第6卷第1期
1995年1月

软 件 学 报
JOURNAL OF SOFTWARE

Vol. 6, No. 1
Jan. 1995

对象的类比推理研究*

诸葛海

(中国科学院软件研究所,北京 100080)

摘要 本文首先提出对象与对象抽象、规则序与规则映射的理论,为对象的类比推理奠定了一定的基础.在此基础上,建造了对象类比推理模型 OAM.

关键词 人工智能,类比推理,面向对象.

类比推理虽引起国内外许多学者的研究兴趣[1-16],但目前的研究限于一般概念性的思想,缺少形式化的工作,迄今未形成比较成熟的理论和方法.

类比推理是人类智能的重要活力所在,它在一个事件(信息)的作用下激发关于对象的联想,从而有意识或潜意识地建立两个(或两类)对象的对应关系,并根据对其中一个(或一类)对象(某些方面)性质的认识推断出对另一个(或另一类)对象(其它方面)性质的认识.它在人类的认知、科学发现与创造、问题求解等过程中起重要作用.

类比推理的研究可归结为三个基本问题:(1)对象的描述,即如何描述客观对象,建立对象的形式模型;(2)对象间对应关系的定义;(3)类比推理的模式.其中,对象间的对应关系是类比的核心,它刻划对象之间内部的本质的联系,而这种联系往往反映在对象的某些不变的性质和联系上.

1 对象与对象抽象的理论

1.1 对象定义

论域中的任何事物都称为对象.人类认识对象是从给对象加以标识开始的,它将一个对象和其它对象区分开来.对象的标识是一个从论域 V 到标识集 U 的双射 $ID:V\rightarrow U$,(V,U 可以是无限集),本文用 O 或 O 及其上下标来标识所述对象.

定义 1.1.1. 对于任何 $O\in U$,都表示为由 O 的属性集合 S 和 S 上的操作(或服务、关系等)F 组成,且 S 对 F 是封闭的,记为 $O=\langle S,F\rangle$. $O=\langle\{\},\{\}\rangle$ 称为空对象,记为 $O_{\{\}}$; $O=\langle \bigcup_{O_i\in U} S_i, \bigcup_{O_i\in U} F_i\rangle(O_i=\langle S_i,F_i\rangle)$ 称为全对象,记为 O_U.

作为研究问题的方法,我们不去逐一研究单个具体的对象而是研究具有共同性质的对

---

* 本文1992-01-06收到,1992-12-30定稿

本文受到国家自然科学基金的资助.作者诸葛海,1963年生,副研究员,主要研究领域为软件工程环境,人工智能理论与应用,实用软件工程.

本文通讯联系人:诸葛海,北京 100080,中国科学院软件研究所

象的类(型)的性质和规律.用一组属性和操作去划分 U,给每个类以一个新标识,这就构成了一个具有这些共同属性的新对象.类中的对象称为该新对象的实例(对象).

定义 1.1.2. 对于 $O=\langle S,F\rangle$,如果存在 S 的子集 S',且 S' 对于运算 F 是封闭的,则称 $O'=\langle S',F\rangle$ 为 O 的超对象,记为:$O'\in SUP(O)$,与此对应,称 O 为 O' 的一个较具体对象(或子对象),记为 $O\in SUB(O')$.

例如,"源文件"和"文件"两个对象,它们具有相同的操作(如读、写、打开、关闭),但"源文件"比"文件"具有较多的属性,因而"文件"是"源文件"的超对象,"源文件"是"文件"的一个子对象.又如:源文件"prog.c"与"源文件"具有相同的属性和操作,所以"prog.c"是"源文件"的一个实例.

1.2 对象抽象

抽象是认识事物本质,掌握事物内在规律的方法.

性质 1.2.1. 超对象关系具有自反,反对称和传递性.

引理 1.2.1. 设 $U=\{O_1,O_2,\cdots,O_n\}$,则超对象关系在 U 上构成一偏序,记为 $\langle U,\leq\rangle$,(对任意 $O_i,O_j\in U,O_i\leq O_j$ 表示 O_j 比 O_i 抽象)满足:(1)$O_i\leq O_i$,(2)如果 $O_i\leq O_j,O_j\leq O_i$,则 $O_i=O_j$;(3)如果 $O_i\leq O_k,O_k\leq O_j$,则 $O_i\leq O_j$.

命题 1.2.1. 定义运算 $\cap$ 和 $\cup$ 如下:

(1)$O_i\cap O_j=\langle S_i\cap S_j,F_i\cap F_j\rangle$;

(2)$O_i\cup O_j=\langle S_i\cup S_j,F_i\cup F_j\rangle$;如果对任意 $O_i,O_j\in U$,O_i 和 O_j 的上确界为 $O_i\cap O_j$,下确界定义为 $O_i\cup O_j$.则 $\langle U,\leq\rangle$ 为对象格.

在对象偏序集 $\langle U,\leq\rangle$ 中,如果存在集合 $A\subseteq U$,A 中任何两个元素都相关(即,或 $O_i\leq O_j$,或 $O_j\leq O_i$),则 $\langle A,\leq\rangle$ 为一条抽象链,其中必有一个极大元和极小元.

定义 1.2.1. 设 $O_i\leq O_j$,抽象链 $\gamma:O_i\leq O_{i+1}\leq O_{i+2}\leq\cdots\leq O_{i+m}\leq O_j$,$L(\gamma)$ 为求 γ 的长度(即链中符号"$\leq$"的数目).则 $L(\gamma)$ 称为 O_j 相对于 O_i 的抽象程度,记为:$AD(O_i,O_j)=L(\gamma)$,显然:$0\leqslant AD(O_i,O_j)\leqslant m+1$.如果 O_i 到 O_j 有 n 条链,那么:$AD(O_i,O_j)=MAX\{L(\gamma_1),L(\gamma_2),\cdots,L(\gamma_n)\}$,当 $O_i=O_j$ 时,$AD(O_i,O_j)=0$.

性质 1.2.2. 设 $O_i\leq O_j$,且 O_k 在 O_i 到 O_j 的最长链上,则:$AD(O_i,O_j)=AD(O_i,O_k)+AD(O_k,O_j)$,$AD(O_i,O_k)\leqslant AD(O_i,O_j)$.

1.3 对象相似

定义 1.3.1.

(1)如果两对象 O_i 与 O_j 同构,则称 O_i 与 O_j 相似,记为:$O_i\approx O_j$.显然,$O_i\approx O_i$.

(2)对于两对象 O_i 与 O_j,如果存在 O_i 的超对象 $SUP(O_i)$ 和 O_j 的超对象 $SUP(O_j)$,$SUP(O_i)\approx SUP(O_j)$,则称 O_i 与 O_j 部分相似,记为:$O_i\sim O_j$.

性质 1.3.1. 相似关系满足:(1)自反:$O_i\approx O_i$;(2)对称:若 $O_i\approx O_j$,则:$O_j\approx O_i$;(3)传递:若 $O_i\approx O_k,O_k\approx O_j$,则:$O_i\approx O_j$.即,$U$ 上的相似关系 $R_{\approx}$ 为一等价关系.记 $O\in U$ 所属的等价类为 $[O]_{\approx}$,简记为 $[O]$.

性质 1.3.2. 部分相似关系满足:(1)自反:$O_i\sim O_i$;(2)对称:$O_i\sim O_j,O_j\sim O_i$.即,U 上的部分相似关系 $R_{\sim}$ 为一相容关系.记 $O\in U$ 所属的最大相容类为 $\{O\}$.

引理 1.3.1. $R_{\approx}\subseteq R_{\sim}$.

定义 1.3.2. 对于$\langle U,\preceq\rangle$中任意两个对象O_i和O_j，如果存在O_i的祖先O_s，O_j的祖先O_s'，$O_s\approx O_s'$，即，$O_i\sim O_j$，则O_i和O_j相似的距离定义为：

$SD(O_i,O_j)=AD(O_i,O_s)+AD(O_j,O_s')$，满足：

(1)$SD(O_i,O_j)=SD(O_j,O_i)$；$SD(O_i,O_i)=0$；

(2)$SD(O_i,O_j)\in[0,+\infty)$，$SD(O_i,O_j)$越小表示$O_i$与$O_j$越相似，如果：$O_i\approx O_j$，则$SD(O_i,O_j)=0$；如果$O_i$和$O_j$不存在一个共同的或相似的祖先，则：$SD(O_i,O_j)=+\infty$，这时称$O_i$与$O_j$不相似.

(3)如果$O_i\preceq O_k\preceq O_j$，则：$SD(O_i,O_k)\leqslant SD(O_i,O_j)$，或：$SD(O_k,O_j)\leqslant SD(O_i,O_j)$.

引理 1.3.2. 设$R_{\approx}$和$R^{\sim}$分别为U上的相似关系和不相似关系，那么，对于任意$O_i,O_j\in U$，如果$\langle O_i,O_j\rangle\in R_{\approx}$，则：$\langle O_i,O_j\rangle\notin R^{\sim}$；如果$\langle O_i,O_j\rangle\in R^{\sim}$，则：$\langle O_i,O_j\rangle\notin R_{\approx}$.

有时人们只注重对象相似和贴近的研究，忽视了部分相似和不相似.以下给出相似与不相似的关系.

定理 1.3.1. (1)$R_{\approx}\subseteq U\times U-R^{\sim}$；(2)$R^{\sim}\subseteq U\times U-R_{\approx}$.(证略)

性质 1.3.3. $R_{\approx}\cap R^{\sim}=\{\}$.

定理 1.3.2. 如果对任意O_i,O_j，或者$\langle O_i,O_j\rangle\in R_{\approx}$，或者$\langle O_i,O_j\rangle\in R^{\sim}$两者必具其一，则：(1)$R_{\approx}=U\times U-R^{\sim}$；(2)$U$上的相似关系和不相似关系对于$U$的抽象来说是等效的.(证略)

1.4 抽象方法

U上的一种相似关系构成了U上的一种划分方法.设U上所有的相似关系的集合为R，则R便是U上的所有划分方法的总和.对U进行划分的过程就是对象抽象的过程，在这个过程中，认识深化了，同时也完成了某种程度的抽象，因而划分的方法也是抽象的方法.

定理 1.4.1. 设R为U上抽象方法的集合，$\preceq$为R上的方法抽象关系，则：$\langle R,\preceq\rangle$为一偏序格.(证略)

抽象方法可以在一定的条件下运用已有的方法构造出来.

定义 1.4.1. 设R_i,R_j分别为U上的抽象方法，如下构造R_k满足：(1)$R_k\subseteq R_i$，$R_k\subseteq R_j$；(2)如果R_k'是U上的抽象方法，且$R_k'\subseteq R_i$，$R'_k\subseteq R_j$，那么$R_k\subseteq R_k'$.则称R_k是R_i与R_j的积，记为：$R_k=R_i*R_j$.

定理 1.4.2. $R_i*R_j=R_i\cap R_j$，且唯一.(证略)

定义 1.4.2. 设R_i,R_j分别为U上的抽象方法，如下构造R_k，满足：(1)$R_i\subseteq R_k$，$R_j\subseteq R_k$；(2)如果R_k'是U上的抽象方法，且$R_i\subseteq R'_k$，$R_j\subseteq R_k'$，那么$R'_k\subseteq R_k$.则称R_k是R_i与R_j的和，记为：$R_k=R_i+R_j$.

定理 1.4.3. 设$t(r)$表示r的传递闭包，则：$R_i+R_j=t(R_i\cup R_j)$，且唯一.(证略)

抽象方法的积与和提供了对象集的两种不同层次的抽象方法，也为认识对象提供了弱和强两种方法.强方法能够更精确地认识对象，弱方法能够在条件不充分的情况下，粗略地认识对象.通过对象的抽象，简化了复杂对象.

定理 1.4.4. 设$\langle U,\preceq\rangle$为格，“$\preceq$”为U上的对象抽象关系，”$\succeq$”为U上的继承关系，则$\langle U,\succeq\rangle$为格，且与$\langle U,\preceq\rangle$互为对偶.(证略)

1.5 抽象方法的性质

定义 1.5.1. 设$\langle R,\leq\rangle$和$\langle R',\leq'\rangle$分别为二个由抽象方法关系$\leq$和$\leq'$诱导的格，$f:R\to R'$，对$R_1,R_2\in R$，满足：$f(R_1\leq R_2)=f(R_1)\leq' f(R_2)$；则称$f$为格同态.

定理 1.5.1. 设$\langle U,\leq\rangle$为偏序，$\leq$为U上的抽象关系，$R_i\in R$为U上的抽象方法关系，由R_i诱导的商集为：$U/R_i=[U]_{R_i}$，$[\leq]$为$[U]_{R_i}$上的抽象关系，则：$\langle [U]_{R_i},[\leq]\rangle$为一偏序. 即：如果$O_i,O_j\in U$，且$O_i\leq O_j$，$[O_i]$，$[O_j]\in[U]$，则$[O_i][\leq][O_j]$成立.（证略）

定义 1.5.2. 设：$O_i\in U$，$O_i=\langle S,F\rangle$，R_i为S上的抽象方法，构造$\langle S/R_i,F'\rangle$满足：(1)S/R_i的子集X，$F'(X)=[F(X)]$；(2)如果$\langle x,y\rangle\in R_i$，那么$\langle F(\{x,z\}),F(\{y,z\})\rangle\in R_i$. 则$\langle S/R_i,F'\rangle$为用方法$R_i$对$\langle S,F\rangle$抽象后的结果.

推论 1.5.1. 设$f:\langle S,F\rangle\to\langle[S],[F]\rangle$，$F$为二元关系，如果对于任意$a_1,a_2\in S$，$\langle a_1,a_2\rangle\in F$，则：$\langle f(a_1),f(a_2)\rangle\in[F]$.

该推论揭示了这样一个性质：一个问题在低抽象层上有解，则在较高抽象层上也有解，若在较高抽象层上无解，则在低抽象层上必无解. 这是抽象分析的一个基本原则.

2　规则序和规则映射理论

2.1　推理规则的序

定义 2.1.1. 推理规则集$RULES$定义为$U\times U$上的子集，对于任意$rule\in RULES$都表示为：$O_1\vdash O_2$，$(O_1,O_2\in U)$，且满足：

(1)$O_1,O_1\vdash O_2\Rightarrow O2$；

(2)$O_1\vdash O_2,O_2\vdash O_3\Rightarrow O_1\vdash O_3$；

(3)$O_1\vdash O_2\Rightarrow\neg O_2\vdash\neg O_1$；其中$\Rightarrow$表示推导出.

定义 2.1.2. 设"$\leq$"为U上的抽象关系，$O_i,O_i'\in U$ $(i=1,2)$，$O_1\vdash O_2$和$O_1'\vdash O_2'$为两正向链规则，如果$O_1'\leq O_1$，$O_2\leq O_2'$，则称$O_1\vdash O_2$比$O_1'\vdash O_2'$的信息价值大，记为：$O_1'\vdash O_2'\prec O_1\vdash O_2$，其中"$\prec$"称为规则的信息价值序.

定义 2.1.3. 设$rule':O_1'\vdash O_2'$，$rule:O_1\vdash O_2$，且：$rule'\prec rule$，则$rule$比$rule'$信息价值大的程度定义为：

$$
\begin{aligned}
&IV(rule',rule)\\
&=AD(Pre(rule'),Pre(rule))+AD(Post(rule),Post(rule'))\\
&=AD(O_1',O_1)+AD(O_2,O_2'),
\end{aligned}
$$

其中$Pre(rule)$为求规则$rule$的前件，$Post(rule)$为求规则$rule$的后件，$rule\in Rules$，$AD(a,b)$为a相对b的抽象度.

该定义提供了推理规则的选择准则.

定理 2.1.1. $\langle Rules,\succ\rangle$为一偏序.（证略）

命题 2.1.1. 设$\leq$为U上的抽象关系，则以下命题成立：

(1)如果$O_1\vdash O_2$，$O_1'\leq O_1$，则：$O_1'\vdash O_2$；

(2)如果$O_1\vdash O_2$，$O_2\leq O_2'$，则：$O_1\vdash O_2'$.

前向规则在经过前件具体化或后件抽象化后，规则仍旧成立.

推论 2.1.1. 设$O_1\vdash O_2\prec O_1'\vdash O_2'$，如果：$O\leq O_1$和$O,O_1\vdash O_2\Rightarrow O_2$，则：$O,O_1'$

$\vdash O_2' \Rightarrow O_2'$.

这样便为推理提供了一种扩展的方法,即在当推理规则 *rule* 推理匹配不成功时,沿规则 *rule* 的信息价值序找到信息价值较大的规则进行匹配.如果推理结论不够具体,则将推理规则换为推理信息价值较小的规则进行匹配.

2.2 规则格与规则格同态

定义 2.2.1. 设$\langle Rules, \prec\rangle$和$\langle Rules', \prec\rangle$分别为偏序,如果存在映射 $f: Rules \to Rules'$ 满足:对于任意 $rule_i, rule_j \in Rules, rule_i \prec rule_j, f(rule_i) \prec f(rule_j)$成立,则称 f 为规则保序映射.

定义 2.2.2. 设$\langle Rules, \prec\rangle$是一个偏序集,"$\prec$"为规则信息价值序,如果 *Rules* 中每一对元素 $rule_i, rule_j$ 都有最大下界 *glb* 和最小上界 *lub*,则称$\langle Rules, \prec\rangle$为规则格,记:$rule_i \wedge rule_j = glb\{rule_i, rule_j\}$, $rule_i \vee rule_j = lub\{rule_i, rule_j\}$.

引理 2.2.1. 设 $U' = Pre(Rules) \cup Post(Rules)$,$\preceq$为 U' 上的抽象关系,对于任意 $O_1, O_2 \in U'$,如果 $O_1 \wedge O_2 \notin U'$,则令:$O_1 \wedge O_2 = \Phi$,否则 $O_1 \wedge O_2 = O_3, O_3 \in U', O_3 = SUP(O_1) \cap SUP(O_2)$;如果 $O_1 \vee O_2 \notin U'$,则令 $O_1 \vee O_2 = U$,否则 $O_1 \vee O_2 = O_3, O_3 \in U', O_3 \in SUB(O_1) \cup SUB(O_2)$;则$\langle U', \preceq\rangle$为格,其中最大元为 Φ,最小元为 U.

引理 2.2.2. 设$\prec$为定义在规则集 *Rules* 上的偏序,构造 $Rules^+ = \{\Phi \vdash U\} \cup \{rule_i : O_i \vdash O_j\}$,其中:$O_i \vdash O_j \in Rules$,对于任意 $rule_i$ 和 $rule_j \in Rules$,如果 $rule_i \wedge rule_j \notin Rules$,则令 $rule_i \wedge rule_j$ 为 $\Phi \vdash U$,否则为:$Pre(rule_i) \wedge Pre(rule_j) \vdash Post(rule_i) \wedge Post(rule_j)$;$rule_i \vee rule_j \in Rules$,则令 $rule_i \vee rule_j$ 为 $U \vdash \Phi$,否则为:$pre(rule_i) \vee pre(rule_j) \vdash post(rule_i) \vee post(rule_j)$,则$\langle Rules', \prec\rangle$为规则格.其中最大元为:$\Phi \vdash U$,最小元为:$U \vdash \Phi$.

定理 2.2.1. $\langle Pre(Rules), \preceq\rangle$与$\langle Rules^+, \prec\rangle$同构.(证略)

该定理说明了规则集上的信息价值序与其前件集上的抽象序的内在联系,从而使得寻找规则信息价值大的规则的过程可转化为寻找其前件抽象链上的祖先的过程.

定义 2.2.3. 设$\langle Rules, \prec\rangle$和$\langle Rules', \prec\rangle$分别为规则格,映射 $f: Rules \to Rules'$ 对于任意 $rule_1, rule_2 \in Rules$,使得:

$f(rule_1 \wedge rule_2) = f(rule_1) \wedge f(rule_2)$,和 $f(rule_1 \vee rule_2) = f(rule_1) \vee f(rule_2)$成立,则称 f 为$\langle Rules, \prec\rangle$到$\langle Rules', \prec\rangle$的规则格同态.

定理 2.2.2. 规则格同态是保序的.

证明:设 f 为$\langle Rules, \prec\rangle$到$\langle Rules', \prec'\rangle$的同态,

$rule_i, rule_j \in Rules, f(rule_i), f(rule_j) \in Rules'$,

因为 $rule_1 \prec rule_2$ 当且仅当 $rule_1 \wedge rule_2 = rule_1$,

所以 $f(rule_1 \wedge rule_2) = f(rule_1) \wedge f(rule_2) = f(rule_1)$,

即:$f(rule_1) \prec' f(rule_2)$, 证毕.

保序性是知识转换的一个约束.

命题 2.2.1. 设$\langle U', \preceq\rangle$为格,对于 $O_i \in U'(i=1,2,3)$:

(1)如果 $O_1 \vdash O_2$,则:$O_1 \wedge O_3 \vdash O_2 \wedge O_3$;

(2)如果 $O_1 \vdash O_2$,则:$O_1 \vee O_3 \vdash O_2 \vee O_3$.

(3)如果 $O_1 \vdash O_2, O_1 \vdash O_3$,则:$O_1 \vdash O_2 \wedge O_3$;

(4)如果 $O_1 \vdash O_2, O_3 \vdash O_2$，则：$O_1 \vee O_3 \vdash O_2$.

(5)如果 $O_1 \vdash O_2, O_1 \vdash O_3$，则：$O_1 \vdash O_2 \vee O_3$，

(6)如果 $O_1 \vdash O_2, O_3 \vdash O_2$，则：$O_1 \wedge O_3 \vdash O_2$.

3 OAM——对象的类比推理模型

3.1 表示机制

定义 3.1.1. OAM 将对象表示为：

〈对象标识〉:〈别名〉
　　sup:〈超对象标识〉
　　sub:〈子对象标识表〉
　　Ins:[〈实例变量表〉]
　　Para:[〈参量表〉]
　　Operation:〈对象的操作〉
　　Link:〈与其它对象的关系〉
　　pre:〈前件标识〉
　　post:〈后件标识〉
END　〈对象标识〉

其中〈对象的操作〉::={〈操作标识〉(〈参数表〉)}.

3.2 推理模式

3.2.1 推定型

推定型类比推理可分为两类：一类是保真型，类比推理的结论可以在逻辑演绎系统中被证明为真，或在增加附加条件后直接运用演绎推理；另一类是非保真型，类比推理的结论不一定能被证明为真或不能被证明，只是一种推测.

(1)保真型

设 $O_1=\langle S_1, F_1\rangle, O_2=\langle S_2, F_2\rangle, O'=\langle S_1', F_1'\rangle$，

前提：[1]$O_1 \vdash O_2$
　　[2]存在 O_1'，$O_1' \in [O_1]_R$

推论：$O_1' \vdash O_2', O_2' \in [O_2]_R$　　1)

在某些情况下，难以判断：$O_1' \in [O_1]_R$，但经某一变换 φ(如等价变换)后，$\varphi(O_1') \in [O_1]_R$ 可判断，以下模式处理这种情况：

前题：[1]$O_1 \vdash O_2$
　　[2]存在 O_1'和 O_2'，$O_1' \in [O_1]_R$ 难以判定，$\varphi(O_1') \in [O_1]_R$

推论：$O_1' \vdash O_2', O_2' = \varphi(O_2''), O2'' \in [O_2]_R$　　2)

其中 φ 是对象间保持某种不变关系的反映，对象的重构变换[4]就是这样一类关系.

(2)非保真型

前提：[1]$O_1 \vdash O_2$

[2]存在 O_1' 且 $O_1' \in \{O_1\}_R$,

推论：$O_1' \vdash O_2'$, ACF, $O_2' \in \{O_2\}_R$ 3)

ACF 为类比结论的确定程度. $ACF=f(SD_1(O_1,O_1'),SD_2(O_2,O_2'))$, $ACF \in [0,1]$.

与(1)中2)式相应，在某些情况下可运用 φ 进行推论.

增加类比结论的可靠性有两种方法，其一是提高对象间的相似程度和对象的确认程度，其二是将类比结论看作是一个逼进真值的过程，在相关对象中多次运用类比.

多重类比

设 $O_{1i} \in SUB(O_1)$, $O_{2i} \in SUB(O_2)$, $O_{1i}' \in SUB(O_1')$, $O_{2i}' \in SUB(O_2')$, 如果：

前提：[1]$O_{1i} \vdash O_{2i}$

[2]$O_{1i}' \in [O_{1i}]_h$

推论：存在 O_{2i}', $O_{2i}' \in [O_{2i}]_h$, $O_{1i}' \vdash O_{2i}'$ 4)

对 $i=1,2,\cdots,k$，都成立，

则有： $\left(\dfrac{\text{前提}:O_1 \vdash O_2}{\text{推论}:O_1' \vdash O_2'}, ACF\right)$ 成立. $ACF=f(k,|SUB(O_1)|,|SUB(O_2)|)$.

不精确模式

前提：[1]$O_1 \vdash O_2, CF_1$

[2]$O_1', SIM(O_1',O_1)>e, CF_2$

推论：存在 O_2', $O_1' \vdash O_2'$, $SIM(O_2',O_2)$, CF_3 5)

其中 CF_1 为关系"$\vdash$"的确定性因子，CF_2 为对象 O_1' 的确定性因子，CF_3 为推论的确定性因子，e 为相似度的下限，$CF_3=f(CF_1,CF_2)$, $SIM(O_1',O_1)=f'(AD(O_1',O_1))$, f 和 f' 分别为函数.

前提：[1]$O_1 \vdash O_2, CF_1$

[2]$O_1', SIM(O_1,O_1')<e, CF_2$

[3]存在 φ，使得 $SIM(O_1,\varphi(O_1'))>e$

推论：$O_1' \vdash O_2'$, $O_2'=\varphi'(O_2'')$, $SIM(O_2'',O_2)>e$, CF_3 6)

3.2.2 求解型——对象空间问题求解

定义 3.2.2.1. 对于任意两个对象 $O_i,O_j \in U$，都有相似距离：$0 \leqslant SD(O_i,O_j) \leqslant +\infty$ 存在，且：(1)$SD(O_i,O_j)=0$ 当且仅当 $O_i=O_j$；(2)$SD(O_i,O_j)=SD(O_j,O_i)$；(3)对于任何 $O_i,O_j,O_k \in U$，有：$SD(O_i,O_j) \leqslant SD(O_i,O_k)+SD(O_k,O_j)$；则称 (U,SD) 为对象空间，SD 为 U 上的距离，在不致于引起混淆的情况下，(U,SD) 简记为 U.

在对象空间中，由问题对象组成的空间称为问题空间，记为 U_P，由已解问题、解和推理路径组成的空间为基空间，记为 U_B.

定义 3.2.2.2. 设问题空间为 U_p, $U_p \subseteq U$，问题为 O_p，其解为 X，推导过程为规则集的子集，记为 $DER(O_p,X)$，由此构成三元组 $P=\langle O_p,X,DER(O_p,X)\rangle$，则关于 P 的最小模型 M_P 定义为：(1)$M_P \subseteq U_p$；(2)$M_P \vdash X$ 或 $DER(O_p,X) \subseteq M_P$；(3)对任意 $M_P' \vdash P$, $M_P' \vdash M_P$.

仿此可定义基 $B=\langle O_B,O_B',DER(O_B,O_B')\rangle$ 的最小模型 M_B.

定义 3.2.2.3. 从 O_P 到 $O_B \in U_B$ 的变换 h 的最小模型 M_h 定义为:(1)$M_h \subseteq U, M_h \cap U_B \neq \{\}$;(2)$M_h \vdash h$;(3)对任意 $M_h' \vdash h, M_h \vdash M_h'$.

映射 h 的产生与构造是求解型类比的关键,在某些情况下,从 O_p 到 O_B 的变换并不是一个简单的映射而是一个在 M_h 中进行的推导过程.

引理 3.2.2.4. 设 U_P 为问题空间,U_B 为基空间,问题 $P = \langle O_p, X, DER(O_p, X)\rangle$ 为 U_B 的一个点,那么 U_P 和 U_B 存在关于 P 的一个类比的必要条件是:存在 U_B 中的一个点 $B = (O_B, O_B', DER_B(O_B, O_B'))$、一个推导过程 DER_h 和 U 的一个子空间 M_h,使得 $M_h \vdash DER_h(O_p, O_B)$.

上面引理指出,从 O_p 到 O_B 的变换并不是在 U_P 或 U_B 中进行的而是在 U 的子空间中进行的,也就是说,类比的进行除了一个问题空间 U_P 和一个基空间 U_B 外还须要一个变换空间的约束.

引理 3.2.3.1. 设 O_p 为问题,其定义域为 $D(O_p)$. $D(O_p) \subseteq M_P$. O_B 为已解问题,其定义域为 $D(O_B)$,解为 $\theta(O_B)$,$D(O_B) \subseteq M_B$. 推导过程为 $DER_B(O_B, \theta(O_B))$,如果存在一双射,$h: D(O_P) \to D(O_B)$, $M_h \vdash h$,那么,O_P 的解为 $h^{-1}(\theta(O_B))$,推导过程为:$h^{-1}(DER_B(O_B, \theta_1(O_B)))$.

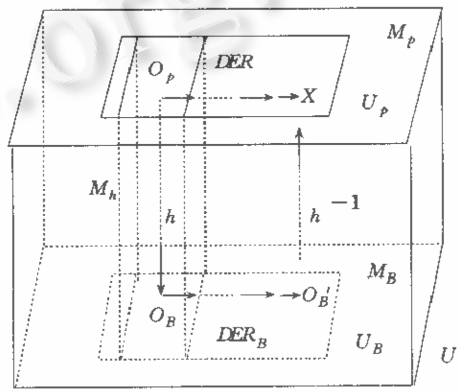

图1 对象空间中的求解型类比推理示意

3.3 推理系统

OAM 推理系统如图 2 所示,其中的箭头为消息(引用操作或引用操作的有序集).

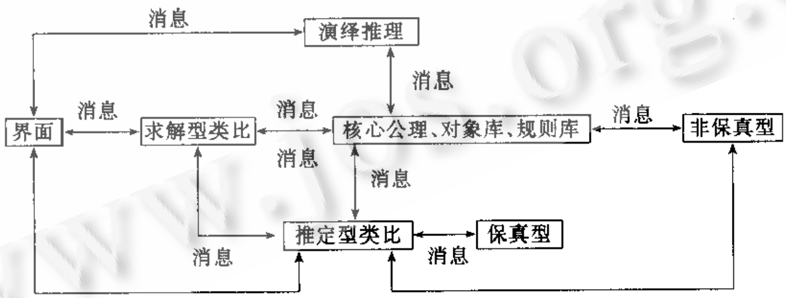

图2 OAM推理系统

4 结束语

作者认为抽象、映射及其所遵循的公理系统是类比推理的根本,从这个观点出发,研究了以统一的对象抽象描述与处理为基础对象类比推理问题.提出了对象与对象抽象、规则序与规则映射的理论,以及类比推理模型 OAM,所提出的理论与模型是对以往研究的重要补充和发展,为广义对象的类比推理奠定了一定的基础.

致谢 感谢胡上序教授和仲萃豪研究员的关心与帮助.

参考文献

1 M Burstein, B Adelson. Analogical learning: mapping and integrating partial mental models. Proceedings of the Cognitive Science Society Conference, 1987. 11—22.

2 D Burell. Analogy and philosophical language. Yale University Press, New Haven and London, 1973.

3 J G Carbonell. Learning by analogy: formulizing and generalizing plans from past experience. In: R S Michalski, J G Carbonell and T M Mitchell(ED), Machine Learning: an Artificial Intelligence Approach, Tioga. Palo Alto. 1983.

4 J G Carbonell. Derivational analogy: a theory of reconstruction problem solving and expertise acquisition. In: R S Michalski, J G Carbonell and T M Michell(Eds), Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, Volume Ⅱ. Morgan Kaufman Publ. Inc., 1986.

5 J G Carbonell. A computation model of problem solving by analogy. In: IJCAI—81, Vancouver, B. C., 1981. 147—152.

6 T R Diavies, S J Russell. A logical approach to reasoning by analogy. In: IJCAI—87, 1987. 264—270.

7 T G Evans. A paradigm for the solution of a class of geometric analogy. Intelligence—Test Questions. In: Semantic Informantion Pressing, M. Minsky(ED), MIT Press, 1968.

8 D Genter. Structure mapping: a theoretical framework for analogy. Cognitive Science, 1983.

9 R Greiner. Learning by understanding analogies [Ph. D Thesis]. Stanford University, CA, 1985.

10 R E Kling. A paradigm for reasoning by analogy. Artificial Intelligence, 1971, **2**: 147—178.

11 M Kerber. Some aspects of analogy in mathematical reasoning. In: Proceeding of Intelligence Workshop on Analogy and Inductive Inference(ALL'89) Lecture Notes in Artificial Intelligence, 1989.

12 W H Leatherdale. The role of analogy, model and metaphor in Science. North—Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1974.

13 R Larry, C Howard, S Rai. Improving the design of similarity—based rule—learning systems. International Journal of Expert Systems, 1989, **2**(**1**): 97—133.

14 S Russell, T Davies. A logical approach to reasoning by analogy. Proceedings of AAAI—87, 1987. 264—270.

15 P H Winston. Learning by creating and justifying transfer frames. Artificial Intelligence, 1978, **10**: 147—172.

16 P H Winston. Learning and reasoning by analogy. ACM, 1980, **23**(**12**): 689—709.

RESEARCH ON OBJECT ANALOGICAL REASONING

Zhuge Hai

(*Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100080)

Abstract A theory about object and object—abstract is proposed, and the rule—order and rule—mapping formalism is presented, and so, laid a certain foundation for object analogical reasoning. Based on the proposed theories, an analogical reasoning model OAM is established.

Key words Artificial intelligence, analogical reasoning, object—oriented.