

支持链式桥规则的分布式动态描述逻辑^①张建华^{②*} 史忠植^{*} 岳金朋^{* **} 齐保元^{* **} 蒋运承^{***} 王晓峰^{****}

(* 中国科学院计算技术研究所智能信息处理重点实验室 北京 100190)

(** 中国科学院大学 北京 100049)

(***) 华南师范大学计算机学院 广州 510631)

(**** 中国科学院计算技术研究所无线传感器网络实验室 北京 100190)

摘 要 研究了链式桥规则在分布式动态描述逻辑(D3L)中的应用,旨在使得现有的分布式动态描述逻辑可以在多个系统中进行推理和发挥其在信息集成中的重要作用。在动态描述逻辑(DDL)推理和 D3L 推理的基础上,提出了支持链式桥规则的分布式动态描述逻辑(CD3L)推理算法。该算法首先判断能否在一个 DDL 系统内部进行推理,然后再判断能否在两个 D3L 系统间进行推理,最后通过 CD3L 在多个 D3L 系统中进行推理。与 D3L 相比,新提出的 CD3L 弥补了传统桥规则描述逻辑系统的不足,为信息系统集成和语义网提供了更为合理的逻辑基础。

关键词 描述逻辑(DL), 动态描述逻辑(DDL), 分布式动态描述逻辑(D3L), 桥规则, 链式桥规则

0 引 言

描述逻辑(description logic, DL)是基于对象的知识表示形式化工具,是一阶逻辑的可判定子集^[1,2]。DL 最显著的特点是具有较强的描述能力,同时保证相关推理的可判定性,具有有效的推理算法。一个 DL 系统包含表示概念和关系的构造集、包含断言 TBox、实例断言 ABox、TBox 和 ABox 上的推理机制四个基本组成部分,其表示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^[3]。在 DL 中有概念和关系两个基本元素。概念是一个领域的子集,关系是领域中个体之间所具有的相互关系,是领域集合上的一种二元关系。关于描述逻辑的基本推理问题,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,其它的推理都可以转化为概念的可满足性问题。

DL 只能处理静态领域,Shi^[3]等将 DL 与动作理论有机结合,提出了另外一种描述逻辑,即动态描述逻辑(dynamic description logic, DDL)。DDL 克服了

DL 只能在静态领域应用的局限,极大地扩展了 DL 的应用范围。在该逻辑中,任一原子动作 a 都被刻画为一个二元组 (P_a, E_a) 的形式。 P_a 表示执行该动作前需要满足的前提条件, E_a 表示动作执行后的效果。应用 DDL,一方面可以对静态领域的知识进行刻画推理;另一方面可以将静态知识作为背景,在其基础上进行动作的描述和推理。DDL 能力强于命题语言的逻辑系统。DDL 系统中关于动作的各种推理问题都可以转换为公式的可满足性问题,使得 DDL 更适用于语义网环境^[5-7]。由于语义网是一个分布式系统,DDL 只适合处理同构信息,不能为语义网提供合理的逻辑基础,为此提出了分布式动态描述逻辑(distributed dynamic description logic, D3L)。D3L 是在 DDL 上进行的扩展,该逻辑为分布式、异构的信息集成提供了理论基础^[8,9]。D3L 是对传统 DL 进行的扩充^[10,11]。D3L 充分考虑了 DDL 在分布式环境下的特性,用于形式化地描述若干本地知识库所组成的环境。每个 DDL 都有自己的表示形式和推理机制, D3L 是研究多个 DDL 系统的统一表示形式和推理机制。

① 973 计划(2013CB329502),国家自然科学基金(61035003,60933004,61202212,61072085,)863 计划(2012AA011003),国家科技支撑计划(2012BA107B02)和中国信息安全测评中心课题(CNITSEC-KY-2012-006/1)资助项目。

② 男,1982 年生,博士生;研究方向:认知科学,多智能体;联系人, E-mail: zhangjh@ics.ict.ac.cn
(收稿日期:2013-05-27)

D3L 通过桥规则进行知识传播,但是它只针对两个局部 DDL 本体通过桥规则进行连接的情况,而没有将知识在本体间的传播用于分布式推理。知识传播是 D3L 区别于传统 DDL 的主要特征。多个 DDL 本体之间在桥规则构成链的情况下,并不总是按照预期的方式进行传播^[12],为此引入了组合一致性语义,提出了支持链式桥规则的 D3L(chain supported D3L, CD3L)。CD3L 组成为 3 部分:分布式 TBox(DTB)、分布式 ABox(DAB)和分布式 ActBox(DActB)。本文分别给出了各个部分语法和语义。针对 DDL 系统中存在的知识不能按照预期的方式进行传播的特点,引入了组合一致性语义,并研究了 CD3L 的推理机制。

1 知识传播

D3L 的重要特性之一是包含传播,包含传播是形式化描述 D3L 的知识重用机制。定理 1 和定理 2 给出了包含传播的基本形式。通过桥规则,本体之间可以进行知识的定向传播。

定理 1: 给定分布式 TBox(DTB), 如存在 $i:C \xrightarrow{\supseteq} j:E$ 以及 $i:D \xrightarrow{\subseteq} j:F$, 则有下式成立: $DTB \models_d i:C \subseteq D \Rightarrow DTB \models_d j:E \subseteq F$ 。

定理 2: 给定分布式 ActBox(DActB), 如存在 $i:\alpha \xrightarrow{\supseteq} j:\beta$ 以及 $i:\pi \xrightarrow{\subseteq} j:\rho$, 则有下式成立: $DTB \models_d i:\alpha \subseteq \pi \Rightarrow DTB \models_d j:\beta \subseteq \rho$ 。

定理 1 和定理 2, 只针对两个局部 DDL 本体通过桥规则进行连接的情况。但是当有多个 DDL 进行连接的情况时, 存在知识不能够按预期传播的情况。

图 1 展示了组合一致性语义的重要性。

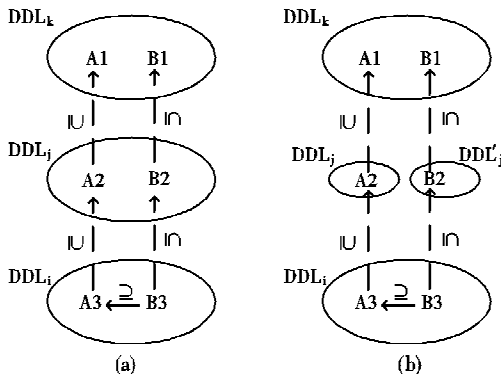


图 1 分布式知识传播

在图 1(a) 中, $i:A3 \xrightarrow{\subseteq} j:A2, i:B3 \xrightarrow{\supseteq} j:B2$, 由 $i:B3 \xrightarrow{\subseteq} i:A3$, 根据包含传播定理得: $j:B2 \subseteq j:A2$ 。同理可得 $k:B1 \subseteq k:A1$ 。

在图 1(b) 中语义并没有按照我们想像的传播下去, 按照传统的包含传播定理, 并不能够得出 $k:B1 \subseteq k:A1$ 。

Zhao 等^[12] 提出了组合一致性链式桥规则导致的 D3L 知识传播, 对 D3L 语义进行了扩展。定义如下:

定义 1: 给定分布式解释 DI, 如果对于任意 $i, j, k \in I$ 及 $x \in \Delta^I, r_{ij}(x) = d$ 成立蕴含 $r_{jk}(d) = r_{ik}(x)$, 则称领域关系 r (即 DI) 满足组合一致性。

在组合一致性语义的基础上, 图 1(b) 解释如下。 $r_{jk}(r_{ij}(A3^i)) \subseteq r_{jk}(A2^j) \subseteq A1^k, B1^k \subseteq r_{j,k}(B2^j) \subseteq r_{j,k}(r_{ij}(B3^i))$, 组合一致性语义意味着 $r_{ik}(A3^i) = r_{jk}(r_{ij}(A3^i))$ 以及 $r_{j,k}(r_{ij}(B3^i)) = r_{ik}(B3^i)$ 。根据 $DTB \models_d i:B3 \subseteq A3$, 得 $r_{ik}(B3) \subseteq r_{ik}(A3)$, 从而得到 $B1 \subseteq A1$ 。

将组合一致性链式桥规则应用于 D3L 系统, 弥补了传统 D3L 系统的不足。

2 CD3L 本体知识库

本节给出支持链式桥规则的分布式动态描述逻辑(CD3L)的基本定义。假定 DDL_i, DDL_j 和 DDL_k 是 DDL 系统, 每个 DDL 系统都有自己的表示形式和推理机制。CD3L 研究多个 DDL 系统的统一表示形式和推理。

2.1 CD3L 本体知识库语法

CD3L 系统包括 5 个基本组成部分: 分布式动态描述逻辑, 如 DDL_i, DDL_j, DDL_k 等; 分布式 TBox, 分布式 ABox, 分布式 ActBox; 分布式 Tbox、ABox 和 ActBox 上的推理机制。

令 I 是序号的非空集合, 对于每个 $i \in I, DDL_i$ 表示一个独立的动态描述逻辑系统。一个序列 $KB = \{DDL_i\}_{i \in I}$ 组成分布式动态描述逻辑。在 DDL_i 系统中的概念 C 前标注 $i, i:C$ 表示 DDL_i 系统的概念 C ; 在 DDL_i 系统中的动作 α 前标注 $i, i:\alpha$ 表示 DDL_i 系统的动作 α 。

定义 2: 给定 DDL_i 的概念 C 和 DDL_j 的概念 E ; DDL_i 的动作 α 和 DDL_j 的动作 β , 则从 i 到 j 的桥规则是下列四种形式之一:

$$i:C \xrightarrow{\subseteq} j:E: \text{ into 概念桥规则}$$

$i:C \xrightarrow{\supseteq} j:E$: onto 概念桥规则

$i:\alpha \xrightarrow{\subseteq} j:\beta$: into 动作桥规则

$i:\alpha \xrightarrow{\supseteq} j:\beta$: onto 动作桥规则

桥规则具有方向性,即从 i 到 j 的桥规则 br_{ij} 并不一定是从 j 到 i 的桥规则 br_{ji} 的逆^[10,11,13]。图 2 表示 into 桥规则, DDL_i 中的 A 通过桥 br_{ij} 映射到 DDL_j 中的 B , A 为 B 的子集。

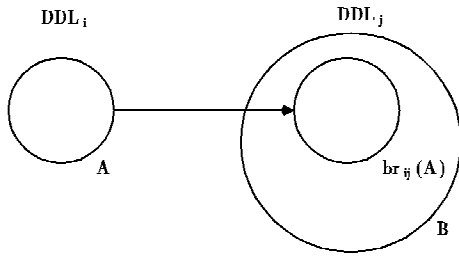


图 2 into 桥规则直观解释

图 3 表示 onto 桥规则, DDL_i 中的 A 通过桥 br_{ij} 映射到 DDL_j 中的 B , B 为 A 的子集。

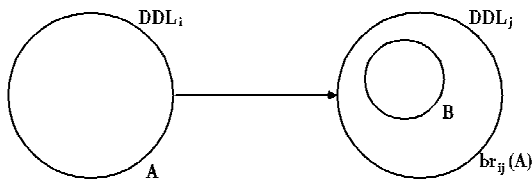


图 3 onto 动作桥规则直观解释

定义 3: 如果 x 是动态描述逻辑 DDL_i 的个体, $y_1, y_2, \dots$ 是动态描述逻辑 DDL_j 中的个体, 则有:

$i:x \longrightarrow j:y$: 称为部分个体对应

$i:x \xrightarrow{=} j:\{y_1, y_2, \dots\}$: 成为完全个体对应

D3L 利用桥规则和个体对应来建立多个动态描述逻辑系统 DDL 之间的应对关系。

定义 4: I 是序号的非空集合, 一个分布式 $TBox$ $DTB = \langle \{T_i\}_{i \in I}, B \rangle$ 。包含一个 $TBox$ 的集合 $\{T_i\}_{i \in I}$ 和从 T_i 到 T_j 桥规则的集合 $\{B_{ij}\}_{i \neq j \in I}$ 。对任意的 $k \in I$, 所有在 T_k 中的描述必须同 DDL_k 相对应。对于每一个概念桥规则 B_{ij} , 有 $i:C \xrightarrow{\subseteq} j:E$ 或者 $i:C \xrightarrow{\supseteq} j:E$, 概念 C 必须在 DDL_i 中存在且概念 E 必须在 DDL_j 中存在。

定义 5: I 是序号的非空集合, 一个分布式 $ABox$ $DAB = \langle \{A_i\}_{i \in I}, C \rangle$ 。包含一个 $ABox$ 的集

合 $\{A_i\}_{i \in I}$ 和从 A_i 到 A_j 部分或全部的个体对应的集合 $\{C_{ij}\}_{i \neq j \in I}$ 。对任意的 $k \in I$, 所有在 A_k 中的描述必须同 DDL_k 相对应。对于每一条对应规则, C_{ij} 中的 $i:x \longrightarrow j:y$ 部分个体对应或者是 $i:x \xrightarrow{=} j:\{y_1, y_2, \dots\}$ 完全对应, 个体名字 x 必须存在于 DDL_i 中, $y_1, y_2, \dots$ 必须存在于 DDL_j 中。

定义 6: I 是序号的非空集合, 一个分布式 $ActBox$ $DActB = \langle \{Act_i\}_{i \in I}, D \rangle$ 。包含一个 $ActBox$ 的集合 $\{Act_i\}_{i \in I}$ 和从 Act_i 到 Act_j 桥规则的集合 $\{D_{ij}\}_{i \neq j \in I}$ 。对任意的 $k \in I$, 所有在 Act_k 中的描述必须同 DDL_k 相对应。对于每一个动作桥规则 D_{ij} , 有 $i:\alpha \xrightarrow{\subseteq} j:\beta$ 或者 $i:\alpha \xrightarrow{\supseteq} j:\beta$, 动作 α 必须在 DDL_i 中存在且动作 β 必须在 DDL_j 中存在。

定义 7: 一个支持桥规则的分布式动态描述逻辑 CD3L 知识库 $DKB = \langle DTB, DAB, DActB \rangle$ 。其中 DTB 是一个分布式 $TBox$, DAB 是一个分布式 $ABox$, $DActB$ 是一个分布式 $ActBox$ 。

2.2 CD3L 本体知识库语义

由于 CD3L 是由多个动态描述逻辑通过桥规则或者是个体对应而成, 因而 CD3L 的语义解释也可以根据 DDL 的语义和论域连接关系来给出。

定义 8: 一个分布式解释 $DI = \langle \{I_i\}_{i \in I}, r \rangle$ 。其中, I_i 是分布式动态描述逻辑 DDL_i 的在解释域 Δ^i 语义解释, 二元关系 $r_{ij} \subseteq \Delta^i \times \Delta^j$ 。

定义 9: 一个分布式解释 $DI = \langle \{I_i\}_{i \in I}, r \rangle$ 满足分布式 $TBox$ $DTB = \langle \{T_i\}_{i \in I}, B \rangle$ 中的元素或者是公理, 记作 $DI \models_d$, 对于所有的 $i, j \in I$, 有

(1) $DI \models_d i:C \xrightarrow{\subseteq} j:E$, 如果 $r_{ij}(C^i) \subseteq E^j$ 规则成立;

(2) $DI \models_d i:C \xrightarrow{\supseteq} j:E$, 如果 $r_{ij}(C^i) \supseteq E^j$ 规则成立;

(3) $DI \models_d i:C \subseteq E$, 如果 $I_i \models C \subseteq E$ 成立;

(4) $DI \models_d T_i$, 如果 $I_i \models T_i$ 成立;

(5) $DI \models_d DTB$, 如果对于任意的 $i \in I, I_i \models T_i$ 并且 DI 满足 B 中的每一条桥规则;

(6) $DTB \models_d i:C \subseteq E$, 如果对每一个分布式解释 DI 有, $DI \models_d DTB$ 蕴含 $DI \models_d i:C \subseteq E$ 成立。

定义 10: 一个分布式解释 $DI = \langle \{I_i\}_{i \in I}, r \rangle$ 满足分布式 $ABox$ $DAB = \langle \{A_i\}_{i \in I}, C \rangle$ 中的元素或公理, 记作 $DI \models_d$, 对于任意的 $i, j \in I$ 有

(1) $DI \models_d i:x \longrightarrow j:y$, 如果 $y^j \in r_{ij}(x^i)$ 成立;

(2) $DI \models_d i:x \xrightarrow{=} j:\{y_1, y_2, \dots\}$, 如果 $r_{ij}(x^i)$

$\in \{y_1^j, y_2^j, \dots\}$ 成立;

(3) $DI \models_d C(a)$, 如果 $I_i \models C(a)$ 成立;

(4) $DI \models_d p(a, b)$, 如果 $I_i \models p(a, b)$ 成立;

(5) $DI \models_d A_i$, 如果对于 A_i 的任意断言 $C(a)$ 和 $p(a, b)$, 有 $DI \models_d C(a)$ 和成立 $DI \models_d p(a, b)$ 成立;

(6) $DI \models_d DAB$, 如果对于 $i \in I$, $DI \models_d A_i$, 并且 DI 满足 C 中的所有个体;

(7) $DAB \models_d i: C(a)$, 如果对于任意分布式解释 DI , 有 $DI \models_d DAB$ 成立蕴含 $DI \models_d C(a)$ 成立;

(8) $DAB \models_d i: p(a, b)$, 如果对于任意分布式解释 DI , 有 $DI \models_d DAB$ 成立蕴含 $DI \models_d p(a, b)$ 成立。

定义 11: 一个分布式解释 $DI = \langle \{I_i\}_{i \in I}, r \rangle$ 满足分布式 $ActBox$ $DActB = \langle \{Act_i\}_{i \in I}, D \rangle$ 中的元素或者是公理, 记作 $DI \models_d$, 对于所有的 $i, j \in I$, 有

(1) $DI \models_d i: \alpha \xrightarrow{\subseteq} j: \beta$, 如果 $r_{ij}(\alpha^i) \subseteq \beta^j$ 规则成立;

(2) $DI \models_d i: \alpha \xrightarrow{\supseteq} j: \beta$, 如果 $r_{ij}(\alpha^i) \supseteq \beta^j$ 规则成立;

(3) $DI \models_d i: \alpha \subseteq \beta$, 如果 $I_i \models \alpha \subseteq \beta$ 成立;

(4) $DI \models_d Act_i$, 如果 $I_i \models Act_i$ 成立;

(5) $DI \models_d DActB$, 如果对于任意的 $i \in I$, $I_i \models Act_i$, 并且 DI 满足 D 中的每一条桥规则;

(6) $DTB \models_d i: \alpha \subseteq \beta$, 如果对每一个分布式解释 DI 有, $DI \models_d DActB$ 蕴含 $DI \models_d i: \alpha \subseteq \beta$ 成立。

定义 12: 一个分布式解释 $DI = \langle \{I_i\}_{i \in I}, r \rangle$ 满足 CD3L 的知识库 $DKB = \langle DTB, DAB, DActB \rangle$ 。记为 $DI \models_d KKB$, 当且仅当 DI 满足 $DI \models_d DTB$ 、 $DI \models_d DAB$ 和 $DI \models_d DActB$ 。

3 支持链式桥规则的分布式动态描述逻辑(D3L)推理

3.1 CD3L 算法

CD3L 的推理可以分为局部推理和全局推理两部分。局部推理指 CD3L 中的某个动态描述逻辑推理, 可以直接化为某个动态描述逻辑的推理, 所以局部的 CD3L 推理可以直接采用文献[12]中的推理方法。

全局推理指利用桥规则和个体对应规则在所有的动态描述逻辑上进行推理。本文主要介绍 CD3L 的全局推理算法。本文介绍的 CD3L 推理主要是利用动态描述逻辑的推理方法、桥规则和个体对应来实现 CD3L 的推理, 该方法是 Serafini 等人^[14]提出

的 tableaux 推理算法的推广。

本文以概念(只考虑概念包含)推理为例来介绍 CD3L 的推理算法。

CD3L 直接推理算法考虑了两种情况, 一种是不考虑链式桥规则的情况, 一种是考虑链式桥规则的情况。具体见算法 1。

I 是顺序号的非空集合, $selected$ 是已经选择的顺序号集合, $I \setminus selected$ 表示将 $selected$ 集合从 I 中除去。

算法 1: CD3L 概念推理直接推理算法

输入: 组成 CD3L 的多个动态描述逻辑系统 $\{DDL_i\}_{i \in I}$, 桥规则集合 $\{B_{ij}\}_{ij \in I}$, 判断 $i: C \subseteq i: D$
输出: 布尔值

```

1  directreason( $\{DDL_i\}_{i \in I}, \{B_{ij}\}_{ij \in I}$ )
2  selected =  $\{i\}$ ; //The selected index from I
3  if ( $T_i \models_d i: C \subseteq i: D$ )
4      goto 14;
5  if (candidate(selected, i, I) = true)
6      goto 14;
7  if ( $m: E \xrightarrow{\supseteq} i: C$  &&
       $n: F \xrightarrow{\subseteq} i: D$  &&
       $j: G \xrightarrow{\supseteq} m: E$  &&
       $j: H \xrightarrow{\subseteq} n: F$  &&
       $i \neq j$  &&  $j \neq m$  &&  $m \neq n$ )
8      if ( $T_j \models_d j: G \subseteq j: H$ )
9          goto 14;
10     else
11         selected = selected  $\cup \{j, m, n\}$ ;
12         if (candidate(selected, j, I) = true)
13             goto 14;
14  return true;
15  return false;
16  exit;
```

3.2 CD3L 算法的一致性

算法 1 调用算法 2, 主要考虑了 3 种情况对 CD3L 进行推理。如下所示:

(1) 在 DDL_i 中直接推理, 即利用 DDL_i 中的知识直接就可以得出结果, 不需要借助桥规进行推理。

(2) 由于 DDL_i 系统中的知识有限, DDL_i 不能够根据自身的知识进行推理。在此种情况下, 系统借助桥规则进行推理。系统首先在候选系统中查找同时存在 onto 桥规则和 into 桥规则的系统, 然后查看通过候选系统中的知识能否推理。如果通过此次

选择不能得到系统想要的知识,则继续迭代进行选择候选系统,直到公理可以推出或者是候选系统用尽,但仍然不能够推出公理。

(3)如果经过第二步仍然不能推出公理成立,则 DDL_i 系统选择候选系统,其中一个存在 onto 桥规则 DDL_j ,一个存在 into 桥规则 $DDL_{j'}$,然后再在候选的系统中选择一个系统, DDL_j 有到该系统的 onto 桥规则,而 $DDL_{j'}$ 有到该系统的 into 规则,如果此时可以推出公理成立,则算法停止,否则继续在候选系统中迭代查找,直到公理成功推出或者是候选系统用尽,但是仍然不能正确推出公理。

算法 2:递归选择算法

输入: I 中已经被选择过的索引集合 selected,上一步选择的索引,索引集合 I

输出:布尔值

```

1 candidate(selected, k, I)
2 if( $j \in I \setminus \text{selected}$  && exist onto bridge and into bridge to k)
3   if( $T_j \models_d j; E \subseteq j; F \subseteq i; C \subseteq i; D$ )
4     return true;
5   else
6     selected = selected  $\cup$  j;
7     k = j;
8     if( $I \setminus \text{selected} \neq \emptyset$ )
9       candidate(selected, k, I)
10    else
11      return false;
```

断言公式的一致性问题是 CD3L 推理中的最基本问题,其它推理的问题都可以转化为这种推理或者是利用这种推理的结果。

一个公式集是一致的,当且仅当公式集不存在冲突,否则称公式集是不一致的。一个冲突具有如下形式之一,其中 C 是概念, R 是任意关系, a, b 为任意常元:

$$\begin{aligned} & \{ \perp(a) \} \\ & \{ C(a), \neg C(a) \} \\ & \{ R(a, b), \neg R(a, b) \} \end{aligned}$$

对于形式(1),公式在系统 DDL_i 中就可以根据自身的知识进行判断,从而整个系统简化为一个标准的 DDL 系统。DDL 系统的一致性已经被常亮等^[15]证明。

对于形式(2),公式在系统 DDL_i 中不能够根据自身内的知识进行推理,迭代选择同时具有 onto 桥规则和 into 桥规则连接的系统进行推理。此种类型

的推理已经经过 Wang^[8]等进行了论证,系统的一致性得到了保证。

对于形式(3),公式在系统 DDL_i 中不能够根据自身内的知识进行推理。系统分别选择具有 onto 桥规则和 into 桥规则的两个系统,然后迭代选择与这两个系统相连接的系统。此种类型的推理已经经过 Zhao^[12]等进行了论证,系统的一致性得到了保证。

根据以上分析,算法的一致性得到了保证,算法中不存在矛盾。

在 CD3L 算法中, DDL_i 中的考察公式只有 0 个或者是 1 个相连接的 DDL 系统。下一步,需要考虑多个相连接的情况。

4 结 论

本文分析了目前描述逻辑(DL)、动态描述逻辑(DDL)和分布式动态描述逻辑(D3L)的现状和存在的问题,特别是分布式动态描述逻辑作为语义网的逻辑基础不足。在动态描述逻辑和支持组合一致性语义之上,提出了支持链式桥规则的分布式动态描述逻辑,即 CD3L。将 CD3L 组成分为 3 部分,即分布式 TBox(DTB),分布式 ABox(DAB)和分布式 ActBox(DActB),并分别给出了语法和语义。重点研究了 CD3L 的推理机制,提出了直接推理算法。算法首先查看能否在一个 DDL 系统中进行推理,然后看能否在 2 个 D3L 系统中进行推理,最后看出能否在多个 CD3L 系统中进行推理。与传统的分布式动态描述逻辑相比,该 CD3L 支持知识的传播,可以为语义网提供更合理的逻辑基础,弥补了 D3L 作为语义 Web 的逻辑不足。在进一步的研究中,要求降低算法的复杂度,提高推理的速度,在时序方面进行扩充,从而扩大算法的应用领域。

参考文献

- [1] Brachman R J, Schmolze J G. An overview of the KL-ONE knowledge representation system. *Cognitive science*, 1985, 9(2): 171-216
- [2] Schmidt-Schauß M, Smolka G. Attributive concept descriptions with complements. *Artificial Intelligence*, 1991, 48(1): 1-26
- [3] 史忠植,董明楷,蒋运承等. 语义 Web 的逻辑基础. 中国科学: E 辑, 2004, 34(10): 1123-1138
- [4] Shi Z Z, Dong M K, Jiang Y C, et al. A logical foundation for the semantic Web. *Science in China Series F: Information Science*

- formation Sciences*, 2005, 48(2):161-178
- [5] Wang Z X, Guo J, Chen F, et al. An extension of distributed dynamic description logics for the representation of heterogeneous mappings. *Journal of Software*, 2013, 8(1):243-250
 - [6] Wang Z X, Peng H, Guo J, et al. An Architecture Description Language Based on Dynamic Description Logics. In: Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Information Porcessing, Guilin, China, 2012. 157-166
 - [7] Qi G L, Harth A. Reasoning with networked ontologies. In: Proceedings of the Ontology Engineering in a Networked World. Berlin; Springer Berlin Heidelberg, 2012. 363-380
 - [8] Wang Z X, Guan Z T, Li W, et al. A tableau-based reasoning algorithm for distributed dynamic description logics. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Information Computer Application, Chengdu, China, 2012. 192-199
 - [9] 蒋运承, 史忠植, 汤庸等. 一种分布式动态描述逻辑. 计算机研究与发展, 2006, 43(9):1603-1608
 - [10] Borgida A, Serafini L. Distributed description logics: Assimilating information from peer source. *Journal on Data Semantics*. 2003, 2800:153-184
 - [11] Borgida A, Serafini L. Distributed description logics: Directed domain correspondences in federated information source. In: Proceedings of the on the Move to Meaningful Internet Systems 2002: CoopIS, DOA, and ODBASE Lecture Notes in Computer Science, 2002, 2519:36-53
 - [12] Zhao X F, Tian D P, Chen L M, et al. Reasoning Theory for D3L with Compositional Bridge Rules. In: Proceeding of the 7th International Conference on Intelligent Information Porcessing, Guilin, China, 2012. 106-115
 - [13] Bouquet P, Giunchiglia F, Van Harmelen F, et al. C-owl: Contextualizing ontologies. In: Proceedings of the 2nd International Semantic Web Conference, Sanibel Island, USA, 2003. 164-179
 - [14] Serafini L, Tamilin A. Local tableaux for reasoning in distributed description logics. In: Proceedings of the International Workshop on Description Logics, DL. 2004. 100-109
 - [15] 常亮, 史忠植, 邱丽蓉等. 动态描述逻辑的 Tableau 判定算法. 计算机学报, 2008, 31(6):896-909

Bridge rule chain supporting distributed dynamic descriptions logic

Zhang Jianhua^{* **}, Shi Zhongzhi^{*}, Yue Jinpeng^{* **}, Qi Baoyuan^{* **}, Jiang Yuncheng^{***}, Wang Xiaofeng^{****}

(^{*} The Key Laboratory of Intelligent Information Processing, Institute of Computing Technology,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

(^{**} University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

(^{***} School of Computer Science, South China Normal University, Guangzhou 510631)

(^{****} Wireless Sensor Network Laboratory, Institute of Computing Technology,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract

The technique of applying the bridge rule chain to a distributed dynamic description logic (D3L) was studied to make the existing D3L perform reasoning in multiple D3L systems and play its important role in information integration. Based on the dynamic description logic (DDL) reasoning and D3L reasoning, a bridge rule chain supporting distributed dynamic description logic (CD3L) reasoning algorithm was proposed. This algorithm first determines if it can do reasoning in one DDL system, and then considers two D3L systems, at last reasons among multiple D3L systems through the CD3L. Compared with D3L, the CD3L can overcome the insufficiency of the D3L, and provide a more reasonable logic foundation for information integration and semantic webs.

Key words: description logic (DL), dynamic description logic (DDL), distributed dynamic description logic (D3L), bridge rule, bridge rule chain