换位原理与几个模态特征公式的有效性*)

张 宏 何华灿
（西北工业大学计算机学院 西安 710072）

摘 要 采用换位原理的推理规则能够使得多 Agent 系统中关于其它 Agent 的状况和行为的推理变得简明和清晰。本文探讨了几个正规模态特征公式的有效性与框架性质之间的关系，发现一些直观上成立的模态公式也是有条件成立的，并从模态逻辑和 Kripke 可能世界语义的角度给出了文[1～3]中换位原理(PEP)规则有效性的语义证明。

关键词 特征公式，有效性，换位原理，框架

PEP Inferred from the Validities of Some Characteristic Formulas in Modal Logic

ZHANG Hong HE Hua-Chan
(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710032)

Abstract Position-Exchange-Principle(PEP) is described as an axiom scheme in Reasoning About Others(RAO) and regarded as a basic rule for agents to reason about knowledge of others in a multi-agent system. In this paper, relationships between some characteristic formulas in normal modal logic with their frames are discussed. It has been discovered that validities of the modal formulas are conditional even though some of them are intuitively valid. Finally, validities of two formulas of PEP proposed by papers 1 to 3 are proved by using of modal logic and Kripke's semantics of possible worlds.

Keywords Characteristic formulas, Validity, PEP, Frame

1 引言

关于知识和信念的推理是多 Agent 系统的一个重要研究课题，其中通过借鉴情景演算的核心思想建立起来的对其它 Agent 状况和行为的推理是人工智能关于知识和信念推理的一个重要研究方向[1～3]。文[1～3]中提出了多 Agent 系统中关于对别人进行推理的一个模式——换位原理(PEP：Position Exchange Principle)，用公式表示为：

$$C(\varphi\rightarrow\psi)\rightarrow(C\varphi\rightarrow C\psi)\quad(C\in\{B_{i1}^{s},\cdots,B_{in}^{s}\}^{*})$$

当 C 由一个以上的字符构成时，上式可理解为换位推理规则，如 $C=B_i^s B_j^s$ 时，上式变为：

$$B_j^s B_j^s(\varphi\rightarrow\psi)\rightarrow(B_i^s B_j^s\varphi\rightarrow B_i^s B_j^s\psi)$$

同命题演算中的推理规则一样，换位推理规则也使得多 Agent 系统中关于其它 Agent 的状况和行为的推理变得简明和清晰。

尽管文[1～3]在语言学中试图找到了许多虚拟模式来作为换位推理合理性的佐证，并通过例子说明应用 PEP 的有效，但作为一个推理规则，无论是从语义上分析还是从语法上看都是不够的。另外从直观上看，由于公式 $K_a p\wedge K_a(p\rightarrow q)\rightarrow k_a q$ 在知道逻辑系统中是可证的[5]，也就是说，被知道命题的逻辑后承也是被知道的，这就产生了所谓的逻辑全能问题[4～6]。从另一方面看，由于 Agent 认知状态、阶段和能力等因素的不同，其对换位推理的理解也有着本质的差别。

关于模态逻辑和可能世界语义的研究已形成一整套的相关理论，成为表示和推理认知系统，乃至智能 Agent 和多 Agent 系统的最有力的形式化工具[4]。模态系统都是通过在系统 K 的基础上增加一些公理后得到的，都是系统 K 的扩张。如果因为增加了某一公理而得到一个新系统 S，那么这个公理就是 S 特征公理，有时也简称为 S 公理。

我们通过对几个著名特征公理(D,T,B,A,E)在可能世界语义下的分析，得到了它们所对应的条件(或对应公式)，只有在满足这些条件的情况下，相应的公理才是有效的。通过分析和证明，我们发现一些直观上成立的公式，其成立也是有条件的。由于模态逻辑的语法方面不能解决公式的有效性问题[7]，因此我们从可能世界语义的角度给出了换位推理规则有效性的证明。

本文在第 2 节简要阐述了所依据的相关理论，包括可能世界的语义和框架、模型、特征公式等概念；第 3 节证明了 D、T、B 等几个特征公式的有效性与框架性质之间的关系条件；第 4 节给出并证明了换位推理规则有效的两个对应的模态公式；最后是本文的结论。

2 基本概念和特征公式

模态逻辑[7,9]是研究模态命题及其推理的一种非经典逻辑，它是在经典逻辑的基础上增加模态算子以及相应的公理、规则扩展而成的。由于对公理的不同选择，便形成不同的模态逻辑演算系统。

可能世界语义学[10]也被称为关系语义学。当我们在某一个世界中要考察某一个命题的必然性或(和)可能性时，应该首先明确两个重要内容：

(1) 所要考察的这个命题本身也应处在这个世界中。虽然在可能世界语义学思想下，它的必然性和可能性真值依赖于它在其它可能世界中的真值。

(2) 可能世界之间的关系。可能世界之间是具有一定关系或条件的，并不一定所有可能世界都是相对于这个世界来说的可能世界。当我们在研究一个命题在某一个世界中的必

*)国家自然科学基金(批准号：No. 60273087)和北京自然科学基金(批准号：No. 4032009)资助课题。张 宏 博士生，研究方向为人工智能，多智能体系统。何华灿 教授，博士生导师，研究方向为人工智能，泛逻辑学。

然性时，只考虑相对于这个世界来说的那些可能世界——称为可达(accessible)世界，而无须考虑对它来说不可能的世界。

关于可能世界能否被定义，在逻辑哲学界有两种对立的观点；而在关于如何看待可能世界与现实世界的关系，有三种著名的观点[8]。我们研究的理论基础就是模态逻辑[7,9]以及Kripke[10]在莱布尼茨的可能世界理论的基础上所建立起来的“可能世界语义学”。

定义 1　与可能世界相关的问题

一个可能世界是所有可能对象的一种可能组合，它可以是现实世界，也可以是非现实世界。在物理上不可能的世界是属于可能世界的子集，物理上可能世界集合是所有可能世界集合的一个真子集。所有可能世界 w 的集合在逻辑上构成可能世界类 W。

Agent 所处的世界可以认为是一个“现实”世界，它由所有已经存在的对象组成。Agent 的世界(或状态)是其所处的物理状态和心智状态的集合。

定义 2　框架和模型

框架 F 就是一个描述可能世界之间相互关系的一种结构。它用 $\langle W,R\rangle$ 来表示，其中可能世界 W 是一个非空集合；R 是 W 上的一个二元关系($R\subseteq W\times W$)。我们通常根据框架中的关系 R 的性质将它称为具有该性质的框架，例如 R 是序列的，就称其为序列框架；R 是对称的就说其为对称框架，依次类推。

模型 M 是对框架在某种特定可能世界状况下的逻辑精确说明。它用二元组 $\langle F,V\rangle$ 或三元组 $\langle W,R,V\rangle$ 来表示，其中的 W 和 R 与模型 M 所对应的框架 F 是一致的；V 是一个二元函数，它表示一个命题变元在其所处的可能世界上的赋值，其值域为{true，false}或{0，1}。

定义 3　基本语义定义

设 $\langle W,R,V\rangle$ 为模型 M，P 和 Q 为公式，那么在给定 M 上 $w\in W$ 中 P 的真值 $V_{M,w}$ 定义如下：

(1) $V_{M,w}(p)=V_w(p)$，p 为基元命题；

(2) $V_{M,w}(\neg P)=\text{true}$，当且仅当 $V_{M,w}(p)=\text{false}$；

(3) $V_{M,w}(P\rightarrow Q)=\text{true}$，当且仅当 $V_{M,w}(P)=\text{false}$ 或 $V_{M,w}(Q)=\text{true}$；

(3)式还可以等价地表示为

(3′) $V_{M,w}(P\rightarrow Q)=\text{true}$，当且仅当，如果 $V_{M,w}(P)=\text{true}$，那么 $V_{M,w}(Q)=\text{true}$；

(4) $V_{M,w}(\Box P)=\text{true}$，当且仅当对所有 $w'\in W$ 满足 wRw' 有 $V_{M,w'}(P)=\text{true}$，参见图 1(a)；

(5) $V_{M,w}(\Diamond P)=\text{true}$，当且仅当至少 $w'\in W$ 有满足 wRw' 有 $V_{M,w'}(P)=\text{true}$，参见图 1(b)。

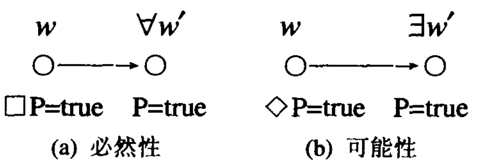


图 1　必然性与可能性

由于 P 可以是在基元命题的基础上再增加模态词(模态算子重叠)组成新的公式，因此我们有如下推论：

(4′) $V_{M,w}(\Box\Box P)=\text{true}$，当且仅当对所有 $w'\in W$ 满足 wRw' 有 $V_{M,w'}(\Box P)=\text{true}$，参见图 2(a)；

(5′) $V_{M,w}(\Diamond\Box P)=\text{true}$，当且仅当至少有 $w'\in W$ 满足 wRw' 有 $V_{M,w'}(\Box P)=\text{true}$，参见图 2(b)。

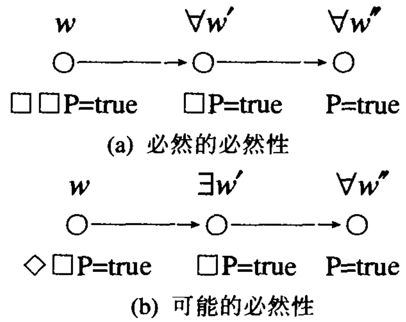


图 2　模态算子的重叠

定义 4　公式的可满足性和有效性

设 P 为任意的公式，M 是一模型 $\langle W,R,V\rangle$，F 为一框架，K 是一个框架类。

M-可满足，当且仅当如果存在 M 上的某一赋值 V 和 W 中的某一可能世界 $w(w\in W)$，使得 $V_{M,w}(P)=\text{true}$，则称 P 在 M 上是可满足的，记为：$M|=_wP$。否则，就称 P 在 M 上是不可满足的，记为：$M|\neq_wP$。

M-有效，当且仅当如果对于 M 上的任意赋值 V 和 W 中的任意可能世界 $w(w\in W)$，都有 $V_{M,w}(P)=\text{true}$，则称 P 在模型 M 上是有效的，记为：$M|=P$。

F-有效，当且仅当 P 在对于基于该 F 的每一个 M 上，都是 M-有效的，记为：$F|=P$。

K-有效，当且仅当 P 在 K 中的每一个 F 上都是 F-有效的，记为：$K|=P$。

定义 5　框架的性质

框架(或模型)具有许多性质，这些性质往往可以用形式化的方法来严格地表述。例如，如果一个公式 P 在所有的 $w(w\in W)$ 里在任意的赋值 V 下都是真的，即 P 在框架 F 上有效，那么对于每个 w 来说，它都必须有一个可达世界 w'，用公式来表示这种情况就是

$(\forall w)(\exists w')(wRw')$

满足这样一个条件的关系称为序列(或连续)关系。一个框架中的 R 如果是序列的，就将这个框架称为序列(或连续)框架。

下面我们给出其它 4 个较为常用的框架性质的形式表示。

自返性　$\forall w)(wRw)$

对称性　$(\forall w)(\forall w')(wRw'\rightarrow w'Rw)$

传递性　$(\forall w)(\forall w')(\forall w'')(wRw'\wedge w'Rw''\rightarrow wRw'')$

欧性(Euclidean)　$(\forall w)(\forall w')(\forall w'')(wRw'\wedge wRw''\rightarrow w'Rw'')$

公理(特征公式)

模态逻辑形式系统根据公式的有效性和无矛盾性来构造，它又根据是否含有公理 K 和必然性规则划分为正规系统与非正规系统。下面我们列出用于构造 5 个比较重要模态系统的特征公式。

D：$\Box p\rightarrow\Diamond p$

T：$\Box p\rightarrow p$

B：$p\rightarrow\Box\Diamond p$

A：$\Box p\rightarrow\Box\Box p$

E：$\Diamond p\rightarrow\Box\Diamond p$

其中，D 和 T 属于直观上成立的公式。D 是说，如果 p 是必

然的，那么 p 是可能的。D 在某种程度上反映了道义逻辑中"凡是应该的都是可允许的"规律。T 是说，如果 p 必然为真，那么 p 就是真的。或者简单地说，必然的就是现实的。T 又称为必然性公理。

B、A 和 E 属于直观上无法确定是否成立的公式。B 的意思是，如果 p 为真，那么 p 就必定也是可能的。A 是说，如果 p 是必然的，那么 p 是必然的本身也是必然的。E 是说，如果 p 是可能的，那么 P 就必定也是可能的。这些说法尽管具有一定的道理，但要说它们一定成立也不是那么显然。

还有一些直观上不成立的公式，如 $p\to\Box p$，$\Diamond p\to p$ 等，因为它们可以根据无矛盾性原则构成理论上有意义的系统，所以也属于模态公式。

特征公理要在一个框架(或模型)上有效，这个框架(或模型)的 R 应当满足一定的条件。由于 D 和 T 在直观上的有效性，我们往往忽略了其它一些直观上并不有效的公式成立的对应条件。下面我们给出上述几个特征公式在框架上有效性的语义证明。

3 特征公式在框架上的有效性

下面我们分别讨论几个特征公式的有效性与其所在框架性质的关系。

命题 1 公理 D 在一个框架上有效的充要条件是该框架是连续框架。

证明：先证充分性。充分性是说，如果一个框架是连续的，那么 D 在这个框架上是有效的。因为对于这个框架上的任意赋值 V，对于任意世界 w 来说，如果 $V_{M,w}(\Box p)=\text{true}$，由于 R 是连续的，存在 w'，wRw'，一定有 $V_{M,w'}(p)=\text{true}$，根据可能性的定义，当 p 在可达世界 w' 上为真时，$\Diamond p$ 就在 w 上为真，因此 $V_{M,w}(\Box p\to\Diamond p)=\text{true}$。又由于 V 和 w 都是任意的，因此 D 在该框架上是有效的。

再证必要性。设给定任意的框架 $F=\langle W,R\rangle$，任取 $w\in W$，以及 F 上的任意赋值 V，如果 $V_{M,w}(\Box p\to\Diamond p)=\text{true}$，那么，根据定义 3(3)有

$$V_{M,w}(\Box p)=\text{false} \tag{3.1.1}$$

或 $$V_{M,w}(\Diamond p)=\text{true} \tag{3.1.2}$$

对(3.1.1)式应用定义 3(4)，存在 w'，wRw'，并且

$$V_{M,w'}(p)=\text{false} \tag{3.1.3}$$

对(3.1.2)式应用定义 3(5)，存在 w''，wRw''，并且

$$V_{M,w''}(p)=\text{true} \tag{3.1.4}$$

由式(3.1.3)和(3.1.4)可以看出，D 要在 w 里为真，则 w 必须要有一可达世界 w^*，至于 w^* 是 w' 还是 w'' 无关紧要，因为无论 w^* 是哪一个世界，p 在 w^* 里或真或假总是成立的，即(3.1.3)和(3.1.4)总有一个是成立的。根据框架连续性的性质，要使得 D 在一个框架上有效，那么这个框架必须是连续的。 证毕。

命题 2 公理 T 在一个框架上有效的充要条件是该框架是自返性框架。

证明：先证充分性。在任意具有自反可达关系的框架上，T：$\Box p\to p$ 是有效的。为此，我们假定 M 有一个框架 F 带有一个自反可达关系 R，并且在某 w 中有 $V_{M,w}(\Box p)=\text{true}$，那么在所有 w' 满足 wRw' 有 $V_{M,w'}(p)=\text{true}$。由于 R 是自反的，即 wRw 成立，因此 $V_{M,w}(p)=\text{true}$。这就是说 $V_{M,w}(\Box p\to p)=\text{true}$，由于 w 是任意的，于是 $\Box p\to p$ 在 M 中的每一个 w 中均为真，因此 $\Box p\to p$ 在 M 中有效。进一步地，由于 M 是具有一个自反框架的任意模型，因此 $\Box p\to p$ 在任意一个具有自反关系 R 的框架 F 中是有效的。

再证必要性。如果 $\Box p\to p$ 在一个框架上有效，那么这个框架一定具有自反的性质。或者说，$\Box p\to p$ 在任何一个反例框架的构造，必然意味着该框架的可达关系 R 不是自反的。为此，我们假设 F 是一个不具有自反性质的框架，即在 F 中存在有某个 w 不满足 wRw。现在，我们构造一个以 F 为框架的模型 M，其中赋值 V 有 $V_w(p)=\text{false}$，而对所有框架中的其它世界 w' 有 $V_{w'}(p)=\text{true}$。那么我们有 $V_{M,w}(\Box p)=\text{true}$ 且 $V_{M,w}(p)=\text{false}$，所以 $V_{M,w}(\Box p\to p)=\text{false}$，这样 $\Box p\to p$ 在 M 中无效。 证毕。

命题 3 公理 B 在一个框架上有效的充要条件是该框架是对称性框架。

证明：先证明 R 的对称性对于 B：$p\to\Box\Diamond p$ 有效的充分性。如果 R 是对称的，那么 w 的可达世界 w' 也可达 w，即 $(wRw'\to w'Rw)$。由 $V_{M,w}(p)=\text{true}$ 可以得到 $V_{M,w'}(\Diamond p)=\text{true}$。又因为 w' 是任意的可达世界，所以 $(\forall w')wRw'$，都有 $V_{M,w}(\Diamond p)=\text{true}$，因此，$V_{M,w}(\Box\Diamond p)=\text{true}$。可见只要 R 是对称的，$p\to\Box\Diamond p$ 在任意可达世界上都是成立的，而不论是何种赋值。

再证明必要性。设 B 在任意世界 w 里为真，即 $V_{M,w}(p\to\Box\Diamond p)=\text{true}$。根据定义 3(3′)有，如果 $V_{M,w}(p)=\text{true}$，则 $V_{M,w}(\Box\Diamond p)=\text{true}$。后件是说对任意 w'，如果 wRw' 则 $V_{M,w'}(\Diamond p)=\text{true}$。也就是说，如果 wRw' 成立，从 $V_{M,w}(p)=\text{true}$ 可以得到 $V_{M,w'}(\Diamond p)=\text{true}$。根据可达关系的概念，说明 w 是 w' 的可达世界，即 $w'Rw$。由此我们得到 B 有效的必要条件是 R 是对称的。 证毕。

命题 4 公理 A 在一个框架上有效的充要条件是该框架是传递性框架(证明方法同上，略)。

命题 5 公理 E 在一个框架上有效的充要条件是该框架是欧性框架(Euclidean)(同上，略)。

4 换位推理规则的有效性

文[1～3]提出了一种在多主体系统中关于它主体状态的推理模式——换位推理。用公理表示为：

$C(\varphi\to\psi)\to(C\varphi\to C\psi)(C\in\{B_{i_1}^{s},\cdots,B_{i_m}^{s}\}^*)$

上式中若 C 为空串，则变为一个命题重言式，它是所谓的分离规则的一种形式。若 C 由一个字符构成，上式则为自认知逻辑中的所谓 K 公理。当 C 由一个以上字符构成时，上式可理解为换位推理。特别地，令

$C=B_i^s B_j^s$，则上式变为：

$B_i^s B_j^s(\varphi\to\psi)\to(B_i^s B_j^s\varphi\to B_i^s B_j^s\psi)$

虽然换位推理规则"使得多主体系统中关于它主体的状况和行为的推理过程变得简明和清晰"[1～3]，但是当 Agent 的认知状态不一致时，就很有可能隐含一个违反直觉的特性，这是因为"等价的命题作为信念不是等价的"[11]。尽管文[1～3]在语言学中找到了许多虚拟模式来作为换位推理合理性的佐证，但通过我们在第 3 节的分析发现，许多直观上成立的公式，其成立也是有条件的。由于在一般的 BDI 模型中，$\Box$ 代表 Agent 的信念[12]，因此，下面我们从语义上证明换位推理规则成立的两个基本模态公式。

命题 6 公式 $K(\Box(p\to q)\to(\Box p\to\Box q))$ 在任意模型 M 中是有效的。

(下转第 209 页)

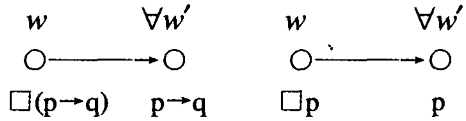
hidden contests. Machine learning, 1996, 23: 69~101
2 Domingos P, Hulten G. Mining High-speed Data Streams. In: Proc. Of the sixth Intl. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 2000. 71~80
3 Hulten G, Spencer L, Domingos P. Mining time-changing data Streams. In ACM SIGKDD, 2001
4 Jin R, Agrawal G. Efficient Decision Tree Construction on Streaming Data, in proceedings of ACM SIGKDD, 2003
5 Cohen L, Avrahami G, Last M. Incremental Info-Fuzzy Algorithm for Real Time Data Mining of Non-Stationary Data Streams. In Proc. of the Fourth IEEE International Conf. on Data Mining (ICDM2004), 2004. 39~43
6 Kuncheva L I. Classifier Ensembles for Changing Environments. In: Proc. 5th Int. Workshop on Multiple Classifier Systems, 2004. 1~15
7 Littlestone N, Warmuth M K. The weighted majority algorithm. Inform. Computation, 1994. 212~261
8 Littlestone N. Learning quickly when irrelevant attributes a bound: A new linear threshold algorithm. Machine learning. 1988. 285~318
9 Kolrer J Z, Marcus A. Dynamic Weighted majority: A new Ensemble Method for Tracking Concept Drift. In: Proc. of the Third Int. IEEE Conf. on Data Mining, 2003. 123~130
10 Fan Wei. Systematic data selection to Mine Concept-Drifting data Streams. In the proceeding of the Conf. KDD, 2004. 128~137
11 Chu F, Zaniolo C. Fast and light boosting for adaptive mining of data streams. In: Proc. of the 5th Pacific-Asic Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD), 2004
12 Street W, Kim Y. A streaming ensemble algorithm(sea) for large-scale classification. In Int'l Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD), 2001
13 Wang H, Fan Wei, Yu P, Han J. Mining concept-drifting data streams using ensemble classifiers In int'l conf. on Knowledge Diccovery and Data Mining (SIGKDD), 2003

(上接第 186 页)

证明:可以看出 K 是一个二重蕴涵式,根据基本语义定义,只须证

$$M|=_w\Box(p\to q)\ \&\ M|=_w\Box p\to M|=_w\Box q$$

即可。



(a) 公式的必然性　(b) 命题的必然性

图 3　公式和命题的必然性

根据定义 3(4),由 $M|=_w\Box(p\to q)$ 可知,对于任意的 w',wRw',有 $M\models_{w'}p\to q$(见图 3a);再由 $M|=_w\Box p$ 可知,对上述的 w',都有 $M\models_{w'}p$(见图 3b)。因此有 $M\models_{w'}q$。由于 w' 是 w 的任意可达世界,因此有 $M\models_w\Box q$,即 $M\models_w\Box(p\to q)\to(\Box p\to\Box q)$。又由于 M 和 w 都是任意选定的,因此 K 在所有的模型中有效。证毕。

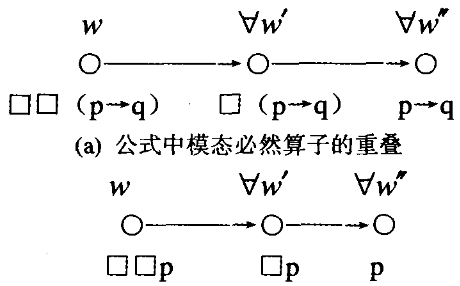
命题 7　公式 $\Box\Box(p\to q)\to(\Box\Box p\to\Box\Box q)$ 在任意模型 M 中是有效的

证明:同理,只须证

$$M\models_w\Box\Box(p\to q)\ \&\ M\models_w\Box\Box p\to M\models_w\Box\Box q$$

即可。

根据定义 3(4′),由 $M\models_w\Box\Box(p\to q)$ 可知,对于任意的 w',wRw' 有 $M\models_{w'}\Box(p\to q)$;再进一步,对于任意的 w'',$w'Rw''$,有 $M\models_{w''}p\to q$(参见图 4a)。由 $M\models_w\Box\Box p$ 可知,对上述的 w',都有 $M\models_{w'}\Box p$;再进一步,对上述 w'',$w'Rw''$ 都有 $M\models_{w''}p$(参见图 4b),因此有 $M\models_{w''}q$。由于 w'' 是 w' 的任意可达世界,因此有 $M\models_{w'}\Box q$;又由于 w' 是 w 的任意可达世界,因此有 $M\models_w\Box\Box q$。这样我们就得到 $M\models_w\Box\Box(p\to q)\to(\Box\Box p\to\Box\Box q)$。又由于 M 和 w 都是任意选定的,因此 $\Box\Box(p\to q)\to(\Box\Box p\to\Box\Box q)$ 在所有的模型中有效。证毕。



(a) 公式中模态必然算子的重叠

(b) 命题中模态必然算子的重叠

图 4　公式和命题中模态算子的重叠

结论　我们通过对可能世界语义学下特征公理的分析,得到了关于它们在框架上有效的一些对应条件,这些条件可以看作是特征公理有效的形式化解释。从另一方面看,也只有满足这些条件,相应的公理才是有效的,这样我们就可以确定在某一特定条件下将哪些公理作为正确的思维形式。通过这种分析,我们可以发现,一些直观上成立的公式(如 D、T)也是有条件成立的。由于在一般的 BDI 模型中,必然算子□代表 Agent 的信念,我们对文[1~3]中的换位推理的有效性进行了分析,并从模态逻辑和 Kripke 可能世界语义的角度给出换位推理规则有效性的语义证明。

虽然我们从语义上证明了换位推理规则在任意模型上的有效性,但是这是在默认了 Agent 对自己状况和行为知道的前提下对其它 Agent 状况和行为的"合理"推理。如果一个推理者不知道自己的状况和行为(即不满足认知反省公理),或者被推理者与推理者的认知状态差别很大,那么换位推理规则的有效性就不会得到满足。因此只有在满足弱 KD45 的前提下,换位推理的有效性才能得到保障。

参 考 文 献

1 SHI Zhongzhi, TIAN Qijia, LI Yunfeng. RAO Logic for Multiagent Framework. Journal of Computer Science and Technology, 1999, 14(4): 393~400
2 王文杰,田启家,史忠植. 多主体系统中对其它主体的研究. 计算机研究与发展, 1998, 35(11): 971~974
3 田启家,史忠植,王怀清. 多主体系统中的动作和知识推理. 见:第四届中国人工智能联合学术会议论文集(96 人工智能进展). 清华大学出版社, 1996. 74~79
4 杨鲲,陈建中,孙德刚,刘大有. 认知逻辑中逻辑全知问题及其解决方法. 吉林大学自然科学学报, 1999(3): 40~43
5 周昌乐. 认知逻辑导论. 北京:清华大学出版社, 2001
6 李金厚,蒋静坪. 从逻辑全知问题看当前基于逻辑的 Agent 研究的两个认识盲点. 北京科技大学学报, 2004, 26(2): 215~218
7 周北海. 模态逻辑. 北京:中国社会科学出版社, 1997
8 胡泽洪. 逻辑的哲学反思. 北京:中央编辑出版社, 2004. 127~135
9 Blackburn P, de Rijke M, Venema Y. Modal Logic [M]. Cambridge University Press, 2001
10 Kripke S. Semantic Analysis of Modal Logic Ⅱ: Non-Normal Modal Propositional Calculi. In: Symposium on the Theory of Models, North-Holland, Amsterdam, 1965
11 Konolige K. A Deduction Model of Belief. Pitman, London and Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1986
12 刘勇,蒲树祯,等. BDI 模型信念特性研究. 计算机研究与发展, 2005, 42(1): 54~59