//在 Mary 移动 APPLE1 之后的状态

```
MARY. Move(APPLE2);
MARY. Say(TWO);
```

	Initial State
APPLE1	Position(APPLE1)= THERE
APPLE2	Position(APPLE2)= THERE
APPLE3	Position(APPLE3)= HERE

//在 Mary 移动 APPLE2 之后的状态

```
MARY. Move(APPLE3);
MARY. Say(THREE);
```

	Initial State
APPLE1	Position(APPLE1)= THERE
APPLE2	Position(APPLE2)= THERE
APPLE3	Position(APPLE3)= THERE

//在 Mary 移动 APPLE3 之后的状态

```
}
}
```

外显水平 E1 对若干内隐水平的对象进行归纳,得到一个向上升华一个层次的对象,后者在对象属性和对象行为方面有了很大程度的分化,模块化程度得以提高,参数化水平也得到了发展,也就是说许多功能单一的模块被分离出来。另外一个变化在于此阶段新得到的对象在属性和行为的外部可见性方面得到了发展。

仍以学习计数行为为例,可以在对多次计数实践(相当于已经有多个处于内隐表征水平的对实际事件记忆的对象)的归纳获得进化的表征。由该水平的表征可以看出,被计数物体、计数者与计数过程的结果已经外显,只是计数过程中的规则仍然是内隐的。并且非常关键的一点是这一阶段已经显式地借助概念系统中已经存在的其它概念来简化表征。

```
enum Number {ONE, TWO, THREE, ..., TWENTY}; //定义了
Number 这种枚举类型表示数字
const Number NumberList [20] = {ONE, TWO, THREE, ...,
TWENTY};
```

//NumberList 以数组的形式顺序存放了 1 到 20 这 20 个数字

```
class CountEvent
```

//已经归纳出类,是概念获取的一个显著进步

```
{
Public:
//被计数物体、计数者与计数过程的结果已经外显,只是计数过程
中的规则仍然是内隐的
Object o1, o2, ... on;
//定义了待计数的物体。
Person Operator;
Number result;
void Count()
//描述整个计数过程,它的结果存在 result 中
{
int i=0;
Number num;
While(! (counted(o1)&&&counted(o2)
&&&...&&&counted(on))
//当还有物体没有被计数
{
Choose(oi, ! counted(oi));
//选择一个没有被计数的物体
num=NumberList [i];
Operator. Say(num);
i++;
}
}
result=num;
}
```

外显水平 E2 由于属性和行为依据它们的功能进行了充分的分离,因此为了与已有的对象发生关联,有一些属性和行为变得友元化了,也就是说这些属性或行为可以借助定义在其它对象里的现成定义。因此,这阶段后对象的抽象化水平提高了,同时被其它对象引用的潜在可能性也提高了。

在这一水平上,有了集合(Set)和队列(list)的概念。被

计数物体利用了集合的概念来表示,而有关数列信息(数字的顺序)和计数的操作都被定义在 NumberList 类中,而 CountEvent 类借用了 NumberList 类已经定义好的操作而无需直接访问数列。

```
class NumberList: public List(Number)
```

```
{
Public:
Count()
{
assign(20);
push(ONE, TWO, THREE, ..., TWENTY);
} //初始化为 1 到 20 的数字
}
```

//NumberList 类定义了数列,它是 List 的一个子类,所以继承了 List 的一些成员函数,如 GetFirst(),GetNext()等。

```
class CountEvent
```

```
{
Public:
Set(Object) s1;
//这里的 Set 类和上面的 List 类都是知识系统中已有的知识,
分别表示集合和列表。Object 类表示物体这一抽象概念,诸如
Apple 等类都是它的子类。
Person Operator;
Number result;
void Count()
{
NumberList cl;
Number nl;
Object al=s1. Select();
nl=c1. GetFirst();
//返回数列中第一个数字
Operator. Say(nl);
s1. erase(al);
while(! s1. empty())
{
al=s1. Select();
//任意从集合中选择一个元素
nl=c1. GetNext(nl);
Operator. Say(nl);
s1. erase(al);
}
}
result=nl;
}
```

外显水平 E3 在这一阶段,对象被进一步分化和专门化,可能会发生分裂,使得以前作为对象一部分的内容也可能成为对象,从而提高在其它应用环境下获得成功匹配的可能性,以此蔓延到其它应用领域中去。越是功能单一化、语义单一化的对象,越容易用词语作为符号向外表达。

从下面的表征中可以看出数数过程中的一一对应原则(必须把集合中每一个项目与数列中的一个,并只有一个数字相对应)被外显成一个单独的类。一一对应是一种比较普遍的方法,经过外显以后,这种方法有了被运用到其他领域中的可能。

```
class OneToOne
```

```
{
Public:
List(Bio) OneToOne(Set(Object) set,
List(NUMBER) list)
//将 set 与 list 中的元素一一对应,返回一个物体与数字
相对应的二元组的 List
}
Struct Bio{
Number number;
Object object;
}
//定义了表示一一对应结果的二元组结构
class CountEvent
{
Public:
et(Object) s1;
Person Operator;
Number result;
Count cl;
OneToOne o1;
Number Count()
{
Bio bl;
bl=o1. OneToOne(s1, cl);
}
```

```
result=b1.GetLast().number;
```

以上4种表征的变化发展过程,也正是概念系统变化发展的过程。需要强调的一点是,在系统任何时刻的知识表征都不会是它最终的表征。知识的发展变化是知识系统建构的一个重要特点。对同一知识的各种不同水平的表征同时存在于系统中,对不同的任务可以采用不同的表征来完成。

4 概念化的表征重述过程

由于系统中包含物体和事件两种概念,而事件的表示形式又依赖于物体概念的发展水平,因此必须把两者分开定义和描述它们的发展水平,且同一层次上物体概念的发展水平应略高于事件的水平。下面分别从物体和事件角度描述重述过程在每两个相邻水平之间是如何发生的。

I 水平

物体概念:

1) I水平已经有比较具体的物体的类,如APPLE,PERSON等,以这些物体类来表示事件、定义事件中的常量。

2) 物体的聚类以物体的属性种类和属性值的相似性为依据,其中功能的相似性被认为是很重要的因素。

3) 物体类的生成,把属性常量变为变量,找出共同的量作为类属性质,其他的属性为变量,是单个实例的特有性质,只有在实例化时才有具体的值。

事件概念:

1) I水平已经有一些最简单的动作,即不可分的原操作,它们以函数的形式表示。

2) 通过这些原操作在时间维度上描述事件过程。

I水平-E1水平

物体的重述:

在这一水平的重述过程中,类的层次关系被抽象出来了(如Object类就已经是一个很抽象的类了),形成一个类的逐级层次关系。

事件的重述:

1) 事件的聚类,主要以事件成分和过程的相似性为依据,聚类之后才能归纳,生成事件类。

2) 事件类的生成发生在从I水平到E1水平的重述中。

a) 把常量变为变量,参与事件的物体用已有类型的变量代替,物体类型向上归纳;

b) 事件过程得以归纳,特别是其中循环和条件分支的归纳。

E1水平-E2水平

物体的重述:

一些抽象概念得以提取,这种提取发生在对事件的分析中。

事件的重述:

1) 抽象概念的抽取:提取事件中有关物体的一些特征,生成一些抽象概念。特征的提取主要依赖于一些规定在系统里的先天性,如整体与部分的关系、顺序、对称等等。如集合的

概念就是由整体与部分的关系抽象出来的一个新的概念。其中对抽象概念类的内部元素的操作,如集合中元素的添加、数列中得到某个数的后继等都定义在抽象概念类中。

2) 用所得的抽象概念重新描述类,其中某些操作就利用了抽象类中定义的操作。

E2水平-E3水平

事件的重述:

对象分裂,其实就是方法的提取(对事件过程的特征提取),和上一层次的重述类似。这里的特征主要是指事件过程中的一些特征,比如循环、对应、因果关系等等,如——对应方法的提取。

由此看出,重述过程中主要用到的方法有两个:一是聚类,这里面必须定义各种属性重权重,如“功能”这一属性明显应该在聚类过程中占据比较重要的作用。而归纳只是在聚类的基础中归纳其中的相似性而已。如何定义好各属性的权重,使聚类的结果符合现实情况是重点。二是概念的抽取,这里应该预先定义好所需抽取的特征。特征的抽取是关键。新概念和新方法的产生,主要依靠所抽取出的特征的组合。

讨论 上述研究的出发点是从算法层次上对概念系统的发展进行研究。研究以认知心理学的表征重述模型为理论基础,提出了一种基于对象表征的概念系统表征与发展方法,描述了内隐水平I、外显水平E1、外显水平E2和外显水平E3上的表征形式和发展过程。研究侧重于概念系统表征和发展方法的设计,而没有涉及到具体的实现。在接下来的工作中,将主要从事这方面的研究。

参考文献

- 1 Jouve D, Amghar Y, Chabbat B, et al. Conceptual framework for document semantic modelling: an application to document and knowledge management in the legal domain. *Data & Knowledge Engineering*, 2003, 46: 345~375
- 2 Gordon J L. Creating knowledge maps by exploiting dependent relationships. *Knowledge-Based Systems*, 2000, 13: 71~79
- 3 刘爱伦,水仁德编. *思维心理学*. 上海:上海教育出版社,2002
- 4 Suna R, Merrill E, Peterson T. From implicit skills to explicit knowledge: a bottom-up model of skill learning. *Cognitive Science*, 2001, 25: 203~244
- 5 Zacks J M. Using movement and intentions to understand simple events. *Cognitive Science*, 2004, 28: 979~1008
- 6 Vanlehn K. *Architectures for Intelligence*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1991
- 7 Solso R L. *Mind and Brain Sciences in 21st Century*. Cambridge: The MIT Press, 1997
- 8 Karmiloff-Smith A. Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science. MIT Press
- 9 Carassa A, Tirassa M. Representational redescription and cognitive architectures. *Behavioral and Brain Sciences*, 1994, 17: 711~712