

一种新的知识表达方法: 概念结构

白振兴 (空军工程学院, 西安710038)

TP311.12

摘 要

本文详细论述了概念结构中概念图的表示形式; 类型理论、类型标号、类型层次和类型格; 个体与名字、聚集与个别; 正则图及构成规则(拷贝、限制、连接和化简)。概念图是一种最新的知识表达方法, 语义表达能力强, 可读性好, 接近于自然语言, 能加入背景知识, 推理速度快, 已被证明优于其它传统的知识表达方法, 必将为解决AI知识获取瓶颈起到积极作用。

1. 前言

概念结构 (Conceptual Structure) 是美国的 John F. Sowa 提出的基于语言学、心理学和哲学的一种最新知识表达方法。较别的知识表达方法, 例如产生式规则、谓词逻辑、语义网络、框架、概念从属、脚本等而言, 概念结构对现有的知识表达方法给以一个全面的描述, 是非常一般的方法。概念

结构不但可以表示一阶逻辑, 而且可以表示高阶逻辑、模态逻辑等。概念结构用概念图 (Conceptual Graph) 形式表达知识。概念图一看很简单, 只有两个结点, 一个是概念结点, 另一个是关系结点, 有点象语义网络, 但又不一样, 能够很自然地加入背景知识, 更符合人类的思维方式。其推理速度快, 表达接近于自然语言, 能在语义方面弄

ESPRIT 3020计划^[1], 所不同的是它将类型定义为对象的对外可视行为规范, 即类型作为具有对外可视的固有共性的对象集合, 这里的类型仍属于值的集合。我们的类型定义如Russell中的类型定义, 是操作规范集合。关于这个问题将另做讨论。此外, 本文的描述均是非形式化的, 要想得到OOP的比較全面的形式语义模型, 更多更深入的研究工作是需要。

参考文献

- [1] A. Goldberg & D. Robson, Smalltalk-80, The Language and its Implementation, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983
- [2] L. Cardell, A Semantics of Multiple Inheritance, in Semantics of Data Types, LNCS 173, 1984
- [3] J. C. Mitchell, Polymorphic Type-In-

ference and confinement, in Semantics of Data Types, LNCS 173, 1984

- [4] S. Danforth and C. Tomlinson, Type Theories and Object-Oriented Programming, ACM Computing Surveys, Vol. 20, No. 1, 1988
- [5] N. Wirth, Programming in Modula-2, Springer-Verlag, 1982
- [6] ANSI, The Programming Language Ada Reference Manual, LNCS 155, Springer-Verlag, 1983
- [7] A. Snyder, Encapsulation and Inheritance in Object-Oriented Programming Language, In Proceeding of the ACM Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages and Applications, Portland, Oregon, 1986
- [8] EATCS BULLETIN, NO. 40, Feb. 1990

得比较清楚。

概念结构在美国得到很高评价, IBM公司投入了不少力量进行研究。加拿大、澳大利亚有些学者也搞得不错。我国主要有西北大学计算机科学系的人工智能实验室在进行这方面的教学、研究与应用。概念结构的知识表达方法已被B. J. Garnet与E. Tsui等人从理论上证明优于其它传统的知识表达方法。概念结构的知识表达方法扩展了人工智能的知识表达形式, 有其独到的优点, 将与其它的知识表达方法相互促进, 必定会对人工智能和专家系统的发展起到很好的作用。

2. 概念图

概念图是由两种结点构成的有限、连通、有向偶图。这两种结点一种叫概念结点, 另一种称为关系结点。概念图有两种表示形式, 一种是线性形式(Linear form)表示, 另一种是显示形式(Display form)表示。线性形式便于在计算机终端上显示和打印输出, 而显示形式很直观、容易理解。概念图的概念结点可以表示实体、属性、状态和事件。一个概念结点对应一个具体的或抽象的概念。例如, 学生、老师、学校、书等是有客观实体存在的具体概念, 而象价格、健康、感觉等是无客观实体存在的抽象概念。比如猴子(Monkey)这一概念的线性表示形式为[MONKEY]; 显示形式表示为 MONKEY, 其中“MONKEY”称为概念标识符, 概念图的关系结点表示概念间的连接关系, 如动作(AGNT; AGENT), 对象(OBJ; OBJECT), 材料(MATR; MATERIAL), 具有(POSS; POSSESSES), 地点(LOC; LOCATE), 状态(STAT; STATUS), 部分(PART), 方式(MANR; MANNER), 工具(INST; INSTRUMENT)等。例如“状态”(STAT)的关系结点的线性形式表示为(STAT)式样; 显示形式表示为用一个圆圈圈住STAT式样。概念结点和关系结点间用有向线段“→”连接起来就形成概念图。例如下面一句话:

A cat sitting on a mat. (一只猫正坐在垫子上)

其线性形式表示为:

[CAT] → (STAT) → (LOC) → [MAT].

其显示形式表示为:

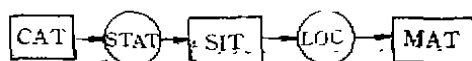


图1 不带循环的概念图

图1是不带循环的概念图的显示形式, 图2是带循环的概念图的显示形式表示。其

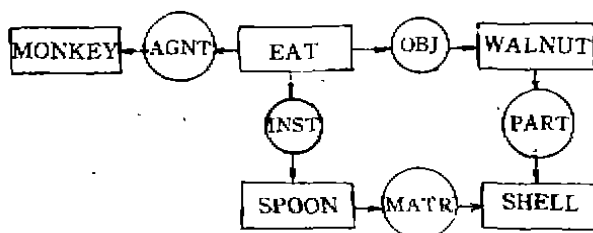


图2 带循环的概念图

读作: A monkey eating a walnut with a spoon made out of the walnut's shell.

(一只猴子正用胡桃壳做的勺子吃胡桃), 其线性形式表示为:

[EAT] —
(AGNT) → [MONKEY]
(OBJ) → [WALNUT, *x]
(INST) → [SPOON] → (MATR) → [SHELL]
← (PART) ← [WALNUT, *x].

其中概念结点“[EAT]”后的“—”为连字符, 表示连到[EAT]的后继线是关系结点; 符号“*x”称为变量, 代表不确定的类型个体, 在此表示不知道是吃那个胡桃, 但肯定是胡桃中的一个; 概念图最后的句号“。”表示一幅图的结束。对于概念图的线性形式表示, 可以选择任意的概念或关系结点作为“头”, 不过如果“头”从“概念”开始的话, 断开的地方也应是“概念”。如果“头”选得不好的话, 可能会使线性表示更复杂。例如:

[SPOON] —

(INST) ← [EAT] —

(OBJ) → [WALNUT] → (PART) → [SHELL, *y]

(AGNT) → [MONKEY],

(MATR) → [SHELL, *y]。

以上 [SPOON] 和 [EAT] 后的连字符“—”说明其有关系的后继线相连接。[MONKEY] 后的逗号“,”中止了 [EAT] 后的连字范围, 说明其后面的关系结点 (MATR) 是应连接到前一个连字符上即 [SPOON] 上的。

3. 类型理论

3.1 关于类型

具有共同特征的事物所形成的种类就是类型。例如计算机高级语言中的整数类型、实数类型、字符类型、布尔类型等。类型理论是把具有共同特点的个体对象归为类, 把具有共同特点类集合成为超类的思维过程和方法。类型理论的直接来源是数学, 其基本思想和方法学基础来源于哲学中的归类 (Classification), 归类是形成概念的先决条件之一。概念是反映事物本质属性的思维形式, 概念有内涵和外延之分, 概念的内涵是一个概念对象本质属性的反映, 而外延是指具有概念所反映的本质属性的每一个对象。项是可被赋值的最小单位。在类型理论中, 具有相同性质和结构的项的集合形成类型, 具有相似性质的类型的集合构成超类型。项隶属于类型, 类型隶属于超类型等。这种过程体现了归类的思想方法。划分是揭示概念外延的逻辑方法, 分类是根据对象的本质属性或显著特征将对象分为若干类, 使每个类相对于其它类都具有确定的地位。划分是分类的基础, 分类是划分的特殊形式。分类方法在认识世界和实践活动中有广泛的应用。例如生物学中的分类范畴典型体现了类型划分思想。以种为单位, 相近的种集合为属, 相近的属集合为科, 科隶属于目, 目隶属于纲, 纲隶属于门。以上就构成了生物分类谱系。

3.2 类型标号与类型层次

在概念结构中, 概念的外延称为类型标号 (Type Label), 简称类标号。假设函数 type 映射概念到一个集合 T , T 中的所有元素就是类标号。如果 $\text{type}(c) = \text{type}(d)$, 则概念 c 和 d 就是同一类型。

概念的类型是有层次的, 例如: [PERSON] < [ANIMAL], [狗] < [脊椎动物] 等。

设 s, t 及 u 都是类标号, 则有:

- 如果 $s \leq t$, 则 s 是 t 的子类型, 而 t 是 s 的超类型, 记作 $t \geq s$ 。

- 如果 $s \leq t$ 且 $s \neq t$, 则 s 是 t 的真子类型, 而 t 是 s 的真超类型, 记作: $t > s$ 。

- 如果 s 是 t 的子类型及 s 还是 u 的子类型 ($s \leq t$ and $s \leq u$), 则 s 称为 t 和 u 的公共子类型。

- 如果 s 是 t 的超类型及 s 还是 u 的超类型 ($s \geq t$ and $s \geq u$), 则 s 称为 t 和 u 的公共超类型。

例如, 猫和狗有许多公共超类型, 包括“动物”、“脊椎动物”、“哺乳动物”和“食肉动物”。猫和狗的最小公共超类型是“食肉动物”, 这是所有其它超类型的子类型。猫科动物和野生动物有公共子类型是美洲豹、狮子和老虎, 但它们中没有一个是最大公共子类型。

3.3 类型格

格的类型层次形式称为类型格 (type lattice)。

- 任何类标号的偶对 s 和 t 有最小公共超类型, 记作 $s \cup t$ 。对于任何类型标号 u , 如果 $u \geq s$ and $u \geq t$, 则 $u \geq s \cup t$ 。

- 任何类标号的偶对 s 和 t 有最大公共子类型, 记作 $s \cap t$ 。对于任何类标号 u , 如果 $u \leq s$ and $u \leq t$, 则 $u \leq s \cap t$ 。

- 有两个本原类标号 (primitive type label): 泛类型 (universal type) T 和空类型 (absurd label) L 。对于任何类标号 t , 存在 $L \leq t \leq T$ 。 L 为最小下界, T 为最大上界, 象宇宙一样, T 是包罗万象的最大超类。

4. 个体与名字、聚集与个别

每个概念结点可再细分为两个域,一个域为概念类型标识符,是概念内涵的体现;另一个是该概念标识符所指项域,是概念外延所指。例如概念结点[CAT]或[CAT,*x]表示非特指的猫。其中“CAT”为概念类型标识符;“*x”类似于变量,*为一般类型所指项符号;两个域间用冒号“:”隔开。类型标识符域不能为空,否则就没有意义,而所指项域可以为空即不特指;其为空时“,”可以省略。所指项域可以是个别、值或一个集合。例如:[CAT,MIMI]或[CAT:#98061]或[CAT,{MIMI,#98061,HUAHUA}]。

概念图 [CAT]→(STAT)→[SIT]→(LOC)→[MAT]与 [CAT,*x]→(STAT)→[SIT,*z]→(LOC)→[MAT,*y] 两个概念图只能表示一般的、不确定的概念,即说明存在,而要表达确定的概念就必须具体化、实例化、特指,就是要给变量赋值。例如概念图:

[CAT,MIMI]→(STAT)→[SIT]→(LOC)→[MAT]说明有一只名为MiMi(咪咪)的猫正坐在垫子上。此处,“MiMi”就是一个个体。个体在所指项域中用唯一标识符表示,它对应一个唯一特指的实体。

名字 (NAME) 是对于二元关系的类标号,实体 (ENTITY) 与字 (WORD) 是对于概念的类型标号。例如某人的身份证号码为: #3074, 名字为: “Judy”, 可用概念图表示为:

[PERSON, #3074] → (NAME) → [“Judy”]。

符合某个类型的个体的集合称为聚集 (Aggregation)。例如“世界人口”这一聚集是由世界上每一个人组成的集合;“集合”是由集合中的元素聚集而成。当然由于集合的定义,集合中的元素也可以是集合。“人体”是由头、手、脚等组成。书是由章组成,章是由节组成,节是由段组成,段是由句组成,句是由字组成,字是由笔划组成。

聚集的表示形式由“类型标识符”及“符合类型定义的个体的集合”两部分构成。例如:

[DOG, {Snoopy, Lassie, Rin-Tin-Tin}]。就是一个聚集,其中“DOG”是狗的类型标识符,集合中的“Snoopy”、“Lassie”、“Rin-Tin-Tin”是符合类型标识的个体值即是三条狗的名字。集合中的个体一定要符合类型标识的特征,如[DOG, {Snoopy, Lassie Rin-Tin-Tin, MiMi}]中的“MiMi”,是一只猫的名字,这就不符合狗的类型,因此这样的聚集是不对的、非法的,这称为混合类型。要使其变为合法的,必须扩大或改变类型标识符,在此把类型标识符从狗改为“食肉动物”或“哺乳动物”或“脊椎动物”或“动物”等都可以,即要把类型标识归到更大的类中。聚集具有层次性和递归性。[T, {*}]表示宇宙间最大的聚集。其中类型标识符T为泛类型, {*}为任意集合。最大聚集无所不容,世间的一切一切放在其中都可以。

聚集中的集合可以是空集合: {}。说明不存在这个概念类型的任何实例。

例如:



这个图表示: There exist no teacher who possesses book which name is “Home”。

聚集中的集合也可以是一般概念类型的集合: {*}。其集合中的每个元素不作为实例出现,而是以一般概念类型构成的集合来出现,其元素个数应 ≥ 0 。集合与{*}的联结运算服从下列规则:

- 空集合: $\{\} \cup \{*\} = \{*\}$ 。
- 一般集合: $\{*\} \cup \{*\} = \{*\}$ 。
- 个体的集合: $\{i_1, i_2, \dots, i_n\} \cup \{*\} = \{i_1, i_2, \dots, i_n, *\}$ 。

其中集合: $\{i_1, i_2, \dots, i_n, *\}$ 称为部分指定集合,是由指定的元素 $i_1, i_2, \dots, i_n$ 与不确定

的其它元素“*”组成。

将@与数字写在集合后面可以表达具体的每个数量。例如句子:“Niurka sees men”可以表示为: [PERSON, Niurka] ← (AGNT) ← [SEE] → (OBJ) → [MAN, {*}@2]。此图精确的表明Niurka看到的人是两个。

再如: [PERSON, {Norma, Frank, *}@4]。是部分特指的集合,确切数量为四个人,只有Norma和Frank是指明的,另二人则不知具体指谁。

使用了@后可以表示集合的确切数量,但也会带来新的问题。例如句子:

Two students read three books.用图表示为: [STUDENT, {*}@2] ← (AGNT) ← [READ] → (OBJ) → [Book, {*}@3]。此图有多义性,即不能确切表明是每个学生看了三本书,还是一个学生看了一本,另一个学生看了两本,合计为三本呢?为了表明是每个学生看了三本书,可用下列形式表示:

[STUDENT, Dist{*}@2] ← (AGNT) ← [READ] → (OBJ) → [Book, {*}@3]。与前图相比只是在学生个数集合前加了前缀: Dist。为此,有如下假设:

如果一个概念的表示是一个集合,则将是下列四种不同种类之一:

- 集体集合 (Collective Set) 集合中的个体是用逗号“,”隔开的, { $i_1, i_2, \dots, i_n$ }。

- 析取集合 (Disjunctive Set) 集合中的每个个体是用垂线“|”隔开的, { $i_1 | i_2 | \dots | i_n$ }。表明集合中元素是“或”的关系。

- 分配集合 (Distributive Set) 集合前有前缀“Dist”作为标志,集合中的每个元素用逗号隔开: Dist{ $i_1, i_2, \dots, i_n$ }。

- 各自集合 (Respective set) 集合前有前缀“Resp”作为标志,集合中元素被尖括号连续有界的排列其中: Resp{ $i_1, i_2, \dots, i_n$ }。表明要对所指集合中的个体分别进行解释。

5. 正则图及其构成规则

正则图 (Canonical Graph) 又叫规范图,通俗讲就是有意义的图。概念图是被用来表达知识或说明一个论断的,这样表达的知识或论断应该有实际意义,有实际意义的概念图就应该是正则的、规范的。但有时概念结点与关系结点连接后会出现不合理,即无意义的表达或论断。例如: [SLEEP] → (AGNT) → [IDEA] → (COLR) → [GREEN]。图中把睡觉、主意、绿色三个风马牛不相及的概念连到一起,表达不了什么实际意义,所以该图就不是正则的。那么怎样才能得到正则图呢?可以通过观测得到正则图,即感觉 (Perception); 可以用任何概念图装配成正则图,即洞察 (Insight)。再者通过其它正则图的拷贝、限制、连接、化简得到新的正则图,这称为构成规则。

- 拷贝 (Copy)。正则图的准确拷贝仍是正则图。

- 限制 (Restrict)。是用子类型的标号替换概念的类标号。例如: [GIRL] 是 [PERSON] 的子类型,可用 [GIRL] 去替换 [PERSON]。也可以用个体概念去替换一般概念。例如: [DOG] 是一般概念,可以用个体概念 [DOG: Snoopy] 代换。

- 连接 (Join)。是合并两个图中的相同概念。

- 化简 (Simplify)。是消除图中的冗余。

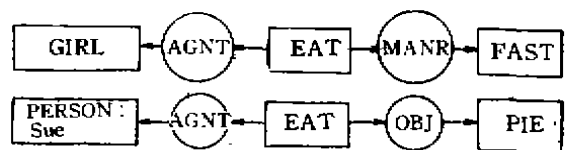


图3 两个正则图

图3是两个正则图,要想连接成一个图,首先要进行限制,使两个概念趋于一致,这就要用子类型去替换,为了和 [GIRL] 趋于一致,可用 [PERSON: Sue] 的子类型 [GIRL: Sue] 去替换。这就成为图4的式样。由于图

4中有两个相属的概念即[GIRL]和[EAT], 可以对其进行连接操作, 连接后成为图5式样。完全相同的概念[EAT]只保留了一个, 不完全相同的概念[GIRL]和[GIRL:Sue]保留了较小的子类个体[GIRL:Sue]。图5中有冗余, 即有两个关系结点(AGNT), 必须对其进行化简操作, 化简后的图为图6式样。

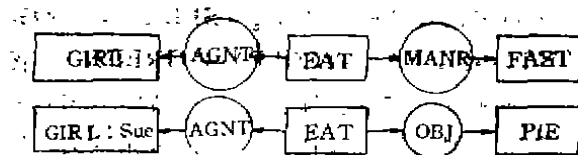


图4 限制了图3中第二图的式样

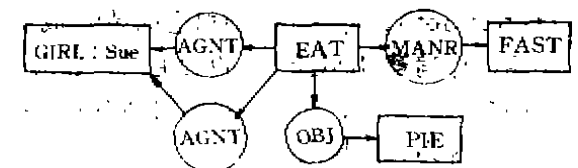


图5 两个图连接后式样

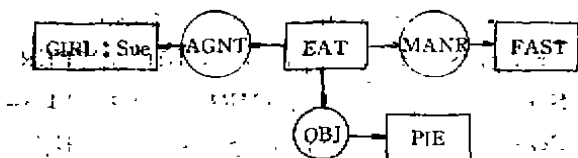


图6 化简后的图

以上使用构成规则得到的图都是有意义的、正则图。有了拷贝、限制、化简、连接这些手段, 可以使图始终保持有意义, 可以排除不一致性, 可以消除冗余。通过连接可以扩充概念图, 开始有最基本的图, 以后逐步扩大, 就象滚雪球那样, 越连接越大, 这便是自学习所希望达到的目的。

参考文献

- [1] J.F. Sowa, Conceptual graph for a database interface, IBM Journal of Research & Development pp336~357, 1976
- [2] J.F. Sowa, Conceptual structure (book), 1984
- [3] J.F. Sowa, Hilcen C way, Implementing a Semantic, 1986
- [4] 于力杨, 专家数据库系统, 西北大学硕士论文, 1990, 6
- [5] 张蕾, 一个用概念结构表示知识的专家系统开发工具, 西北大学硕士论文, 1990, 6
- [6] 杨成, 一个能够产生句子/段落的汉语咨询系统, 西北大学硕士论文, 1990, 6
- [7] 李未, 王颀安, 类型理论和程序设计, 计算机科学, 1992 Vol. 19 No 1

计算机应用数据库介绍

中国科技情报所重庆分所经过三年多的开发, 已在微机上建成“计算机应用数据库”。该库系文献型数据库, 目前存有二次文献两万余篇, 从1991年起已向国内各单位提供机读产品软盘, 专业内容为计算机在工程技术、事务管理、数据处理、情报科学和文献加工等领域中的应用。该库每年新增文献一

万篇, 文献来源于国内外期刊、会议录、汇编、专著、报告和学位论文等4000余种。文献语种为中、英、俄、德、法、日等, 每篇文献附有中文摘要。凡拥有微机的单位均可使用该库的机读产品软盘, 建立文献检索数据库。需要详细资料和软盘者可函寄重庆2104信箱三室沈群, 邮编: 630013