

Multi-Agent 系统中 Agent 知识获取的合作模型*

毛新军, 陈火旺, 刘凤岐

(国防科学技术大学 计算机系, 湖南 长沙 410073)

E-mail: xjmao@nudt.edu.cn

摘要: Agent 的知识是 Agent 计算的前提. 在动态、不确定的 Multi-Agent 系统中, Agent 必须具备及时有效地获取所需知识的能力以求解决问题. 现有的知识获取模型不能有效地支持在动态、不确定的 Multi-Agent 系统中 Agent 对知识获取的要求, Agent 的知识获取能力比较有限. 提出一个系统的、用于 Agent 知识获取的合作模型 KACM (knowledge-acquiring cooperation model) 系列, 包括被动模型、主动终止模型和主动非终止模型. 基于言语行为理论和以分枝时序逻辑为基础的形式化框架, 讨论了 KACM 所涉及的 Agent 通信行为, 分析了 Agent 如何响应这些通信行为以完成知识交互, 定义了各通信行为以及 KACM 的满足语义, 最后讨论了研究工作的意义.

关键词: Agent; Multi-Agent 系统; 言语行为; 知识; 合作模型

中图法分类号: TP18 **文献标识码:** A

Agent 是近年来计算机科学领域中的一个重要概念, 它是指驻留在某一环境下, 能持续、自主地发挥作用, 具备驻留性、反应性、社会性、主动性等特征的计算实体^[1,2]. 在 AI 领域, Agent 通常被认为是由诸如知识等认知成分所构成的意向系统. 尽管目前人们提出了多种不同的 Agent 认知结构, 但一种普遍的观点认为, Agent 的知识是 Agent 问题求解的基础^[3~6]. 至今, 人们已就 Agent 如何基于知识进行问题求解开展了富有成效的研究, 取得了许多研究成果, 如专家系统. 专家系统中的知识库是人类知识的产物, 它是一个封闭的集合. 专家系统本身无需和环境中的其他软件实体进行交互, 因而不具备获取新知识的能力. DAI 和 Internet 的发展以及大量开放式、分布式系统的开发需求给 Agent 的研究和应用提出了新的要求: Agent 的知识库应该是动态、开放的, 用以反映系统的发展; Agent 不仅应具备基于知识的问题求解能力, 而且还必须具备在动态、不确定的 Multi-Agent 系统中及时、有效地获取所需知识的能力, 以更好地进行问题求解. 近年来, 通过交互和合作来获取知识的研究引起了人们的关注和重视. 然而基于已有的研究成果, Agent 的知识获取能力十分有限, 还不能有效地支持在动态的、不确定的 Multi-Agent 系统中对知识获取的需求^[3,4,6]. 本文提出了一个系统的、用于 Agent 知识获取的合作模型 KACM (knowledge-acquiring cooperation model) 系列, 以提供多种有效的方式和手段促进 Agent 之间灵活多样的知识交互.

1 基本通信行为

在 Multi-Agent 系统中, 合作是 Agent 获取信息的重要途径. Agent 之间进行合作的基础是交互, 而通信是实现 Agent 交互的一种重要方式和手段. 为研究 Agent 知识获取的合作模型 KACM,

* 收稿日期: 1999-06-04; 修改日期: 1999-10-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60003002); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999032700)

作者简介: 毛新军(1970-), 男, 浙江江山人, 博士, 讲师, 主要研究领域为分布式人工智能, 软件工程方法学; 陈火旺(1936-), 男, 福建安溪人, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 主要研究领域为计算机科学理论, 人工智能; 刘凤岐(1938-), 男, 河北唐山人, 教授, 主要研究领域为人工智能.

有必要首先研究 KACM 所涉及的 Agent 通信行为. Agent 间的通信行为是一类特殊的行为, 因为它将对交互双方 Agent 的内部状态产生影响. 言语行为理论是研究 Agent 通信行为的一个重要理论. 它认为: 人类交际的语言不仅仅是为了描述某种状态, 而是为了完成一定的行为, 如“通知”、“询问”等等. 言语行为的特点是说话者通过说一句或若干句话来执行一个或若干个上述所列举的行为, 这些言语行为的实现可能给说话者或者听者带来某些后果. 根据言行理论思想以及 KACM 的具体要求, 我们构造了一组言语行为作为 KACM 的原子通信行为.

(1) 询问(ask)

我们区分 3 种不同的询问行为: 无条件(Ask_{nc}), 条件终止(Ask_{ct})和条件非终止(Ask_{cn}). 每种询问行为都反映了说话者的不同目的, 从而对听者产生不同的影响. Ask_{nc}要求听者给说话者提供信息, 而不管提供信息所需的条件. 例如, 机票代理 Agent 询问飞机航班信息中心 Agent 要求告诉它“从长沙飞往北京的航班信息”. Ask_{ct}和 Ask_{cn}都引入了约束条件, 它们要求听者当约束条件满足时给它提供相应的信息, 如为了适应飞机航班信息的不断变化, 机票代理 Agent 询问(Ask_{ct})飞机航班信息中心 Agent 要求它“当从长沙飞往北京的航班信息发生改变时, 给它提供最新的航班信息”. 二者的区别在于: 对于 Ask_{ct}而言, 当条件满足并提供相应的信息之后, 听者将终止与说话者的合作; 对于 Ask_{cn}则不然, 一旦约束条件再次满足(如飞机航班信息再次更新), 仍需给说话者提供信息.

(2) 承诺(promise)

根据知识需求方 Agent 不同的询问言语行为, 知识提供方 Agent 做出的相应的承诺言语行为有: 终止承诺(Promise_t)和非终止承诺(Promise_n). Agent₂ 向 Agent₁ 作出终止承诺 Promise_t 是指: 如果约束条件满足, 它将给言者提供相应的信息, 信息的提供预示着 Agent₂ 实现了它对 Agent₁ 作出的承诺. Agent₂ 向 Agent₁ 发出非终止承诺 Promise_n 是指: 如果约束条件满足, 它将给 Agent₁ 提供相应的信息, 信息的提供并不预示着 Agent₂ 实现了它所作出的承诺, 一旦约束条件再次满足 Agent₂ 将继续给 Agent₁ 提供信息.

(3) 通知(inform)

Agent 通过 Inform 言语行为把相关信息通知给其他 Agent.

2 形式化框架

为了严格而形式化地研究 KACM, 我们给出了一个以分枝时态逻辑为基础的形式化框架. 形式化框架主要包括语法、模型和语义 3 个部分. 语法部分是一个由状态公式集 L_s 和路径公式集 L_p 组成的分枝时序逻辑 L . 为简化说明, 文中有下列符号约定: (1) 常数符号集合 Const 包括 Agent 符号集合 Const_{Ag}; 原子动作符号集合 Const_{Ac}; 其他常数集合 Const_{Obj}; (2) 变量符号集合 Var 包括 Agent 符号集合 Var_{Ag}; 原子动作符号集合 Var_{Ac}; 其他变量集合 Var_{Obj}; (3) 可枚举的谓词符号集合 Φ . 对于任意 $q \in \Phi$ 都对应有一个常数 $\text{arity}(q)$ 称为 q 的元. 上述符号集合均非空、可枚举且互不交叉. 设 p, q, \dots 表示谓词符号; φ, ψ, \dots 表示公式; i, j, \dots 表示 Agent 符号; a, b, \dots 表示原子动作符号; x, \dots 表示变量符号.

定义 1. 语言 L 的语法形成规则定义如下:

R1: $p \in L_s$.

R2: 如果 $\psi, \varphi \in L_s$, 则 $\neg\varphi, \psi \wedge \varphi, K_i\varphi, \lambda x\varphi \in L_s$.

R3: 如果 $\psi, \varphi \in L_s$, 则 $\neg\varphi, \psi \wedge \varphi, \psi U \varphi \in L_s$.

R4: $L_i \subseteq L_s$.

除了通常的命题连接词以外, L 还引进了“until”时序算子 U 和知识算子 K . 语言 L 中的一个项或者是一个常数或者是一个变量.

定义 2. 语言 L 的一个模型 M 是 $\langle T, <, U, \pi, \text{Act}, B, C \rangle$ 这样的结构.

T 是时刻集, T 中的每一时刻对应于世界的一个状态. $< \subseteq T \times T$, 是 T 上的偏序关系且满足过去线性, 因而整个模型呈树形结构. $U = U_{\text{Ag}} \cup U_{\text{Ac}} \cup U_{\text{Ob}}$, 其中 U_{Ag} 是 Agent 集合; U_{Ac} 是原子动作集合; U_{Ob} 是其他对象集合. $\pi: \Phi \times T \rightarrow \text{powerset}(U^n)$ 是对谓词符号的解释, 且满足: $\forall p \in \Phi; \forall t \in T; \forall n \in N: (\text{arity}(p) = n) \Rightarrow (\pi(p, t) \in \text{powerset}(U^n))$. 时刻 t 的一条路径是指始于该时刻, 由 t 的将来时刻构成的一条线性分枝.

定义 3. 设 $t \leq t'$, 则 $[t, t'] = \{t'' | t \leq t'' \leq t'\}$ 为一路径子区间.

$\text{Act}: U_{\text{Ag}} \times U_{\text{Ac}} \rightarrow \text{powerset}(T \times T)$ 定义了原子动作的发生, $[t, t'] \in \text{Act}(i, a)$, 表示 Agent i 在 $[t, t']$ 路径子区间中执行原子动作 a . $C: \text{Const} \rightarrow U$ 是对常数符号的解释. $B: U_{\text{Ag}} \rightarrow \text{powerset}(T \times T)$ 用于定义 Agent 的信念. 变量的一个指派 V 是映射 $V: \text{Var} \rightarrow U$.

定义 4. 一个项的解释定义如下: 如果 $\tau \in \text{Const}$, 则 $[\tau]_V = C(\tau)$; 否则 $V(\tau)$. 状态公式的可满足语义定义由模型 M 、指派 V 和时刻 t 给出. $M, V \models_t \varphi$ 表示在指派 V 下公式 φ 在模型 M 的 t 时刻被满足. 路径公式的可满足语义由模型 M 、指派 V 、路径 S 和时刻 t 加以定义. $M, V \models_{S, t} \psi$ 表示在指派 V 下公式 ψ 在模型 M 的路径 S 的时刻 t 被满足.

定义 5. 语言 L 的语义定义如下:

- $M, V \models_t p(\tau_1, \dots, \tau_n)$ iff $([\tau_1]_V, \dots, [\tau_n]_V) \in \pi(p, t)$;
- $M, V \models_t K_i \varphi$ iff $\forall \langle t, t' \rangle \in B([i]_V); M, V \models_{t'} \varphi$;
- $M, V \models_{S, t} \varphi U \psi$ iff $\exists t' \in S; M, V \models_{t'} \varphi$ 且 $(\forall t'' : t \leq t'' \leq t' \Rightarrow M, V \models_{t''} \psi)$;
- $M, V \models_{S, t} \varphi$ iff $M, V \models_t \varphi$, 其中 $\varphi \in L_i$.

3 基本通信行为的形式化语义

为研究言语行为, 人们提出了言语行为三分说, 即任何规范的会话活动实际上产生了 3 个概念互有区别的活动: (1) 以言指事, 是指会话的物理动作; (2) 以言行事, 是指说话者传递给听者的意图; (3) 以言成事, 是指言语行为的结果. 我们注意到, Agent 间由于消息传递而导致的交互特性不仅需要关心消息传递行为的发生, 还应关心通信行为对发送方和接受方 Agent 产生的影响. Agent 间的通信行为是一种有意图的行为, 其效果主要作用于通信双方的内部状态上, 对物理世界不产生影响.

定义 6. 设“Says-to($i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle$)”是一个参数化的通信行为. 其中 i 是消息发送方 Agent, j 是消息接收方 Agent, $\text{if} \in \mathcal{D}$ 表示原子通信行为(如 Ask, Inform 等), cond 是条件体, cond 部分可为空 Null, m 是消息内容.

根据言语行为理论的思想, Agent 间的通信行为是一个动作, 因而它必定在某一路径子区间上发生. $[t, t'] \in \text{Act}([i]_V, [\text{Says-to}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle)]_V)$ 是指 Agent i 在路径子区间 $[t, t']$ 中执行并完成通信行为“Says-to($i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle$)”. 由于“Says-to”是一个原子动作描述符, 为了在公式中描述 Agent 间的通信行为, 我们引进了一个特定谓词 comm, 公式 $\text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle)$ 表示通信行为“Say-to($i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle$)”的发生, 其语义定义如下:

定义 7. $M, V \models_{S, t} \text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle)$ iff $\exists t' \in S: [t, t'] \in \text{Act}([i]_V, [\text{Says-to}(i, j, \langle \text{if},$

$\text{cond}, m))]_V$).

我们引入了 λ -表达式以定义和描述 Agent 所需的知识和信息. 同时, 我们引进一个特定的算子 $\text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans})$ 表示询问的结果. 谓词 $\text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans})$ 是指 Ans 为 $\lambda x\varphi$ 的结果.

定义 8. $M, V \models_{s,t} \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans})$ iff $(\forall r; (r \in \text{Ans}) \Rightarrow M, V \models_{s,t} \varphi^r)$.

公式 $\text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle)$ 仅描述通信行为的发生, 为了描述通信行为是否被满足, 我们引入算子 W . 算子 W 应用于形如 $\text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle)$ 的公式. $M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle))$ 是指在 t 时刻“Says-to($i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle$)”通信行为被满足. 下面, 我们给出上述通信行为的满足语义的定义, 以分析 Agent 是如何基于上述通信行为并通过对这些通信行为的响应来实现知识和信息的交互的, 在此基础上, 我们给出 KACM 的定义.

定义 9(Ask_{nc}通信行为的语义).

$$\begin{aligned} M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Ask}_{nc}, \text{null}, \lambda x\varphi \rangle)) \text{ iff} \\ \exists t' \in S: [t, t'] \in \text{Act}([i]_V, [\text{Says-to}(i, j, \langle \text{Ask}_{nc}, \text{null}, \lambda x\varphi \rangle)]_V) \wedge \\ M, V \models_{s,t'} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Inform}, \text{null}, \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans}) \rangle)) \end{aligned}$$

Ask_{nc} 行为被满足 iff (1) 说话者成功地执行了该行为; (2) 听者在接收后将结果通过 Inform 通信行为通知给说话者. 这里, 我们称 Inform 是 Ask_{nc} 的伴随通信行为.

定义 10(Inform 通信行为的语义).

$$\begin{aligned} M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Inform}, \text{null}, \varphi \rangle)) \text{ iff} \\ \exists t_e \in S: [t, t_e] \in \text{Act}^V([i]_V, [\text{Says-to}(i, j, \langle \text{Inform}, \text{null}, \varphi \rangle)]_V) \text{ 且 } M, V \models_{s,t} K_t \varphi \end{aligned}$$

Inform 被满足 iff (1) 说话者成功执行该行为; (2) 在执行该行为时说话者知道 φ .

定义 11(Ask_{ct}通信行为的语义).

$$\begin{aligned} M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Ask}_{ct}, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)) \text{ iff} \\ \exists t_e \in S: [t, t_e] \in \text{Act}([i]_V, [\text{Says-to}(i, j, \langle \text{Ask}_{ct}, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)]_V) \wedge \\ (\exists t' \in S: t_e \leq t' \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Promise}_t, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle))) \end{aligned}$$

Ask_{ct} 行为被满足 iff (1) 说话者成功地执行该行为; (2) 听者接受到 Ask_{ct} 之后的某一将来时刻向言者作出终止承诺且该承诺被满足. 这里, 我们将 Promise_t 称为 Ask_{ct} 的伴随通信行为.

定义 12(Promise_t 通信行为的语义).

$$\begin{aligned} M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Promise}_t, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)) \text{ iff} \\ \exists t_e \in S: [t, t_e] \in \text{Act}([j]_V, [\text{Says-to}(j, i, \langle \text{Promise}_t, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)]_V) \wedge \\ (\exists [\text{Ans}]_V, \exists t' \in S: t_e \leq t' \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} K_t \text{cond} \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} K_t \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans})) \Rightarrow \\ (\exists [\text{Ans}]_V, \exists t' \in S: t_e \leq t' \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} K_t \text{cond} \text{ 且} \\ (M, V \models_{s,t'} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Inform}, \text{null}, \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans}) \rangle)))) \end{aligned}$$

Promise_t 行为被满足 iff (1) 说话者成功地执行该行为; (2) 如果在某一将来时刻 t' , 说话者知道约束条件被满足且知道相应的结果, 则说话者通过 Inform 行为将结果通知给听者. 这里, 我们将 Inform 称为 Promise_t 的伴随通信行为.

定义 13(Ask_{cn}通信行为的语义).

$$\begin{aligned} M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Ask}_{cn}, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)) \text{ iff} \\ \exists t_e \in S: [t, t_e] \in \text{Act}([i]_V, [\text{Says-to}(i, j, \langle \text{Ask}_{cn}, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)]_V) \wedge \\ (\exists t' \in S: t_e \leq t' \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Promise}_n, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle))) \end{aligned}$$

Ask_{nc} 被满足 iff (1) 说话者成功执行该行为; (2) 听者在接受到 Ask_{nc} 之后的某一将来时刻作出 Promise_n, 且该通信行为被满足. 这里, 我们将 Promise_n 称为 Ask_{nc} 的伴随通信行为.

定义 14(Promise_n 通信行为的语义).

$$\begin{aligned}
&M, V \models_{s,i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Promise}_n, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)) \text{ iff} \\
&\exists t_e \in S: [t, t_e] \in \text{Act}([\bar{j}]_V, [\bar{\text{Says-to}}(j, i, \langle \text{Promise}_n, \text{cond}, \lambda x\varphi \rangle)]_V) \wedge \\
&(\forall t' \in S, \exists [\bar{\text{Ans}}]_V: t_e \leq t' \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} K, \text{cond} \text{ 且 } M, V \models_{s,t'} K, \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans}) \Rightarrow \\
&M, V \models_{s,i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Inform}, \text{null}, \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans}) \rangle)))
\end{aligned}$$

Promise_n 被满足 iff (1) 说话者成功地执行该行为; (2) 动作发生后, 对于任意时刻 t', 如果说者知道条件满足并且知道相应的结果, 则言者将通过 Inform 将结果通知给听者. 这里, 我们将 Inform 称为 Promise_n 的伴随通信行为.

4 知识获取的合作模型 KACM

根据通信行为的上述语义定义, 下面, 我们严格地、形式化地讨论和分析 Agent 知识获取的合作模型 KACM. KACM 由一系列具体的合作模型组成. 根据信息提供方 Agent 的合作程度, 我们将 KACM 分为被动合作模型(KACM_P)、主动终止合作模型(KACM_{AT}) 和主动非终止合作模型(KACM_{AN}).

4.1 被动合作模型 KACM_P

在 KACM_P 中, 知识需要方 Agent 首先向知识提供方 Agent 发出 Ask_{nc}, 知识提供方 Agent 接收消息后被动地向知识需要方 Agent 提供相应的信息(如图 1 所示).

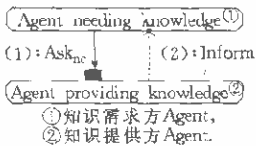


Fig. 1 KACM_P model
图1 KACM_P示意图

定义 15. 一个 Multi-Agent 系统具有 KACM_P, 如果

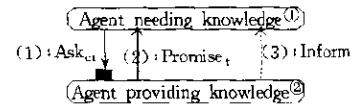
- (1) $M, V \models_{s,i} \text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle) \Rightarrow \text{if} \in \{\text{Ask}_{nc}, \text{Inform}\};$
- (2) 存在 $S, t \in S$, 使得 $M, V \models_{s,t} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Ask}_{nc}, \text{null}, \lambda x\varphi \rangle));$
- (3) 对于某一个 Agent_i, 如果 $M, V \models_{s,i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Inform}, \text{null}, \text{answer}(\lambda x\varphi, \text{Ans}) \rangle))$, 则 Agent_j 向 Agent_i 发出的通知通信行为是 Agent_i 的 Ask_{nc} 的伴随通信行为.

KACM_P 的上述定义表明: (1) Agent 间的通信行为只能是 Ask_{nc} 或 Inform; (2) 在该 Multi-Agent 系统中, 至少有一个 Ask_{nc} 被满足; (3) Agent 间的知识交互行为由 Ask_{nc} 引起, Agent 不能主动地提供信息.

4.2 主动终止合作模型 KACM_{AT}

在 KACM_{AT} 中, 知识需求方 Agent 首先向知识提供方 Agent 发出 Ask_{at}, 要求知识提供方 Agent 在条件满足时为它提供相应的信息. 知识提供方 Agent 接收到消息后向需求方 Agent 作出 Promise_t, 即当条件满足时, 它将主动地给对方提供相应的信息.

在 Multi-Agent 系统中, 由于 Agent 的行为以及环境事件的发生, 当约束条件被满足时, 提供方 Agent 将根据它作出的 Promise_t, 主动地为需求方 Agent 提供信息, 信息的提供意味着合作的终止(如图 2 所示).



①知识需求方 Agent, ②知识提供方 Agent.

Fig. 2 KACM_{AT} model
图2 KACM_{AT}示意图

定义 16. 一个 Multi-Agent 系统具有 KACM_{AT}, 如果:

- (1) $M, V \models_{S, i} \text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle) \Rightarrow \text{if} \in \{ \text{Ask}_{cn}, \text{Promise}, \text{Inform} \}$;
- (2) 存在 $S, i \in S$, 使得 $M, V \models_{S, i} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Ask}_{cn}, \text{cond}, \lambda x \varphi \rangle))$;
- (3) 对于某一个 Agent_j, 如果 $M, V \models_{S, i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Promise}, \text{cond}, \lambda x \varphi \rangle))$, 则 Agent_j 向 Agent_i 发出的 Promise_j 是 Agent_i 的 Ask_{cn} 的伴随通信行为;
- (4) 对于某一 Agent_j, 如果 $M, V \models_{S, i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Inform}, \text{null}, \varphi \rangle))$, 则 Agent_j 向 Agent_i 发出的 Inform 是 Agent_i 的 Promise_j 的伴随通信行为。

KACM_{AT} 的上述定义表明: (1) Agent 间的通信行为只能是 Ask_{cn}, Promise_j 或 Inform; (2) 在该 Multi-Agent 系统中, 至少有一个 Ask_{cn} 行为被满足; (3) Promise_j 行为是 Ask_{cn} 行为的伴随通信行为; (4) Inform 行为是 Promise_j 行为的伴随通信行为。

4.3 主动非终止合作模型 KACM_{AN}

在 KACM_{AN} 中, 知识需求方 Agent 首先向知识提供方 Agent 发出 Ask_{cn}, 要求知识提供方 Agent 一旦条件满足即为它提供相应的信息。提供方 Agent 接收到消息后向知识需求方 Agent 作出 Promise_{cn}, 即一旦条件满足, 它将给对方提供相应的信息。当约束条件被满足时, 知识提供方 Agent 根据它作出的 Promise_{cn}, 主动地为知识需求方 Agent 提供信息, 如果约束条件再次满足, 知识提供方 Agent 再次为知识需求方 Agent 提供相应的信息(如图 3 所示)。

定义 17. 一个 Multi-Agent 系统具备 KACM_{AN}, 如果

- (1) $M, V \models_{S, i} \text{comm}(i, j, \langle \text{if}, \text{cond}, m \rangle) \Rightarrow \text{if} \in \{ \text{Ask}_{cn}, \text{Promise}_{cn}, \text{Inform} \}$;
- (2) 存在 $S, i \in S$, 使得 $M, V \models_{S, i} W(\text{comm}(i, j, \langle \text{Ask}_{cn}, \text{cond}, \lambda x \varphi \rangle))$;
- (3) 对于某一 Agent_j, 如果 $M, V \models_{S, i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Promise}_{cn}, \text{cond}, \lambda x \varphi \rangle))$, 则 Agent_j 向 Agent_i 发出的 Promise_{cn} 是 Agent_i 的 Ask_{cn} 的伴随通信行为;
- (4) 对于某一 Agent_j, 如果 $M, V \models_{S, i} W(\text{comm}(j, i, \langle \text{Inform}, \text{null}, \varphi \rangle))$, 则 Agent_j 向 Agent_i 发出的 Inform 是 Agent_i 的 Promise_{cn} 的伴随通信行为。

KACM_{AN} 的上述定义表明: (1) Agent 间的通信行为只能是 Ask_{cn}, Promise_{cn}, Inform; (2) 在该 Multi-Agent 系统中, 至少有一个 Ask_{cn} 通信行为被满足; (3) Promise_{cn} 通信行为是 Ask_{cn} 行为的伴随通信行为; (4) Inform 通信行为是 Promise_{cn} 行为的伴随通信行为。

5 结 论

为了适应开放、动态系统的软件开发需求, 提高 Agent 获取知识的能力, 本文提出了一个系统的、用于 Agent 知识获取的合作模型 KACM 系列, 包括被动模型、主动终止模型和主动非终止模型。Agent 知识获取合作模型 KACM 的提出, 为我们提供了多种有效的方式和手段以促进 Agent 间灵活多样的知识交互; 可以帮助我们进一步分析和评估 Multi-Agent 系统中的不同合作计算模型; 同时, 有关交互行为的语义定义有助于我们深层次地理解和分析 Agent 如何参与合作、如何对各种交互行为作出响应以指导 Agent 的设计, 从而最终给我们提供了一种有效的方法, 用于规范、设计和实现开放、复杂、庞大的 Multi-Agent 系统。

References:

- [1] Jennings, N. R., Sycara, K., Wooldridge, M. A roadmap of agent research and development. International Journal of

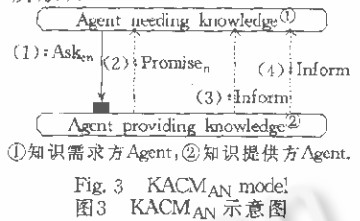


Fig. 3 KACM_{AN} model!
图3 KACM_{AN} 示意图

- Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1998, 1(1):275~306.
- [2] Wooldridge, M., Jennings, N. R. Intelligent agents, theory and practice. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2):115~152.
- [3] Singh, M. P. Multi-Agent System: a Theoretical Framework for Intention, Know-How, and Communication. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1994.
- [4] Shoham, Y. Agent-Oriented programming. Artificial Intelligence, 1993, 60(1):51~92.
- [5] Mao, Xin-jun. The theoretical framework of agent computing in multi-agent system [Ph. D. Thesis]. Changsha, National University of Defence Technology, 1998 (in Chinese).
- [6] Haddadi, A. Communication and Cooperation in Agent Systems: A Pragmatic Theory. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1996.

附中文参考文献:

- [5] 毛新军. Multi-Agent 系统中 Agent 计算的理论框架[博士学位论文]. 长沙: 国防科学技术大学, 1998.

The Cooperation Models for Acquiring Knowledge in Multi-Agent Systems*

MAO Xin-jun, CHEN Huo-wang, LIU Feng-qi

(Department of Computer Science, National University of Defence Technology, Changsha 410073, China)

E-mail: xjmao@nudt.edu.cn

Abstract: Knowledge is the precondition for an agent to compute. In dynamic and non-deterministic multi-agent systems, agent should be able to acquire the knowledge timely and effectively so as to solve the problems. The existing knowledge-acquiring models can't meet the knowledge-acquiring requirements in dynamic and non-deterministic multi-agent system and the agent's capability of acquiring knowledge is limited. The systematic knowledge-acquired cooperation models (KACM) is presented for agent to effectively acquire knowledge in multi-agent systems, including passive model, active terminating model and active non-terminating model. Based on the speech act theory and a formal framework of branch temporal logic, the communication acts in KACM are discussed, how agent responses to the communication acts is investigated, the rigorous semantics of the speech acts and the KACM are defined, and lastly the significance of the research is presented.

Key words: agent; multi-agent system; speech act; knowledge; cooperation model

* Received June 4, 1999; accepted October 10, 1999

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 60003002; the National Grand Fundamental Research Program of China under Grant No. G1999032700