

# 多 agent 系统的一种交互策略模型\*

李毅 罗翊 石纯一

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

**摘要** 在多 agent 系统(MAS)中,通信交互是 agent 实现协作的主要途径.文章从语义层的角度对 agent 间通信交互过程进行分析,将 agent 的思维状态 BDI(belief, desire, intention)模型引入通信交互过程,提出一种交互策略模型,支持在基本交互行为之上的多种类型的协商交互,以解决 agent 间的感知、行动等方面的冲突.与以往的研究中的辩论协商等方法相比,该策略模型可以实现基于场景的灵活交互,更具实用性.

**关键词** 多 agent 系统,交互策略,思维状态,协作,协商.

**中图法分类号** TP18

以往对于多 agent 系统(MAS)中 Agent 交互的研究可分为通信机制和协商方法两个主要部分,但二者间缺乏联系,缺乏通用性.在 MAS 系统的设计中,若要使 agent 能从交换数据中获取语义信息,需对通信交互的内容与方式有新的理解.首先,通信不应是由协议决定的被动的行为,而是在通信所发生的场景中,一个 agent 要使另一个 agent 接受某种感知(belief)或某种意图(intention)的行为.对每次通信具体作出什么回答,应该由交互目标、对另一个 agent 的感知的了解和自身所拥有的各种感知和手段等来综合决定<sup>[1]</sup>.这样的交互模型可以适用于灵活的交互场景,并为基于目标需求(desire)的通信方式提供手段.其次,交互是按一定的次序来共享双方的感知、了解双方的意图(intention)、调整各自规划,以获取各自的优化解的过程.只要表达出感知、意图和规划调整的传递与询问,就可以表达出相当多的交互过程,其适用范围只受限于 agent 为达到其目的而采取交互行动的规划能力.基于这些考虑,本文提出了一种多 agent 系统交互策略模型.

## 1 通信交互作用的条件

### 1.1 通信的作用

一个 agent 对环境变化进行预测时,要考虑到其他 agent 的活动一般是不受自己控制,难于预测的.为了更好地预测环境变迁和增强自身的行动能力、实现自身需求,agent 间必须进行通信.通信能力不是理性 agent 的必要特性,是 agent 社会性的体现.通信动作也是一种特定的规划行动,是在完成 agent 需求的过程中预定进行的.从语义层来看,通信交互就是 agent 间思维状态的传递.

从 agent 间相互关系的角度看,通信的作用有:

- 预测:当 agent *a* 由通信得知 agent *b* 的感知后可以推断 agent *b* 的行动,尤其是当 agent *a* 得知 agent *b* 的意图和需求后,可以更直接地了解 agent *b* 将进行的动作.
- 控制:将 agent *a* 的规划中应由 agent *b* 完成的动作意图传给 agent *b*,agent *b* 若接受,则其行动将受到 agent *a* 规划的制约.agent *a* 在特定动作上控制了 agent *b*.

从 BDI 看,通信的作用有:

- 感知(belief):知识共享,扩大 agent 的观察范围、知识库容量、弥补单个 agent 推理能力的不足.

\* 本文研究得到国家自然科学基金资助.作者李毅,1974年生,博士生,主要研究领域为分布式人工智能.罗翊,1971年生,博士,讲师,主要研究领域为分布式人工智能.石纯一,1935年生,教授,博士生导师,主要研究领域为人工智能.

本文通讯联系人:李毅,北京 100084,清华大学计算机科学与技术系

本文 1998-03-05 收到原稿,1998-07-20 收到修改稿

• 需求(desire):了解其他 agent 的需求,从整体上预测某个 agent 的行动;采纳其他 agent 的需求,可以进行任务协作。

• 意图(intention):了解其他 agent 的意图,具体预测某个 agent 的行动;采纳其他 agent 的意图,可以进行规划协作(结果共享协作)。

## 1.2 通信的条件

通信的产生和完成必须有一定的客观条件,如通信载体的存在等因素。同时,通信中必须有进行信息交流的显式的意图存在。不管通信媒体是语言还是行动,发送者都知道自己的意图会被对方接收到,并将会利用这一点来进行自身的规划和行动。通信的接收方也必须有接收信息的需求存在。

通信也是两个 agent 之间发生的群体行为,不能仅由一个 agent 对信息发送就完全代表。通信的发生与实现,依赖于 agent 对世界中存在着类似于自己、遵循相同通信处理方式和思维方式的其他 agent 的感知。

单方面的信息获取仅仅是 agent 的观察行为,例如规划识别<sup>[2]</sup>。若 agent *a* 进行某动作造成的局势被另一个 agent 观察到,并据此进行协同,虽然它们之间有信息的传递并产生了协作的结果,但这对于发起行动的 *a* 而言完全不在其预测之中,对它的规划没有产生任何影响。因而在考虑 *a* 的思维状态变迁时,不将此看作通信行为,而只是意外事件,是需要对规划进行修正的因素。有趣的是,一旦这种单方面观察被另一方发觉,而故意提供特别的信息,则成为通信行为,是接收者不知道发送者是有意发送的通信。

有通信能力的 agent,在规划生成和执行过程中的通信行为应是自然触发的,由自己对其他 agent 的意图的要求而引起,发出合作请求的通讯行动是使此意图成立的前提事件。详细地说,需由发送方发出请求,并获得肯定答复后,此事件才具有肯定性,而在获得肯定答复前,只是假设。在通信协作事件的哪种真值下可以作进一步的推导,由 agent 的合作特性决定,一种是只由己方的发送行动确定意图为肯定值,并从此开始进行其他动作的规划;另一种是在观察到对方的肯定答复后,确定意图为肯定值,并开始进行其他动作的规划。

## 2 通信过程

现实世界中两个 agent 间通信的过程如下:

- (1) 发送方 sender 将自己的思想翻译成通信所用语言的格式;
- (2) sender 将语言格式加载到通信传播载体,如声音、文字和图像;
- (3) 传播载体到达接收方 receiver;
- (4) receiver 读取载体中的语言代码;
- (5) receiver 在思维空间中将语言代码按其格式翻译为思想,从而熟悉 sender 的思维状态。

在通信过程中涉及两类对象:参与通信的 agent 和传播载体 media。传播载体的行为由自然规则约束,它一旦离开发送方,就不再完全由发送方控制。在本文的 agent 世界模型中,将载体作为一种外在于 agent 的结构,agent 可以创建它、发送它,但不能完全控制它的传送,更不能控制它在到达接收方后所受到的处理。在动态开放环境中的通信,对发送方而言,其真正的通信行为仅限于对载体的处理。

agent 进行通信就是改变信息载体,将载体发送到接收 agent 的可观察环境中。采用这种通信观点可以拓展通信的形式,而不仅限于语言通信。例如,在默契式的协作中,协作双方并没有直接、明确的请求与应答,但在双方的行为中仍然有通信的动作。*a* 的行动显露出其行为意图,而 *b* 则从 *a* 的意图中进一步推断出 *a* 对 *b* 的期待。在这种过程中,通信交换的信息附着于 *b* 可以观察到的事件中,而通信的效果更多地来自于 *b* 对此信息的解释。从这种角度看,“没有通信的协作”中也是有通信的,不过所交换的不是直接的预言信息,而是隐含在各自行动中的信息内涵。对其他 agent 的规划大多来自于 *b* 对此信息的解释。从这种角度看,“没有通信的协作”中也是有通信的,不过所交换的不是直接的语言信息,而是隐含在各自行动中的信息内涵。对其他 agent 的规划识别显然属于此类通信。

### 2.1 信息发送

条件:agent *a* 知道有可以进行通信的 agent *b* 存在,知道 *b* 可以理解哪些语言或行为模式 *M*,有需要传递的

信息  $I^*$ .

- (1) 生成通信载体  $C=M(I^*)$ .  $C$  可能是一种语言实体,也可能是一组行动规划.
- (2) 若  $C$  是语言实体,将其发送的  $b$  的接收环境  $Rcv(b)$ .
- (3) 若  $C$  是行动规划,则按规划行动机制执行.
- (4) 在  $a$  的观察信息中记录信息  $I^*$  为 sent 状态.

### 2.2 信息接收

对接收者  $b$  而言,接收通信是它的观察活动的一部分.与通信发送相同,接收者先要知道有可以通信的 agent  $a$  存在、知道  $a$  所使用的语言或行动模式.接收方有一个接收环境  $Rcv(b)$ ,具有与  $b$  的思维状态不同的特点.交流时,通信载体来往于发、收方的环境之间,接收环境是其他 agent 可以直接影响或控制的(通过传播载体).接收环境间可以有重叠、共享,直至所有 agent 的接收环境都完全重叠.如在计算机网络中的总线结构就是完全共享的接收环境.任一结点机发给另一结点机的信息在同一网段内的机器实际上都可以获取.部分共享的接收环境的例子有共享存储区的多个 UNIX 进程.完全隔离的接收环境的例子有 UNIX 中的 IPC 通信的信箱方式.

可规定几种接收环境,以描述 agent 的通信接收结构.

接收环境:  $Rcv(a) = \{env\_elm \mid env\_elm \text{ 的状态变化都可以被 } a \text{ 观察到}\};$

全局接收环境:  $GRE(a) = \{env\_elm \mid env\_elm \in Rcv(a) \wedge \forall b, env\_elm \in Rcv(b)\};$

全局接收环境是所有 agent 共享的接收环境.发往全局环境中的信息将会被所有 agent 接收到.

群组接收环境:

$$TRE(a,TEAM) = \{env\_elm \mid env\_elm \in Rcv(a) \wedge \forall b \in TEAM, env\_elm \in Rcv(b)\}.$$

群组接收环境在某个群组内部共享,发往群组环境中的信息将会被群组内所有 agent 接收到,但不一定会被群组外的 agent 接收到.

群组独占接收环境:

$$TPRE(a,TEAM) = \{env\_elm \mid env\_elm \in Rcv(a) \wedge \forall b \in TEAM, env\_elm \in Rcv(b) \wedge \forall c \in TEAM, env\_elm \notin Rcv(c)\}.$$

群组独占接收环境在某个群组内部共享,发往群组环境中的信息将会被群组内所有 agent 接收到,但不会被群组外的 agent 接收到.

独占接收环境:

$$PRE(a) = \{env\_elm \mid env\_elm \in Rcv(a) \wedge \forall b, env\_elm \notin Rcv(b)\}.$$

独占接收环境是 agent 的私有接收区,不能被其他 agent 访问.

在 MAS 中,这 4 类接收环境的集合决定了系统的通信拓扑中接收侧的结构.

例如:

$$Rcv(a) = GRE(a),$$

$$Rcv(b) = GRE(b) \cup TRE(b, \{b, d\}) = GRE(a) \cup TRE(b, \{b, d\}),$$

$$Rcv(c) = GRE(c) \cup TRE(c, \{c, d\}) = GRE(a) \cup TRE(c, \{c, d\}),$$

$$Rcv(d) = GRE(d) \cup TRE(d, \{b, d\}) \cup TRE(d, \{c, d\}) \cup PRE(d) = GRE(a) \cup TRE(d, \{b, d\}) \cup TRE(d, \{c, d\}) \cup PRE(d),$$

则  $a, b, c, d$  的接收范围如图 1 所示.  $d$  有最大的接收范围.

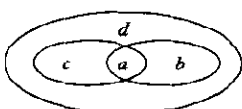


图1 agent接收环境示意图

对于通信发送方而言,即使其发送环境与接收方的接收环境不重叠,通信载体也可以在环境中移动.因此可以假定在  $a$  知道  $b$  的存在和  $b$  的某部分接收环境元素时,就可以把信息发送到  $b$  的环境中.在任一时刻,系统中各 agent 关于其他 agent 的存在及接收环境元素的信息就决定了系统通信拓扑图在发送侧的结构,而接收环境的共享情况决定了接收侧的结构.它们共同决定了系统

通信结构,即信息可以传递给哪些 agent、发给某个 agent 的哪些信息可以同时被哪些 agent 收到。

我们认为这样的通信概念作为 MAS 通信基础是较灵活的,而且可以支持各种组织类型。

接收过程:已知  $a$  存在且  $a$  可用模式  $M$ , 有环境  $Rcv(b)$ 。

(1) 观察  $Rcv(b)$  中是否有新的传输载体  $C$  出现。

(2) 若有载体  $C \in Rcv(b)$ , 则进行转译:选择合适的模式  $M$ ; 译出信息含义  $I^* = M^{-1}(C)$ 。

(3) 在观察信知中加入  $Send(a, t, I^*)$ 。

(4) 根据对发送者的信任函数  $Trust(b, a)$  决定是否将  $I^*$  加入观察信知。

### 2.3 通信的代价

通信的代价是指发送方便接收方接受自己的信知或意图所付出的效用。

在通信过程中,存在着接收与接受两个阶段,通信的直接结果是接受者知道其他 agent 的信知,但这并不等于 agent 采纳此信知。agent 如何根据其他 agent 的信知和意图来修改自己的信知和意图就决定了 agent 的社会行为方式:

$a$  对  $b$  完全信任  $TRUST(a, b)$  iff  $BEL(a, t, BEL(b, t, prop)) \supset BEL(a, t, prop)$ 。

$a$  对  $b$  完全服从  $OBEY(a, b)$  iff  $BEL(a, t, INT(b, t, prop)) \supset INT(a, t, prop)$ 。

一般而言,agent 将根据一定的标准来决定信知和意图采纳。

通信代价由接收代价和接受代价构成。接收代价取决于通信载体的形式、在特定载体下的信道质量和通信量。为降低接收代价,可以进行通信数据压缩。接受代价取决于通信双方的信任程度以及接收方对通信载体所含信息的理解程度,即信息转译中的失真度。为了降低接受代价,可以采用多样化的通信载体形式,以提高接收方可能的理解程度。

## 3 通信内容与合作策略

按 agent 的思维状态划分,通信内容可以分为信知和需求两个基本类型。

### 3.1 信知传递

信知的传递在一般情况下是 agent 间的一种互助行为,因为当发送者将某条信知发送给另一个 agent  $a$  时,实际上就扩展了接收者  $a$  的观察能力和范围,对  $a$  的活动会起到支持与帮助作用。在某些情况下,尤其是发送出的信知与接收方的信知具有逻辑冲突时,信知的传递就成为双方辩论过程的一部分(如 due process<sup>[3]</sup>),是为了改变另一方的信知,并进而改变其行动方案 and 意图等。信知传递对 agent 行为的影响是间接的、不明显的,但在多 agent 群体的演化中却起着重要的作用。

### 3.2 意图传递

意图的传递对 agent 行为具有直接的影响,可用来进行 agent 间的行为协调。意图在 agent 思维状态中表达为期望中的世界状态,具有与观察信知相同的表达方式,可以与信知一样地进行传递。意图传递到某 agent  $a$  后,  $a$  应决定是否将其作为自己的意图并着手进行规划和行动。

从自主 agent 的自利原则出发,agent 采纳其他 agent 的意图应有助于提高自己的效用。在 agent 以何种标准选择可接受的意图上会有多种选择。

agent 采纳其他 agent 意图的标准,最简单的是无条件接受,这是 DPS(distributed problem solving)协作型 agent 的风格。可表达为  $Accept(a, desire\_sent) = TRUE$ 。在层次型组织结构中,agent 之间划分出类别,下属 agent 听从上级 agent 的任务指派。此时有  $accept(a, desire\_sent) = True, if Priority(sender(desire\_sent)) > Priority(a)$ 。在合同式协作中,对每个任务都有相应的报酬  $Pay$ ,而 agent 是否接受一个任务则由报酬和消耗的差别而定。 $accept(a, desire\_sent) = True, iff Pay(desire\_sent) > Cost(Execute(desire\_sent))$ 。在有多个意图可以选择接受时,则选取  $Pay-Cost$  的最大值所对应的意图。

### 3.3 合作规划

在一个 agent  $a$  的规划过程中,可以假定由其他 agent 完成部分行动。按  $a$  的推理,这些行动与  $a$  所预期的未

来状态相结合,可以生成  $a$  所意图达到的状态,为完成到达目标的规划提供条件.这种行动一般是 agent 自身由于在时间、空间上的冲突而无法完成,或是根本缺乏此类行为能力,或是由自己完成要花费比其他 agent 更高的代价,或者仅仅是自己所不愿进行的行动. agent 应对其他 agent 所能、所愿进行的活动的类别有若干信知,在此信知范围内假定其他 agent 的活动.

根据信知假设其他 agent 的可能活动的策略有:

(1) 只有信知中有规定,才能假定它会进行行动.这种方案减少了以后的 agent 交互,但要求 agent 对环境其他 agent 的状况有较多的了解,适用于相对比较稳定的 MAS;

(2) 除了信知中明确规定不可进行的行动以外,其他行动都可以被假定.这种方案不要求 agent 对环境其他的 agent 有太多的了解,较为灵活,但会造成 agent 之间为确定合适的行为而多次交互.

这两种策略可以混合使用,如优先使用已有规定的行动,在已有规定的行动无法解决问题时再采用策略(2).

若 agent 之间共享信息全面且及时,那么,一个 agent 可以了解另一个 agent 的可能行为和偏好,从而提出另一个 agent 有能力,也愿意执行的协作行动,使规划具有较高的可执行性,经过很少的交互即可转化为意图,开始执行.由于信息共享需要耗费资源,所以需要在信息共享代价和协商代价之间进行均衡,以减少总体代价和满足 agent 行为特性的要求.

生成规划后, agent 将合作规划加入意图集的条件有两种<sup>[4]</sup>:

- (1) 只要规划整体成立就加入意图集,这是权威式的合作;
- (2) 要与相关 agent 进行通信,在获得肯定答复后才加入意图集,这是协商式的合作.

#### 4 交互模型

规定两个基本通信行为:

- (1) 信知传递  $COMM(t, a, b, prop)$ :  $a$  向  $b$  声明  $a$  相信  $prop$  成立.
- (2) 行动请求  $REQ\_COMM(t, a, b, action)$ :  $a$  请求  $b$  执行  $action$  规定的动作.

基于这两个基本通信行为,可定义 agent 的基本交互反应,即交互目的与行为的对应关系.在以下描述中,  $SURE$  表示肯定信知,  $ASUM$  表示假设信知,  $WILL$  表示必然信知,  $POSS$  表示可能信知.

##### 4.1 基本交互反应

在一次基本交互过程中  $a$  向  $b$  发出信知传递消息:  $a \rightarrow b: COMM(t, a, b, msg)$ ,  $b$  对一次通信请求的可能回应为:

- (1) 当  $msg = SURE(a, t, prop)$ , 即  $a$  相信  $prop$  已真时:  $b \rightarrow a: COMM(t2, b, a, resp)$ .
  - (1.1)  $b$  接受  $prop$ :  $resp = SURE(b, t2, prop)$ .
  - (1.2)  $b$  不接受  $prop$ :  $resp = \neg SURE((b, t2, prop) | \{optional: (给出与  $prop$  有冲突的信知)  $SURE(b, t2, cont-prop) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE\})$ .$
- (2) 当  $msg = ASUM(a, t, prop)$ , 即  $a$  假设  $prop$  已真时:  $b \rightarrow a: COMM(t2, b, a, resp)$ .
  - (2.1)  $b$  接受  $prop$ :  $resp = ASUM(b, t2, prop)$ .
  - (2.2)  $b$  不接受  $prop$ :  $resp = \neg ASUM((b, t2, prop) | \{optional: (给出与  $prop$  有冲突的信知)  $(SURE(b, t2, cont-prop) \vee ASUM(b, t2, cont-prop)) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE\})$ .$
- (3) 当  $msg = WILL(a, t, prop)$ , 即  $a$  认为  $prop$  为真时:  $b \rightarrow a: COMM(t2, b, a, resp)$ .
  - (3.1)  $b$  接受  $prop$ , 且  $t2 < Time(prop)$ :  $resp = WILL(b, t2, prop)$ .
  - (3.2)  $b$  接受  $prop$ , 且  $t2 \geq Time(prop)$ :  $resp = SURE(b, t2, prop)$ .
  - (3.3)  $b$  不接受  $prop$ , 且  $t2 < Time(prop)$ :  $resp = WILL(b, t2, \neg prop) | \{optional: (给出与  $prop$  有冲突的信知)  $(WILL(b, t2, cont-prop) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE\})$ .$
  - (3.4)  $b$  不接受  $prop$ , 且  $t2 \geq Time(prop)$ :  $resp = SURE(b, t2, \neg prop) | \{optional: (给出与  $prop$  有冲突的信知)  $(WILL(b, t2, cont-prop) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE\})$ .$

知) ( $SURE(b, t2, cont-prop) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE$ ).

(4) 当  $msg = POSS(a, t, prop)$ , 即  $a$  认为  $prop$  可能为真时:  $b \rightarrow a: COMM(t2, b, a, resp)$ .

(4.1)  $b$  接受  $prop$ , 且  $t2 < Time(prop)$ :  $resp = POSS(b, t2, prop)$ .

(4.2)  $b$  接受  $prop$ , 且  $t2 \geq Time(prop)$ :  $resp = SURE(b, t2, prop)$ .

(4.3)  $b$  不接受  $prop$ , 且  $t2 < Time(prop)$ :  $resp = WILL(b, t2, \neg prop) | \{optional: (给出与  $prop$  有冲突的信息) ( $WILL(b, t2, cont-prop) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE$ )$ .

(4.4)  $b$  不接受  $prop$ , 且  $t2 \geq Time(prop)$ :  $resp = SURE(b, t2, \neg prop) | \{optional: (给出与  $prop$  有冲突的信息) ( $SURE(b, t2, cont-prop) \wedge Infer(prop, cont-prop) = FALSE$ )$ .

对于其他类型的消息的回应, 可作类似处理.

在具体的交互场景中, 系统将根据当时的目标来执行相应的动作. 而交互过程不仅是对接收到消息的直接反应, 更主要的是实现自己的意图, 改变其他 agent 的信知、意图等. 因此, 交互应在基本交互策略的指导下进行.

#### 4.2 基本交互策略

交互过程在特定的上下文中进行, 对一条信息的回应要根据交互目的、上次发出的信息、对方回应信息和关于对方的信知而作出.

以下是  $a$  发起交互并收到  $b$  的应答后, 对于  $b$  的信息的回应策略.

(1)  $a$  的目的: 使  $b$  接受信知  $prop$ .

(1.1)  $b$  的回应: 接受, 则此次交互结束.

(1.2)  $b$  的回应: 拒绝, 分情形:

(1.2.1) 回应无原因, 要求回答原因:  $REQ-COMM(t, a, b, COMM(t1, b, a, reason) \wedge Infer(reason) \supset \neg BEL(t, b, prop)$ );

(1.2.2)  $b$  回应有原因  $reason$ , 则  $a$  判断是否有  $BEL(a, t, reason)$ ,

(1.2.2.1) 若  $\neg BEL(a, t, reason)$ , 则  $COMM(t, a, b, \neg BEL(a, t, reason) | option)$ ,

(1.2.2.2) 若  $BEL(a, t, reason)$ , 但  $Infer(reason, 以前回应的  $reason$ ) \supset prop$ , 则  $COMM(t, a, b, BEL(a, t, antireas) | Infer(antireas, reason) = prop)$ ,

(1.2.2.3) 若  $BEL(a, t, reason)$  且  $(Infer(reason, 以前回应的  $reason$ ) \supset prop)$ , 则

• 若认为  $reason$  细节不够, 则要求传送更多信息:

$$REQ-COMM(t, a, b, COMM(t1, b, a, X | X \supset reason)),$$

• 否则对  $prop$  和  $reason$  进行一致性检查, 决定撤销其中的一个.

(2)  $a$  的目的: 以一定条件  $cond$  使  $b$  准备执行  $action$ . 这是行为协商过程.

(2.1)  $b$  的回应: 接受, 则根据请求条件确定是否要求  $b$  执行  $action$ .

(2.2)  $b$  的回应: 拒绝, 分情形:

(2.2.1)  $b$  回应无原因, 则要求回答原因:  $REQ-COMM(t, a, b, COMM(t1, b, a, reason) \wedge Infer(reason) \supset \neg INT(t, b, action)$ );

(2.2.2)  $b$  回应有原因  $reason$ , 则  $a$  判断是否有  $BEL(a, t, reason)$ ,

(2.2.2.1) 若  $\neg BEL(a, t, reason)$ , 则  $COMM(t, a, b, \neg BEL(a, t, reason) | option)$ ,

(2.2.2.2) 若  $BEL(a, t, reason)$ , 但  $\neg (Infer(reason, 以前回应的  $reason$ ) \supset \neg INT(b, t, action))$ , 则  $COMM(t, a, b, BEL(a, t, antireason) | \neg (Infer(reason, 以前回应的  $reason$ ) \supset \neg INT(b, t, action))$ ,

(2.2.2.3) 若  $BEL(a, t, reason)$  且  $Infer(reason, 以前回应的  $reason$ ) \supset \neg INT(b, t, action)$ , 则

• 若认为  $reason$  细节不够, 则要求传送更多信息:

$REQ\_COMM(t, a, b, COMM(t1, b, a, X | X \supset reason)),$

• 否则判断是否放弃 *action*;

\* 己方放弃,  $COMM(t, a, b, \neg Int(b, t1, action))$ . 此时应分清是  $\neg INT(b, t, action)$  还是  $INT(b, t, world | Infer(action, world) = FALSE)$ , 对于后者, 要深入协商, 让 *b* 放弃 *world* 的意图, 或自己放弃含有 *action* 的规划;

\* 己方修正, 寻找可以替代 *action* 且不与 *reason* 冲突的其他动作, 记录为 *action'*, 发  $REQ\_COMM(t, a, b, action')$ ;

\* 己方更换条件: 寻找新的条件 *cond'*, 使  $\neg (cond' \wedge reason \supset \neg INT(b, t, action))$ , 重发  $REQ\_COMM(t, a, b, action | cond')$ .

### 5 结 语

本文从 agent 思维状态模型的角度对 agent 间通信交互的作用、条件和过程进行了讨论, 并提出了一种灵活的基于场景的交互策略.

策略 1 的多次运用, 最后总会归结到某几点基本信知, 或为先验信知, 或为观察结果. 先验信知的差异只能依靠系统外的控制因素调整, 而观察结果的差异则可根据各自的观察手段、角度等来作综合分析, 以获得全面的正确结果, 并根据此结果来修正各自的逻辑结论.

策略 2 中具有补偿环节, 因为行为要消耗资源, 需要作出补偿. 或者是因为某些因素不具备, 而使对方执行某个行动有困难, 而由乙方消除这些障碍则可以促使对方执行该行动.

以上基本交互策略的综合运用, 可以生成各种交互协议.

对通用协商交互机制的研究有辩论协商<sup>[5]</sup>, 着重于生成和评估提议的基本机制, 而具体的知识则是可变的. 辩论协商强调推理过程, 但没有提出交互策略. 本文的工作与其是互补的.

### 参考文献

- 1 Haddadi A, Sundermeyer K. Belief-Desire-Intention agent architectures. In: O'Hare G M P, Jennings N R eds. Foundations of distributed artificial intelligence. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996. 169~185
- 2 Rao A S, Murray G. Multi-agent mental-state recognition and its application to air-combat modelling. In: Lesser V R ed. Proceedings of the 13th International Workshop on Distributed Artificial Intelligence. Seattle, WA, 1994. 283~304
- 3 Hewitt C. Open information system semantics for distributed artificial intelligence. Artificial Intelligence, 1991, (47): 79~106
- 4 Dunin-Keplicz B, Verbrugge R. Collective commitments. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-agent System. Tokyo, 1996. 56~63
- 5 Parsons S, Jennings N R. Negotiation through argumentation—a preliminary report. In: Lesser V R ed. Proceedings of the International Conference on Multi-agent System. Tokyo, 1996. 267~274

## An Interactive Strategy Model of Multi-agent System

LI Yi LUO Yi SHI Chun-yi

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

**Abstract** Interactive communication is the main method to realize cooperation in multi-agent systems. In this paper, from the semantic perspective, the authors investigate the interactive communication procedure of multi-agent systems and incorporate the BDI (belief, desire, intention) model, the agent's mental state mode, into the interactive communication procedure. They present a model concerning the interactive strategy, which supports a variety of arranging interaction on basic interactive action to solve the conflicts of desires or intentions among agents. Compared with former other researches, such as negotiation through argumentation method, this strategy model can realize the flexible interactive communication based on different scenarios, and it is more practical.

**Key words** Multi-agent system, interactive strategy, mental state, cooperation, negotiation.