

文章编号:1001-9081(2006)11-2648-03

## 多 Agent 谈判:一种基于模糊逻辑控制的方法

张 丽<sup>1</sup>, 郑丕谔<sup>1</sup>, 饶国政<sup>2</sup>

(1. 天津大学 管理学院, 天津 300072; 2. 天津大学 计算机科学与技术学院, 天津 300072)

(zhangli@tju.edu.cn)

**摘 要:**在分析各种 Agent 谈判模型不足的基础上,首先给出基于黑板模式的谈判 Agent 体系结构,然后设计了一个通用的谈判 Agent 建议的综合评价方法。此外,应用标准可加性模型原理设计了谈判 Agent 的策略模型,从而构建了应用范围广泛的自动化谈判 Agent 模型。

**关键词:**谈判 Agent;黑板模式;综合评价;标准可加性模型;谈判策略

**中图分类号:** TP181 **文献标识码:** A

## Multi-agent negotiation: an approach based on fuzzy logic control

ZHANG Li<sup>1</sup>, ZHENG Pi-e<sup>1</sup>, RAO Guo-zheng<sup>2</sup>

(1. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Computer Science & Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** To overcome the disadvantages of current agent negotiation models analyzed, a general architecture of blackboard pattern-based negotiation agent was proposed. Then, a general-purpose comprehensive evaluation method of negotiation agent proposals was put forward. In addition, following standard additive model theory, strategies model based on negotiation agent was designed. As a result, a widely used automatic negotiation agent model was constructed.

**Key words:** negotiation agent; blackboard pattern; comprehensive evaluation; standard additive model; negotiation strategies

### 0 引言

随着 Internet 和信息技术的发展,全球范围内企业间的合作与兼并越来越普遍,供应链管理要求企业在全世界范围内动态寻求合作伙伴,建立合作关系,以达到供应链上所有企业利益的最大化。为达到这一目的,信息系统应该能支持企业在整个 Internet 上动态地寻找潜在的合作伙伴,并简单快速地通过谈判途径达成协议,最终实现与信息系统的集成,完成网上的在线交易。多 Agent 系统(Multi-Agent System, MAS)技术在一定程度上胜任这一要求<sup>[1]</sup>。在 MAS 中,每个智能 Agent 具有独立性、智能性和可移动性,并表现出很强的协作能力,即多个 Agent 之间通过协调和协作,合作完成共同的任务。基于引入 MAS 来模拟、优化、实现电子商务活动中的谈判过程,成为当前智能决策支持系统一个重要的研究方向<sup>[2,3]</sup>。

Agent 之间进行的谈判,人们往往定义为“多个 Agent 为了就某些问题达成一个可共同接受的协议而进行的交流过程”<sup>[4]</sup>。对于这个概念可以有两个层面的理解,一方面谈判不是在真空中发生的,它们受一种特定的机制或协议支配,协议定义了两个 Agent 相遇的规则;另一方面,对于一个特定的协议,根据 Agent 是使用一个策略最大化个体自身的利益的目的,来设计个体 Agent 谈判时可以使用的特定策略。因此一个谈判系统包含两个重要组成部分,谈判协议和谈判策略,这两者共同构成了一个自动谈判系统的谈判机制。其中谈判策略问题最为复杂,也是研究的热点问题。在文献[5~7]中,研究者们都建立了一套确定的推理方法,通过计算一个类似

效用函数的函数值来进行推理决策,Agent 的谈判策略只是依靠其内部策略推理机制来帮助做出行动序列的决策。但是现实中的谈判问题往往不容易用定量指标来对一些谈判因素进行描述,因而给出一个优化的效用函数是非常困难的,而且谈判的过程中采取何种策略是不确定的。

因此,我们试图在简单自由的协议上构建一个贴近现实谈判的基于模糊逻辑控制的谈判 Agent 模型,该模型是以一个双边多级多问题谈判模型为基础,首先采用黑板模式设计了谈判 Agent 的体系结构,并给出了谈判 Agent 建议的综合评价方法,可以容易地对定量和定性指标进行综合评价,有较强的通用性。同时,采用模糊逻辑控制的方法设计了谈判 Agent 的策略模型,从而构建了应用范围广泛的现实谈判模型。显然,它可以非常容易地推广到多个 Agent 的情况。

### 1 谈判 Agent 体系结构

首先来考察两个 Agent 的谈判,至于多 Agent 谈判可以转化为多个双边问题来解决。由于 Agent 谈判是人工智能中一个非常复杂的多目标决策问题,因此我们采用黑板模式设计了一个如图 1 所示的买方谈判 Agent 的体系结构。同样地,我们可以非常容易地得到卖方谈判 Agent 的体系结构。

**移动模块** Agent 由一个平台向另一个平台进行分发、其他平台对 Agent 的接收以及 Agent 在不同的平台间的迁移等操作,都是由移动模块来完成的。

**安全模块** 安全控制模块提供 Agent 自身的保护,防止外部环境对 Agent 的非法访问。它常常要根据不同的情况采

收稿日期:2006-05-11;修订日期:2006-06-28

基金项目:天津市基础重点项目(043800411);天津市重点科技攻关项目(04310891R)

作者简介:张丽(1977-),女,辽宁东港人,博士研究生,主要研究方向:敏捷供应链、多 Agent 系统; 郑丕谔(1942-),男,福建莆田人,教授,博士生导师,主要研究方向:大系统; 饶国政(1977-),男,湖北武穴人,博士研究生,主要研究方向:多 Agent 系统、语义 Web。

取不同的策略,并采取运行日志机制,通过对日志的监控和分析,提高 Agent 的安全性。

**通信模块** 主要负责与其他 Agent、平台和环境的通信, Agent 通过通信模块采用基于 FIPA 标准的 ATL (Agent Template Language) 与其他 Agent 和外部环境进行交互。

**黑板模块** 是谈判 Agent 的核心模块。黑板是 Agent 的全局数据区,它是一个数据对象的集合,每个数据对象属于某种对象类型,在具体的求解应用中往往被组织成层次性结构。推理控制模块不断检测黑板上对象状态的变化,在它所感兴趣的对象状态满足一定条件时激活,对黑板上的数据对象进行处理并向黑板输出对数据对象的处理结果,然后将相应的结果存储到数据库、策略库、知识库中,成为推理决策的依据。

**推理控制模块** 该模块能根据任务和自身的状态及环境等因素进行综合评价,并根据评价结果采取相应的策略进行推理和科学决策。

**人机接口** 该模块是买方和专家与 Agent 进行交互的智能图形化界面,买方和专家可以方便地通过该界面定义和修改相关的个性化谈判参数,而不用去考虑其内部的细节。

**搜索模块** 该模块可以在 Internet 上搜索查找并接收相关用户感兴趣的以及潜在的卖方。

由于在合理的时间内,谈判问题解空间的完全搜索是不可行的,且对于大多数情况只能找到最优解或者次优解,因此采用基于黑板模式的体系结构是非常行之有效的。

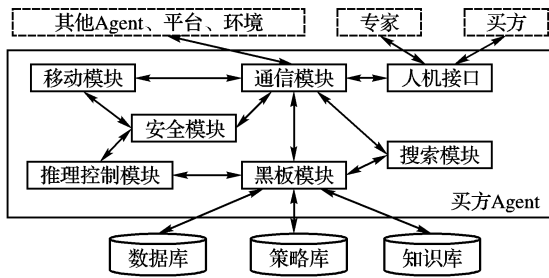


图 1 买方谈判 Agent 的体系结构

## 2 谈判建议的多边多级多目标综合评价

如前所述我们先考虑双边模型,即先进行某个企业多级多目标模糊综合评价,用同样的方法可对任何一个企业进行评价,由此可以非常容易地将之推广到多企业多级多目标模糊综合评价。首先我们定义各项指标的价值,设某项指标  $T$  的值域为  $T_i$ ,该项指标的价值可用隶属度函数  $V_i^a$  来表示,定义为:  $T_i \rightarrow [0, 1]$ ,  $a$  可以表示任意一个 Agent,在双边模型中,  $a \in \{p, b\}$ 。

1) 我们可以用下面的隶属度函数来确定定量评价指标(可量化因素)的  $V_i^a$ 。

对越大越优型指标(如利润率、市场占有率(买方、卖方是不同的)等),计算其指标的价值:

$$V_j = \begin{cases} 1, & T_j > T_p \\ \frac{T_j - T_f}{T_p - T_f}, & T_f \leq T_j \leq T_p \\ 0, & T_j < T_f \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $V_j$  为子集  $T^i$  中第  $j$  个评价指标的价值,  $T_p, T_f$  分别表示子集  $T^i$  第  $j$  个指标的特征量,买方规定某项指标的范围的极值,如未规定取知识阶段收集到的极大值和极小值。

对越小越优型指标(如产品价格、交货时间(买方、卖方是不同的)等),计算其指标的价值:

$$V_j = \begin{cases} 1, & T_j > T_p \\ \frac{T_p - T_j}{T_p - T_f}, & T_f \leq T_j \leq T_p \\ 0, & T_j < T_f \end{cases} \quad (2)$$

(2)式用二元对比排序法确定定性评价指标(不可量化因素)的隶属度,对子集中的某一定性评价指标,根据模糊优先关系知识设计模糊语言数值化分值,见表 1。

表 1 模糊语言数值化分值

二元对比模糊语言	数值化分值	二元对比模糊语言	数值化分值
极好	[0.9, 1.0]	略不好	[0.3, 0.4]
很好	[0.8, 0.9]	不好	[0.2, 0.3]
好	[0.7, 0.8]	很不好	[0.1, 0.2]
略好	[0.6, 0.7]	极不好	[0, 0.1]
中等	[0.4, 0.6]		

各指标价值确定后,即可评价由一系列指标构成的某个建议的价值。

设买方 ( $Agent_p$ ) 的某潜在合作伙伴企业卖方 ( $Agent_b$ ) 有  $m$  个一级评价指标(因素)的集  $T^i$ ,将  $T^i$  按属性类型划分为  $p$  个子目标的子集  $T_j^i$  (二级评价指标)。如果可能,可以将这个二级评价指标  $T_j^i$  划分为  $q$  个子目标的子集  $T_{jk}^i$  ( $T_{jk}^i$  为三级指标,若是影响某个三级评价指标仍有较多的因素,还可以将三级评价指标进一步划分为四级、五级指标)。其中  $T = \bigcup_{i=1}^m T^i$ ,  $T^i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_p^i\}$ ,  $T_j^i = \{T_{j1}^i, T_{j2}^i, \dots, T_{jq}^i\}$ ,  $T^i \cap T^j = \emptyset$ ,  $T_n^i \cap T_k^i = \emptyset$ ,  $i \neq j$ ,  $n \neq k$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$ ,  $1 \leq n, k \leq p$ 。

合作伙伴企业的指标评价体系是一个树型结构,因此买方  $Agent_p$  对代表潜在合作伙伴企业卖方  $Agent_b$  的指标体系的评价是个多级多目标模糊综合评价的过程。所以我们首先从最深(或最低)层的评价指标开始,逐层向上评价,直至总的评价目标为止。结合前面的分析,我们把评价指标体系分为三级,如果需要,根据实际情况,我们可以把指标进一步细分,分为更多级。

当  $Agent_p$  在时间  $t$  从  $Agent_b$  处收到建议二级指标  $T_j^i$ ,记为  $(T_j^i)_{b \rightarrow p}^t = \{T_{j1}^i, T_{j2}^i, \dots, T_{jq}^i\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$ ,那么应用式(1),(2)就可以计算出各项二级指标的价值集:  $(V_j^i)_{b \rightarrow p}^t = \{v_{j1}^i, v_{j2}^i, \dots, v_{jq}^i\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$ ,对应指标的权重集为:  $(W_j^i)_{b \rightarrow p}^t = \{w_{j1}^i, w_{j2}^i, \dots, w_{jq}^i\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$ ,满足:

$$\sum_{r=1}^{N_j} w_{jr}^i = 1, j = 1, 2, \dots, p, \text{则二级指标 } T_j^i \text{ 的价值记作:}$$

$$(V_j^i)_{b \rightarrow p}^t = \sum_{r=1}^q v_{jr}^i w_{jr}^i, j = 1, 2, \dots, p \quad (3)$$

同样地,一级指标  $T^i$  的价值可以用下式来计算:

$$(V^i)_{b \rightarrow p}^t = \sum_{s=1}^p v_s^i w_s^i, i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

依此类推,  $Agent_p$  在时间  $t$  从  $Agent_b$  处收到建议的价值可以表示为:

$$V_{b \rightarrow p}^t = \sum_{u=1}^m v^u w^u \quad (5)$$

为了提高 Agent 的自适应性, Agent 的偏好可以自动或手工定义,用户可以修正这些权值,对谈判结果进行优化。在实际谈判中,  $Agent_p$  一般都是与多个  $Agent_b$  进行谈判协商,这样我们的评价过程就是一个多企业多目标模糊综合评价过

程,我们就可以采用上述的方法同时对每个合作伙伴企业的建议进行评价,这些评价结果是位于 $[0,1]$ 之间的无量纲的具有可比性的值,因此可以对它们进行比较选择。假设有 $n$ 个潜在合作伙伴企业,得到一个评价向量: $V = (v_{b1 \rightarrow p}^t, v_{b2 \rightarrow p}^t, \dots, v_{bn \rightarrow p}^t)$ ,这样我们可以对该评价向量按数值大小进行由高到低进行排序得到 $V' = (v_{b1' \rightarrow p}^t, v_{b2' \rightarrow p}^t, \dots, v_{bn' \rightarrow p}^t)$ 。通常 $Agent_p$ 会从中挑选一些评价价值大的进行谈判。

### 3 策略模型

对合作伙伴企业的建议评价结束之后,得到每个合作伙伴企业建议的价值,下一步就是利用这些评价结果来采取相应的策略(动作 Action)。一般来讲,买方 $Agent_p$ 与卖方 $Agent_b$ 的利益取向是相反的,如买方希望商品或服务的价格越低越好,而卖方则希望越高越好。这样对于同一个问题,他们所能接受的值域应该有重合的部分,否则谈判将难以进行,而且如果最后达成协议,必将达到一个谈判平衡点,通常这个平衡点应该位于二者值域的重合区间。这就决定了 Agent 之间的谈判是一个依次序贯地让步的建议与反建议的过程。这一过程一直持续,直到某一方的建议被双方接受为止,或者因某一方的退出而宣告谈判失败。当 $Agent_p$ 在 $t$ 时刻从 $Agent_b$ 处收到一个建议 $T_{b \rightarrow p}^t$ 后,用上述评价方法对该建议进行评价得 $V_{b \rightarrow p}^t$ 。如果 $v_{b \rightarrow p}^t \in [v_1, v_2]$ , $Agent_p$ 将接受 $Agent_b$ 的建议的隶属度为 $u_1(accept)$ ;如果 $v_{b \rightarrow p}^t \in [v_3, v_4]$ , $Agent_p$ 将提出一个反建议 $T_{p \rightarrow b}^t$ 给 $Agent_b$ 的隶属度为 $u_2(counter-proposal)$ ;如果 $v_{b \rightarrow p}^t \in [v_5, v_6]$ , $Agent_p$ 将给出一个合理的理由来拒绝 $Agent_b$ 的隶属度为 $u_3(reject)$ ;如果 $v_{b \rightarrow p}^t \in [v_7, v_8]$ , $Agent_p$ 将通过退出来结束谈判的隶属度为 $u_4(end)$ ,其中 $1 \geq v_1 > v_3 \geq v_2 \geq v_5 \geq v_4 \geq v_7 \geq v_6 \geq v_8 \geq 0$ 。这一过程可用如下函数来表示:

$$A^a(t', v_{c \rightarrow a}^t) = \begin{cases} accept, & \text{if } v_{c \rightarrow a}^t \in [v_1, v_2], \text{ then } u = u_1(accept) \\ T_{c \rightarrow a}^t, & \text{if } v_{c \rightarrow a}^t \in [v_3, v_4], \\ & \text{then } u = u_2(counter-proposal) \\ reject, & \text{if } v_{c \rightarrow a}^t \in [v_5, v_6], \text{ then } u = u_3(reject) \\ end, & \text{if } v_{c \rightarrow a}^t \in [v_7, v_8], \text{ then } u = u_4(end) \end{cases}$$

对方建议的评价过程是一个综合模糊评价过程,在此之后,采取什么行动也是一个需要综合考虑的模糊决策过程。在几种常见的模糊推理模型中标准可加性模型系统几乎可以解释在实际中碰到的所有的模糊系统<sup>[8]</sup>,我们在状态转移过程中应用标准可加性原理,从而获得更精确、更好的人性化推理过程。

**定理 1** 标准可加性模型原理:一个存储 $m$ 条模糊规则的模糊系统,其规则具有形式:“如果 $x = A_j(x = (x_1, x_2, \dots, x_n), A_j(a_j^1, a_j^2, \dots, a_j^n))$ ,则 $y = B_j, j = 1, 2, \dots, m$ ”。实数 $x$ 输入到系统中,激活了所有 $m$ 条规则的“如果”部分(这种激活是某种程度激活,许多情况下激活程度为0)。然后系统按比例或加权转化“则”部分以形成一个新的模糊集 $B'_j$ 。将 $B'_j$ 相加作为输出集 $B$ ,系统通过取 $B$ 的形心将其“反模糊化”以得到标量输出 $y = F(x)$ ,如图2所示。

$$F(x) = Centroid(B) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j a_j(x) v_j c_j}{\sum_{j=1}^m w_j a_j(x) v_j} \quad (6)$$

式(6)为标准可加性模型。其中 $c_j, v_j$ 分别表示第 $j$ 规则的“则”部分形心和体积, $w_j$ 为规则权重,反映了规则的可信度或频率的“通常性”, $a_j(x)$ 指的是输入值 $x$ 属于“如果”部分模糊集的程度, $a_j(x) = T(a_j^1(x_1), a_j^2(x_2), \dots, a_j^n(x_n))$ 。运用标准可加性模糊模型原理,第一步是将输入 $V_{c \rightarrow a}$ 并联地匹配到所有“如果部分”的模糊集合,这一步依据输入 $V_{c \rightarrow a}$ 属于每一个“如果部分”集合的程度来“激活”或“启动”模糊规则;第二步是叠加所有的按比例收缩的“则部分”集合,生成最终输出集合;第三步就是非模糊化,给出 Agent 的状态转移策略。

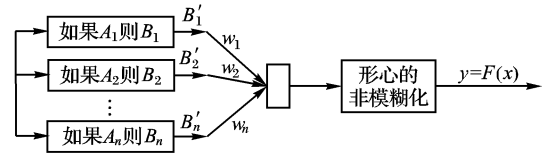


图2 标准可加性模型

### 4 实现

自1998年以来,我们课题组就先后进行平台设计和ATL设计,还采用开源软件Eclipse开发出了一种移动Agent模板系统,在此基础上,我们又对JADE的平台进行了必要的扩展,并开发出了通用的移动Agent快速集成开发环境的原型。利用该集成开发环境定制了基于黑板模式的谈判Agent,编程实现了上述的基于模糊逻辑控制的谈判策略模型,并进行了必要的测试。

### 5 结语

本文在分析了MAS在供应链信息系统建模中的优势,设计并实现了基于黑板模式的谈判Agent,在此基础上提出了多Agent多级多问题综合评价方法,并结合该评价结果提出了基于模糊逻辑控制的谈判策略的选择方法,从而在一定程度上实现了多Agent的自动化谈判。

#### 参考文献:

- [1] DZENG R, LIN Y. Intelligent agents for supporting construction procurement negotiation[J]. Expert Systems with Applications, 2004, 27(1): 107-119.
- [2] KURBEL K, LOUTCHKO I. A model for multi-lateral negotiations on an agent-based job marketplace [J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2005, 4(3): 187-203.
- [3] JIAO J, YOU X, KUMAR A. An agent-based framework for collaborative negotiation in the global manufacturing supply chain network [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2006, 22(3): 239-255.
- [4] SHIH D, HUANG S, YEN D. A new reverse auction agent system for m-commerce using mobile agents[J]. Computer Standards & Interfaces, 2005, 27(4): 383-395.
- [5] XUE X, LI X, SHEN Q, et al. An agent-based framework for supply chain coordination in construction[J]. Automation in Construction, 2005, 14(3): 413-430.
- [6] 曾子明, 孟波. 基于MAS的电子商务谈判支持系统[J]. 计算机工程, 2005, 31(14): 1-3.
- [7] 朱付保, 关佳红, 牛晓太. 一种基于Agent推理的自动谈判方法研究[J]. 复旦学报, 2004, 43(5): 845-848.
- [8] KOSKO B. 模糊工程[M]. 黄崇福, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 1999.