

# 一种并发的 BDI-Agent 模型\*

王一川<sup>†</sup>, 石纯一

(清华大学 计算机科学与技术系, 北京 100084)

## A Concurrent BDI-Agent Model

WANG Yi-Chuan<sup>†</sup>, SHI Chun-Yi

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

+Corresponding author: Phn: 86-10-62785592, E-mail: wangyc99@mails.tsinghua.edu.cn

<http://www.cs.tsinghua.edu.cn>

Received 2002-01-24; Accepted 2002-06-10

Wang YC, Shi CY. A concurrent BDI-Agent model. *Journal of Software*, 2003,14(3):422-428.

**Abstract:** Based on macro-time and micro-time, a BDI-Agent model with branch time tree is defined. In this model, parallel actions in macro-time are interleaving in micro-time. The mental state of Agent is constructed on macro-time, and the semantics of concurrent actions are given in micro-time level. Thus, it can be a proper logic basis for describing multi-Agent cooperation and competition that involve concurrent, and it can advance the work in Agent models developed by Rao & Georgeff, Singh and Werner et al.

**Key words:** Agent model; mental state; BDI; concurrency

**摘要:** 在区分宏观时间和微观时间的基础上,建立了分支时间结构的并发 BDI-Agent 模型,在微观时间上交叠方式描述了宏观时间中的并行性.Agent 的思维状态是建立在宏观时间上的,并发动作语义由相应的微观时间结构给出.为基于并发的多 Agent 合作和竞争提供了合适的逻辑基础,推进了 Rao&Georgeff,Singh 和 Werner 等人有关 Agent 模型方面的工作.

**关键词:** Agent 模型;思维状态;BDI;并发性

**中图法分类号:** TP18 **文献标识码:** A

Agent 模型是多 Agent 系统(MAS)研究的基础.这方面最有影响的工作是 Cohen<sup>[1]</sup>等人给出的线性时间模型和 Rao<sup>[2]</sup>等人给出的分支时间模型,两者都基于正规模态逻辑.近年来的工作主要集中在 3 个方面.(1) 解决前述 Agent 模型中存在的逻辑问题,如逻辑全知、副作用和无为而治等问题<sup>[3,4]</sup>.(2) 在个体模型中结合社会性因素,如 Agent 交互、承诺和义务等<sup>[5-7]</sup>.(3) 在 MAS 下考虑 Agent 个体模型的语义.如,文献[8]建立了一个基于 VSK 的 Agent 模型,通过可感知(visible)、实际感知(perveive)和知道(know)来刻画 Agent,给出了在 MAS 中的语义;并针对不同的实际情况,讨论了模型应引入的约束公理.文献[9]给出了 Vivid Agent 模型,MAS 中每个 Agent 由 knowledge,action,goal, intention 和 reaction rule 组成,在此基础上给出了 Agent 的感知、反应、规划执行、规划和重新规划的操作语义.文献[10]结合动态逻辑和行为理论建立了 Agent 模型,Agent 的思维状态由

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.69973023, 60173011 (国家自然科学基金)

**第一作者简介:** 王一川(1973-),男,浙江上虞人,博士,主要研究领域为多 Agent 技术.

knowledge, belief 和 desire 组成,引入了承诺和信念修正以刻画思维状态的动态性,进而讨论了 MAS 的群体认知状态.这些工作没有强调 MAS 中动作的并发性,难以在 Agent 思维状态中对并发性提供支持.

MAS 中的并发行为可以分为无关和相关两类,在执行无关并发动作的多个 Agent 之间,并不需要考虑其他 Agent 同时在执行的动作.但是,在 Agent 合作或竞争的情形下,存在大量的相关并发行为,Agent 必须有能力强对这些行为进行推理.文献[11]针对 MAS 中多个 Agent 并发动作的特点,给出了一个基于动作的 Agent 模型,可以刻画无关并发动作,但是所给出的语言中对于动作没有定义并发算子,因而不能刻画相关并发动作.同时,文献[11]没有对并发动作的结构进行讨论,而直接假设并发动作具备确定性结果,这一点并不恰当.文献[12]初步给出了一个真并发的 Agent 语义模型,但未提供真并发导致的不确定性和动作冲突等问题的解决方法,因此该模型本身是不完善的,并且与交叠并发模型相比,处理上也不够简洁.文献[13]从信息的不确定性角度出发,建立了 Agent 的信息、策略、效用模型,其间提出了以微观时间结构来描述并发性的思想;但其所给出的模型中时间是线性的,而每一时间点为微观树状结构,因此微观结构不能纳入到模型中,难以给出并发动作的语义.

本文在区分宏观时间和微观时间的基础上,建立了分支时间结构的并发 BDI-Agent 模型,在微观时间上以交叠方式描述了宏观时间中的并行性.Agent 的思维状态是建立在宏观时间上的,并发动作语义由相应的微观时间结构给出.试图为基于并发的多 Agent 合作和竞争提供了合适的逻辑基础,推进了 Rao&Georgeff, Singh 和 Werner 等人有关 Agent 模型方面的工作.

### 1 语法定义

表 1 是 BDI-Agent 的描述语言 AL 的语法.AL 以谓词逻辑为基础,引入时态算子、路径算子、动作算子以及描述思维状态的 BDI 算子.采用的基本符号包括:命题连接符  $\neg, \vee$ ;存在量词  $\exists$ ;时态算子  $O, \diamond$  和  $U$ ;路径算子  $E$ ;动作算子  $DO, ACHIEVED$ ;基本模态算子  $BEL, DES, INT$ ;动作连接符  $||, ;$  和  $|||$  以及一些标点符号  $(, )$  和  $=$ .

个体词  $term$  包括常量和变量,其中  $pred\_sym$  代表谓词符号,当项数为 0 时,为命题符号. $act\_term$  为原子动作个体词  $agt\_term$  表示 Agent 个体词.

$\neg, \vee$  与常规定义相同.在动作公式中,  $|$  连接两个选择执行的动作,  $;$  连接两个顺序执行的动作,  $||$  表示两个符合交叠语义的并行执行的动作.  $|||$  运算符优先级最高,  $;$  次之.规定对于形如  $(a_1; a_2; \dots; a_n) || (b_1; b_2; \dots; b_m)$  的公式,其中  $m \geq n, a_i (1 \leq i \leq m), b_j (1 \leq j \leq n)$  都为不再含有  $;$  的动作表达式,等价于  $a_1 || b_1; a_2 || b_2; \dots; a_n || b_n; a_{n+1}; \dots; a_n$ ; 规定  $(a|b) || c$  等价于  $a || b || c, (a; b) || c$  等价于  $a; b || c$ . 通过这 3 个规则,所有的动作表达式都可以转化为标准并行形式,即其中每一个并行操作符两边的操作数都是形如  $(agent, act)$  的原子动作.

Table 1 Semantics for AL

表 1 AL 语法

Action expression $\langle act\_expr \rangle =_{def} (\langle agt\_term \rangle (\langle act\_term \rangle))$ $ \langle act\_fmla \rangle  ^* \langle act\_fmla \rangle$ $ \langle act\_fmla \rangle ;^* \langle act\_fmla \rangle$ $ \langle act\_fmla \rangle   ^* \langle act\_fmla \rangle$
Action formula $\langle act\_fmla \rangle =_{def} (does \langle act\_expr \rangle)   (done \langle act\_expr \rangle)$
State formula $\langle state\_fmla \rangle =_{def} (pred\_sym) (\langle term \rangle, \dots, \langle term \rangle)   \langle act\_fmla \rangle$ $ \neg \langle state\_fmla \rangle   \langle state\_fmla \rangle \vee \langle state\_fmla \rangle$ $ \exists \langle var \rangle, \langle state\_fmla \rangle   E \langle path\_fmla \rangle$ $ (BEL \langle agt\_term \rangle) \langle state\_fmla \rangle$ $ (DES \langle agt\_term \rangle) \langle state\_fmla \rangle$ $ (INT \langle agt\_term \rangle) \langle state\_fmla \rangle$ $ (SEN \langle agt\_term \rangle) \langle state\_fmla \rangle$
Path formula $\langle path\_fmla \rangle =_{def} \langle state\_fmla \rangle   \exists \langle var \rangle, \langle path\_fmla \rangle$ $ \langle O \langle path\_fmla \rangle \rangle   \langle path\_fmla \rangle   U \langle path\_fmla \rangle$ $ \neg \langle path\_fmla \rangle   \langle path\_fmla \rangle \vee \langle path\_fmla \rangle$
Well-Formed formula $\langle fmla \rangle =_{def} \langle state\_fmla \rangle$

AL 描述的世界具有分支时间结构.世界中的每个时间点具有线性历史和分支未来,反映出世界的多条可能演化途径.在某条未来路径上,路径公式  $O\phi$  表示在下一个宏观时间点,  $\phi$  成立;路径公式  $\diamond\phi$  表示在未来某个宏观时间点,  $\phi$  成立;  $\phi U \psi$  表示存在一个宏观时间点,使  $\psi$  成立,并且在当前与该时间点之间,  $\phi$  总成立.状态公式  $E\phi$  表

示存在一条未来路径,使路径公式 $\phi$ 成立.为便于描述,对 AL 进行扩充,引入命题连接符 $\wedge, \Rightarrow, \Leftrightarrow$ ,全称量词 $\forall$ ,含义与常规定义相同.

设  $Pred$  为谓词符号集,  $Var$  为变量集,  $Const$  为常量集,  $N_0$  为包含 0 的自然数集.  $FORM(AL)$  为全体公式集,  $\wp(FORM(AL))$  为  $FORM(AL)$  的幂集.

## 2 语义模型

**定义 2.1.** Agent 模型是元组  $M = \langle U, W, T, <, MT, act, Rb, Rd, Ri, C, \pi \rangle$ , 这里:

$U = U_{Ag} \cup U_{Ac} \cup U_{Obj}$ ,  $U_{Ag}$  为 Agent 集合,  $U_{Ac}$  为原子动作集合,  $U_{Obj}$  为对象集合;

$W$  是可能世界的集合;

$T$  是微观时间点集合.

$< \subseteq T \times T$  是时间点间的二元关系,  $\langle T, < \rangle$  构成时间树;

对  $\forall t_1, t_2 \in T$ , 定义算子  $<, \leq$

$t_1 < t_2$  iff  $t_1 < t_2$  或者  $\exists t' \in T, t_1 < t' < t_2$ ;

$t_1 \leq t_2$  iff  $t_1 = t_2$  或者  $t_1 < t_2$ .

对  $T$  的任一子集  $ST$ , 若  $t \in ST$  且不存在  $t' \in ST$  使得  $t' < t$ , 则称  $t$  为  $ST$  的极小元, 记  $ST$  中所有极小元的集合为  $extre\_set(ST)$ ;

宏观时间指派函数  $MT: N_0 \rightarrow \wp(T) \setminus \emptyset$  满足:

(1) 对  $\forall t \in T$ , 存在且仅存在  $n \in N_0$ , 使得  $t \in MT(n)$ , 即  $MT(0), MT(1), \dots$  构成  $T$  的一个划分;

(2) 对  $\forall n_1, n_2 \in N_0, n_1 < n_2, t_1 \in MT(n_1), \exists t_2 \in MT(n_2)$ , 使得  $t_1 < t_2$  即宏观时间的延续性;

(3) 对  $\forall n_1, n_2 \in N_0, n_1 < n_2, t_2 \in MT(n_2)$ , 不存在  $t_1 \in MT(n_1)$ , 使得  $t_2 < t_1$  即宏观时间的不可逆性;

记  $ET = extre\_set(0) \cup extre\_set(1) \cup \dots \cup extre\_set(k) \cup \dots$ , 为宏观时间点集合;

$\forall t_1, t_2 \in ET, t_1 < t_2$ , 且  $\exists n \in N_0$ , 使得  $t_1 \in MT(n_1), t_2 \in MT(n_1 + 1)$ , 则记  $t_1 <_M t_2$ ,

动作函数  $act: < \rightarrow U_{Ag} \times U_{Ac}$ , 为时间树的每条边标记原子动作和施动 Agent;

$Rb: U_{Ag} \times W \times ET \rightarrow W$ , 给出一个 Agent 在某个世界和宏观时间点上的所有的信念可达世界, 满足传递性、欧性、连续性;

$Rd: U_{Ag} \times W \times ET \rightarrow W$ , 给出一个 Agent 在某个世界和宏观时间点上的所有的愿望可达世界, 满足传递性、欧性、连续性;

$Ri: U_{Ag} \times W \times ET \rightarrow W$ , 给出一个 Agent 在某个世界和宏观时间点上的所有的意图可达世界, 满足传递性、欧性、连续性;

$C: Const \rightarrow \wp(U)$ , 常量指派;

真值指派函数  $\pi: Pred \times W \times T \rightarrow \bigcup_{n \in IN} \wp(U^n)$ , 映射到某一可能世界中某一时间点使谓词成立的各项取值的集合.

**定义 2.2.** 对  $w \in W, w = \langle T_w, <_w, MT_w, act_w \rangle$ ,  $T_w, <_w, MT_w$ , 和  $act_w$  分别是  $T, MT$  和  $act$  在  $w$  中的限制.  $\rho_{w,t}$  表示  $w$  中含有宏观时间点  $t$  的一条路径.

微观时间关系  $<$  具有反向线性, 即每个微观时间点具有线性历史和分支未来, 在此基础上的宏观时间关系  $<_M$  也具有这些性质. 图 1 简示了微观时间和宏观时间的关系, 其中  $n_0, n_1, n_2$  为递增自然数,  $t_0, t_2$  分别是  $MT(n_0), MT(n_1)$  的极小元,  $t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}$  是  $MT(n_2)$  的极小元, 当前宏观时间点为  $t_2; a = (agt_1 act_1), b = (agt_2 act_2), c = (agt_1 act_3), d = (agt_2 act_4), e = (agt_2 act_5)$ . 相邻宏观时间点之间(图中  $t_0$  与  $t_2, t_2$  与  $t_6$  等)的动作序列其执行顺序不能被 Agent 所识别(已经发生的动作)和控制(即将发生的动作). 例如  $c || d(c || e)$ , 可能到达  $t_6$  或  $t_8(t_7$  或  $t_{10})$  两个不同状态, 但最终到达哪个状态, 则随机决定, 不能由 Agent 控制. 在某一宏观时间, Agent 可以选择不做动作, 例如, 图 1 中的  $t_2$  到  $t_9, t_2$  到  $t_{11}$  表示  $agt_1$  不做动作,  $agt_2$  分别做动作  $act_4$  或  $act_5$  的情形.

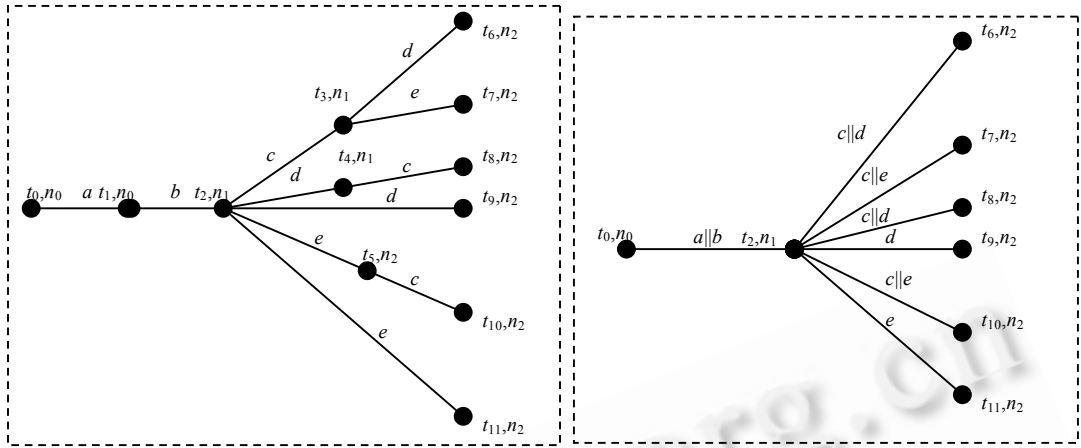


Fig.1 Micro-Time (left) and macro-time (right)

图1 微观时间(左)及其对应的宏观时间(右)

定义 2.3.  $\forall w \in W, w$  中所有路径的集合  $P_w$  与  $w$  一一对应,  $P_w = \{\rho | \rho$  为  $w$  中的路径 $\}$ , 称  $w'$  为  $w$  的子世界, 记作  $w' \subseteq_w w$ , iff  $P_{w'} \subseteq P_w$ .

设变量指派  $V: Var \rightarrow U, V_{\tau \rightarrow d}$  与  $V$  的惟一区别在于将  $\tau$  指派为  $d$ . 函数  $i$  用于解释个体词, 当  $\tau$  为常量时,  $i(\tau) = C(\tau)$ , 当  $\tau$  为变量时,  $i(\tau) = V(\tau)$ .

对于模型  $M$ , 变量指派  $V$ , 可能世界  $w$  及宏观时间点  $t$ , 状态公式的语义解释为

$$\langle M, V, w, t \rangle \models q(\tau_1, \dots, \tau_n) \text{ iff } (i(\tau_1), \dots, i(\tau_n)) \in \pi(q, w, t);$$

$$\langle M, V, w, t \rangle \models \neg \phi \text{ iff } \langle M, V, w, t \rangle \not\models \phi;$$

$$\langle M, V, w, t \rangle \models \phi \vee \phi' \text{ iff } \langle M, V, w, t \rangle \models \phi \text{ 或 } \langle M, V, w, t \rangle \models \phi';$$

$$\langle M, V, w, t \rangle \models \exists \tau, \phi \text{ iff } \exists d \in U, \langle M, V_{\tau \rightarrow d}, w, t \rangle \models \phi.$$

对于模型  $M$ , 变量指派  $V$ , 可能世界  $w$  及宏观时间点  $t$ , 路径公式的语义为

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi \text{ iff } \langle M, V, w, t \rangle \models \phi, \phi \text{ 为状态公式};$$

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \neg \phi \text{ iff } \langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \not\models \phi;$$

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi \vee \phi' \text{ iff } \langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi \text{ 或 } \langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi';$$

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \exists \tau, \phi \text{ iff } \exists d \in U, \langle M, V_{\tau \rightarrow d}, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi;$$

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models O\phi \text{ iff 对 } t' \in \rho_{w,t} \cap ET, t <_M t', \langle M, V, \rho_{w,t}, t' \rangle \models \phi;$$

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \Diamond\phi \text{ iff 对 } \exists t' \in \rho_{w,t} \cap ET, t < t', \langle M, V, \rho_{w,t}, t' \rangle \models \phi;$$

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi \cup \phi' \text{ iff } \exists t' \in \rho_{w,t} \cap ET, t \leq t', \langle M, V, \rho_{w,t}, t' \rangle \models \phi'. \text{ 并且, } \forall t'' \in \rho_{w,t} \cap ET, t \leq t'' < t', \langle M, V, \rho_{w,t}, t'' \rangle \not\models \phi;$$

$$\langle M, V, w, t \rangle \models E\phi \text{ iff } \exists \rho_{w,t}, \langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \phi.$$

设  $a, b$  为原子动作个体词,  $p_1, p_2$  为动作表达式,  $agt_1, agt_2$  为 Agent 个体词. 因所有动作表达式都可等价转化为标准并行形式, 所以对于  $\parallel$  只需给出其对于原子表达式的语义.

$\langle M, V, w, t \rangle \models \text{done}(agt_1 a)$  iff  $\exists t', t_1, t_2$ , 使得  $t' <_M t, t' \leq t_1 < t', t' < t_2 \leq t$ , 且  $t_1 < t_2, Act(t_1, t_2) = (i(agt_1) i(a))$ . 即动作  $a$  发生在前一宏观时间点和当前时间点之间的微观时间段中, 施动者为  $agt_1$ .

$\langle M, V, w, t \rangle \models \text{done}(agt_1 a) \parallel (agt_2 b)$  iff  $\langle M, V, w, t \rangle \models \text{done}(agt_1 a)$  且  $\langle M, V, w, t \rangle \models \text{done}(agt_2 b)$ , 即这里刻画的交叠式并发是指同一宏观时间内的微观时间段上的动作.

$$\langle M, V, w, t \rangle \models \text{done } p_1; p_2 \text{ iff } \exists t' \in ET \text{ 且 } t' < t, \langle M, V, w, t' \rangle \models \text{done } p_1 \text{ 且 } \langle M, V, w, t \rangle \models \text{done } p_2.$$

$$\langle M, V, w, t \rangle \models \text{done } p_1 \parallel p_2 \text{ iff } \langle M, V, w, t \rangle \models \text{done } p_1 \text{ 或 } \langle M, V, w, t \rangle \models \text{done } p_2.$$

$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \text{does}(agt_1 a)$  iff  $\exists t', t_1, t_2$ , 使得  $t' \in \rho_{w,t}, t <_M t'$ , 且  $t \leq t_1 < t', t < t_2 \leq t', t_1 < t_2$ , 有  $Act(t_1, t_2) = (i(agt_1) i(a))$  成立. 即动作  $a$  必然发生在该路径中当前宏观时间点和下一时间点之间的微观时间段中, 施动者为  $agt_1$ .

$$\langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \text{does}(agt_1 a) \parallel (agt_2 b) \text{ iff } \langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \text{does}(agt_1 a) \text{ 且 } \langle M, V, \rho_{w,t}, t \rangle \models \text{does}(agt_2 b).$$

$\langle M, V, \rho_{w,t} \rangle \models (\text{does } p_1; p_2)$  iff  $\exists t' \in \rho_{w,t} \cap ET$  且  $t < t', \langle M, V, \rho_{w,t'} \rangle \models (\text{does } p_1)$  且  $\langle M, V, \rho_{w,t'} \rangle \models (\text{does } p_2)$ .

$\langle M, V, \rho_{w,t} \rangle \models (\text{does } p_1 | p_2)$  iff  $\langle M, V, \rho_{w,t} \rangle \models (\text{done } p_1)$  或  $\langle M, V, \rho_{w,t} \rangle \models (\text{done } p_2)$ .

模态算子的语义为

$\langle M, V, w, t \rangle \models (\text{BEL } x \ \varphi)$  iff  $\forall w' \in Rb(x, w, t), \langle M, V, w', t \rangle \models \varphi$ ;

$\langle M, V, w, t \rangle \models (\text{DES } x \ \varphi)$  iff  $\forall w' \in Rd(x, w, t), \langle M, V, w', t \rangle \models \varphi$ ;

$\langle M, V, w, t \rangle \models (\text{INT } x \ \varphi)$  iff  $\forall w' \in Ri(x, w, t), \langle M, V, w', t \rangle \models \varphi$ ,

其中  $t'$  是  $w'$  中与  $t$  对应的宏观时间点.

模型中的原子动作都在一个微观时间单位内完成,不存在持续动作.对于持续动作,有两种处理办法,一种是分解为在各个时间段内执行的多个原子动作,另一种是用一对互补的原子动作来表示持续动作的开始和结束.

### 3 模型基本性质

**公理 3.1.** 信念-目标相容.  $(\text{DES } agt \ p) \Rightarrow \neg(\text{BEL } agt \neg p)$ .

**约束 3.1.**  $\forall w' \in Rd(agt, w, n), \exists w'' \in Rb(agt, w, n)$ , 使得  $w' \subseteq_w w''$ .

**公理 3.2.** 愿望-意图相容.  $(\text{INT } agt \ p) \Rightarrow (\text{DES } agt \ p)$ .

**约束 3.2.**  $\forall w' \in Rd(agt, w, n), \exists w'' \in Ri(agt, w, n)$ , 使得  $w'' \subseteq_w w'$ .

**推论 3.1.** 信念-意图相容.  $(\text{INT } agt \ p) \Rightarrow \neg(\text{BEL } agt \neg p)$ .

信念-愿望-意图的这种约束关系,避免了文献[2]中  $(\text{DES } agt \ p) \Rightarrow (\text{BEL } agt \ p)$  的过强约束,同时又保证了意图是针对愿望的主动行为这一特性.文献[2]中对于信念-愿望的强约束条件在大部分情况下是不合适的.如在篮球比赛中,投篮者并不确信其必然命中,如果遵循文献[2]中提到的约束,则队员不会把投篮命中当作目标,因而也不会有投篮意图和动作.

**公理 3.3.**  $\text{INT}(agt_t, \text{does}(agt_t, act_1)) \Rightarrow (\text{does}(agt_t \ act_1))$ .

**推论 3.2.**

$\text{INT}(agt_1, \text{does}(agt_1, act_1)) \wedge, \dots, \wedge \text{INT}(agt_n, \text{does}(agt_n, act_n)) \Rightarrow (\text{does}(agt_1 \ act_1) ||, \dots, || (agt_n, act_n))$ .

**公理 3.4.**  $\text{done}(agt, act) \Rightarrow (\text{BEL } agt \ \text{done}(agt \ act))$ .

公理 3.3 表示 Agent 会因其意图的动作采取行动.公理 3.4 表示 Agent 相信自己所做的动作.与文献[2]中  $\text{done}(agt_1, act) \Rightarrow (\text{BEL } agt_2 \ \text{done}(agt_1 \ act))$  所刻画的无限感知能力不同,公理 3.4 更加符合直观和资源有限的情形.这样,Agent 对其他 Agent 的历史动作可能不具备完全信息,因此在 Agent 的信念可达世界中,其线性历史可能不同.

下面两条公理与文献[2]相同.

**公理 3.5.** 愿望的自省.  $(\text{DES } agt \ \varphi) \Rightarrow (\text{BEL } agt (\text{DES } agt \ \varphi))$ .

**约束 3.5.**  $\forall w' \in Rb(agt, w, t)$  和  $\forall w'' \in Rd(agt, w, t)$  有  $w'' \in Rd(agt, w', t)$ .

**公理 3.6.** 意图的自省.  $(\text{INT } agt \ \varphi) \Rightarrow (\text{BEL } agt (\text{INT } agt \ \varphi))$ .

**约束 3.6.**  $\forall w' \in Rb(agt, w, t)$  和  $\forall w'' \in Ri(agt, w, t)$  有  $w'' \in Rb(agt, w', t)$ .

### 4 举例分析

以  $2 \times 2$  Agent 篮球赛为背景,其中进攻方为  $agt_a, agt_b$ , 目标  $\varphi_{ab}$  是投篮命中;防守方为  $agt_c, agt_d$ , 目标  $\varphi_{cd}$  为抢断.局势如图 2 所示,在前一时刻  $t_0$ ,  $agt_a$  做了往左突破的假动作.当前时刻  $t_1$ ,  $agt_a, agt_b, agt_c$  和  $agt_d$  的意图分别为  $act_a$ (投篮)、 $act_b$ (占据篮下有利位置以抢篮板)、 $act_c$ (紧逼  $agt_b$ ) 和  $act_d$ (拦截  $agt_a$  的假突破),同时,  $agt_a$  并不确信投篮必然命中(否则  $agt_b$  不必去意图抢篮板),但确信  $agt_b$  将会去抢篮板,从而使子目标  $\varphi_s(agt_a, agt_b)$  方保持进攻成立.

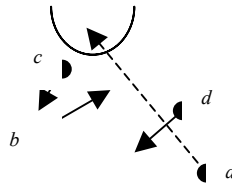


Fig.2 2×2 rival  
图 2 2×2 对抗

为表示这一局势,在文献[2]的模型中,以公理 3.1 取代文献[2]中的相应公理,使  $agt_a$  能够在不确信投篮必然命中的情形下也能以投篮为目标;文献[2]中每个时间点只有一个 Agent 能够动作,因此必须指定各 Agent 的执行顺序;假定  $t_1$  时刻只有  $agt_a$  能执行动作即投篮,并且未命中,则  $t_2$  时刻,  $c$  和  $d$  都会将自身意图修改为抢篮板。这样,即便放宽约束公理和将并发动作串行化,文献[2]的模型也不能表示出指定的局势。

文献[11]的模型可以表示这一局势,但是对于动作没有定义并发算子,Agent 不能够作出存在相关并发动作的联合规划。例如,在  $t_0$  时刻,  $agt_a$  的意图是做假动作,然后于  $t_1$  时刻投篮,同时  $agt_b$  准备抢篮板,以达到保持进攻的子目标。在文献[11]中无法直接表示出这一思维状态,因为这里  $t_1$  时刻  $agt_a$  和  $agt_b$  的并发动作是相关的。

在本文所给出的模型中,对于局势的表示,有

$$\text{INT}(agt_a, \text{does}(agt_a, act_a)) \wedge, \dots, \wedge \text{INT}(agt_d, \text{does}(agt_d, act_d)) \Rightarrow (\text{does}(agt_a, act_a) ||, \dots, || (agt_d, act_d)).$$

对于  $agt_a$  在  $t_0$  时刻的意图,有  $\text{INT}(agt_a E(\text{does}(agt_a, act_a); (agt_a, act_a) || (agt_b, act_b)) \wedge \diamond \varphi_s)$ 。

## 5 结 语

本文针对 MAS 中各 Agent 并发动作的特点,给出了一个基于交叠式并发的 BDI-Agent 语义模型,通过宏观时间的微观时间结构来描述并发性。通过在 Agent 思维状态中表示出对于并发行为,为研究基于并发动作的多 Agent 合作和竞争提供了逻辑基础。

这种在统一框架下使用微观时间结构解释宏观时间中并发动作的方法也同样适用于微观结构为真并发的形式,从直观上来看,真并发更加符合实际,但在处理上会带来更多复杂性和不确定性。

## References:

- [1] Cohen P, Levesque H. Intention is choice with commitment. *Artificial Intelligence*, 1990,42(2-3):213~261.
- [2] Rao AS, Georgeff MP. Modeling rational agents within a BDI-architecture. In: Allen J, Fikes R, Sandewall E, eds. *Proceedings of the 2rd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1991. 473~484.
- [3] Hu SL, Shi CY. Agent-BDI logic. *Journal of Software*, 2000,11(10):1353~1360 (in Chinese with English Abstract).
- [4] Kang XQ, Shi CY. A BDI model for rational agents. *Journal of Software*, 1999,10(12):1268~1274 (in Chinese with English Abstract).
- [5] Haddadi AS. *Communication and Cooperation in Agent Systems*. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- [6] Ma GW, Xu JH, Shi CY. Modeling social agents in BDO logic. *Chinese Journal of Computers*, 2001,24(5): 521~528 (in Chinese with English Abstract).
- [7] Meyer JJC, van der Hoek W, van Linder B. A logical approach to the dynamics of commitments. *Artificial Intelligence*, 1999, 113(1,2):1~40.
- [8] Wooldridge M, Lomuscio A. Multi-Agent VSK logic. In: Ojeda-Aciego M, deGuzman IP, Brewka G, Pereira LM, eds. *Logics in Artificial Intelligence: European Workshop, JELIA 2000*. LNAI 1919, New York: Springer-Verlag, 2000. 300~312.
- [9] Schroeder M, Wagner G. Vivid agents: theory, architecture, and applications. *Journal for Applied Artificial Intelligence*, 2000,14(7):645~676.
- [10] Meyer JJC. *Dynamic logic for reasoning about actions and agents*. In: Minker J, ed. *Logic-Based Artificial Intelligence*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. 281~314.

- [11] Singh MP. Toward a model theory of actions: how Agents do it in branching time. Computational Intelligence, 1998,14(3): 287~305.
- [12] de Vries W, de Boer FS, van der Hoek W, ChMeyer JJ. A truly concurrent model for interacting agents. In: Yuan S-T, Yokoo M, eds. Intelligent Agents: Specification, Modeling, and Applications: the 4th Pacific Rim International Workshop on Multi-Agents (PRIMA 2001). LNAI 2132, New York: Springer-Verlag, 2001. 16~30.
- [13] Werner E. Logical foundations of distributed artificial intelligence. In: O'Hare GMP, Jennings NR, eds. Foundations of Distributed Artificial Intelligence. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996. 57~118.

#### 附中文参考文献:

- [3] 胡山立,石纯一. Agen-BDI 逻辑. 软件学报, 2000, 11(10): 1353~1360.
- [4] 康小强,石纯一. 一种理性 Agent 的 BDI 模型. 软件学报, 1999, 10(12): 1268~1274.
- [6] 马光伟,徐晋晖,石纯一. 社会 Agent 的 BDO 模型. 计算机学报, 2001, 24(5): 521~528.

## 第 20 届东方语言计算机处理国际学术会议(ICCPOL 2003)

### 征文通知

中国中文信息学会与国际中文计算机学会于 2003 年 8 月 3 日~6 日在沈阳市召开第 20 届东方语言计算机处理国际学术会议(The 20th International Conference on Computer Processing of Oriental Languages), 会议由东北大学承办。

#### 一、征文范围

计算语言学的理论研究; 汉语的词汇、句法和语义; 语料库建设、语料加工技术及基于语料库的语言分析技术; 汉语的文本分析与生成; 机器翻译系统、技术及评测方法; 文本智能检索、文本自动分类、文本过滤及自动文摘、文本挖掘、面向 WWW 服务及应用的 语言处理技术、语义 Web; 面向数字图书馆的语言处理技术; 文本图象分析及 OCR 后处理; 汉语语音识别与语音合成; 智能型汉字输入方法; 其他。

#### 二、来稿要求

来稿要求在理论或应用技术上确有新意、叙述清楚、行文流畅。来稿请在首页上标明“20thICCPOL 2003”。投稿请尽可能用电子版(PDF 格式或 WORD 格式), 以英文撰写的论文全文一般不超过 A4 页面 6 页。以中文撰写的论文全文不超过 8000 字, 每篇论文均应有中英文两种文字标题、作者、姓名、单位和不超过 200 字的摘要。中文及英文纸面来稿全文一式 3 份。作者请自留底稿, 会议概不退稿。大会录用的论文将收入有 出版书号的会议论文集。

#### 三、截稿日期

截稿日期: 2003 年 3 月 15 日(以邮戳为准)

录用通知发出日期: 2003 年 5 月 1 日。

作者提交的论文激光印刷版日期: 2003 年 6 月 1 日(以到达日期为准)

#### 四、联系方式

来稿邮寄地址: 清华大学计算机科学与技术系(邮编 100084) 陈群秀 收

电子版稿件发到: E-mail: iccpol2003@s1000e.cs.tsinghua.edu.cn

联系电话: 010-62781479