

# 弱信念 Agent 的知识交互模型<sup>\*</sup>

张宏斌

(苏州大学信息管理系 苏州 215006) (华中科技大学系统工程所 武汉 430074)

**摘要** Agent 在弱信念知识形态下不能产生明确任务目标,也不能产生准确的目标意图规划行为。为了解决这一问题,本文提出在动态任务联盟中通过知识交互进行信念调整的方法,进行了相应的形式化描述,并对在知识交互过程中可能出现的信念冲突情况进行了讨论。

**关键词** 弱信念, BDI 模型, 任务联盟, 知识交互

## Model of Knowledge Interaction for Short-Belief Agent with Others

ZHANG Hong-Bin

(Dept of Information Management of Soochow University, Suzhou 215006) (Institute of Systems Engineering of HUST, Wuhan 430074)

**Abstract** Short-Belief Agent will not stir unambiguous task objective, and at the same time will not produce veracious planning behavior of intention. For solving it, a knowledge interactive process to adjust short-belief agent is presented to obtain more explicit objective, and a formal model is depicted with MAL accordingly. Finally, it is discussed that the situation of a belief collision between short-belief agent and the other when occurring in the process of knowledge interaction.

**Keywords** Short-belief, BDI model, Task league, Knowledge interaction

### 1 前提

通常认为,发生交互作用的 Agent 在进行任务目标规划时,应具有完整明确的信念、愿望、意图,并且三者满足 BDI 一致性公理<sup>[1,2]</sup>。但这只是一种理想化的表述,实际中可能出现这样的情形:比如,在多 Agent 任务联盟中,某一 Agent 出现信念缺失(知识库容量不足所致),不能产生明确完整任务目标,从而也不能产生准确的目标意图的规划行为。这里,任务联盟含义是指在相同知识领域中,各个成员的数据和知识需要进行交换,以进行信念的修正,确保各个 Agent 任务目标的实现。

**定义 1** 任务目标 用  $\varphi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m\}$  代表 Agent 系统将要实现的目标,  $\varphi_i (1 \leq i \leq m)$  表示目标状态分量。如果现实对象世界为  $W = \{W_1, W_2, \dots\}$ ,  $w \in W$ , 则现实世界到目标世界的映射表示为:

$$K: (W^*) \rightarrow \varphi \quad (1)$$

$K$  表示知识规则,  $W^*$  表示  $W$  的幂集。

**定义 2** 目标函数  $Ag: \varphi^* \rightarrow \{True, False\}$ , 其中  $\varphi^*$  表示  $\varphi$  的幂集。

$$\text{策略函数 } S: (\varphi^* \times Ag^*) \rightarrow \gamma^* \quad (2)$$

$\gamma$  是 Agent 的外部表现,是针对目标意图的离散规划行为。 $\gamma^*$  是  $\gamma$  的幂集。

如果 Agent 表现信念缺失(记为 Agent a),可以表示为

$$\bar{K}: (W^*) \rightarrow \bar{\varphi} \quad (3)$$

$\bar{K}$  表示由于信念缺失所产生的知识规则;  $\bar{\varphi}$  表示不确定任务目标。

Agent a 的 BDI 模型用 MAL (Multi-Agent Language) 进行描述。

**定义 3** Agent a 的 BDI 模型描述

(1) 信念 (Belief):  $BEL_{\bar{K}}(a, \varphi, \bar{\varphi})$

Agent a 接受用户 A 提交的初始查询目标  $\varphi_i$  (关键词)。

在知识规则  $\bar{K}$  下,获得 Agent a 从  $\varphi_i$  出发使  $\bar{\varphi}$  成立的信念,即

$$BEL_{\bar{K}}(a, \varphi_i \Rightarrow \bar{\varphi}) \wedge BEL_{\bar{K}}(a, \varphi_i) \Rightarrow BEL_{\bar{K}}(a, \varphi_i, \bar{\varphi}) \quad (4)$$

(2) 愿望 (Desire) 或目标 (Goal):  $DES_{\bar{K}}(a, AS(\varphi_i \cup \bar{\varphi}))$

在知识规则  $\bar{K}$  下,假设存在一条从  $\varphi_i$  到  $\bar{\varphi}$  愿望可达的路径,可以获得 Agent a 从  $\varphi_i$  出发使  $\bar{\varphi}$  成立的愿望(目标)。

(3) 意图 (Intention):  $INT_{\bar{K}}(a, AF(J\_ACHIEVED(\varphi_i, \gamma, \bar{\varphi})))$  (5)

Agent a 在  $\varphi_i$  成立的前提下,与其它 Agent 共同完成规划  $\gamma$  执行使得  $\bar{\varphi}$  成立的意图。J-ACHIEVED 表示规划算子。

在相同的知识规则  $\bar{K}$  下,仍然满足 BEL, DES 和 INTEND 关系公理 (Haddadi, 1996)。

### 2 任务联盟中知识交互活动

任务联盟的特点在于:任务联盟可以根据任务类型、实现情况进行动态生成、分组、更改和解散;可以屏蔽各个 Agent 软硬件异构性,支持信息和知识的互操作;联盟内部各个 Agent 独立、自主维护;在某一阶段建立的任务联盟中的各个成员应归属相同的知识领域,如图 1 所示。

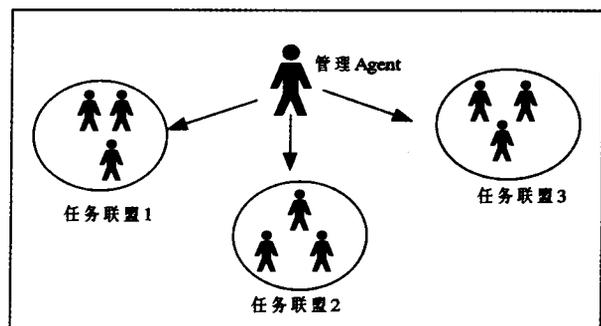


图 1 任务联盟示意图

<sup>\*</sup> 本文得到国家档案局科技基金的资助(编号:2001-x-04)。张宏斌 讲师,博士,研究方向:智能决策支持系统。

在图1中,管理者 Agent 的作用是对任务流进行分组,动态生成相应不同的任务联盟,并派出任务联盟的管理者(盟主)对任务联盟交互活动进行监督和管理。作为任务盟主 Agent,还有一个重要任务,就是要为各个成员目标规划提供相关的知识背景。在这种情形下,任务盟主 Agent 可以充当领域本体 Agent,记做 agent  $O_i$ 。

下面主要讨论某一任务联盟中 agent  $O_i$  与 agent a 之间知识交互过程,并运用 MAL 对该过程进行形式化描述:

第1步: Agent  $O_i$  感知到 Agent a 的存在及其传递的意图。并且, Agent  $O_i$  可以观测到 Agent a 的初始状态及最终的目标,即

$$INT_K(a, O_i, AS(\varphi_i \cup \tilde{\varphi})) \quad (6)$$

并且假设存在意图可达的路径,在状态  $\tilde{\varphi}$  的意图实现前状态  $\varphi_i$  一直成立。根据 BEL, DES 和 INTEND 关系公理, Agent  $O_i$  可以获知, Agent a 对 Agent  $O_i$  有达到状态  $\tilde{\varphi}$  的信念,即  $BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})$ , 而且 Agent a 对 Agent  $O_i$  有达到状态  $\tilde{\varphi}$  的愿望。并且假设存在愿望可达的路径,在状态  $\tilde{\varphi}$  的愿望实现前状态  $\varphi_i$  一直成立,即  $DES_K(a, O_i, AS(\varphi_i \cup \tilde{\varphi}))$ 。

第2步: Agent  $O_i$  接收到 Agent a 传递的初始状态  $\varphi_i$  和其所要达到目标  $\tilde{\varphi}$  的信念,并从初始状态  $\varphi_i$  出发,经过 Agent  $O_i$  自身的知识库(VKB)进行推理。即

$$BEL_K(O_i, \varphi_i \Rightarrow \varphi_i) \wedge BEL_K(O_i, \varphi_i) \Rightarrow BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i)$$

如果式(7)成立

$$BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i) \supseteq BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \quad (7)$$

则表明 Agent  $O_i$  的信念包含它知道的 Agent a 所具有的信念。这种方式也说明,在初始状态为  $\varphi_i$  下, Agent a 通过知识交互可以获得较  $\tilde{\varphi}$  更为明确、更为完整的意图目标  $\varphi_i$ , 调整 Agent a 的信念、愿望、意图,知识交互过程终止;否则转第2步。

第3步:如果超出 Agent  $O_i$  的信念范围,也即

$$BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \not\subseteq BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i) \quad (8)$$

式(8)表明 Agent  $O_i$  的信念不包含它知道的 Agent a 所具有的信念,说明 Agent  $O_i$  不具备交互所需要的领域知识,这时需调用其管理的本体知识库。首先, Agent  $O_i$  将感知的 Agent a 行为原语信息(Performative)进行相应的语义转换,译出相应的语义信息  $I^*$ :

$$I^* = M^{-1}(env. J\_ACHIEVED(a, \varphi_i, \gamma, \tilde{\varphi})) \quad (9)$$

式(9)中,  $M^{-1}$  是语义转换算子,  $env. J\_ACHIEVED(a, \varphi_i, \gamma, \tilde{\varphi})$  表示 Agent a 发送的行为原语信息 Performative。

第4步: Agent  $O_i$  调用相关的领域本体知识库,请求对 Agent a 传送来的语义信息进行解释和推理。解释算子可以描述为

$$J\_EXPLAIN(O_i, a, I^*) \quad (10)$$

定义4 知识映射函数

$$K_i: \varphi_i \times J\_EXPLAIN(O_i, a, I^*) \rightarrow \varphi_i^* \quad (11)$$

其中  $\varphi_i = \{\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \dots, \varphi_{in}\}$  决定了 agent 的  $n$  阶状态。  $\varphi_i^*$  是  $\varphi_i$  的幂集,  $\varphi_i$  是初始状态。

第5步:步骤4执行完成,将新增的信念加入到 Agent  $O_i$ 。继续讨论以下3种情形:

1) Agent  $O_i$  的信念包含它知道的 Agent a 表达的信念,即如果

$$BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*) \supseteq BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi}))$$

成立,则说明 Agent a 通过 Agent  $O_i$  调用 Ontology 库进行解释,这种知识交互形式可以获得较为明确、完整的意图目标。

解释交互过程终止;

2) Agent  $O_i$  和 Agent a 之间解释交互失败,即如果

$$BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*) \subset BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi}))$$

成立,则说明该 Agent  $O_i$  拥有的知识库或通过调用领域本体知识库方法不能支持这种解释交互。转第7步。

3)除了1),2)种情形外,当

$$BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \not\subseteq BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*)$$

成立时,应讨论 Agent  $O_i$  和 Agent a 之间的信念关系所包含的下面2种情况:

$$BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \wedge BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*) = \emptyset \quad (12)$$

$$BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \wedge BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*) \neq \emptyset \quad (13)$$

第6步:第5步的情形3)中,如果式(12)成立,则表示 Agent a 与 Agent  $O_i$  之间信念冲突程度特别激烈,转第7步;

如果式(13)成立,则表示 Agent a 与 Agent  $O_i$  之间信念差异导致冲突,可以考虑通过协商谈判方式改变 Agent a 的信念,并进而改变其行动方案和目标意图。

第7步:停止,或请求管理者 Agent 派出其他盟主 Agent 完成这种知识交互解交互过程。

正如第5步式(2)所描述的,在知识交互过程中,可能会产生两者之间的信念冲突。下面将就这一问题做简单讨论。

(1) Agent a 启动共识协商过程  $COMM(a, O_i, "Co")$ ;

(2) Agent  $O_i$  回应一个确认信号  $COMM(O_i, a, "Ack")$ ;

(3)讨论第2节第5步情形,也即讨论

$$BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \not\subseteq BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*)$$

及  $BEL_K(O_i, BEL_K(a, O_i, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \wedge BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*) \neq \emptyset$

为了讨论和表达简便,假定

$B_1 = B(a, \bar{K})$  表示 Agent a 在知识规则  $\bar{K}$  下的信念空间

$B_2 = B(O_i, K_i^*)$  表示 Agent  $O_i$  在知识规则  $K_i^*$  下的信念空间

$u_i: S_1 \times S_2 \rightarrow \mathcal{R}$  是 Agent  $i$  的效用函数,  $S_1, S_2$  分别表示 Agent a 和 Agent  $O_i$  的有限策略空间,参见式(2)。

在协商过程中, Agent a 获得 Agent  $O_i$  在初始状态  $\varphi_i$  条件下的信念,可以描述为:

$$v_1 = B(a, BEL_K(O_i, \varphi_i, \varphi_i^*)) \quad (14)$$

并且,  $v_1 \in B_1$

同理, Agent  $O_i$  可以获得 Agent a 在初始状态  $\varphi_i$  条件下的信念,可以描述为:

$$v_2 = B(O_i, BEL_K(a, \varphi_i, \tilde{\varphi})) \quad (15)$$

并且,  $v_2 \in B_2$

Choquet 期望效用可以表示如下:

$$U_1(s_1, v_1) = \int_{s_2} u_1(s_1, s_2) dv_1, U_2(s_2, v_2) = \int_{s_1} u_2(s_1, s_2) dv_2$$

如果

i)  $v_1^* \in B_1, v_2^* \in B_2$

ii) 满足

$$v_1^*(s_2) > 0 \quad \text{当且仅当} \quad s_2 \in \arg \max_{s_2} U_2(s_2, v_2^*)$$

及

$$v_2^*(s_1) > 0 \quad \text{当且仅当} \quad s_1 \in \arg \max_{s_1} U_1(s_1, v_1^*)$$

这里,将  $(v_1^*, v_2^*)$  在满足一定不确定水平的信念均衡称为含糊对策的信念均衡, Marinacci 证明该均衡是存在的<sup>[3,4]</sup>。

(下转第270页)

制提供了基本原则和方法:①定义权限控制主体,即开发过程涉及哪些用户、角色、机构,并建立主体层次关系;②对产品数据管理的主要功能进行分类,例如文档管理、产品结构管理、流程定义、编码定义等,并根据角色的职责分配相应功能权限;③在开发流程定义过程中,确定每个任务的执行者,可以是具体用户,也可以是角色或者机构,并根据流程任务的要求,确定执行者对相关数据对象的操作权限。

#### 4.5 复合权限计算过程

面向过程的复合数据权限管理模型简化了系统的权限管理,采用任务和角色作为权限的承载对象,将角色与流程任务的岗位责任对应起来,实现了协同开发过程中权限的动态管理。在开发过程中,如何判断特定用户是否具有对某一数据对象的相关权限是一个复杂过程。本节给出了数据存取权限计算一般过程。

##### (1) 功能性权限的计算

可以通过层次关系来组织功能性权限,下级权限是上级权限的细化,例如零部件库管理功能包括零部件库目录整理、零部件变更、零部件删除等子功能,上级功能是下级功能的前提,如用户必须具有零部件库管理的权限才能进行零部件的变更。因此,在进行权限判断时必须从上到下判断。下面的步骤用于计算当前用户的功能性权限集:

- 令当前用户的功能权限集  $FP_s = \emptyset$ ;
- 遍历功能层次树,取得用户的所有功能权限  $FP_u$ ;
- 取得用户所具有的所有角色,循环检测每个角色所具有的功能权限,计算所有角色功能权限之和  $FP_r$ ;
- 根据当前用户所处的机构,包括静态机构和动态结构,计算其从机构继承来的功能权限  $FP_o$ ;
- 当前用户总的功能权限集  $FP_s = FP_u \cup FP_r \cup FP_o$ 。

##### (2) 实体性权限的计算

实体性权限用于控制具体数据对象的操作,假定用户对产品数据对象  $DO$  进行  $Op$  操作,则计算用户是否有操作权限的步骤如下:

- 若  $Op \notin FP_s$ ,则没有权限,终止权限计算;
- 计算用户本身是否具有对  $DO$  的操作权限,若有权限,终止权限计算,否则继续;
- 计算当前用户所处的机构,判断是否从它们继承对  $DO$  的权限,若有权限,终止权限计算,否则继续;
- 计算当前用户所充当的角色集,角色的权限分为两个部分:其一为静态权限,其二为流动权限。针对角色集中的每一可角色计算其对  $DO$  的静态权限,若有权限,终止权限计算,否则继续;若每个角色均没有权限,则根据角色所承担的任务计算动态权限。动态权限的计算详见文[3]。

##### (3) 过程中的权限计算

动态权限主要指当前用户因承担某一项开发任务而获得的对任务相关数据对象的权限。其权限计算一般步骤如下:

- 计算当前用户所扮演的角色集  $R_u$ ;
- 对每一个  $r_i \in R_u$ ,计算其所承担的任务集以及每个任务所关联的数据对象集  $TDO_s$ ;
- 若  $DO \in TDO_s$  则计算其权限,若具有预定操作权,则返回,否则对所有角色及其任务循环计算。

权限管理的最终目的是保证数据的安全性和保密性,简单地讲就是保证每个用户能且只能执行其能够执行的操作。虽然从简化授权操作的角度可以对机构、团队、项目和角色授权,但任何权限控制最终都必须落实到具体用户。系统中需要进行权限控制的对象主要有数据对象和功能对象,也即上文讲的实体性权限和功能权限。对数据对象授权操作可以针对某种集合(如文件夹、产品、项目等)进行,但最终必须落实到具体产品数据对象亦即文档和零部件上。

**小结** 本文通过分析产品数据权限管理相关对象及其它们之间的关系,介绍了基于角色的产品数据存取控制模型,并分析其优点和不足。在此基础上,提出了基于任务和角色的复合产品数据权限管理模型,详细讨论了数据存取权限的类型,研究了产品开发流程中的动态权限控制,最后给出了产品数据存取权限的计算过程。

#### 参考文献

- Leong K K, Yu K M, Lee W B. A security model for distributed product data management system. *Computers in Industry*, 2003, 50:179~193
- Botha R A, Eloff J H P. Access Control in Document-centric Workflow Systems- An Agent-based Approach. *Computers & Security*, 2001, 20(6):525~532
- Cheng E C. An object-oriented organizational model to support dynamic role-based access control in electronic commerce. *Decision Support Systems*, 2000, 29:357~369
- Castano S, Martella G, Samarati P. Analysis, comparison and design of role-based security specifications. *Data & Knowledge Engineering*, 1997, 21:31~55
- Belletini C, Bertino E, Ferrari E. Role Based Access Control Models. *Information Security Technical Report*, 2001, 6(2):21~29
- Oh S, Park S. Task-role-based access control model. *Information Systems*, 2003, 28:533~562
- Ahn G J, Hong S P, Shin M E. Reconstructing a formal security model. *Information and Software Technology*, 2002, 44:649~657

(上接第 212 页)

**结束语** 在信息获取领域中,查全率和查准率一直是研究和关注的焦点。查询者不能给出完整或明确的查询目标是搜索引擎查准率低下的原因之一。研究和讨论弱信念 Agent 的知识交互模型,对于推测、获取查询者实际查询意图具有重要意义。

#### 参考文献

- 刘勇,蒲树桢,程代杰,等. BDI 模型信念特性研究. *计算机研究与*

发展, 2004(4):54~59

- Bratman M E. *Intention, Plans, Practical Reason*. Cambridge MA: Harvard University Press, 1987
- Marinacci M. Ambiguous Games. *Games and Economic Behavior*, 2000, 31(2): 191~219
- 候文华. 基于概率区间的信念均衡. *系统科学与数学*, 2002, 22(3):381~384