

# 基于上下文的知识表示和推理<sup>\*</sup>)

## ——人工智能的观点

林 仙 刘惟一

(云南大学计算机科学系 昆明650091)

**摘 要** 本文中,我们从知识表示和推理(KRR)的角度概括地阐述了上下文推理的概念和基本原理。首先阐述了上下文的概念;然后介绍了上下文推理的三种基本形式和上下文理论的两个基本原理,也就是局部性原理和一致性原理;接着讨论了上下文推理的形式化问题;最后通过对一个叫“魔术盒问题”的求解来展示如何利用多上下文系统MCS对问题进行形式化表示和求解。

**关键词** 上下文,上下文推理,局部性,一致性,上下文形式化

### Context-Based Knowledge Representation and Reasoning

—— from the perspective of artificial intelligence

LIN Xian LIU Wei-Yi

(Department of Computer Science, Yunnan University, Kunming 650091)

**Abstract** In this paper, we generally introduce the concepts of context and general principles of contextual reasoning from the perspective of KRR(Knowledge Representation and Reasoning). First, we illustrate the concepts of context, then illustrate three forms of contextual reasoning and two general principles of context theory, namely locality and compatibility. We also discuss the formalizations of contextual reasoning. At last, we give out a example called the Magic Box Problem and show how to formalize and solve the problem using MCS(Multi-Context Systems).

**Keywords** Context, Contextual reasoning, Locality, Compatibility, Contextual formalization

## 1 引言

上下文的概念在不同的学科领域中都扮演着至关重要的角色,它典型的应用学科有语用学、自然语言语义学、语言学、认知科学、人工智能等领域,上下文的研究是一个高度交叉学科的研究领域,由于它在这些学科研究领域中的不可缺少的作用,多年以来,各研究领域的人们都在对上下文理论和应用进行各方面的研究,当然,不同研究领域的人对上下文问题研究的动机和他们所使用的研究方法是各不相同的。本文是从人工智能领域的观点来讨论上下文问题的。在人工智能领域,上下文成为一个广泛研究的问题。在20世纪80年代的晚期, Fausto Giunchiglia<sup>[2]</sup>和 John McCarthy<sup>[1]</sup>各自独立地提出了将上下文作为把某些形式的推理加以形式化的一个重要方法之后,根据 Fausto Giunchiglia 的观点,上下文可以用来将推理的局部化加以形式化,而在 McCarthy 的文章<sup>[1]</sup>中,上下文的引入是为了解决一般性的问题。随着这两种观点的提出,上下文被应用到人工智能的多个不同的领域当中:在自然语言处理当中,上下文用来对陈述和断言给出合理的解释,解决自然语言的模糊性问题;在信息检索中,上下文用来帮助精炼用户的查询;在分布式人工智能领域当中,上下文作为一种灵活的形式工具被用来设计自主 agent-系统;在人机接口(HCI)中,上下文被用于设计具有上下文感应能力的应用和接口;知识表示和推理(KRR)是上下文被广泛应用的一个人工智能的研究领域,在 KRR 中,上下文被用于多种不同类型的应用,以下列举了其中主要的几个应用: \* 设计和构建大型的

常识知识库, CYC<sup>[3]</sup>就是目前已经建立起来的一个最大的知识库,它将知识库划分成很多的上下文,并利用上下文的表示和推理机制有效地实现了大型知识库的表示和推理; \* 关于信念推理的形式化问题; \* 立场推理的形式化; \* 多-agent 系统的建模<sup>[8]</sup>; \* 电子商务中的对话、讨论和信息合成的建模; \* 异类和独立的知识数据库的合成。

本文接下来讨论的内容都是以 KRR 领域中的上下文问题的研究为背景的,主要是讨论了上下文在各个应用研究领域中所具有的共性和一些普遍的原理,目的是通过对上下文问题的概念和基本原理的综合性阐述,给出一个对上下文问题的总体和统一的认识。文章第2节介绍上下文的概念;第3节阐述了上下文推理的3种基本形式和上下文理论的两个基本原理;第4节介绍了上下文推理形式化的方法,并用 MCS 对一个简单的问题进行表示和求解;最后是全文小节。

## 2 上下文

在不同的研究领域,人们对上下文这个概念往往都给出不同的定义,单就 KRR 领域来说,持不同观点的研究者对上下文所下的定义也是不同的。从直观上来说,上下文就是指一个陈述所依赖的环境、情况,这种情况可以表现为一些参数、假设、推测等等。一个陈述对情况的这种依赖性就叫做上下文依赖性。现实当中,任何一个陈述都是上下文依赖的,通常一个陈述的正确内容并不能通过简单地组合它的各个组成部分而得到,我们还必须考虑到那些隐含在陈述中的额外的信息。

Giunchiglia 在文<sup>[2]</sup>中给上下文下过这样的定义:一个

<sup>\*</sup>)基金项目:本文受国家自然科学基金(60263006),云南省自然科学基金(2002F0011M)资助,中科院智能信息处理开放实验室课题(I P2002-2)资助。林 仙 硕士生,主要研究方向为智能信息处理。刘惟一 教授,博士生导师,主要研究方向为数据模型、智能信息处理。

上下文  $c$  是一个世界完整状态的一个子集,它是一个个体在对某个给定目标进行推理的过程中所使用到的事实和推理规则的集合。Giunchiglia 的观点就是:在推理的时候,我们并不考虑我们所知道的全部知识,推理总是在一个全局知识库的子集中进行的,这个小小的子集就决定了推理的上下文,上下文的概念正是用来将推理的局部性加以形式化。一个上下文可以看作是世界的理论,它体现了一个个体对世界的一个主观想法。

### 3 上下文推理

上下文推理问题可以直观地陈述为对基于上下文的推理机制的理解问题,在这样的一个推理机制中,要求知识的表示要依赖于它对应的上下文并且根据上下文间的关系知识能在多个不同的上下文间散布。

$$P1=V1 \dots Pn=Vn \dots$$

Sentence1 sentence 2 .....

图1 用一个盒子有示的上下文

#### 3.1 上下文推理的形式

在最近的二十年当中所出现的上下文推理机制是多种多样的,由于它们的提出具有各不相同的目标,同时人们对上下文推理还缺乏一个统一的认识,因此很难把这些已有的推理机制很好地联系起来,Benerecetti, Bouquet 和 Ghidini<sup>[7]</sup>从非常基础的观点把上下文推理机制分成了三种形式。在文<sup>[7]</sup>中,一个上下文可以用一个盒子直观地表示为图1所示。

在图1中,盒子的里面是一个语言表达的集合(可以简单到只有单个的句子,也可以复杂到一个完整的理论),它们共同描述了一个领域或一个事件的状态;盒子的外面是一系列参数  $P1, \dots, Pn, \dots$  的集合,每个参数  $Pi$  有一个取值  $Vi$ 。直观地说,盒子外面的内容部分是由盒子外面的参数值来确定的。根据上下文推理对盒子(上下文)的各个成分所产生的不同影响将上下文推理分成三种基本的形式<sup>[7]</sup>: 局部推理(Localized reasoning), 推进和弹出(Push and pop), 移动(Shifting)。接下来对这三种推理形式进行简单的讨论。

**3.1.1 局部推理(Localized reasoning)** 局部推理就是指那些限制在单个的盒子(上下文)中进行的推理过程,在推理过程中它所使用到的全部信息都可以在盒子中得到。一旦盒子外面的参数集和参数值固定下来,局部推理过程就仅只考虑盒子中的内容而不管其他的信息。上下文是一个个体的认知状态或一个世界状态的一个子集,它代表着一种部分的观点,很多推理都是在单个的上下文中进行的,这种推理正是

所说的局部推理。例如,在问题求解中,给定一个问题之后,求解者就会根据自己所掌握的信息来确定哪些知识是与该问题的求解相关的,那些是无关的,这些相关信息的假设实际上就构成了上下文的参数集,同时求解者根据自己所掌握的知识来对各个参数赋值,参数集和参数值确定下来之后,求解者将在这个特定的上下文中来求解问题,在求解过程中不再考虑该上下文以外的信息。

**3.1.2 推进和弹出(Push and pop)** 一个上下文依赖表示(依赖于上下文的表示)的内容一部分包含在盒子外面的参数中,另一部分就包含在盒子里面的句子中。一些研究者提出用一种推理机制来改变一个表示在盒子中具体写出来的内容和盒子外面隐含的内容两者之间的平衡关系。这种想法直观地说就是要把盒子外面的参数所包含的信息移动到盒子外面的表示中,同样要能把盒子里面的信息移动到盒子外面成为隐含的信息。如果把上下文参数集看作一个栈的话,形象地把信息从里到外移动的推理过程叫作推进(Push),相应地把信息从外到里移动的推理过程叫作弹出(Pop)。通过一个简单的例子来看推进和弹出的推理过程:例如我们要表示的是在某个位置  $s$ , 砖块  $x$  在砖块  $y$  上这样一个事实,在不同的上下文中可以得到不同的表示形式,在一个位置隐含为  $s$  的上下文  $c1$  中,我们直接用  $on(x, y)$  来表示这一事实;在另一个位置未隐含指定的上下文  $c2$  中,我们就要把位置  $s$  在表示中明确地指出,该事实用  $on(x, y, s)$  来表示。如图2所示,推进(push)是把位置  $s$  的信息从里面移动到外面,在上下文的参数表中增加一个新的参数  $Sit$ , 并且有  $Sit=s$ , 由于增加了一个新的参数,我们由  $c2$  得到了另一个上下文  $c1$ , 同时由  $c2$  中的表示  $on(x, y, s)$  得到了  $c1$  中的表示  $on(x, y)$ 。弹出正好是推进的一个逆过程,就不再复述。事实上,任何一个表示都是对一个事件状态的一个近似的表示,也就是说它会把事件状态的某些方面抽取出来而不加以表示。抽走的信息越多,表示就越近似,以  $on(x, y)$  比起  $on(x, y, s)$  来说,它的近似程度就更高。由此可以得到一种对推进和弹出推理机制的一个直观的理解,就是推进和弹出使得一个表示在不同的上下文间进行转换的同时改变了该表示的近似程度。

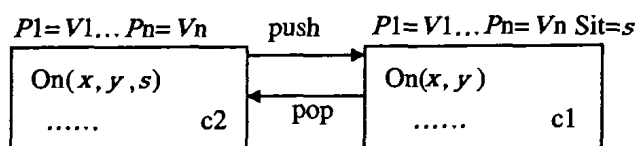


图2 推进(push)和弹出(pop)



图3 移动(shifting)

**3.1.3 移动(shifting)** 上下文的第三种推理形式叫做移动(shifting)。移动与推进和弹出的不同之处在于:移动改变的是上下文参数的值,而推进和弹出改变的是上下文参数集(在其中添加或是删除元素)。直观地说,移动推理过程改变了盒子外面的参数值,相应地盒子外面的表示就可以移动到另一个上下文中并在形式上发生转变。下面用一个简单的例

子来解释移动推理过程:在一个上下文  $c1$  中有这样一个表示:“今天下雨”,  $c1$  有一个参数  $time$ , 假定  $time = 2002$  年 10 月 29 日,如果我们改变参数  $time$  的值使得  $time = 2002$  年 10 月 28 日,那么由于参数值的改变我们可以得到另外一个上下文  $c2$ ,  $c2$  与  $c1$  的不同仅在于它们的同一个参数  $time$  的值不同,根据这两个参数值的关系以及  $c1$  中的表示“今天下雨”,可以

在  $c2$  中得到一个对应的表示“昨天下雨”。这样的一个推理过程就是一个移动推理过程(可表示为图3所示),它的前提条件就是在两个上下文的参数值之间必须存在着某种关系。

一般来说,任何一个表示都是对一个事件从某种角度的认识,不同的角度代表不同的时空、逻辑和认知的观点,从不同的角度认识同一个事件状态可以得到不同的表示,但因为它们都是对同一事件状态的描述,所以它们之间必然存在着某种联系,这种联系正好是移动推理的前提条件。从本质上来说,移动推理机制使得我们对同一个事件状态的认识在不同的角度之间进行转换。

### 3.2 上下文推理的原理:局部性(Locality)+一致性(Compatibility)

上下文在不同的应用中有不同的使用方法,但是任何一个将上下文和上下文推理加以形式化的逻辑都必须遵循两个基本的原理:局部性和一致性。

**3.2.1 局部性(Locality)** 首先来看一些简单的例子。在福尔摩斯侦探小说的上下文中,“Holmes”这个名字指的是小说中的侦探福尔摩斯;在美国法律史的上下文中,“Holmes”这个名字是指法官霍姆斯;在中国明朝的雕刻史中,“Holmes”可能并不指代任何人。可见,在不同的上下文中我们所要表示的对象是不同的。在推理的时候,不同的上下文中也有不同的推理机制。比如说在一个列车时刻表中,如果其中列出在上午9点和上午11点分别有两辆从昆明开往北京的列车,那么我们就可以得知在上午10点没有从昆明开往北京的列车;然而,如果在某个人的电话本中没有列出一个人  $A$  的电话号码的话,我们并不能得出结论说  $A$  没有电话。

由上面的例子可以看出,我们所描述的对象和判定成立的事实都是相对于一个上下文而言的,由此给出上下文的局部性原理<sup>[6]</sup>:一个上下文的表达能力和它基本的语义关系(词句的意义、事实和逻辑推论)是局部的,也就是说,不同的上下文具有不同的表达能力和语义关系。

**3.2.2 一致性(Compatibility)** 上下文的局部性并不意味着不同上下文的内容之间就不存在任何的关系,事实上,从对上下文推理形式的讨论中可以看出,一个上下文中一个句子的成立是与其他上下文中的一个或一些句子的成立相关联的,这种关联可以概括成一条基本原理<sup>[6]</sup>,称为一致性原理(principle of compatibility):两个上下文以这样一种方式相互关联,就是其中一个上下文的一个或是多个句子的成立要以另一个上下文中的某些(个)句子的成立为条件,上下文之间的这种关系称为一致性关系。

在多上下文系统(MultiContext system)<sup>[2]</sup>中,一致性关系被形式化为一类特殊的推理规则,叫作桥规则(bridge rules)。桥规则的形式可以描述为如下的形式:

$$\begin{array}{l} c1:\phi \\ c2:\psi \end{array}$$

其中  $c1:\phi$  是规则的前提,  $c2:\psi$  是规则的结论,  $c1$  和  $c2$  是两个不同的上下文,  $\phi$  和  $\psi$  分别是上下文  $c1$  的语言  $L1$  和上下文  $c2$  的语言  $L2$  中的两个公式。当然,这只是桥规则的一种最简单的形式,在实际中,桥规则的前提和结论都可以由多个上下文中的多个公式来构成。概括地说,桥规则就是前提和结论属于不同上下文的规则。

## 4 上下文的形式化

上下文有两种非常简洁的形式化方法,一种是由 Gihidi-

ni 和 Giunchiglia 提出的局部语义模型(Local Models Semantics) LMS<sup>[4]</sup>, 与该模型理论(model theory)相对应的论证理论(proof theory)形式化方法是由 Giunchiglia 和 Serafini 提出的多上下文系统(Multi-Context Systems) MCS<sup>[5]</sup>。LMS 是一个语义概念的框架, MCS 是一个语法概念的框架, LMS 和 MCS 分别在模型理论(model-theoretic level)和论证理论(proof-theoretic level)的层次上对上下文的两个基本原理加以形式化,本节将对 MCS 进行简单的介绍(关于 LMS 的详尽阐述见文[4]), 用一个简单的例子(the Magic Box problem)来说明 MCS 是如何将上下文推理的三种形式加以形式化的。

### 4.1 多上下文系统(MCS)

多上下文系统最早是在文[2]中被引入的,它的一个更完整的理论是在文[5]中,这里讨论 MCS 所依据的就是这篇文章。

**定义1(MCS)** 设  $I = \{1, 2, \dots, i, \dots\}$ , 一个多上下文系统  $MS$  是这样二元组:

$$MS = \langle \{Ti\}, \Delta_b \rangle$$

其中,对每个  $i \in I$ ,  $Ti = \langle Li, \Omega_i, \Delta_i \rangle$  是一个公理化形式系统,  $Li$  是一个形式语言,  $\Omega_i \in Li$  是一个公理集,  $\Delta_i$  是一个推理规则集,  $\Delta_b$  是前提和结论属于不同语言的规则集。

一个 MCS 本质上是一个逻辑理论集加上一套允许推论在不同的理论间传播的推理规则, MCS 推演机制由两种类型的推理规则组成:  $\Delta_i$  中的推理规则称为内部规则;  $\Delta_b$  中的规则称为桥规则。内部规则的前提和结论都属于同一个语言,而桥规则的前提和结论属于不同的语言;内部规则使我们能在一个理论内得到推论,而桥规则使我们能把推论结果从一个上下文移到另一个上下文。直观地说,上下文是一个公式集,其中包括了局部的定理和通过桥规则从其他上下文中的定理推导得到的定理。多上下文系统中的推演可看作是由不同语言中的多个子推演所组成的,每个子推演使用语言的内部规则,一个或多个子推演通过一个或多个桥规则结合起来。MCS 对上下文的局部性原理和一致性原理加以形式化:

**局部性:**首先,为每个上下文提供一个语言  $Li$ ,使得每个上下文中公式的符号和概念是局部的;其次,每个上下文用来推理的公理集  $\Omega_i$  是局部的;最后,每个上下文的推理机制  $\Delta_i$  是各不相同的。这使得我们能做到推理的局部化,根据不同的上下文来定义不同的推理机制,提高了推理的效率。

**一致性:**一致性原理是由桥规则来加以形式化的,通过桥规则,上下文间相互影响。桥规则改变了每个上下文中能够得到的公式集并使各上下文在某种程度上取得一致。

### 4.2 The Magic Box Problem——MB 问题

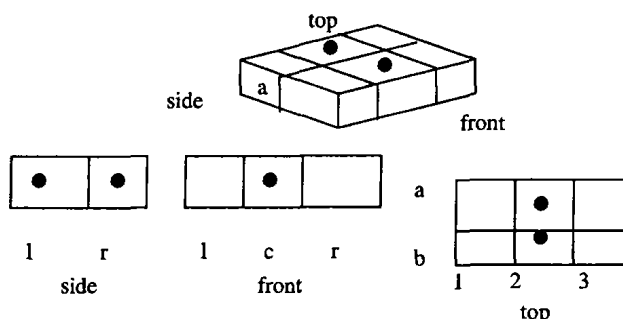


图4 MP 问题的一种情况

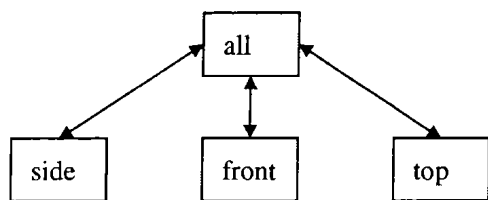


图5

4.2.1 MB 问题陈述 在该问题中,有一个盒子被纵横地分成6个小格,相当于一个 $2 \times 3$ 的矩阵,如图4所示。每个小格中可以放一个小球,同一行、同一列的小球之间是相互遮挡的,也就是说任何一行和一列最多能观察到一个小球。有两个观察者 front 和 side 分别从盒子的前面和侧面来观察盒子中的小球,问题就是如何根据 front 和 side 的观察结果来确定小球在6个格子( $a1, a2, a3, b1, b2, b3$ )中的放置情况。在有些情况下,我们并不能得到该问题的一个确定的解,但为了简化,我们集中讨论如图中所示的这种情况,在这种情况下能够得到一个唯一的解,并且此时所得到的解相当于从盒子的顶端 top 观察到的结果。

#### 4.2.2 用 MCS 来形式化表示和求解 MB 问题

上下文:在 MB 问题中,我们用两个上下文 front 和 side 来分别表示观察者 front 和 side 通过观察得到的知识。对于该问题求解的结果,我们用一个上下文 top 来表示它,它表示了从盒子的顶部观察所获得的知识。同时我们用一个上下文 all 来表示三个观察者之间的相互关系的知识,这些知识表示了三个观察者观察的是同一个盒子这样一个事实。所以该问题转化为:对于同一个 Magic Box,小球的放置情况如图4中所示。根据三个观察者的观察结果之间的关系,由两个观察者(front 和 side)的观察结果推导出另一个观察者(top)观察到的结果。四个上下文的关系可表示为如图5所示。

语言:在 MCS 中,每个上下文用一个形式语言来描述,在该问题中,上下文 front、side、top 分别用命题逻辑语言 Lfront, Lside, Ltop 来描述,它们的原子命题集分别为 APfront、APside、APtop,其中  $AP_{front} = \{l, c, r\}$ ,  $AP_{side} = \{l, r\}$ ,  $AP_{top} = \{a1, a2, a3, b1, b2, b3\}$ 。上下文 all 用一阶谓词语言 Lall 来描述,它包括了一个常量符号集: $\{side, front, top, w\}$ ,其中  $w$  表示任何一个能在 Lfront, Lside, Ltop 中表示的公式, Lall 中有一个二元谓词  $ist(c, "w")$ ,它的涵义是在上下文  $c$  中,  $w$  是语言  $L_c$  中的一个公式。

公理:每个上下文中在初始的时候所包含的知识就是该上下文的公理集合,它具体的内容由所要求解的问题来决定,根据公理由推理规则推导所得到的结论是该上下文中的公式。在该问题中,各上下文中的公理集合如图6所示。

局部推理规则:每个上下文的内部可以利用局部推理规则来根据该上下文已有的知识推导出新的知识。在该问题中,为了讨论的方便,我们把命题逻辑的推理规则作为每个上下文的局部推理规则。

桥规则:桥规则定义了上下文之间的相互关系。在该问题中,我们定义了两条桥规则:

$$\frac{c:w}{all:ist(c, "w")} \quad \frac{all:ist(c, "w")}{c:w}$$

规则 Rup                  规则 Rdn

这两条规则反映了在不同的上下文当中知识表示的近似程度的相互转换。

问题求解:根据上下文 side, front 和 all 中的知识,我们利用局部规则和桥规则对问题进行推导求解,具体的推导过程如下列各推理树 T1- T6所示:其中每个推理框的 [ ] 中的内容代表该推理过程所处的上下文,每个推理步骤的右边都注明了该推理步所使用的命题公式。

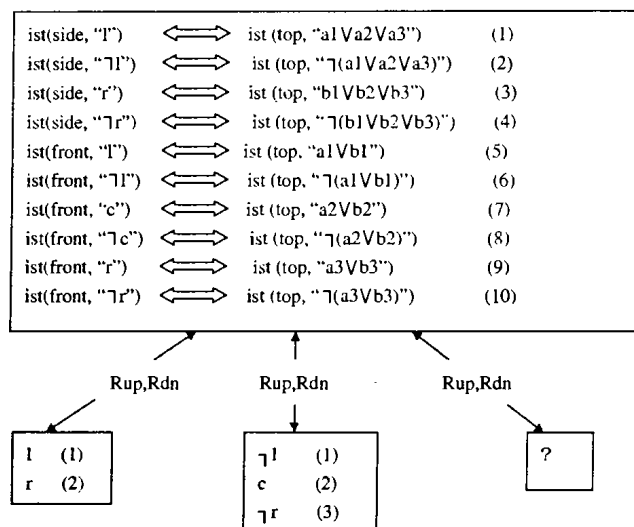


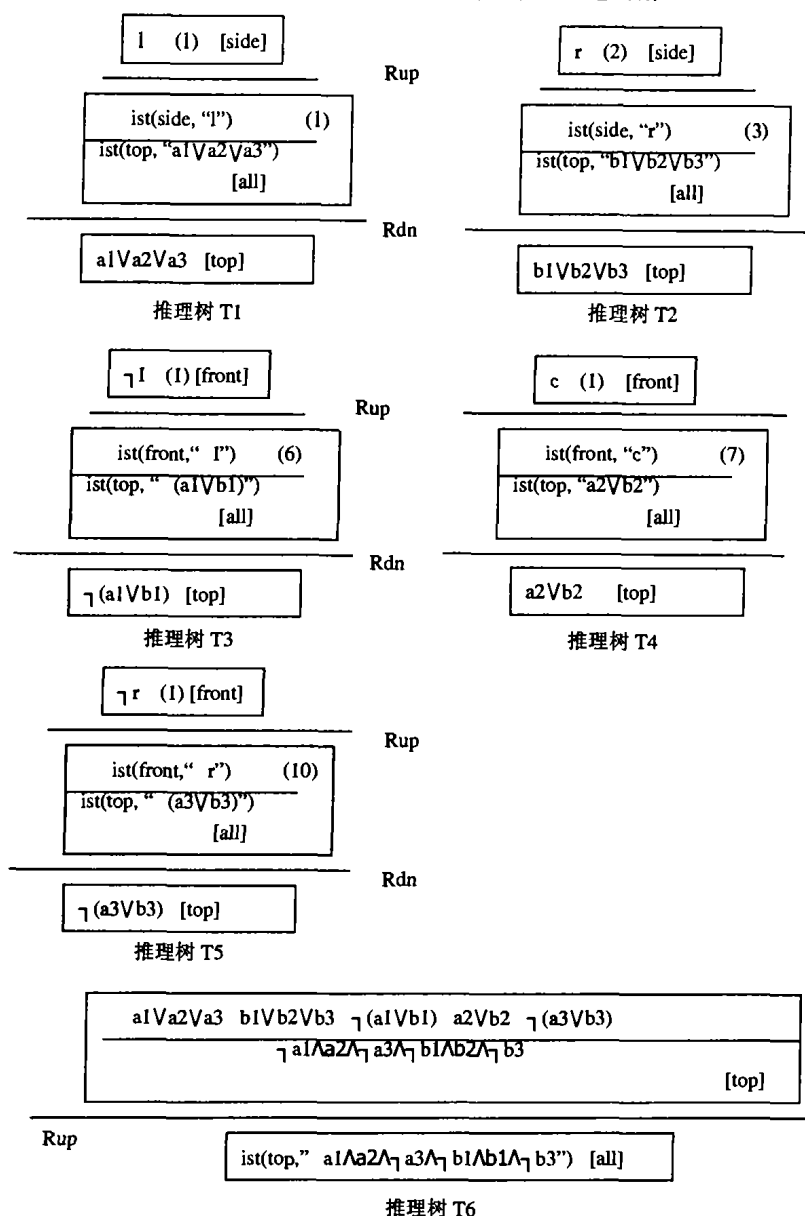
图6 各上下文中的知识表示

最后在上文 all 中得到了问题的解:如果从侧面观察到盒子的两行( $l$  和  $r$ )中都有小球,且从盒子的正面观察到只有盒子的第二列  $c$  中有小球,那么从盒子的顶部可以观察到在格子  $a2$  和  $b2$  中分别放置了两个小球。

分析:我们从该问题的形式化和求解过程来具体地分析上下文推理的形式和特性:(1)在上面的推导中,在每个矩形框中的推理过程反映了上下文中的局部推理(localized reasoning),它所使用的前提和得到的结论都是属于同一个上下文的,体现了上下文推理的局部性(Locality)。(2)桥规则 Rdn 和 Rup 正好表示了上下文的第二种推理形式,即推进和弹出(push and pop), Rdn 是一个推进的推理过程,它由上下文 all 中的知识推出另外三个上下文中的知识,得到一个知识的更加近似的表示,观察者所处角度的信息由具体的在知识中表示出来变成一个隐含的上下文的参数。Rup 是一个弹出的推理过程,它具体的情况正好与 Rdn 相反。(3)对推导树 T1, T2, T3, T4, T5 来说,每棵推导树都可以看作一个移动(shift-ing)的推理过程,它的前提和结论属于不同的上下文,代表观察者从不同的角度观察得到的结果,由于他们观察的是同一个物体,因此可以根据一个角度的观察结果推出从其它角度的观察结果。在该例中, Rdn, Rup 和六棵推导树的推理过程都共同反映了上下文推理的一致性(Compatibility),即根据上下文之间的相互关系,由一个上下文中的知识在另一个上下文中推出新的知识。以推导树 T1 为例,在 side 中已知  $l$ ,即从侧面观察盒子看到它的左边有球,用 Rup 规则,在上下文 all 中就可以得到  $ist(side, "l")$  的知识,利用 all 中的局部推理规则(1)得到新的知识  $ist(top, "a1 \vee a2 \vee a3")$ ,即如果从侧面看到盒子的左边有球的话,那么从顶部观察时格子  $a1, a2, a3$  中至少有一个格子中放置了小球,然后利用 Rdn 规则,在上下文 top 中得到新的知识  $a1 \vee a2 \vee a3$ 。(4)总的来说,利用 MCS 来表示和求解问题,就是把问题分解成多个上下文,利用上下文中已知的知识以及各上下文内部的局部推理规则,根据上下文之间的相互关系(表现为桥规则的形式)在某些上下文中推导出新的知识直至最后得到问题的解。在该

例中,我们就是利用了上下文 side 和 front 中的知识、all 中的局部推理规则以及桥规则 Rdn 和 Rup 一步步推导得到上下

文 top 中的知识,即从顶部观察到的小球放置情况,也就是我们要求的问题的解。



**结论** 本文主要是对上下文和上下文推理的基本概念和原理从一种统一的角度进行了阐述,讨论了各种上下文应用中的普遍原理,并用一个简单的例子直观地展示了上下文推理的基本形式和原理。上下文理论和应用具有广泛的研究领域,各领域从不同的角度对上下文进行研究,从本质上来说,不同领域的研究是能够相互促进的。目前各领域对上下文的研究都还有很多未能解决的问题,就上下文问题本身所具有的普遍性来说,上下文理论和应用将会有更大的研究价值和更广泛的研究领域。

## 参考文献

- 1 McCarthy J. Generality in Artificial Intelligence. Communications of ACM, 1987, 30 (12): 1030~1035
- 2 Giunchiglia F. Contextual reasoning. Epistemologia, special issue on I Linguaggi e le Macchine, XVI: 345-364, 1993. Short version In: Proc. IJCAI'93 Workshop on Using Knowledge in its Context, Chambéry, France, 1993, 39~49. Also IRST-Technical Report 9211-20, RST, Trento, Italy
- 3 Lenat D B. Cyc: a large-scale investment in knowledge infrastructure. Communications of the ACM, 1995, 38(11): 33~38
- 4 Ghidini C, Giunchiglia F. Local Models Semantics, or Contextual Reasoning = Locality + Compatibility. Artificial Intelligence, 2001, 127 (2): 221~259
- 5 Giunchiglia F, Serafini L. Multilingual hierarchical logics or: how we can do without modal logics. Artificial Intelligence, 1994, 65 (1): 29~70, Also IRST-Technical Report 9110-07, IRST, Trento, Italy
- 6 Giunchiglia F, Bouquet. Introduction to contextual reasoning. An Artificial Intelligence perspective. In: B. Kokinov, ed. Perspectives on Cognitive Science, Vol. 3, NBU Press, Sofia, 1997. 138~159
- 7 Benerecetti M, Bouquet P, Ghidini C. Contextual Reasoning Distilled. Journal of Theoretical and Experimental Artificial Intelligence, 2000, 12(3): 279-305
- 8 parsons S, Jennings N R, Sabater J, sierra C. Agent specification using multi-context systems. Foundations and Applications of Multi-Agent systems: UKMAS 1996-2000 Springer Verlag, 2002. 205~226