基于约束对象的知识表示研究*

李龙澍** 程慧霞
(安徽大学计算机科学与工程系 合肥 230039)

【摘要】 讨论了约束对象的形式模型,给出了约束对象的设计与实现,提出了用约束对象表示知识和类比推理加约束满足的模糊匹配原则,其特点是引入约束对象时不增加额外的概念就可以实现受约束知识的处理,为开发专家系统提供了一种新的知识处理方式。

关 键 词 约束对象; 知识表示; 约束满足; 面向对象技术; 专家系统; 知识库模型
中图分类号 TP18

当前在面向对象的知识处理系统的研究中,对知识的描述通常基于对象的标识,把知识作为独立的对象实体[1,2],然而这种描述方式忽略了知识是相互关联的这一重要自然属性。其实某领域的知识虽然可以人为地分成一个一个相对孤立的单位(如规则),但是事物都是相互联系的,在一个领域内更是如此,一个环节的变动,可能引起众多环节甚至整体的变动。例如设计一套住房,把每个房间作为一个对象,客厅形状的改变,可能会引起厨房、卫生间和起居室都作相应的变化。

在知识处理系统中,通常由增强控制机制来处理知识的相互作用[3],这样做是与大问题化为小问题的软件开发思路相悖的,也有碍于面向对象的信息封装实现。而由受约束的对象(简称约束对象)表示知识是一种有效的知识处理方法。

1 约束对象

约束对象可以表示对象内部或对象之间的联系,这不仅能明确地表示关系,而且能动态地增加、删除和修改关系[4,5],提供了知识库的自动优化机制。

传统对象是由类生成的,类与类之间又存在着继承关系。对象有从创建到消亡的生命期,在生命期中有其不同的状态,对象之间通过传递消息发生联系并改变自身的状态。

约束对象的结构与传统对象的结构在形式上是一样的[6~8],我们定义为五元组:$<S, S_0, \text{in}, \text{out}, \delta>$。其中,$S$ 为约束对象的状态集,$S_0 \in S$ 为约束对象的初始状态,它表示约束对象建立时由构造函数设置的状态。in 为约束对象的输入消息集,out 为约束对象的输出消息集,δ 为状态转换映射:$\delta: S \times \text{in} \longrightarrow S \times \text{out}$。约束对象从建立到消亡,形成一个状态变化序列,可以表示为 $\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n$(其中 $\alpha_i \in S, 1 \leqslant i \leqslant n$)。

约束对象不改变传统对象的形式结构,只是 out 除了包含传统的输出消息外,还包含对其他对象的约束消息;in 中的输入消息集既包含传统的传递消息,又包括对象的约束消息,并不需要特别增强控制机制。

我们应用模态逻辑和时序逻辑来建立约束对象模型。

1998年1月7日收稿,1998年5月3日修改定稿
* 安徽省自然科学基金资助目,基金号:95-电-17;安徽省"九五"科研攻关项目,基金号:9610001
** 男 42岁 硕士 副教授

定义1 四元组 $M=(W,D,R,F)$为模态逻辑的一个标准模型,其中 W 是可能世界的非空集合;D 是个体(消息)的非空集合;R 是 $W\times W$ 上的一个二元关系,R 可以为空;F 是一个函数,它给每一个由 n 元($n\geqslant 0$)函数 $f(D^n)$和 W 的一个元素 w 所构成的序偶 $<f(D^n),w>$ 指派一个到 D 的映射。

推论1 在约束对象系统中,我们定义 W 是所有约束对象的状态集合,D 是所有消息的集合,包括普通对象之间的消息传递和约束对象之间的约束消息,R 是约束对象之间的约束关系,F 是上面定义的δ 的一种变形,约束对象 w 由 F 将各种输入消息映射成输出消息,并使 w 的状态发生变化。所以约束对象系统组成模态逻辑的一个标准模型。

由约束对象为基本原子单位的公式集构成知识处理系统。然而模态逻辑组成了知识处理的一个重要基本框架,用约束对象表示知识有比传统的框架、脚本、语义网络等知识表示方式更强的逻辑理论基础。

定义2 设 R 是标准模型 $M=(W,D,R,F)$中的关系,则

1) R 称为自反的,当且仅当 W 中的每一个α,有 $\alpha R\alpha$ 成立。

2) R 称为传递的,当且仅当任意取 W 中的α、β、γ,由 $\alpha R\beta$ 和$\beta R\gamma$ 成立,可以推出 $\alpha R\gamma$ 成立。

定义3 设 R 是自反的和传递的,称约束矛盾为:任取 O_i、O_j、$O_k\in W$,若 O_iRO_j、O_iRO_k,且 O_jRO_k,但是 O_jRO_k 与 O_iRO_k 在一次由 O_i 引起的具体约束过程中使 O_k 处于不同的状态。

n 个约束对象约束关系最复杂的情况是每两个对象之间都有相互约束关系,共有 $n(n-1)$个约束关系。可以建立一个循环序列,这个序列初始为空,约束对象生成时依次插入该循环序列,约束对象对约束消息按循环序列的次序依次运行,假设 O_i 发出一个约束消息,重复循环激活收到约束消息的对象 $O_{i+1},O_{i+2},\cdots,O_n,O_1,\cdots,O_{i-1}$,最后回到 O_i,还要再做一次循环,检查是否出现约束矛盾,下面给出约束过程。

过程1 约束对象循环序列建造过程:

1) 建立约束对象循环序列 LOOP,LOOP 初值为空;

2) 循环,将新生成对象插入 LOOP;

3) 过程结束。

过程2 约束对象的约束关系执行过程:

1) 等待约束消息;

2) 如约束对象 O_i 发出一个约束消息,将约束对象集 S 初始化为单个元素 O_i,重复将新收到约束消息的对象加入 S,对未激活的 S 中约束对象按 $O_{i+1},O_{i+2},\cdots,O_n,O_1\cdots,O_{i-1}$次序一次激活,进行传递约束求解,直到收到约束消息的 S 集中对象全被激活为止,此次激活的约束对象集 S 形成一个传递闭包;

3) 对传递闭包 S 中一次激活后又收到约束消息的对象二次激活,进行约束检查,一旦发现约束矛盾,则作废这次约束过程,使每个对象都返回到 2)约束前的状态,返回 1);

4) 无约束矛盾,约束成功,返回 1)。

定义4 设 $M=(W,D,R,F)$为模态逻辑的一个标准模型,R 是一个自反的且传递的关系,则称 M 为时序逻辑的标准模型。$\forall\alpha$、$\beta\in W$,如 $\alpha R\beta$ 成立,称 β 为α 的一个将来世界。称 α 的全体将来世界的集合为α 的将来。

推论2 若 W 是由一个约束对象的不同状态组成的世界,D 是发出消息和接收消息的集合(包括对象的输入和输出),R 是约束对象从一个状态到另一个状态转换序列关系,F 是前面定义

的 δ 的变形，F 将约束对象 w 由 S_1 状态变换到 S_2 状态，则 S_1RS_2。当消息链为空时，F 是恒等变换，所以 R 是自反的；由于约束对象 w 的 S_1 状态可以变换为 S_2 状态，S_2 状态可以变换为 S_3 状态，因此 S_1 状态可以变换为 S_3 状态，S_1 一直具有 R 关系，所以 R 是传递的，从而约束对象的状态构成了时序逻辑的一个标准模型。时序逻辑也是知识处理的一个重要逻辑基础。

不论是从约束对象的整体功能，还是从一个约束对象的生命期的状态序列来看，约束对象的知识表达能力都是很强的。

2 用约束对象作为知识单位

在知识工程中，框架和逻辑是最常用的知识表示方式。约束对象集成了框架和逻辑的优点，既具有框架表示法的适应性强、概括性高、结构化良好、推理方式灵活的优点，并能把陈述性知识与过程性知识结合在一起，又具有逻辑知识表示的知识库一致性、推理的正确性、问题的形式化及演绎的自动化。

2.1 约束对象知识表示结构

我们用约束对象来描述客观世界的实体。一个约束对象由一组数据和方法（操作）组成，数据描述了对象的属性，属性的值表示对象的状态，它由该对象的方法来处理，某个约束对象的方法是指该对象所具有的特定的行为，属性和方法是一个不可分割的整体。

约束对象的属性包括：1）约束对象的名称；2）关于约束对象的解释说明；3）约束对象的活动标志；4）指向父约束对象的指针链；5）指向子约束对象的指针链；6）约束对象的构造子，初始化约束对象；7）约束对象的析构子，在约束对象的生命期结束时执行；8）约束对象激活时的初始化操作；9）约束对象模糊匹配算法，它属于约束对象的方法属性；10）约束对象匹配成功时要完成的任务，包括发送约束消息；11）约束对象匹配失败时要完成的任务，包括返回前一个状态和发送作废约束的消息；12）不管 9)匹配成功与否都要执行的任务，可以为空；13）指向与该约束对象相关联的当前环境数据库；14）若干个数据属性的定义；15）若干个方法成员的定义，包括约束对象的模糊匹配算法定义；16）现场状态信息（供匹配失败时，恢复前一个状态使用）。

第 3)项活动标志取值为：必然真、真、可能真、可能真且可能假、可能假、假、必然假、未激活、匹配激活、约束激活。

约束对象第 14)项的数据属性是一个结构，包括：1）属性的名称；2）属性值所属的对象类；3）对属性数据的解释；4）属性数据构造子；5）属性数据析构子；6）属性数据的若干个中心值；7）属性数据的若干个模糊匹配 λ 截值；8）属性数据的模糊匹配算法。

约束对象第 15)项的操作可以是嵌套的约束对象，它根据约束对象的当前状态，做出相应的活动。在约束对象结构中，所有实体都是约束对象。整个约束对象体系形成一个超文本式的网络状结构。

2.2 约束对象匹配机制

约束对象知识系统的处理核心是有约束的对象匹配机制，我们提出一种类比推理加约束满足的匹配算法，循环执行以下三个步骤：

1）对象选择　在知识库中约束对象是按层次网状结构组织的，最初的选择是激活称为根的约束对象，由这个约束对象根据当前环境，决定下一步要激活的约束对象。选择是一个多层嵌套过程，以后激活的每一个约束对象都可能用到对象选择，其功能是将选中的约束对象置为正在运行状态，并让其运行。

2) 模糊匹配　由当前约束对象的模糊匹配算法槽给出约束对象类比匹配的算法，根据当前约束对象的 λ 截值，决定该约束对象是否与当前环境匹配成功。这种匹配是模糊匹配，其匹配程度由贴近度决定。我们提出了一种带权的欧氏距离，并由此给出贴近度。

设 $A=(a_1,a_2,\cdots,a_n)$，$B=(b_1,b_2,\cdots,b_n)$是两个模糊向量，$R=(r_1,r_2,\cdots,r_n)$是 n 个分量的相对权重，且满足

$$\sum_{i=1}^{n} r_i = n^{\circ}$$

模糊向量 A、B 的带权欧氏距离为

$$d(A,B,R)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} r_i(a_i-b_i)^2 \Big/ n}$$

贴近度为

$$(A,B,R)_d = 1-d(A,B,R)$$

当 $A=B$ 时，$a_i=b_i(1\leqslant i\leqslant n)$，$d(A,B,R)=0$，$(A,B,R)_d=1$。任取 $i=1,2,\cdots,n$，$a_i=1$，$b_i=0$(或 $a_i=0$，$b_i=1$)时，$d(A,B,R)=1$，$(A,B,R)_d=0$。

3) 约束满足　每个约束对象在匹配过程中只要收到约束消息，就有两次激活，第一次是匹配激活，第二次是约束满足激活。

在约束对象结构中，没有改变对象的基本结构，也没有增加特殊的控制功能，将知识的表示、处理与知识间的相互约束关系作为这种对象的状态和方法有机地结合在一个约束对象里，并且在约束对象里引进了模糊匹配技术，实现了不精确推理。

由约束对象集及它们之间的约束匹配算法组成约束对象系统。在约束对象系统中，对象作为相互独立的智能体，自动地进行匹配和推理，有效地避免了一个人为附加的推理机制。

3 结束语

在基于知识的系统中，知识表示会影响整个系统的质量。经过分析建筑领域的专家系统采用约束对象表示知识是比较合适的，并且是有效的。

要设计一套住房，首先确定建筑面积，再确定卧室、厅、厨房、卫生间等的形状及大小。套房、房间、墙壁等都是约束对象。一套住房各房间都可能有约束关系，各墙壁之间也可能有约束关系。当改变一个房间的形状或大小时，由约束对象之间的约束关系完成其他房间的相应改变。当一个房间的形状或大小改变不合理时，将会出现约束矛盾，系统就自动停止这种改变。

用受约束的对象表示知识是一种新的尝试，它有效地将约束满足问题应用于面向对象的知识处理，避免了一些新概念和复杂的控制问题，实现了信息的封装，增加了系统的可理解性，提供了开发专家系统的一种新方法。本文通过讨论建筑领域的专家系统，说明用约束对象表示和处理知识是可行的和高效的。但是，约束对象的约束关系是在知识库维护中由专家给定的，约束关系的自动获取问题还有待于进一步研究。

参 考 文 献

1 Tello E R. Object-oriented programming for artificial intelligence. New York: Addison-Wesley, 1989

2 Xu Ming, Hu Shouren, Wang YangJun *et al*. The design and implementation of an object-oriented knowledge base system. Proc of PACES, 1995: 101 ~ 106

3 高　飞，叶尚辉. 动态对象的原理，实现和应用. 电子学报，1995，23(5): 22 ~ 25

4 Helm Richard. Contracts: specifying behavioral compositions in object-oriented systems. ACM Sigplan Notices, 1990, 25(10): 169 ~ 180

5 奚建清，王能斌. 限制的对象表示和计算. 软件学报，1996, 7(1) : 59 ~ 64

6 Lieberherr K J, Xiao C. Formal foundations for object-oriented data modeling. IEEE Trans Knowl Data Eng, 1993, 5(3): 262 ~ 478

7 Lu X M, Dillon T S. An algebraic theory of object-oriented systems. IEEE Trans Knowl Data Eng, 1994, 6(3): 412 ~ 419

8 尹七春，柳诚飞，邵志清. 面向对象数据模型的形式化描述. 计算机学报，1995，18(7) : 550 ~ 553

Study of Knowledge Representation Based on Constrained Object

Li Longshu　　Cheng Huixia

(Department of Computer Science and Eng., Anhui University　Hefei　230039)

Abstract　This paper discusses a schema of constrained object, and presents the design and implementation of the knowledge representation based on constraint object. The fuzzy matching principle that combines analogy inference and constraint satisfaction is given. The purpose is to simplify object model and the knowledge representation. This paper also provides a new method to process knowledge for building expert systems.

Key words　constrained object;　knowledge representation;　constraint satisfaction;　object-oriented technique;　expert system;　knowledge based model

编辑　徐培红

·科研成果介绍·

大功率长脉冲速调管的研制

主研人员　李明光　成祠德　殷金照　黄澄寿　伍蔚琛　李永胤

在研制中设计计算的高频系统、电子光学系统、阴极热子组件、收集极以及速调管结构等，解决了制管和测试中关于高压、真空、阴极、热丝、微波等诸多技术难点。经实际使用达到如下指标：中心频率 2 455 MHz，在脉宽 40 ms 时最大输出功率为 500 kW，效率大于 50%，增益大于 50 dB。

该成果获 1996 年度电子部科技进步三等奖。

·科　卞·