

文章编号:1671-9352(2009)11-0068-07

目标描述逻辑研究

吴修国^{1,2}, 曾广周¹

(1. 山东大学计算机科学与技术学院, 山东 济南 250101;

2. 山东经济学院信息管理学院, 山东 济南 250014)

摘要:针对传统的目标描述中存在的不可判定性以及没有清晰的语义等问题,在描述逻辑(description logics, DLs)上,将宣称型(declarative)和过程型(procedural)2种类型的目标描述有机地整合在一起,从而构建了具有清晰语义与可判定性的形式化框架——目标描述逻辑(goal description logics, GDLs),在此基础上,定义了该框架下有关规划规则;建立了可用于判定目标一致性、目标可满足性的方法,与传统的目标描述方法相比,目标描述逻辑为主体领域模型提供了一种更有力的形式化工具,同时为智能主体的模型和设计提供了很好的理论工具。

关键词:主体;描述逻辑;目标表示;目标推理;迁移 workflow

中图分类号:TP181 **文献标志码:**A

Research on goal description logics(GDLs)

WU Xiu-guo^{1,2}, ZENG Guang-zhou¹

(1. School of Computer Science and Technology, Shandong University, Jinan 250101, Shandong, China;

2. School of Information Management, Shandong Economic University, Jinan 250014, Shandong, China)

Abstract: Aimed to two major problems: one is not decidable and the other is no clear semantics. We construct a framework with explicit representation and formal semantics of goals-goal description logics (GDLs), which integrates two types of goals: declarative goals and procedural goals into one concept based on description logics(DLs). In addition, the goal plan is defined and analyzed, and some reasoning problems, such as goal consistency and goal satisfiability, are discussed. Contrary to traditional ways of goal description, GDLs can bridge the gap between theory and practice in a natural way.

Key words: agent; description logics(DLs); goal representation; goal reasoning; migrating workflow

0 引言

在智能主体(intelligent agent)领域中,主体是否具有自主执行任务的能力成为判断其智能水平高低的一个重要标志。即在主体目标给定的情况下,是否能感知环境的变化,并能够对已有的或者将来的行为进行推理、规划或者预测,以实现预先确定的主体目标。通过目标描述,用户只需声明需要达到的效果,而不必了解主体的具体实现过程。因此,明确的目标表达与推理可以使人们更关注主体潜在的行为,为主体目标提供良好的实现基础。传统的目标描述与推理是以一阶逻辑(first order logic, FOL)作为理论基础的。直接使用一阶逻辑存在语义不够自然、推理过程繁琐和没有完备的公理体系等问题。用任务逻辑来描述主体目标是一个研究方向,文献[1]首次提出并系统地研究了谓词框架下的任务逻辑(logic of tasks)。然而,该框架下任务的可完成性是不可判定的;文献[2]针对宣称型(declarative)目标定义了一种面向目标的主体语言 GOAL(goal-oriented agent language),但并未对过程型目标(procedural goals)进行深入研究;而且缺少对目标规划的

收稿日期:2009-07-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60573169)

作者简介:吴修国(1975-),男,讲师,博士研究生,研究方向为移动计算,描述逻辑及其应用技术等. Email:xiuguosd@163.com

操作;文献[3]将上述 2 种类型目标结合起来形成一个统一的概念,提出了一种主体描述语言 Dribble, Dribble 语言是一种不包含变量的命题语言,它的表达能力过于简单,难以表达复杂的目标。

文献[4]认为主体设计的坚实理论基础必须建立在知识表示和推理的理论之上,必须有一个有效的理论工具来对主体自身及其所在领域进行形式化。而 DLs 作为一种知识表示的形式化工具,因其具有可判定性、带有语义、提供有效的推理服务等优点,近年来被广泛应用于计算机科学的众多领域中,如概念建模、服务描述等。文献[5]明确指出描述逻辑可以作为一种本体语言,从而可以将描述逻辑作为智能主体研究的逻辑基础。

基于上述原因,在对传统描述逻辑以及主体理论模型分析基础上,针对智能主体领域中目标的特点,本文构建了一个具有清晰语义与可判定性的形式化框架——GDLs,并借鉴传统描述逻辑的语义给出目标的语义解释,还对目标一致性和可满足性的推理机制进行了研究,以满足智能主体的理论要求。

1 描述逻辑基础

DLs 是一种基于逻辑的知识表示语言,也叫概念表示语言或术语逻辑。它吸收了 KL-ONE 的主要思想,是一阶逻辑的可判定的子集,具有合适定义的语义,并且具有很强的表达能力。一个描述逻辑系统包含 4 个基本组成部分:(1)表示概念和关系的构造集;(2)TBox 包含断言;(3)ABox 实例断言;(4)TBox 和 ABox 上的推理机制。描述逻辑系统的表达能力和推理能力取决于对以上几个要素的选择以及不同的假设。一般来说,描述逻辑有 2 个基本元素,即概念(concept)和关系(role)。概念解释为一个领域的子集;关系则表示在领域中个体之间所具有的相互关系,是在领域集合上的一种二元关系^[6]。

在一定领域中,一个知识库 $K = \langle T, A \rangle$ 由 2 个部分组成:TBox T 和 ABox A 。其中,TBox 是一个关于包含断言的有限集合,也称为术语公理的集合。包含断言的一般形式为 $C \subseteq D$,其中 C 和 D 都是概念。ABox 是实例断言的有限集合,形为 $C(a)$,其中 C 是一个概念, a 是一个个体的名字,或者形为 $R(a, b)$,其中 R 为一个关系, a 与 b 为 2 个个体的名字。

一般地,描述逻辑依据提供的构造算子,在简单的概念和关系上可以构造出复杂的概念和关系。通常描述逻辑至少包含以下算子:交(\cap),并(\cup),非(\neg),存在量词(\exists)和全称量词(\forall)。这种最基本的描述逻辑称之为 ALC。在 ALC 的基础上若添加不同的构造算子,则构成不同表达能力的描述逻辑。例如,在 ALC 上添加数量约束算子“ \leq ”和“ \geq ”,则构成描述逻辑 ALCN。ALC 语义将概念解释为一定领域的子集,关系是该领域上的二元关系。形式上,一个解释 $I = \langle \Delta', \cdot' \rangle$ 由解释的领域 Δ' 和解释函数 \cdot' 所构成,其中解释函数把每个原子概念 A 映射为 Δ' 的子集,而把每个原子关系 R 映射为 $\Delta' \times \Delta'$ 的子集。

关于描述逻辑中的推理问题,主要包括概念的可满足性、概念的包含关系、实例检测、一致性检测等,其中概念的可满足性问题是最基本的问题,其它的推理基本上都可以转化为概念的可满足性问题。

2 GDLs 的语法与语义

设有常量的集合 $\text{Cons} = \{a_1, a_2, \dots\}$,变量的集合 $\text{Var} = \{x_1, x_2, \dots\}$,函数的集合 $\text{Fun} = \{f_1, f_2, \dots\}$ 。下面给出目标描述逻辑的语法与语义。

2.1 语法结构

为了利用描述逻辑的基本理论来刻画智能主体的目标描述,先给出几个基本概念,包括:项,代换,概念以及公式等。

定义 1 项(tem)。项可以递归定义如下:

- (1) 如果 $x \in \text{Var}$,那么 x 是项;
- (2) 如果 $f \in \text{Fun}$, $x_1, x_2, \dots \in \text{Tem}$,那么 $f(x_1, x_2, \dots)$ 是项。

定义 2 代换(substitution)。形如 $\{x_1/t_1, \dots, x_n/t_n\}$ 的有穷集合称为代换,其中 x_1, \dots, x_n 为个体常元或个体变元; t_1, \dots, t_n 为项,并且任意 $i \neq j$ 满足 $x_i \neq x_j$, $i, j \in [1, \dots, n]$ 。

定义 3 概念(concept)。目标描述逻辑中概念定义如下:

- (1) 原子概念 P 、全概念 \top 和空概念 \perp 都是概念;
- (2) 如果 C 和 D 是概念, 则 $\neg C, C \cap D, C \cup D$ 都是概念;
- (3) 如果 R 为关系, C 为概念, 则 $\exists R \cdot C, \forall R \cdot C$ 都是概念。

定义 4 公式(formula)。目标描述逻辑中公式定义如下:

(1) 形如 $C(a)$ 和 $R(a, b)$ 的表达式称为断言公式或 ABox 断言, 它们是不带变元的, 也称为基公式(ground formula);

(2) 形如 $C(x)$ 和 $R(x, y)$ 的表达式称为一般公式, 它们是带变元的;

(3) 断言公式和一般公式都是公式;

(4) 如果 φ 和 Ψ 是公式, 则 $\neg \varphi, \varphi \wedge \Psi, \varphi \vee \Psi, \varphi \rightarrow \Psi$ 都是公式。

目标是智能主体对期望结果的一种描述, 具有如下的形式:

定义 5 原子目标(atomic goal)。在目标描述逻辑中, 一个原子目标可以描述为 $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{p:s}{f}$,

其中:

(1) g 是原子目标名, x_1, x_2, \dots, x_n 为个体常元或者个体变元, 用于确定目标 g 的属性;

(2) p 是前提公式集(pre-conditions set), 用于指定目标实现前必须满足的条件, 由一般公式即 $C(x_i)$ 或 $R(x_j, x_k)$ ($1 \leq i, j, k \leq n$) 组成, 有时也称为满足性条件(satisfaction conditions);

(3) s 是结果公式集(post-conditions set), 用于描述目标满足时对外部世界的影响。它由一般公式组成, 如果公式 s_i 前有符号“ \neg ”, 则目标满足时应从 ABox 中删除事实 s_i , 否则在 ABox 中加入事实 s_i ;

(4) f 是目标的失效(舍弃)公式集(failure-conditions set), 目标实现过程中用于检测是否终止实现当前目标。

在下面的讨论中, 分别用 $p(g)$ 、 $s(g)$ 和 $f(g)$ 来表示目标 g 的前提公式集、结果公式集和失效公式集。

原子目标是对目标结构相对简单、功能单一的描述, 对于一般的目标则具有如下的定义:

定义 6 目标公式(goal formula)。在目标描述逻辑中, 目标公式定义如下:

(1) 如果 g 是一个 n 维原子目标名, t_1, t_2, \dots, t_n 是项, 则 $g(t_1, t_2, \dots, t_n)$ 是目标公式, 称为原子目标公式;

(2) 如果 g_1, g_2 是目标公式, 则 $g_1 \text{ And } g_2, g_1 \text{ SeqAnd } g_2$ 是目标, And 和 SeqAnd 被称作目标的“与”操作符;

(3) 如果 g_1, g_2 是目标公式, 则 $g_1 \text{ Or } g_2, g_1 \text{ SeqOr } g_2$ 是目标, Or 和 SeqOr 被称作目标的“或”操作符;

(4) 如果 g 是目标公式, $g *$ 是目标, $*$ 被称作循环操作符;

(5) 如果 g 是目标, 那么 $g?$ 也是目标, 称为测试型目标。

本文的目标公式也简称为目标。含有一个或多个操作符的目标称为复合目标。一个复合目标公式的复杂度定义为该目标公式中所包含的操作符和量词(\exists 和 \forall)的个数, 复杂度为 0 的目标公式称为简单公式(primitive formula)。不带变元的目标称为基目标(ground goal)。一个带变元的目标, 可以通过在每个变元处用对象代换, 从而获得该目标的实例, 因此目标公式可以看作是一组目标实例的集合。

2.2 目标的语义

不论是宣称型(declarative)目标还是过程型(procedural)目标, 目标最终都可以看作是主体期望达到的某个状态, 在该状态下, 所有个体的属性、关系等事实的描述构成世界状态的描述, 它们都可以用断言公式来表示。因此, 一个目标描述就可以解释为由断言公式集所确定的世界状态, 这样就可以较为直观地理解目标的语义。设 $\mathscr{W} = \{w_1, w_2, \dots\}$ 为 GDL 形式系统中所有状态的集合, 且 w_i 是 w_j 的后续状态当且仅当 $i < j$ 。

定义 7 目标状态(goal state)。如果一个目标 g 的结果公式集 $s(g)$ 中的任意一个断言公式都能由状态 w ($w \in \mathscr{W}$) 导出, 则称 w 为 g 的目标状态。形式化表示为

$$\text{Sta}(g, w) \text{ 当且仅当 } \forall \varphi \in s(g), \text{ 都有 } w \models \varphi。$$

下面给出原子目标和复合目标语义解释。

(1) $g = \{w \mid \text{Sta}(g, w), w \in \mathscr{W}\}$ 。

(2) $g_1 \text{ And } g_2 = \{w_i \cap w_j \mid \text{Sta}(g_1, w_i) \wedge \text{Sta}(g_2, w_j), w_i, w_j \in \mathscr{W}\}$;

$g_1 \text{ SeqAnd } g_2 = \{w_i \cap w_j \mid \text{Sta}(g_1, w_i) \wedge \text{Sta}(g_2, w_j) \wedge (i < j), w_i, w_j \in \mathscr{W}\}$ 。

- (3) $g_1 \text{ Or } g_2 = \{w_i \cup w_j \mid \text{Sta}(g_1, w_i) \vee \text{Sta}(g_2, w_j), w_i, w_j \in \mathcal{W}\}$;
 $g_1 \text{ SeqOr } g_2 = \{w_i \cup w_j \mid (\text{Sta}(g_1, w_i) \vee \text{Sta}(g_2, w_j)) \wedge (i < j), w_i, w_j \in \mathcal{W}\}$ 。
(4) $g * = \{w \mid \text{Sta}(\dots(\text{Sta}(g, \text{Sta}(g, w)))\dots), w \in \mathcal{W}\}$ 。
(5) $g = \{w \mid w \models s(g), w \in \mathcal{W}\}$ 。

下面给出有关目标之间关系的几个新概念,这些概念可以对作为传统描述逻辑的有益补充。

定义 8 目标包含(goal subsumption)。假设 g_1, g_2 是目标(原子目标或复合目标),如果在任意状态 $w \in \mathcal{W}$ 下有 $\text{Sta}(g_1, w)$, 都有 $\text{Sta}(g_2, w)$, 则称目标 g_1 包含目标 g_2 , 或者称目标 g_2 被目标 g_1 包含, 记作 $g_2 \subseteq g_1$ 或者 $g_1 \supseteq g_2$ 。

例如, 给定 3 个目标结果公式集的描述: $s(g_1) = (A(a), \neg A(b))$, $s(g_2) = (A(x), \neg A(y))$, $s(g_3) = (A(x), A(y))$ 。其中, a, b 是个体常元, x, y 是个体变元, 则有 $g_1 \subseteq g_2$, 但目标 g_1 和 g_3 之间不存在包含或被包含关系。

定义 9 目标等价(goal equation)。假定 g_1, g_2 是目标(原子目标或复合目标), 如果满足 $g_1 \subseteq g_2$ 且 $g_2 \subseteq g_1$, 则称目标 g_1 和 g_2 等价, 记作 $g_1 \equiv g_2$ 。

2.3 目标规划

主体一旦有了确定的目标之后, 就需要寻找一种有效的方法和途径来实现这些目标, 这种推理过程就是目标规划(goal plan)。在目标描述逻辑中目标规划包含以下内容: (1) 与规划相关联的目标; (2) 规划可执行需要满足的上下文环境; (3) 基本的行为, 包括动作, 子目标, 子规划等以及规划操作符(; , ||)等。

定义 10 目标规划(goal plan)。在目标描述逻辑中, 目标规划 p 具有如下的形式: $p: g \leftarrow \frac{\varphi}{(b_s \mid s_g \mid s_p)}$ 。其中:

- (1) p 是目标规划名;
- (2) g 是目标名, 称作规划的头;
- (3) φ 为规划的前提条件, 由公式(断言公式或一般公式)组成;
- (4) $(b_s \mid s_g \mid s_p)$ 是规则体, b_s 表示基本动作, s_g 表示子(中间)目标, s_p 表示子(中间)规划。此外, 还定义了 2 个规划操作符“||”和“;”, $(p_1 \parallel p_2)$ 和 $(p_1; p_2)$ 分别表示并行和串行的 2 个规划组合。

目标规划的语义为: 如果前提条件 φ 成立, 则通过采取以下策略 $(b_s \mid s_g \mid s_p)$ 就可以实现目标 g 。出现在规则头部的变量称为全局变量, 其它不在规则头部的变量称为局部变量。由于目标规划总是与某一特定目标有关。因此, 目标规划通常被简称为规划。

目标规划指明了达到一个特定目标的方法, 即说明实现一个目标具体需要哪些操作, 这些操作以什么方式和顺序来进行组合并执行。通常在实现目标的工作流程比较固定、外界环境变化不大的情况下, 可以预先制定一些与目标相对应的规划。

在一般描述逻辑框架下, 一个知识库通常包括 TBox 和 ABox 两部分。当将描述逻辑扩展为目标描述逻辑之后, 相应的目标描述逻辑的知识库有如下定义:

定义 11 知识库(knowledge base)。目标描述逻辑中的知识库是一个三元组 $K = \langle T, A, P \rangle$, 其中 T 为包含断言集合 TBox, A 为实例断言集合 ABox, P 为目标规划集。

3 目标描述逻辑的推理问题

传统描述逻辑中的基本推理问题主要有 4 个, 即概念可满足性、概念包含、一致性以及实例检测等, 相应地, 目标描述逻辑也有关于目标的 4 个基本推理问题。由于目标包含与目标实例检测可以转化为目标的一致性和可满足性问题, 下面重点讨论目标的一致性和目标可满足性推理问题。

3.1 目标描述的一致性判定

目标描述是用来刻画主体期望达到的状态, 是对世界状态的描述。这要求目标描述是一致的、合理的、不包含冲突的。因此, 在主体实现目标之前, 应该对它们的合理性和一致性进行检测。

定义 12 原子目标一致性(atomic goal consistency)。一个原子目标描述是一致的,当且仅当对于任意的个体常元 a_1, a_2, \dots, a_n , 目标实例 $g(a_1, a_2, \dots, a_n) = \frac{p:s}{f}$ 的前提公式集 $p(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 、结果公式集 $s(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 以及失效公式集 $f(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 都是一致的。

本文仅关注无环的目标,因此给定一个复合目标 g , 它总是能够展开为仅由原子目标组成的目标序列。

定义 13 复合目标一致性(composite goal consistency)。复合目标是一致的,当且仅当组成它的每一个原子目标都是一致的。

因为目标描述是对某一类目标的一般性描述,它抽象出了属于该目标的所有目标实例的基本属性。因此,在验证其描述的一致性时,只需构造出任意一个目标实例,然后检测其一致性就可以了。在代入任意个体实例 a_1, a_2, \dots, a_n 之后,目标的前提公式集 $p(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 、结果公式集 $s(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 和失效公式集 $f(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 等都可以转换为传统描述逻辑中断言公式的集合。因而,目标描述的一致性就转化成了断言公式集的一致性问题。由于文献[7]证明了断言公式集的一致性问题是可判定的,因而有如下定理:

定理 1 目标描述的一致性问题是可判定的。

3.2 目标的可满足性判定

在试图实现一个目标之前,需要检测一下该目标在当前状态下是否是可实现的,即它的前提条件是否是可满足的。

定义 14 原子目标可满足性(atomic goal possible satisfiability)。一个目标 g 在状态 $w(w \in \mathcal{W})$ 下是可满足的,当且仅当 g 的前提条件 p 中的每个断言公式都能在 w 中导出,并且 g 的失效条件 f 不能由 w 导出。形式化表示为

$$\text{Poss}(g, w) \Leftrightarrow \forall \varphi \in p, \text{ 都有 } w \models \varphi, \text{ 并且 } \forall \varphi' \in f, \text{ 都有 } w \not\models \varphi'.$$

由于每个状态就是一个断言公式的集合,因此这里可以通过判断该目标的前提条件中每个断言公式是否都可在当前状态下导出来确定目标的可满足性。复合目标的可满足性有如下结论:

$$(1) \text{Poss}(g_1 \text{ And } g_2, w) \Leftrightarrow \text{Poss}(g_1, w) \wedge \text{Poss}(g_2, (w - p(g_1)) \cup s(g_1)) \text{ 或}$$

$$\text{Poss}(g_2, w) \wedge \text{Poss}(g_1, (w - p(g_2)) \cup s(g_2));$$

$$\text{Poss}(g_1 \text{ SeqAnd } g_2, w) \Leftrightarrow \text{Poss}(g_1, w) \wedge \text{Poss}(g_2, (w - p(g_1)) \cup s(g_1)).$$

$$(2) \text{Poss}(g_1 \text{ Or } g_2, w) \Leftrightarrow \text{Poss}(g_1, w) \vee \text{Poss}(g_2, (w - p(g_1)) \cup s(g_1)) \text{ 或}$$

$$\text{Poss}(g_2, w) \vee \text{Poss}(g_1, (w - p(g_2)) \cup s(g_2));$$

$$\text{Poss}(g_1 \text{ SeqOr } g_2, w) \Leftrightarrow \text{Poss}(g_1, w) \vee \text{Poss}(g_2, (w - p(g_1)) \cup s(g_1)).$$

$$(3) \text{Poss}(g * , w) \Leftrightarrow \text{Poss}(g, \text{Poss}(g, \dots \text{Poss}(g, w) \dots))$$

(4) 对于测试目标 $g?$, 它在任意状态下都是可满足的。

定理 2 在目标描述逻辑(GDLs)中,目标可满足性问题是可判定的。

证明 要证明目标可满足性推理是可判定的,只需说明存在一组常量的集合 a_1, a_2, \dots, a_n , 使得 $p(a_1, a_2, \dots, a_n) \wedge \neg f(a_1, a_2, \dots, a_n)$ 为真。令断言公式集 $F = \{p(a_1, a_2, \dots, a_n) \wedge \neg f(a_1, a_2, \dots, a_n)\}$, 然后利用一致性检测算法来判定 F 是否一致。如果 F 中不包含冲突,则 F 是一致的。此时即找到常量的集合,目标是可满足的;否则,如果 F 是不一致的,则说明目标是不可满足的。上述过程说明目标的可满足性问题可以直接转化为断言公式集的一致性问题。因此,由定理 1 可得,目标可满足性问题是可判定的。

尽管从理论上来说,如果目标是可满足的,在执行与目标相关的规划后就可达到预期的结果,即目标的结果公式集中的公式都可由目标状态导出。但在一个动态变化的环境中,目标的实现过程(即规划 p 的执行过程),仍然可能会出现以下情况:

(1) 规划 p 执行过程中, $s(g) \vee f(g)$ 为真(true);

(2) 规划 p 执行完成后, $s(g) \vee f(g)$ 为真(true);

(3) 规划 p 执行完成后, $s(g) \vee f(g)$ 为假(false)。

在第一种情况下,规划 p 执行过程中 $s(g) \vee f(g)$ 为真,此时放弃目标的实现,并返回部分目标实现的结果;在第二种情况下,规划执行完毕 $s(g) \vee f(g)$ 为真,目标实现过程终止,返回规划 p 即可;在第三种情况

下,通过执行规划 p 并不能保证目标实现的终止过程,即目标并未得到满足,需要选择新的规划^[8]。

4 举例

文献[9]提出了一个由迁移 workflow 引擎(migrate workflow engine, MWE),停靠站服务器(anchor server, AS)和工作机网络(work machine network, WMN)等组成的迁移工作流的模型框架。其中,迁移实例(migrate instance, MI)是迁移工作流执行的主体,由它携带详细的任务说明,按照预先设定的任务执行相应的操作。由于迁移实例被严格的任务执行步骤所限制,执行过程缺乏灵活性和自主性。本文采用目标描述逻辑来描述迁移实例的目标说明。假定迁移实例目标为 g : 购买 m 本书名为 DLs 的图书(PossessOf(“DLs”, m))。该目标可以描述为

$$g = \frac{\text{Enough}(\text{Money}) \cap \text{Available}(\text{Booksite}) : \text{Possess}(x) \cap \text{Book}(x) \cap \exists \text{Book}(x, m)}{\exists \text{AccessSiteMorethan}(x, n)}$$

上述目标 g 的语义为:实现目标 g 前提条件包括有足够钱并且当前可以访问书店的网站;最终达到的目标是拥有 m 本书;如果在执行过程中发现不断查询的网站数目超过了 n 就放弃该目标的实现。

迁移实例将该目标分解为 3 个序列子目标:(1) 首先找到书店,比如 www.book.com;(2) 在该网站的搜索引擎中搜索图书《DLs》;(3) 付款。即

$$\{\text{goto_Website}(\text{site}); \text{Query}(\text{book}); \text{pay_cart}(\text{book})\},$$

Query(book, A)是一个测试目标,用来查询当前书店 A 是否有图书 book,返回该图书的数量。与该目标关联的规划可以定义为

$$\text{goto_Website}(\text{bookstore}); \frac{\text{@Query}(\langle \text{DLs} \rangle, x)}{[(x > m); \text{Order}(\langle \text{DLs} \rangle, m), \text{Order}(\langle \text{DLs} \rangle, x); \text{Query}(\langle \text{DLs} \rangle, m - y)]}; \text{pay_cart}(\text{book}),$$

其中 goto_WebSite(bookstore)是一个基本动作;“;”是规划操作符,表示 2 个顺序连接;中间为测试当前书店图书的数量,返回 x ,如果 $y \geq x$ 就将图书放入购物篮,然后付账;否则先购买 y 本,然后再查找其它书店购买 $(x - y)$ 本。最后是子目标付款操作。

5 结束语

目前,不同的学者从不同的角度对目标的描述与推理进行了较深入的研究。在目标描述方面有文献[10]和文献[11],目标被定义为一组顺序的动作或计划。但是本研究认为目标应该是需要达到的状态而不是某个特定的执行计划,而同一个目标状态可能存在多个不同的实现途径或方案。因此,目标的描述与目标的实现应该是分离的。

在规划描述方面,文献[10]将目标规划定义为由基本动作(basic action),子(中间)规划(abstract plan)以及 IF-Then-Else 结构组成;Dribble^[3]中定义的规划除了上述元素外,还包含可执行动作(executable action)。但是,它们都缺乏对规划的操作。

本文提出的目标描述逻辑与在文献[9]中提出的动态逻辑不同。文献[9]将动作引入到描述逻辑中,形成了一个既能处理静态知识也能处理动态知识的新的动态描述逻辑系统;而在本文中,将动作看作是规划的一个组成部分,主要在传统描述逻辑基础上引入算子以及规划等来处理目标的表示与推理,也就是说该理论与动态描述逻辑本身能起到互为补充的作用。

文献[12]在现有任务逻辑的基础上提出了描述任务逻辑(description logic of tasks),但它仍然是囿于谓词逻辑框架的,是通过代换来判定任务的完成性;而且目标和任务不同,任务缺乏对期望状态的描述。

有关目标的表示与推理是近年来智能主体研究领域的重要课题之一^[13-15]。本文在智能主体的知识表示和推理方面,提出了一种新的描述方法——目标描述逻辑,它以描述逻辑为基础,将宣称型目标和过程型目标有机的结合起来,形成了一种统一的形式化框架。由于借鉴了传统描述逻辑的语义解释方法来解释目标,从而使得它具有清晰的语义特征,既可以提供可判定的推理服务,又能有效地对动态过程和运行机制进行表示和推理(目标之间的包含关系和等价关系)。它为主体领域模型提供了一种更有力的形式化工具,同

时为智能主体的模型和设计提供了很好的理论工具^[16]。

在下一步的工作中,主要研究以下内容:(1) 由于目标在满足时需要消耗一定的资源,有些资源是可重用的,而有些资源是消耗性的,那如何将目标描述逻辑和资源逻辑结合起来,构建包含资源的目标描述逻辑;(2) 基于目标描述逻辑的主体心智模型的研究,即探讨主体信念、行为能力等心智要素的表示、推理与修改等基本问题。

参考文献:

- [1] GIORGI JAPARIDZE. The logic of tasks[J]. *Annals of Pure and Applied Logic*, 2002, 117(1/3):263-295.
- [2] HINDRIKS K V, S DE BOER F, WIEBE VAN DER HOEK, et al. Agent programming with declarative Goals[C]// *Intelligent Agents VII Agent Theories Architectures and Languages*, 7th International Workshop, ATAL 2000(LNAI 1986). Berlin: Springer-Verlag, 2001: 228-243.
- [3] VAN RIEMSDIJK M B, VAN DER HOEK W, MEYER J-J Ch. Agent programming in dribble: from beliefs to goals with plans[C]// *Proceedings of the second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent System (AAMAS'03)*, 2003: 393-400.
- [4] BARAL C, GELFOND M. Reasoning agents in dynamic domains[M]// JMINKER ed. *Logic Based Artificial Intelligence*. NorWood, NJ: Kluwer Publishing, 2000.
- [5] BAADER F, HORROCKS I, SATTLER U. Description logics as ontology languages for the semantic web[M]// Dieter Hutter and Werner Stephan, ed *Festschrift in honor of Jörg Siekmann*, Berlin: Springer, 2003: 228-248.
- [6] BAADER F, CALVANESE D, MC GUINNESS D, et al. *The description logic handbook: theory, implementation and applications*[M]. Cambridge University Press, 2003.
- [7] 董明楷. 面向智能主体的动态描述逻辑研究[D]. 北京:中国科学院计算技术研究所,2003.
- [8] UGO DAL LAGO, PISTORE Marco, TRAVERSA Paolo. Planning with a language for extended goal[C]// *Proceedings of the 8th International Conference on Artificial Intelligence*, [S.l.]:[s.n.], 2002: 447-454.
- [9] 曾广周,党妍. 基于移动计算范型的迁移 workflow 研究[J]. *计算机学报*, 2003, 26(10):1343-1349.
- [10] HINDRIKS K V, DE BOER F, DER HOEK W, et al. Agent programming in 3APL[J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent System* 2: 4, 1999: 357-401.
- [11] WINIKOFF M, PADGHAM L, HARLAND J, et al. Declarative and procedural goals in intelligent agent systems[C]// *Proceedings of the 8th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR2002)*, Toulouse:[s.n.], 2002: 470-481.
- [12] 张会,李思昆. 描述任务逻辑及其应用[J]. *计算机学报*, 2006, 3:488-494.
- [13] 史忠植,董明楷,蒋运承,等. 语义 Web 的逻辑基础[J]. *中国科学: E 辑, 信息科学*, 2005, 48(2):161-178.
- [14] 罗杰文,史忠植,王茂光,等. 基于动态描述逻辑的多主体协作模型[J]. *计算机研究与发展*, 2006, 43(8):1317-1322.
- [15] 刘贵全,陈小平,范焱,等. 多主体协作系统的一种形式模型[J]. *计算机学报*, 2001, 5:529-535.
- [16] WU Xiuguo, ZENG Guangzhou, YANG Gongping. A novel approach for describing goals with DLs in intelligent agents[C]// *Proceedings of the 4th International Conference on Natural Computation(ICNC)*, [S.l.]:[s.n.], 2008: 226-230.

(编辑:孙培芹)