

# 基于 Internet 信息挖掘的 Agent 通信协议<sup>\*</sup>

Internet Information Mining Based Agent Communication Protocols

王 斌<sup>1</sup> 张尧学<sup>2</sup> 陈建二<sup>1</sup> 陈松乔<sup>1</sup>

(中南大学信息科学与工程学院计算机理论与软件研究所 长沙410083)<sup>1</sup>

(清华大学计算机系 北京100084)<sup>2</sup>

**Abstract** Agent communication protocol is a set of interaction rules by which agent exchange communication language. In this paper we introduce a four-layer agent communication protocol, whose layers from below to up are message transport and control protocol layer, agent conversation layer, agent language layer and agent communication API layer. On the agent conversation layer we construct a general agent negotiation and promise model(N/P Model) and regard N/P process as a part of the agent cooperation in our agent communication model. At last we use finite state temporal chart to present a process of agent cooperation and prove the validity of agent communication model and protocols.

**Keywords** Agent communication protocol, Agent communication language, Agent conversation rule, Finite state temporal chart

## 1 前言

Agent 通信协议决定着 Agent 是否能够有组织地进行交互。美国 ARPA 的 KSE(Knowledge Sharing Effort)开发的基于语言行为理论(Speech Act Theory)的 Agent 通信语言 KQML<sup>[1]</sup>及另外一种 Agent 通信语言 FIPA ACL<sup>[2]</sup>已成为 Agent 通信语言的事实标准。对于移动 Agent 也有专门为之设计的通信语言 Telescript。但是纯粹的 Agent 通信语言不能够完成 Agent 的协作,而是需要 Agent 的交互规则来支持 Agent 利用 Agent 语言进行协作。在这种意义上,Agent 通信语言只是 Agent 通信协议的一部分。由于 Agent 技术本身的特点及其应用领域的不同,目前国内外还没有 Agent 通信协议标准出现<sup>[3]</sup>。

Agent 通信协议必须能够反映 MAS(Multi-Agent System)的动态特性以及 Agent 的合作关系<sup>[4,5]</sup>。MAS 的动态特性体现在 Agent 合作关系的容错性和稳健性。另外可靠的 Agent 理论是 Agent 通信协议设计的基础,如:KQML 及 FIPA ACL 的服务对象是根据 BDI(Belief, Desire, Intention)模型<sup>[6]</sup>设计的 Agent。本文对 Agent 通信协议的研究重点在于 BDI 模型之上的 Agent 协作模型。

本文首先建立 Agent 通信的结构模型及在其上运行的 Agent 通信协议的分层模型。然后在分层模型的会话层中利用有限状态机建立多 Agent 协商/承诺模型,并且给出适合于该模型的协议报文格式。最后基于 TTMAS<sup>[9]</sup>通信模型举例说明了该通信协议。

## 2 Agent 通信模型

**定义1** 树形拓扑多 Agent 系统(Tree Topology Multi-Agent System, TTMAS)是一个六元组  $TTMAS = \{ANS, GAs, RAs, SAs, MAs, BBA\}$ ,其中 ANS 是 Agent 命名服务

器 Agent(Agent Name Server),GAs 是门户 Agent(Gateway Agents),RAs 是表示 Agent(Represent Agents),SAs 是固定 Agent (Stationary Agents),BBAs 是黑板结构(Blackboard Architectures),MAs 是移动 Agent (Mobile Agents)。TTMAS 的系统结构是一棵  $k(k \geq 2)$  叉树,树的根节点是 ANS,任意一个 GA 为树的中间节点,而任意一个 RS,SA 和 MA 是树的叶节点。BBA 是多 Agent 通信协作的辅助设施,该结构可以根据需要进行相应的扩充。

在 TTMAS 中 ANS 负责系统全局服务,如:记录 MAS 中所有 Agent 的标识、通信方法、Agent 提供的服务以及为系统中 Agent 提供登记和注销等服务;GA 在 MAS 中是作为代理 Agent 存在的,它们为 RA,SA 及 MA 提供信息请求的中介服务;RA 是 TTMAS 与用户的接口,用户通过 RA 向系统提出服务请求。SA 与 MA 是分散在 Internet 上为用户搜索信息的 Agent,不同之处在于 MA 是可以进行移动的,而 SA 是不能移动的。BBA 可以为通信单元、通信区域或其它指定任务中的多个 Agent 的彼此协作提供辅助通信功能。图1是基于 TTMAS 通信模型构建的多 Agent 信息挖掘系统示意图。

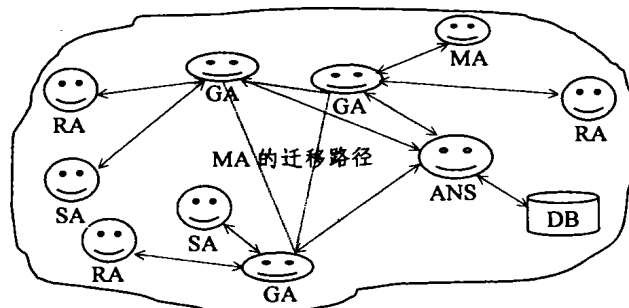


图1 基于 Multi-Agent 的信息挖掘系统示意图

**定义2** Agent 通信协议是 Agent 进行合作时用通信语

<sup>\*</sup> 本文研究由国家教育部重点课题(No.: [2000]156)资助。王 斌 博士研究生,研究方向为 Agent 通信协作、数据挖掘。张尧学 教授,博士生导师,主要研究方向为多媒体网络服务质量控制、网络互联。陈建二 长江学者奖励计划特聘教授,博士生导师,主要研究领域有计算复杂性理论、图理论和算法、计算优化理论和网络理论。陈松乔 教授,博士生导师,主要研究方向为软件工程。

言彼此交换信息的一系列通信规则。Agent 通信规则是对 Internet 协议族中若干通信协议的向上的扩展。Agent 通信协议具有四层协议栈,由下到上为:信息传输控制层、Agent 会话层、Agent 通信语言层和 Agent 通信 API 层。图2为 Agent 通信协议栈结构图。

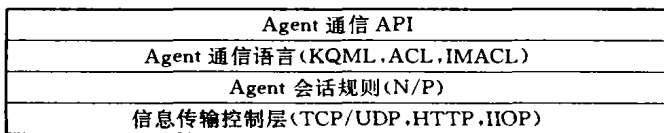


图2 Agent 通信协议栈结构图

在 Agent 通信协议中,信息传输控制层可以利用现有的 Internet 协议族中的若干协议,如:TCP/UDP、HTTP 等,以及支持分布式计算的 IIOP,为 Agent 间的通信报文提供传输服务。由于上述通信传输控制协议都已成熟并被广泛使用,所以本文对之不进行过多讨论。

Agent 会话层是由一系列 Agent 合作场景中的 Agent 交互规则构成的,这些交互规则根据 MAS 应用领域的差异而不同。它是 Agent 通信协议设计的核心。国内外一些学者在信息安全及制造企业的 Agent 应用中采用有限状态机模型描述 Agent 的会话规则<sup>[7,8]</sup>,但是由于应用领域的局限,他们在模型中没有考虑 Agent 间的承诺过程。我们将在 Internet 信息挖掘领域的前提下在本文的第三部分提出 Agent 的协商承诺模型(Negotiation/Promise, N/P)。

Agent 通信语言层可以是 KQML、FIPA ACL 或者是自定义的 IMACL(Internet Mining Agent Communication Language)。Agent 通信语言一般分为三个层次,分别为外层通信语言、内层通信语言及本体概念(Ontology)。其中:外层通信语言为 KQML、FIPA ACL 和 IMACL,它主要描述 Agent 交互的一系列过程,所以在不同的应用领域中应该对标准的 KQML 或 FIPA ACL 进行扩展或者使用新的 Agent 语言以适应 Agent 会话层的交互规则。内层通信语言为 KIF(Knowledge Interchange Format)或 RDF(Resource Description Format),它们是描述 Agent 通信消息格式的语言。核心层为本体概念,它是 Agent 能够彼此理解对方的面向应用领域的词汇集合。Agent 通信语言中的交互规则要和 Agent 会话层中的交互规则保持一致。

Agent 通信协议 API 层为用户提供了统一的 Agent 通信编程接口。

**定义3** Agent 协商目标(Conversation Object, CO)是一个5元组  $CO = \{ACL, CF, O, S, QoS\}$ ,其中 ACL 是 Agent 通信语言、CF 是消息内容格式、O 是本体概念(Ontology)、S 是通信的安全策略、QoS 是网络服务质量。Agent i 与 Agent j 在建立通信服务前要就上述五项进行协商,在彼此达成一致的情况下才能进行正常的通信。

### 3 TTMAS 中的 Agent 合作模型

#### 3.1 Agent 协商/承诺模型

很多研究工作对 Agent 的协商模型进行了分析<sup>[7,8]</sup>,但这些工作没有考虑协商模型对异常情况的处理及继续运行的容错机制。另外,对 Agent 承诺模型的研究工作可以参考文[5],作者在文中提出了主动非终止合作计算模型框架。由于 Agent 的协商过程是 Agent 彼此做出承诺的前提条件,所以我们将这两类模型统一到 Agent 协商/承诺模型(Negotia-

tion/Promise, N/P)中,并在这个模型中考虑了对异常情况的处理和继续运行的容错机制。模型中的触发异常的情况有很多种,例如:非法 Agent 的访问、恶意的攻击、收发 Agent 本身或通信出现故障等,所有这些异常情况都用一个“异常”状态来表示,根据异常情况的种类决定结束或者继续进行协商。该模型主要工作在 Agent 通信协议的会话层,如图3所示。

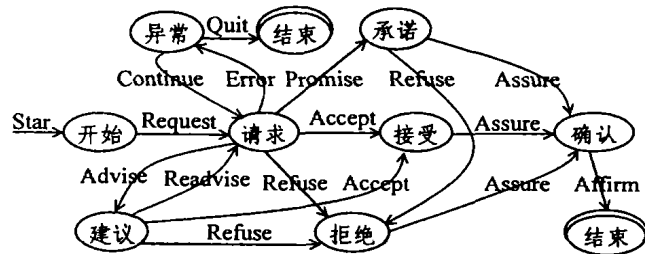


图3 Agent 协商/承诺有限状态图

Agent N/P 模型中带有箭头连线上的标识是 Agent 通信中特有的述行词(Performative)。每个述行词代表 Agent 根据自己的目的或计划要执行的相应动作。

假如我们将  $\langle i, \text{Performative}(j, C) \rangle$  表示为 Agent i 向 Agent j 发送了内容为 C 的由 Performative 表示的动作;| 表示通信过程是可选的;[] 表示方括弧中的通信组过程可以反复进行很多次;() 表示圆括弧中是一个完整通信过程中的可选多个分支通信过程。

所以我们将上述 N/P 模型中的不同通信情况形式化表示为:

#### 1) Agent 间正常的请求/应答过程

```

<i, Request(j, C)>;
[<j, Accept(i, C)>; <i, Assure(j, C)>; <j, Affirm(i, C)>]|
<j, Refuse(j, C)>; <i, Assure(j, C)>; <j, Affirm(i, C)>

```

上述过程表明 Agent i 向 Agent j 的请求被 Agent j 接受或拒绝。

#### 2) Agent 间的承诺过程

```

<i, Request(j, C)>;
<j, Promise(i, C)>;
[<i, Refuse(j, C)>; <j, Assure(i, C)>; <i, Affirm(j, C)>]|
<i, Assure(j, C)>; <j, Affirm(i, C)>

```

上述过程表明 Agent i 拒绝或者接受 Agent j 对其进行的承诺。

#### 3) Agent 间的协商过程

```

<i, Request(j, C)>;
<j, Advise(i, C)>;
[<i, Readvise(j, C)>| [<i, Readvise(j, C)>; <j, Advise(i, C)>]|
...]; <j, Promise(i, C)>; [<i, Refuse(j, C)>; <j, Assure(i, C)>; <i, Affirm(j, C)>]|
<i, Assure(j, C)>; <j, Affirm(i, C)>]|
<j, Accept(i, C)>; <i, Assure(j, C)>; <j, Affirm(i, C)>]|
[<j, Refuse(i, C)>; <i, Assure(j, C)>; <j, Affirm(i, C)>]|
[<i, Accept(j, C)>; <j, Assure(i, C)>; <i, Affirm(j, C)>]|
[<i, Refuse(j, C)>; <j, Assure(i, C)>; <i, Affirm(j, C)>]

```

上述过程表明 Agent j 对来自 Agent i 的请求提出建议性的修改后,Agent i 和 Agent j 之间就可以就协商目标(CO)进行多次协商,对协商的结果,Agent j 可以向 Agent i 作出承诺、接受或拒绝协商结果,Agent i 也可以对协商的结果向 Agent j 表明接受或拒绝。

#### 4) Agent 通信容错过程

```

<i, Request(j, C)>;
<Error>;
<Continue>;|<Quit>

```

模型中对于异常情况的处理包括如下几个方面:当 Agent j 认为 Agent i 的请求来自非法用户时 Agent j 将主动

放弃通信连接,而当异常情况是由于网络或 Agent 自身的故障引起时,双方均可做出继续(Continue)或者放弃(Quit)的选择。

人类社会中只要涉及到人们之间的协作就会存在彼此间的协商及承诺。在协商及承诺的前提下才会推动其它诸如:冲突裁决、计划、决策等过程的进行。Agent 是模仿人类智能的一种多实体的协作技术,Agent 之间的彼此协作过程类似于人类的协作过程,所以我们把 Agent 协商/承诺视为 Agent 其它协作过程的一个组成部分。

### 3.2 Agent 通信述行词

Agent 通信协议与普通的通信协议有很大的区别,主要是由于 Agent 是作为类人智能体出现在通信过程中,所以在通信的过程中就要用类似于人的思维去考虑 Agent 的通信协作。语言行为理论是研究 Agent 交互的重要理论,该理论认为语言本身是蕴涵相关动作或行为的,例如:“请求”,“承诺”等。语言行为理论中将述行词(Performative)分为五大类,其中包括断言(Assertives),即陈述一系列事实;指示(Directives),即命令、请求或者建议;承诺(Commissives),即承诺完成一系列动作;声明(Declaratives),即承担要出现的一个动作;表情(Expressives),即表达感情和看法。在 Internet 信息挖掘领域中重点应用语言行为理论的前四类。表1给出了 N/P 模型中的述行词及其相互关系:

表1 N/P 过程的述行词及其关系

| 述行词      | 种类         | 前置状态                      |
|----------|------------|---------------------------|
| Request  | Directive  | Intention                 |
| Accept   | Assertive  | Request V Advice          |
| Refuse   | Commissive | Request V Advice          |
| Promise  | Commissive | Request V Advice          |
| Advise   | Assertive  | Request V Advice          |
| Readvise | Assertive  | Advise                    |
| Assure   | Assertive  | Accept V Refuse V Promise |
| Affirm   | Assertive  | Assure                    |
| Error    | Assertive  | Error Event               |
| Continue | Assertive  | Error Event               |

### 3.3 Agent 通信报文

结合 Agent 通信协议的定义(见定义2)及图3中描述的 Agent N/P 模型,我们给出如下 Agent 通信报文的设计:

$Datagram = (Cid)(Tid)(Mid)(Sid)(Rid)(Pid)(Digest)(QoS)(Lid)M(Content)$

其中,Cid 是 Agent 间每次会话的标识,其值由会话的发起者根据规则或随机产生,在整个会话期间 Cid 的值不变;Tid 是报文的时间戳;Mid 是会话中当前发送报文消息的标号;Sid 与 Rid 分别是发送方和接受方 Agent 的标识;Pid 是 Agent 协商/承诺模型述行词的标识;Digest 是消息发送的摘要;QoS 是网络服务质量;Lid 是 Agent 语言标识,它们可以是 KQML, FIPA ACL 或是我们的 IMACL;M(Content) 是消息的内容。

对于 M(Content),其内容及格式受 Lid 限制。对于不同的 Agent 语言通信的内容格式是不同的。为了使该 Agent 通信协议具有普适性,我们将消息内容定义成如下格式:

$M(Content) = (Action \langle Key1 = Attribute1; \rangle | \langle Key2 = Attribute2; \rangle | \dots | \langle Keyn = Attribute_n \rangle)$

式中 Action 表示 Agent 要执行的动作。Key 值根据不同

的 Pid 和 Action 进行定义,其中最基本的 Key 值有如下几个:SenderAddress、SenderPort、ReceiverAddress、ReceiverPort、Ontology。前四个参数定义了 Agent 间的通信参数。由于 Agent 通信协议应用在 Internet 信息挖掘,所以我们将 Ontology 的命名为:Informing 和 Sql。Informing 定义了 Internet 信息挖掘中通用词汇的集合。这些方便信息交互的词汇在我们的原型系统中有固定的含义;Sql 是为方便 Agent 和数据库进行交互而设置的,它的内容主要是向数据库提交 SQL 语句。

对于协议中协商/承诺模型中的一系列报文,如 Request, Accept 以及 Affirm 等报文,只要用这些标识取代 Pid 中的值就可以了。例如,请求报文为:

$Request() = (Cid)(Tid)(Mid)(Sid)(Rid)(Request)(Digest)(QoS)(Lid)M(Content)$

上述通信报文设计有如下特点:1)用 Tid 和 Mid 两个参数来防止重发攻击;2)Digest 保证 Agent 间的通信报文不被恶意篡改;3)QoS 参数设置了 Agent 通信对网络服务质量的要求。

## 4 Agent 通信实例

有限状态机模型(Finite State Machine, FSM)是描述 Agent 通信协议的有力工具,FSM 可以较好地表现协议机运行状态间的关系。彼此间通信的 Agent 的状态是 Agent 通信协议研究的重点,而系统的动态性也是必须要关心的问题。时序逻辑(Temporal Logic)是研究系统动态性的一个有力工具<sup>[5]</sup>,我们将 FSM 和 TL 进行有限的组合,形成一种新的表现方法:有限状态时序图(Finite State Temporal Chart, FSTC)。该图既可以表现协议机运行的不同状态又可以反映通信系统动态性。我们的通信实例将由 FSTC 来表示。

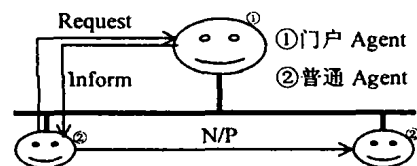


图4 Agent 推荐服务概念图

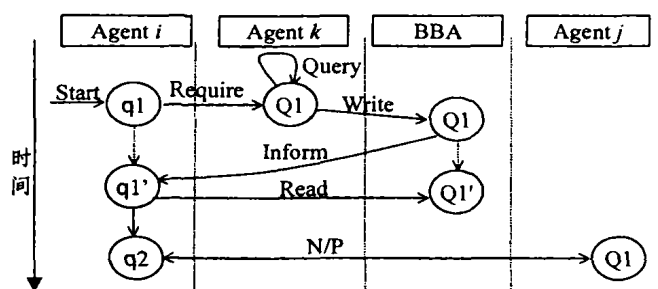


图5 基于 TTMAS 的多 Agent 推荐服务

图4是多 Agent 推荐服务概念图。普通 Agent 之间彼此并不知道对方能够提供什么样的服务,所以普通 Agent 将自己能够提供的服务描述登记到门户 Agent k 中去。当一个 Agent i 需要其它 Agent 提供某一服务 C 时,它首先向门户 Agent k 发出请求。门户 Agent k 查询相关的登记表,发现 Agent j 可以提供服务 C,所以它就通知 Agent i 关于 Agent j

(下转第84页)

④模糊事件监视器根据评价条件的真度大于一阈值(在有的情况下,可能没有模糊条件,此时认为模糊条件恒真,即发生度为1),则被触发的模糊动作按一定方式执行;⑤撤销模糊监视器自己的事务继续系统正常工作。

当模糊评价器评价模糊条件的真度达到一定值时,模糊动作被激活,但这并不意味着该模糊动作立即执行,它何时开始执行依赖于模糊条件、模糊事件及模糊动作的匹配关系上,可以描述如下:

1)触发模糊事件与被触发模糊事件的匹配模式(即模糊条件与模糊动作的匹配)有三种:

- 立即执行:被触发模糊动作不经过调度程序立即驱动执行,或经过调度程序并立即获及最高优先而投入运行;

- 推迟执行:被触发的模糊动作由调度程序在一定时间间隔内调度执行;

- 分离执行:被触发的模糊动作的执行由自身特征决定,由调度程序统一调度处理。

2)触发模糊事件与被触发模糊事件的关系(即模糊事件与模糊动作的关系)有三种:

- 被触发模糊事件是触发模糊事件的部件事件;

- 被触发模糊事件是触发模糊事件的子事件;

- 被触发模糊事件是触发模糊事件的独立事件。

3)触发模糊事件与模糊条件评价器的匹配(即模糊事件与模糊条件的匹配)有三种:

- 立即评价:模糊事件监视器收到模糊事件探测器的信号后立即启动模糊条件评价器进行评价;

- 推迟评价:模糊事件监视器收到模糊事件探测器的信号后在一定时间间隔内再启动模糊条件评价器进行评价;

- 分离评价:模糊事件监视器收到模糊事件探测器的信号后,由模糊事件特征决定,单独地启动模糊条件评价器进行评价。

在具体系统中,各种匹配关系的组合,有些是不可能的,需要考虑匹配关系的相容性。在前述讨论中,为减少主动模糊规则的匹配关系,在模糊事件与模糊条件的匹配上,我们省略了推迟评价和分离评价,而只考虑了在模糊事件监视器立即启动模糊条件评价器对模糊条件进行评价。因此,激活模糊动作的执行方式如表1。

表1 模糊动作执行方式

| 执行方式 | 立即执行 | 推迟执行 | 分离执行 |
|------|------|------|------|
| 部件事件 | IP   | ×    | ×    |
| 子事件  | IS   | DS   | ×    |
| 独立事件 | ×    | ×    | SI   |

表中×表示不支持这种执行方式,IP表示模糊动作是触发事务的一部分,且立即执行;IS表示模糊动作是触发事务的一个子事务,且立即执行;DS表示模糊动作是触发事务的一个子事务,且推迟执行;SI表示模糊动作是一个单独的事务,且分离执行。部分模糊动作和子事务模糊动作的执行与触发事务同步,即事务模糊动作执行完后控制返回触发事务。独立模糊动作的执行则是异步的,即可以并行执行,不存在控制的返回执行。

**小结** 本文在主动模糊事件和模糊规则的形式表示基础上,提出了对模糊事件的探测机制和监视机制,以及对模糊条件的评价机制,并建立了一种主动模糊数据库的模糊规则触发执行模型。即探测并监视模糊事件的发生度是否达到发生阈值来触发评价器对模糊条件的评价,从而触发模糊动作的执行。

主动模糊规则的触发执行机制是实现主动模糊数据库的关键,对模糊规则的触发执行的实现将是进一步研究的内容。

## 参考文献

- 何新贵.模糊数据库系统.北京:清华大学出版社,1994
- Buckles B P, Petry F E. Fuzzy Database and their Applications. Fuzzy Information and Decision Processes, 1982. 361~371
- Shenoi S, Melton A. Proximity Relations in the Fuzzy Relational Database Model. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 100(Suppl): 51~62
- 刘云生,舒良才,胡国玲.实时主动数据库中的事件.计算机工程与应用, 1996, 32(3): 1~5
- 刘云生,胡国玲,舒良才.一个实时主动数据库的触发器机制.计算机研究与发展, 1997, 34(1): 33~37
- 魏延.主动模糊数据库系统及其主动规则行为理论研究:[学位论文].重庆:重庆大学, 2001
- 卢炎生,刘云生,张文彬,等.一个主动实时数据库管理系统的实现.华中理工大学学报, 1997, 25(6): 10~13
- Vreeswijk G A W. Open Protocol in Multi-Agent Systems: technical report CS 95 of Department of Computer Science. University of Limburg, Jan. 1995
- 焦文品,史忠植.构造MAS的动态体系结构的模型.计算机学报, 2000, 23(7): 732~737
- 毛新军,王怀民,陈火旺,刘凤歧.多Agent系统的非终止主动合作计算模型.计算机研究与发展, 1999, 36(7): 769~775
- Michael W, Jennings N R. Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey. In: Intelligent Agents. Springer-Verlag, Berlin, 1995. 1~39
- Barbuceanu M, Fox M S. Cool: A language for describing coordination in multi-agent systems. In: Proc. of the First Intl. Conf. on Multi-Agent Systems (ICMAS-95), San Francisco, CA, 1995. 17~24
- Hu Y J. Intelligent Autonomous Resources Allocation in Distributed Open Multi-Agent System, In: Intl. Workshop on Decentralized Intelligent and Multi-Agent Systems, DIMAS'95, Cracow, Poland, 1995. 435~442
- 王斌,张尧学,陈松乔.一种基于黑板模型的多Agent系统通信方法.小型微型计算机系统,(已录用)

(上接第87页)

的信息.Agent i 于是向 Agent j 发起 N/P 协商过程。将上述通信实例在 TTMAS 通信模型中的通信过程如图5所示。

**结论** 本文在 TTMAS 通信模型的基础上,将 Agent 通信协议分成四层,着重研究了 Agent 通信协议的第二层:Agent 会话层,对该层中的协商/承诺过程进行建模,并给出适合于该模型的协议报文格式。最后我们基于 TTMAS 通信模型用有限状态时序图说明了一个 Agent 的通信实例。

## 参考文献

- Finin T, et al. KQML as an agent communication language. In: Proc. of the 3rd Intl. Conf. on Information and Knowledge Management (CIKM'94), ACM Press, Gaithersburg Maryland, 1994. 456~463
- FIPA. Agent communication language:[Tech Rep]. FIPA: 1999. FIPA Specification 2 1999