

谓词逻辑在人工智能中的应用*

杜文静

(南开大学 哲学系, 天津 300071)

摘要: 谓词逻辑是一种基于谓词分析的高度形式化的语言及其推理, 是人工智能产生和发展的最重要的理论基础。本文从具体事例出发, 解析了谓词逻辑在人工智能领域中两个主要应用: 知识表示和消解原理。并在结束语提出谓词逻辑的局限, 希望有更多的学者参加逻辑学的研究。

关键词: 人工智能; 谓词逻辑; 知识表示; 消解原理

中图分类号: B81

文献标识码: A

文章编号: 1008-2093(2006)06-0052-02

谓词逻辑在人工智能科学中不仅是程序设计理论、语义形式化以及程序逻辑研究的重要基础, 还是知识表示和定理证明、程序分析综合及自动生成的有力工具。现有的许多人工智能系统, 如 1976 年 Filman 设计的“机器博弈系统”(FOL) 都直接或间接地借用了谓词逻辑的大量成果。可以说, 谓词逻辑是推动 21 世纪人工智能发展的主要动力源泉。

1 谓词逻辑的知识表示

我们知道人工智能问题的求解是以知识为基础的, 如何将已获得的有关知识以计算机内部代码形式加以合理地描述、存储, 以便有效地利用这些知识便是知识表示。谓词逻辑是到目前为止能够表达人类思维活动规律的最精确的符号语言, 所以它是人工智能最重要的知识表达法。把自然语言命题用谓词逻辑表达出来需要以下三个步骤^[1]: (1) 将一个原子命题分解为个体词和谓词两个部分, 用 x, y, z 来代替个体变元, 用 a, b, c 等来代表个体常项, 用大写字母 P, Q, R 等来代表谓词变元。(2) 找出原子命题中所包含的量词, “ \forall ”表示“所有”, “ \exists ”表示“存在”。(3) 运用人工符号 \wedge, \vee, \neg 来表示原子命题中个体词与谓词的关系及多个个体词或谓词间的复合关系。我们用一阶谓词逻辑来分析机器人搬木箱问题^[2]: 设在一个含有凹室 (alcove) 的房间里, 有两个桌子 a 和 b , 一个机器人 (robot) 和一个箱子 (box), 为了让机器人从凹室出发, 把桌子 a 上的箱子移到桌子 b 上, 然后回到凹室, 需要制定相应的行动规划。首先定义与问题有关的谓词: $TABLE(x)$: x 是桌子; $EMPTYHAND-ED(y)$: y 手中是空的; $AT(y, z)$: y 在 z 的附近; $HOLDS(y, w)$: y 手中拿着 w ; $ON(w, x)$: w 在 x 之上; 这些谓词表达了事物之间的关系, 其中, 变量 x, y, z, w 的客体域分别为 $\{A, B\}$ 、 $\{ROBOT\}$ 、 $\{A, B, ALCOVE\}$ 、 $\{BOX\}$ 。问题的初始状态为下列语句的合取: $AT(ROBOT, ALCOVE) \wedge EMPTYHAND-ED(ROBOT) \wedge ON(BOX, A) \wedge TABLE(A) \wedge TABLE(B)$, 目标状态为下列语句的合取: $AT(ROBOT, ALCOVE) \wedge EMPTYHAND-ED(ROBOT) \wedge ON(BOX, B) \wedge TABLE(A) \wedge TABLE(B)$ 。如果要实现从初始状态到目标状态的转变, 就必须

完成一系列操作。操作一般分为条件(为完成相应操作所必须具备的状态条件)和动作两部分。条件可以直接用谓词公式表示, 而动作可以通过前后状态的变化表示, 即只要指出动作后应从动作前的状态中删除和增加什么, 谓词公式就描述了相应的动作。

这一过程的三个操作可定义为: $GO-TO-A(x)$: 机器人从 x 处走到 A 处, $PICK-UP-BOX(x)$: 机器人从 x 处拿起箱子, $SET-DOWN-BOX(x)$: 机器人在 x 处放下箱子, 这三个操作可分别用条件与动作表示如下: 1. $GO-TO-A(>x)$ 条件: $AT(ROBOT, >x)$, 删除: $AT(ROBOT, <x)$, 增加: $AT(ROBOT, a)$ 。2. $PICK-UP-BOX(>x)$ 条件: $ON(BOX, >x) \wedge TABLE(<x) \wedge AT(ROBOT, <x) \wedge EMPTYHAND-ED(ROBOT)$, 删除: $EMPTYHAND-ED(ROBOT) \wedge ON(BOX, <x)$, 增加: $HOLDS(ROBOT, BOX)$ 。3. $SET-DOWN-BOX(>x)$ 条件: $AT(ROBOT, >x) \wedge TABLE(<x) \wedge HOLDS(ROBOT, BOX)$, 删除: $HOLDS(ROBOT, BOX)$, 增加: $EMPTYHAND-ED(ROBOT) \wedge ON(BOX, <x)$ 。

2 谓词逻辑的推理

上面讨论了用谓词进行知识表示的有关问题, 它的作用是把知识用某种模式表示出来存储到计算机中去。但是, 使计算机具有智能的关键不仅仅在于拥有知识, 更重要的是运用拥有的知识进行推理、求解问题, 即具有思维能力。因此, 关于推理及其方法的研究成为人工智能研究的一个重要课题。本文主要介绍谓词逻辑的消解原理及其应用。

2.1 司寇伦化标准形

设公式 α 为一前束范式, 把 α 中所有量词都集中到公式的左面, 对 α 实施下面的步骤得到公式 α' ; 并称它为 α 的司寇伦化标准形。消去存在量词。对于待消去的存在量词, 若它不在任何全称量词辖域内(即它的左边没有全称量词), 则用司寇伦常项替代公式中存在量词约束的变项; 若它受全称量词约束(即左边有全称量词约束), 则要用司寇伦函数(即与全称量词约束变项有关的函数)替代存在量词约束的变项, 然后就可以

* 收稿日期: 2006-09-10

作者简介: 杜文静(1979), 女, 河南新乡人, 在读硕士, 主要从事逻辑学研究。

消去存在量词。把母式化成合取范式。反复使用结合律和分配律,将母式表达成合取范式的标准形,最后得到一个司寇伦化的前束范式 α 。略去前束词。由于母式中的变项均受量词的约束,所以可省略全称量词,但剩下的母式仍假设其变项受全称量词量化。将母式用子句集表示。即把母式中的每一个合取项称为一个子句,省去合取连词,这样就可把母式写成集合的形式,集合中的每一个元素就是一个子句。子句变项标准化。将子句集中的变项作分离标准化,即对某些变项重新命名,使任意两个子句不会有相同的变项出现。

经过上述步骤简化得到的标准式叫做司寇伦化的前束范式,通常也叫做 S 标准形^[3]。

2.2 消解原理

消解原理又称为归结原理,它是定理证明的基础。由谓词公式转化为子句集的过程中可以看出,在子句集中子句之间是合取关系,其中只要有一个子句不可满足,则子句集就不可满足。若一个子句集中包含空子句,则这个子句集一定是不可满足的。归结原理就是基于这一认识提出来的。首先对互补文字做定义。定义 1 若 P 是原子谓词公式,则称 P 与 \bar{P} 为互补文字。定义 2 如果存在 θ 使得 $X_1\theta = X_2\theta = \dots = X_n\theta$ 成立,则称 θ 为公式集 $F = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 的一个合一,称该公式集 F 是可合一的;如果存在代换 λ ,使对任一 θ 合一使得 $\theta = \sigma \cdot \lambda$ 成立, (σ 是公式集 F 的一个合一),则称 σ 为公式集 F 的最一般合一,记作 $mgu \sigma$ 。合一算法是用来解决两个表达式的匹配问题的。为了使两个知识模式匹配,可通过合一算法求得 $mgu\theta$,利用 θ 进行代换后就可以得到匹配的例。根据以上过程和定义,一阶谓词逻辑的归结原理可表示为:

$$\frac{C_1 \quad C_2}{(C_1\theta - L_1\theta) \cup (C_2\theta - L_2\theta) = C_{12}}$$

其中 C_1 和 C_2 是没有公共变元的子句; L_1 和 L_2 分别是 C_1 和 C_2 中的文字, θ 是 L_1 和 L_2 的 mgu 。

2.3 消解原理的应用

已知 F1: 王(Wang)先生是小李(Li)的老师。 F2: 小李与小张(Zhang)是同班同学。 F3: 如果 x 和 y 是同班同学,则 x 的老师就是 y 的老师。求: 小张的老师是谁? 解: 先定义谓词 T(x, y): x 是 y 的老师 C(x, y): x 与 y 是同班同学把已知前提及

目标表示成谓词公式前提 F1: T(wang, Li) F2: C(Li, Zhang) F3: C(x, y) \wedge T(z, x) T(z, y) 目标 G: ($\exists x$) T(x, Zhang) G 的否定: ($\forall x$) $\bar{T}(x, Zhang)$ 将以上前提和目标的否定化成子句集: F1: T(wang, Li) F2: C(Li, Zhang) F3: C(x, y) \vee T(z, x) \vee T(z, y) G 的否定子句为 $\bar{T}(u, Zhang)$, 把它添加到目标公式否定之否定的子句中去, 得到重言式 $T(u, Zhang) \vee \bar{T}(u, Zhang)$, 通过图 1 的归结, 在根部得到子句 T(wang, Zhang), 这就是答案, 表示小张的老师是王先生。

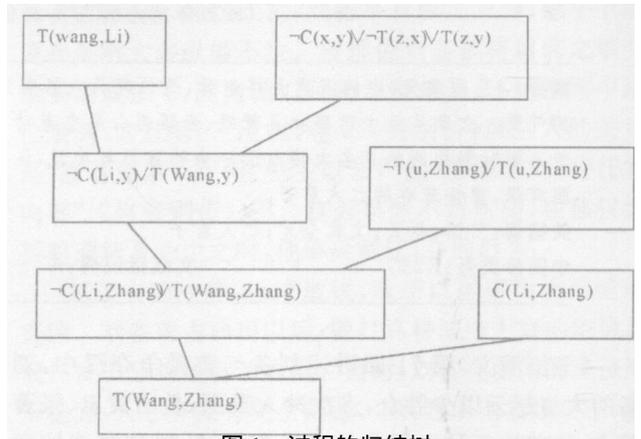


图 1 过程的归结树

3 结束语

谓词逻辑能很好地表示充分性,使得基于这种表示方式的归结定理证明方法能适用于各种应用领域。然而,归结原理不能应用启发式知识控制推理,因而它有知识库较大时推理效率极低的缺点。尤其是这种定理证明方法不能保证在合理的时间内给出解答,使其不能适用于多种实用领域。这就给我们以后的研究探讨提出了努力方向,我们期待有更多的人参与到逻辑学的研究中,使谓词逻辑在人工智能领域发挥卓有成效的作用。(责任编辑 徐虹)

参考文献:

- [1] 赵卯生. 对谓词逻辑在人工智能科学中应用的分析[J]. 山西高等学校社会科学学报, 2001. 67- 69.
- [2] 王士同. 人工智能教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001. 33- 34.
- [3] 李娜. 现代逻辑的方法[M]. 开封: 河南大学出版社, 97. 342- 343.

On predicate Logic's Application in AI

DU Wen-jing

(Philosophy of Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Predicate logic is a kind of highly formalized language and its inferences in view of the analysis of predicate, and is one of the most important theoretical bases of AI. The paper introduces two important applications of the predicate logic in the field of artificial intelligence through concrete examples, that is, its application in the knowledge representation and sum-up reasoning. In the end, predicate logic has still some problems and we hope more people take part in the study of logic.

Key words: artificial intelligence; predicate logic; knowledge representation; sum-up reasoning