

FIPA Agent 通讯规范分析

张德同 周明全 耿国华 郑霞

(西北大学计算机科学与技术系 西安710069)

摘要 FIPA 是一个由活跃在 agent 领域的公司和大学组成的国际组织,其目标是为异质的 agent 多系统之间实现互操作而制订相关的软件标准。agent 通讯是实现知识共享和协作求解的重要技术。本文对当今 FIAP agent 通讯规范,包括内容语言、交互动作和交互协议三方面,进行了简要分析。

关键词 FIAP, agent 系统, 互操作, agent 通讯, FIAP ACL

FIPA Agent Communication Specifications Analysis

ZHANG De-Tong ZHOU Ming-Quan GENG Guo-Hua ZHENG Xia

(Departement of Computer Science and Technology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract FIPA is an international organization formed by companies and universities that are active in the field of agents, with the aim of producing software standards for heterogeneous and interacting agent-based systems. Agent communication plays a important role in knowledge sharing and cooperated problem solving, this paper provides a concise analysis of the current FIPA agent communication specifications, including content languages, communicative acts and interaction protocols.

Keywords FIPA, Agent-based systems, Interoperating, Agent communication, FIPA ACL

1 引言

随着 agent 技术的发展,出现了大量 agent 系统开发工具^[1],用不同的开发工具开发出的 agent 系统之间的互操作难以得到保证。FIPA 是一个由活跃在 agent 领域的公司和大学组成的国际组织,其目标是为异质的 agent 系统之间实现互操作而制订相关的软件标准^[2]。FIPA 规范包括五大部分,即抽象体系结构、agent 通讯、agent 管理、agent 消息传输和基于 agent 的应用。所有 FIPA 规范都处在一个生命周期中,整个生命周期包括五个状态:预备状态、实验状态、标准状态、反对状态和废止状态。2002年12月,23个 FIPA 规范已从实验状态正式转为标准状态^[3]。随着 FIPA 规范的不断完善,越来越多的 agent 系统开发平台开始采用 FIPA 规范^[4],FIPA 规范的影响正在逐步扩大。在多 agent 系统中,agent 通讯是实现知识共享和协作求解的重要技术,FIPA agent 通讯规范主要包括通讯动作、内容语言和交互协议三方面。本文结合 FIPA 公布的最新规范,对 FIPA agent 通讯规范进行简要分析。

2 内容语言

FIPA agent 通讯语言(FIPA ACL),是在 KQML^[5]的基础上发展而来的。FIPA 内容语言是用于表达 FIPA ACL 消息内容的语言,目前在 FIPA 内容语言库中注册的有:FIPA 语义语言(FIPA SL)、FIPA 约束选择语言(FIPA CCL)、FIPA 知识交换格式(FIPA KIF)、FIPA 资源描述框架(FIPA RDF)等四种内容语言^[6]。限于篇幅,下面简要介绍 FIPA SL。

FIPA SL 是一种多模态逻辑语言,涉及信念、不确定性、意图、目标、行为等方面。除了通常的谓词逻辑合适公式(Wff),FIPA SL 还有以下合适公式:

(1)(B(agent)<Wff>):表示 agent 相信 Wff 为真。

(2)(U(agent)<Wff>):表示 agent 不能确定 Wff 的真值,但相信 Wff 为真的可能性更大。

(3)(I(agent)<Wff>):表示 agent 具有实现 Wff 的意图。

(4)(PG(agent)<Wff>):表示 Wff 是 agent 的一个持久目标(persistent goal)。agent 将会做出持续的努力,直到实现 Wff,或认为 Wff 不可能实现。

(5)(feasible<ActionExpression><Wff>):表示 Action-Expression代表的行为可以执行,执行后 Wff 将为真。当 Wff 恒为真时,可简写为:(feasible<ActionExpression>),表示 Action-Expression代表的行为可以执行。

(6)(done<ActionExpression><Wff>):表示 Action-Expression代表的行为已经执行完,执行前 Wff 曾为真。当 Wff 恒为真时,可简写为(done<ActionExpression>),表示 Action-Expression代表的行为已经执行完。

FIPA SL 中最基本的行为表达式由关键字 action、执行该行为的 agent 标识符、以及一个表示行为的项构成。例如,(action(agent-identifier:name i)(sell apple 50)),表示“agent i 出售50箱苹果”这一行为。复合行为由顺序操作符“;”和选择操作符“|”构成。假设 a, b 是两个行为表达式,则复合行为 a; b 表示先执行 a,再执行 b,复合行为 a|b 表示执行 a 或者执行 b,但不能都执行。

FIPA SL 还有 iota、any、all 三个引用操作(referential operators):

(1)(iota<term><Wff>):iota 相当于定冠词“the”,iota 操作的结果是满足 Wff 的一个特定对象。

(2)(any<term><Wff>):any 操作的结果是任意一个满足 Wff 的对象。

(3)(all<term><Wff>):all 操作的结果是由所有满足 Wff 的对象构成的一个集合。

由引用操作构成的表达式称为引用表达式。FIPA SL 内容表达式有三种基本形式:命题表达式、行为表达式、引用表达式,更复杂的 FIPA SL 内容表达式是由上述三种基本形式构成的复合表达式。后面通讯动作部分给出了 FIPA ACL 消息的具体例子,其中 cfp 消息的内容表达式是由行为表达式和引用表达式构成的复合表达式,而 propose 消息的内容表

达式是由行为表达式和命题表达式构成的复合表达式。在 FIPA 规范中,语义语言不仅用作描述 ACL 消息内容的内容语言,还用作描述通讯动作语义的形式语言^[7]。

3 FIPA 通讯动作库

FIPA agent 之间的通讯是基于一种语义通讯模型,这种模型具有丰富的预定义语义,并且易于被 agent 理解。FIPA agent 通讯的基础是通讯动作(communicative acts),也称为述行语(performatives)。通讯动作是一组动词(或动词短语),这些动词会告诉接收到消息的 agent,应该按何种方式解释消息的内容。

FIPA 通讯动作库共包含22个通讯动作:Accept Proposal, Agree, Cancel, Call for Proposal, Confirm, Disconfirm, Failure, Inform, Inform If, Inform Ref, Not Understood, Propagate, Propose, Proxy, Query If, Query Ref, Refuse, Reject Proposal, Request, Request When, Request Whenever, Subscribe。其中 Confirm, Disconfirm, Inform, Request 是四个基本通讯动作(primitive communicative acts),其余通讯动作是利用基本通讯动作构成的复合通讯动作(composite communicative acts)。每个通讯动作的语义都用形式化语义语言给出了严格的数学模型,统一的定义格式为:

$\langle i, \text{act}(j, C) \rangle$

FP: ϕ_1

RE: ϕ_2

其中 act 代表通讯动作, i 是发出通讯动作的 agent, j 是接收通讯动作的 agent, C 代表通讯的语义内容, FP 代表可行性前提(Feasibility Preconditions), RE 代表合理结果(Rational Effect), ϕ_1 和 ϕ_2 均为命题。下面给出 Inform、Call for Proposal 和 Propose 三个通讯动作的详细说明。

(1) Inform 发送 agent 利用 inform 告诉接收 agent 某个命题是真的。使用 inform 的可行性前提是:发送 agent 认为某个命题是真的,同时假定接收 agent 对该命题完全无知。使用 inform 所期望的合理结果是:接收 agent 也相信某个命题是真的。接收 agent 是否真的采纳接收到的信念,取决于其对发送 agent 的信任程度。inform 的形式化模型为:

$\langle i, \text{inform}(j, \phi) \rangle$

FP: $B_i \phi \wedge \rightarrow B_j(B_i \phi \vee U_i \phi)$

RE: $B_j \phi$

其中 $B_i \phi$ 表示 agent i 相信命题 ϕ 为真, $B_i \phi \vee B_j \rightarrow \phi$, $U_i \phi$ 表示 $U_i \phi \vee U_j \rightarrow \phi$, 而 $U_i \phi$ 表示 agent i 不能确定命题 ϕ 的真假,但认为命题 ϕ 为真的可能性更大。下面是一条使用 inform 的 FIPA ACL 消息, agent i 告诉 agent j :“引用表达式($\text{iota } ?x(p ?x)$) 的值等于 α 。”

```
(inform
:sender (agent-identifier :name i)
:receiver (set (agent-identifier :name j))
:content " ((= (iota ?x (p ?x))  $\alpha$ )) "
:language fipa-sl)
```

其中 fipa-sl 表示内容语言是 FIPA 语义语言。

(2) Call for Proposal 通常记为 cfp, 利用 cfp 可以针对希望执行的特定行为,寻求可行的提议,这是发起一个协商过程的通用方法。使用 cfp 的消息内容是一个由行为表达式、引用表达式构成的二元组,行为表达式代表希望执行的行为,引用表达式用于描述执行该行为的前提条件。回复 cfp 消息的 agent 应该明确给定 cfp 消息中引用表达式的值,从而返回一个有确定真值的命题。cfp 的形式化模型为:

$\langle i, \text{cfp}(j, \langle j, \text{act} \rangle, \text{Ref } x \phi(x)) \rangle \equiv$

$\langle i, \text{query-ref}(j, \text{Ref } x (I_i \text{Done}(\langle j, \text{act} \rangle, \phi(x)))$

$\Rightarrow (I_i \text{Done}(\langle j, \text{act} \rangle, \phi(x))) \rangle$

FP: $\rightarrow \text{Bref}_i(\text{Ref } x \alpha(x)) \wedge \rightarrow \text{Uref}_i(\text{Ref } x \alpha(x)) \wedge$

$\rightarrow B_j I_i \text{Done}(\langle j, \text{inform-ref}(i, \text{Ref } x \alpha(x)) \rangle)$

RE: $\text{Done}(\langle j, \text{inform}(i, \text{Ref } x \alpha(x) = r_1) \rangle | \dots |$

$\langle j, \text{inform}(i, \text{Ref } x \alpha(x) = r_k) \rangle)$

其中 $\alpha(x) = I_i \text{Done}(\langle j, \text{act} \rangle, \phi(x)) \Rightarrow I_i \text{Done}(\langle j, \text{act} \rangle, \phi(x))$, 而 $\text{Ref } x \alpha(x)$ 代表如下三种引用表达式之一: $\text{ix } \alpha(x)$, $\text{any } x \alpha(x)$ 或 $\text{all } x \alpha(x)$ 。 $\text{ix } \alpha(x)$ 表示满足 $\alpha(x)$ 的一个特定对象, i 又记为 iota 。

$I_i p$ 的含义是:“agent i 具有实现 p 的意图”。 $\text{Bref}_i(\text{Ref } x \alpha(x))$ 的含义是:“agent i 知道引用表达式 $\text{Ref } x \alpha(x)$ 的结果”, $\text{Uref}_i(\text{Ref } x \alpha(x))$ 的含义是:“agent i 不确信引用表达式 $\text{Ref } x \alpha(x)$ 的结果”, $\text{Done}(\langle j, \text{inform-ref}(i, \text{Ref } x \alpha(x)) \rangle)$ 的含义是:“agent j 将引用表达式 $\text{Ref } x \alpha(x)$ 的结果告诉了 agent i ”, 而 $\text{Done}(\langle j, \text{inform}(i, \text{Ref } x \alpha(x) = r_1) \rangle | \dots | \langle j, \text{inform}(i, \text{Ref } x \alpha(x) = r_k) \rangle)$ 的含义是:“agent j 将命题 ‘ $\text{Ref } x \alpha(x) = r_1$ ’ 告诉了 agent i , 或 agent j 将命题 ‘ $\text{Ref } x \alpha(x) = r_2$ ’ 告诉了 agent i , ……或 agent j 将命题 ‘ $\text{Ref } x \alpha(x) = r_k$ ’ 告诉了 agent i ”。可以看出, cfp 是利用复合通讯动作 query-ref 构成的更高层复合通讯动作。上述形式化模型的直观含义是: agent i 问 agent j : “在保证 $\phi(x)$ 成立的前提下, x 取何值时, 你会执行 act?”。下面是一条使用 cfp 的 FIPA ACL 消息, agent i 请 agent j 提供出售50箱苹果的报价, 并限定报价不能超过30元:

```
(cfp
:sender (agent-identifier :name i)
:receiver (set (agent-identifier :name j))
:content
" ((action (agent-identifier :name j)
(sell apple 50))
(any ?x (and (= (price apple) ?x)
(< ?x 30)))) "
:ontology fruit-market
:reply-with proposal2
:language fipa-sl)
```

其中参数 ontology 指定通讯中使用的领域本体是 fruit-market。本体(Ontology)由一个特定词汇表(vocabulary)和一组显式的公理(axioms)构成,公理明确限定了词汇表中每个概念的含义以及概念之间的关系^[8]。FIPA agent 通讯模型基于这样一个假设:参加通讯的 agent 共享一个通讯本体,其中定义了通讯动作和通讯协议,另外还共享一个特定的应用领域本体。

(3) Propose 利用 propose 可以针对愿意执行的行为,给出具体的前提条件,这是在协商过程中提出建议或反建议的通用方法。使用 propose 的消息内容是一个由行为表达式、命题表达式构成的二元组,行为表达式代表愿意执行的行为,命题表达式给出执行该行为的具体条件。propose 的形式化模型为:

$\langle i, \text{propose}(j, \langle i, \text{act} \rangle, \phi) \rangle \equiv$

$\langle i, \text{inform}(j, I_i \text{Done}(\langle i, \text{act} \rangle, \phi)) \Rightarrow$

$I_i \text{Done}(\langle i, \text{act} \rangle, \phi) \rangle$

FP: $B_i \alpha \wedge \rightarrow B_j(B_i \alpha \vee U_i \alpha)$

RE: $B_j \alpha$

其中 $\alpha = I_i \text{Done}(\langle i, \text{act} \rangle, \phi) \Rightarrow I_i \text{Done}(\langle i, \text{act} \rangle, \phi)$ 。显然, propose 是利用基本通讯动作 inform 构成的复合通讯动作。上述形式化模型的直观含义是: agent i 通知 agent j : “一旦你告诉我(你)已经具有让我执行 act 的意图,并且我执行 act 的前提条件也已具备,那么我也将具有执行 act 的意图。”与前面 cfp 消息例子相应,下面是一条使用 propose 的回复消息, agent j

向 agent i 提议:愿意以25元的价格出售50箱苹果。

```
(propose
:sender (agent-identifier :name j)
:receiver (set (agent-identifier :name i))
:content
"((action j (sell apple 50))
  (= (any ?x (and (= (price apple) ?x)
    ((?x 30))) 25)))"
:ontology fruit-market
:in-reply-to proposal2
:language fipa-sl)
```

4 交互协议

为了保证 agent 之间有效地进行连续会话,FIPA 预定义了一组交互协议,其中每个协议对应一种典型会话模式,即消息交换模式。FIPA 交互协议采用 agent 统一建模语言 AUML^[9,10]表示,AUML 是一种扩展的 UML 语言。目前 FIPA 交互协议库中共有11种交互协议,包括:请求交互协议、查询交互协议、合同网交互协议、中介交互协议、提议交互协议等^[11]。下面给出合同网交互协议的详细描述。

在合同网交互协议中,有一个称为发起者的 agent,还有若干个称为参与者的 agent,发起者希望由一个或多个参与者执行一项任务,并且使一个与任务相关的评估函数取最优值。评估函数通常涉及价格、完成时间、任务的合理分担等。图1中给出了用 AUML 表示的合同网交互协议。

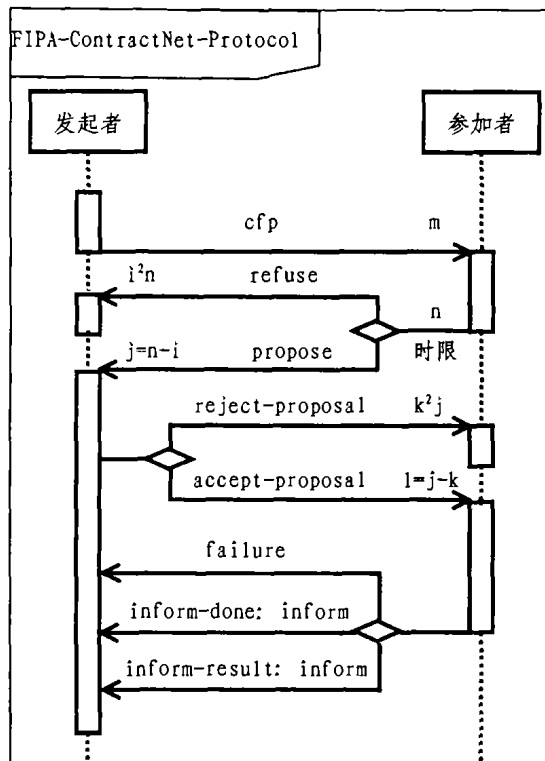


图1 FIPA 合同网交互协议

合同网交互协议的交互过程为:

发起者利用通讯动作 cfp 向 m 个 agent 发出初始招标消息,消息中说明了需要完成的任务、承担任务应具备的条件、以及等待回应的时限。所有收到消息的参与者都是潜在的签约者或承包人,可以做出回应,超过等待回应的时限后收到的回复消息将被自动拒绝。假设在等待回应的时限内发起者收到 n 个回应消息,其中 i 个(表示为 i^2n)是用通讯动作 refuse 表示的拒绝应标消息,另外 j ($j=n-i$) 个是用通讯动作 propose 表示的应标消息,消息中给出了承担任务的具体条件。

一旦过了等待回应的时限,发起者就对收到的 j 个应标者进行评估,从中选出一个或多个中标 agent。假设 j 个应标 agent 中有 k 个(表示为 k^2j)收到用通讯动作 reject-proposal 表示的拒绝消息,另外 l ($l=j-k$) 个收到用通讯动作 accept-proposal 表示的中标消息。中标 agent 一旦完成委托的任务,就利用通讯动作 inform 给发起者发送完成任务消息或执行结果消息,而如果中标 agent 未能完成委托的任务,就利用通讯动作 failure 向发起者发出失败消息。当然,如果找不出中标 agent,则协商过程直接就结束了。

在上述交互过程中,任何收到消息的一方都可以用通讯动作 not-understood 回应对方,从而终止交互过程;另外,发起者有权在任何时候取消正在进行的合同网交互过程,取消操作是通过执行一个称为 FIPA-Cancel-Meta-Protocol 的元交互协议完成的,FIPA 在图中略去了这些情况。

在 FIPA ACL 消息中使用合同网交互协议时,参数 protocol 的取值应为 fipa-contract-net。另外,发起者在第一条消息中应指定一个全局唯一的 conversation-id 参数值,后续的所有 ACL 消息都应设置相同的 conversation-id 参数值。

结束语 随着 agent 技术的发展,需要一个统一的标准来保证异质 agent 系统之间的互操作。FIPA 正是一个致力于实现异质 agent 系统之间互操作的国际标准化组织。FIPA 规范包括五大部分,所有 FIPA 规范都处在一个生命周期中,最后或者成为 FIPA 标准,或者被废止。目前已经有23个 FIPA 规范从实验状态正式转为标准状态,越来越多的 agent 系统开发平台开始采用 FIPA 规范,FIPA 规范的影响正在逐步扩大。agent 通讯是实现知识共享和协作求解的重要技术,FIPA agent 通讯规范在通讯动作、内容语言和交互协议等方面制订了严谨的规范,为 agent 之间的交互通讯提供了坚实的基础。

参考文献

- 1 Agent-based System Developing Toolkits and Environments. <http://www.agentlink.org/resources/agent-software.html>
- 2 张德同,周明全,耿国华. FIPA 规范: Agent 系统的开放标准. 计算机科学,2002,29(10): 30~32
- 3 The FIPA Board, FIPA Specifications Voted to Standard Status. FIPA Inform, 2003, 3(4). <http://www.fipa.org/docs/output/f-out-00137/f-out-00137.pdf>
- 4 Publicly Available Agent Platforms. <http://www.fipa.org/resources/livesystems.html>
- 5 Finin T, Labrou Y, Mayfield J. KQML as an Agent Communication Language. In: Software Agents, Bradshaw, J (Ed), MIT Press, 1997
- 6 FIPA Content Language Specifications. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003. <http://www.fipa.org/repository/cls.php3>
- 7 FIPA Communicative Act Library Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003. <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/>
- 8 Guarino N. Formal Ontology in Information Systems. In N. Guarino, ed. Formal Ontology in Information Systems. In: Proc. of FOIS'98, Trento, Italy, IOS Press, Amsterdam, 1998. 3~15
- 9 Odell, James, Van Dyke Parunak H, Bauer B. Representing Agent Interaction Protocols in UML. In: Agent-Oriented Software Engineering, Ciancarini P, Wooldridge, M., eds. Springer, Berlin, 2001. 121~140. <http://www.fipa.org/docs/input/f-in-00077/>
- 10 FIPA Interaction Protocol Library Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003. <http://www.fipa.org/specs/fipa00025/>
- 11 FIPA Interaction Protocol Specifications. Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003. <http://www.fipa.org/repository/ips.php3>