

# 一种基于时间-效用的 Agent 社会承诺机制

张 谦 邱玉辉 陈 璐

(西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)

**摘要** 在多 Agent 系统中,为了完成任务,Agent 之间需要建立社会承诺。本文将 T. Sandholm 的分级承诺合同协议思想与时间-效用对协商的影响有机地结合起来,提出了一种基于时间-效用的 Agent 社会承诺机制,为电子商务环境下存在最大协商时间的一对多协商中的买卖双方 Agent 之间的社会承诺问题提供了有效的解决方案。文章分析了解除承诺的条件,提出了建立承诺、解除承诺和遵守承诺的规则,从而有效规避了协商中买方 Agent 与卖方 Agent 随意达成一致的行为,同时保证了买方 Agent 能够在最大协商时间内确定最佳交易卖方,从而提高了协商系统的效率和效用。

**关键词** 多 Agent 系统,效用,社会承诺,自动协商

## An Agent Social Commitment Mechanism Based on Time-utility

ZHANG Qian QIU Yu-Hui CHEN Lu

(College of Computer and Information Science, Southwest University, Chongqing 400715)

**Abstract** In multi-agent system, the social commitment mechanism between agents needs to be built for solving problem. This paper develops an agent social commitment mechanism based on time-utility for one-to-many negotiation in semi-competitive situations in which there exists information uncertainty and deadlines. The mechanism guarantees rational actions and enables the negotiation more effective and increases utilities of the system.

**Keywords** Multi-agent system, Utility, Social commitment, Automated negotiation

协商电子商务(E-negotiation)为买卖双方进行商务活动提供了更加灵活高效的交易模式。软件 Agent 自动协商技术是实现协商电子商务的关键技术。自动协商是一组自治 Agent 为了某些与利益相关的议题相互进行通信以求达成一致的过程。它是多 Agent 系统中的一种重要交互形式。协商议题可以是价格、数量和质量等等。一个提议是不同议题值的组合,协商双方通过轮流提议,即修改提议中不满意的议题值从而达到一致,最终形成一个双方都认可的合同。根据协商过程中的交互性质,可分为一对一协商、一对多协商和多对多协商。电子商务环境中的一对多协商是指一个买方 Agent 同时与多个卖方 Agent 进行协商,从中选择最佳的卖方。这种协商形式能够增加协商双方达成一致的几率,从而获得更多效用和有效减少协商时间。在现有的一对多协商模型中<sup>[1,2,9]</sup>,通常允许买方 Agent 在最大协商时间到来之前与多个卖方 Agent 达成暂时一致的情况,买方 Agent 只要在最大协商时间来临前从中确定出唯一的最终卖方就可以了,因此就有可能出现买方 Agent 为了获得更多的利益而随意与多个卖方 Agent 达成一致,使得卖方失去了与其他买方成交的机会。这对于卖方是不公平的,可能导致无理和无效的协商行为发生。为此,本文提出了一种基于时间-效用的 Agent 社会承诺机制来制约上述现象,同时为确定最终交易卖方提供了解决方案。

Agent 承诺是 Agent 完成某个任务或动作,以实现某个目标,并且准备付诸于行动的能力,可分为内部承诺、社会承诺、组织承诺和小组承诺<sup>[5]</sup>。内部承诺是 Agent 个体向自己承诺执行一个动作或完成一个目标,是最基本的承诺形式。社会承诺是 Agent 组织中一个 Agent 对另一个 Agent 所作的承诺。组织承诺和小组承诺分别是 Agent 组织和 Agent 组织中的小组内有共同目标的 Agent 群体所作的联合承诺。社会承诺、组织承诺和小组承诺是使多 Agent 系统保持相对稳定

和获得收益的重要手段,它们为 Agent 完成自己的社会行为奠定了信任基石。然而,强制性承诺可以导致无理性和无效率的 Agent 行为。因此本文在存在最大协商时间的一对多协商中提出了一种将 T. Sandholm 的分级承诺合同协议思想<sup>[3]</sup>与时间-效用对协商的影响有机结合起来的 Agent 社会承诺机制。本文将参与一对多协商的买卖双方 Agent 看作一个 Agent 组织。因为买卖双方 Agent 的社会承诺关系是相互对称的,所以本文只从买方 Agent 角度讨论买方 Agent 对卖方 Agent 的社会承诺机制。本机制易扩展为卖方 Agent 对买方 Agent 的社会承诺机制。

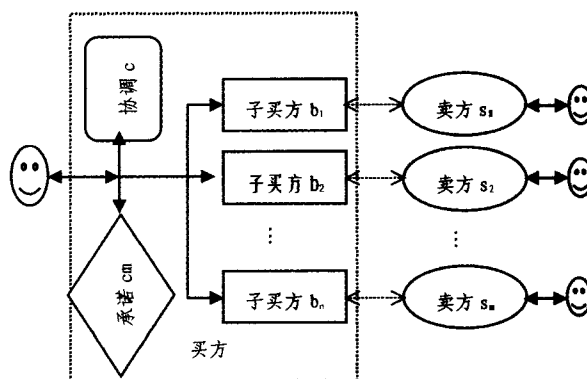


图 1

在描述本文的 Agent 社会承诺机制前,先概述一下本人在前期研究工作中建立的一对多协商模型<sup>1</sup>的框架<sup>[9]</sup>。

### 1 一对多协商模型

如图 1 所示,购买服务的一方被称为买方,出售服务的一方被称为卖方。本模型实现的是半竞争、信息不完全和不确定

定以及存在最大协商时间的动态环境中一个买方和多个卖方的多议题一对多协商。其中的 Agent 是自利和理性的,希望最大化自我效用。每个 Agent 都有自己的信念和偏好,这些信息是私有的,对于其他 Agent 是保密的。Agent 的初始提议信息是从市场和历史经验中获得的。买方由协调 Agent  $c$ 、承诺管理 Agent  $cm$  和多个子买方 Agent  $b_j$  组成。 $c$  是整个模型的核心,负责创建  $b_j$ ,为其确定协商策略,并且确定最终的交易卖方。 $b_j$  由  $c$  创建,负责与相应  $s_j$  进行协商,将每一轮的协商状态信息传送给  $c$ 。如果  $b_j$  与  $s_j$  达成一致,它们会暂停协商,直到最大协商时间来临,由  $c$  确定最终与哪个卖方交易。一个子买方与相应卖方进行一次协商的完整过程称为一个子协商。子协商遵循 Rubinstein 的轮流提议协议<sup>[7]</sup>。为便于讨论,将协商时间离散化,最大协商时间即是允许协商的最大轮数。 $T_b$  是买方的最大协商时间,所有子协商以及  $c$  确定交易对象都必须在  $T_b$  内完成。每个卖方也有各自的最大协商时间,设为  $T_{s_j}$ 。买卖双方都有各自的协商策略。 $cm$  负责管理双方的社会承诺,它将承诺信息传送给  $c$ ,由  $c$  检查所有子协商的状态,并做出相应处理(详见本文第 3 节)。

**定义 1** 本文的一对多协商模型可以定义为十元组  $\{A, I, X, T, U, Q, SIM, AT, ST, AC\}$ , 其中,  $A = \{c, cm, b, s, b = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_n\}, s = \{s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_n\}, 1 = j = n, n \geq 1\}$  表示参与协商的 Agent 集合,  $c$  表示协调 Agent,  $cm$  表示承诺管理 Agent,  $b_1, b_2, \dots, b_n$  表示  $n$  个相对独立的子买方 Agent,  $s_1, s_2, \dots, s_n$  表示  $n$  个相互独立的卖方 Agent;  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n, n \geq 1\}$  表示协商议题集合;  $X = \{x^i | x^i \in D, i \in I\}$  表示协商议题集合  $I$  的所有可能取值集合,  $D = [\min\{\min(x_{b_j}^i), \min(x_{s_j}^i)\}, \max\{\max(x_{b_j}^i), \max(x_{s_j}^i)\}], [\min(x_{b_j}^i), \max(x_{b_j}^i)]$  和  $[\min(x_{s_j}^i), \max(x_{s_j}^i)]$  分别表示  $b_j$  和  $s_j$  关于议题  $i$  的提议区间,  $x_{b_j}^i(t) = \sum_{i \in I} w_{b_j}^i \cdot x_{b_j}^i(t)$  和  $x_{s_j}^i(t) = \sum_{i \in I} w_{s_j}^i \cdot x_{s_j}^i(t)$  分别表示  $b_j$  和  $s_j$  所做的第  $t$  轮提议,  $w_{b_j}^i$  和  $w_{s_j}^i$  分别是  $b_j$  和  $s_j$  对于议题  $i$  所赋的权值, 并且  $\sum_{i \in I} w_{b_j}^i = 1, \sum_{i \in I} w_{s_j}^i = 1; T = \{1, 2, \dots, t, \dots, \min(T_b, T_{s_j})\}$  表示协商轮数集合;  $U$  表示效用函数;  $Q$  表示  $Q$  函数;  $SIM$  表示相似度函数;  $AT$  表示协商类型集;  $ST$  表示协商策略集合;  $AC = \{\text{proposal, reproposal, send, accept, refuse, confirm, terminate, deal}\}$  表示原子协商行为集合。特别地,“accept”只是暂时达成一致并建立交易承诺,等待  $c$  最终确定交易对象,并不需要立即执行由该提议构成的合同;在最大协商时间  $T_b$  内,可以同时存在多个子买方与相应卖方达成一致的情况,但  $c$  必须在  $T_b$  内最终确定(confirm)某个唯一的卖方进行交易,并且与其他建立承诺(accept)的卖方解除承诺(breach)。

## 2 效用函数(Utility Function)

本文承诺机制中的罚金规则和最佳伙伴规则都与当时时间的协商效用密切相关,下面定义构造效用函数的计分函数(Scoring Function)和效用函数(Utility Function)。

**定义 2(计分函数)** 计分函数  $v: D \rightarrow [0, 1]$  表示对所有可能议题取值的评估,  $v^i(x^i(t))$  表示对议题  $i$  的取值  $x^i(t)$  的评估分值。

当计分函数值与议题值成正比时,

$$v^i(x^i(t)) = \frac{x^i(t) - \min(x^i(t))}{\max(x^i(t)) - \min(x^i(t))}$$

当计分函数值与议题值成反比时,

$$v^i(x^i(t)) = \frac{\max(x^i(t)) - x^i(t)}{\max(x^i(t)) - \min(x^i(t))}$$

**定义 3(效用函数)**  $u_j(t) = \sum_{i \in I} w_j^i v_j^i(x_j^i(t))$  表示 Agent  $j$  在第  $t$  轮协商中获得的效用,其中  $w_j^i$  表示 Agent  $j$  对议题  $i$  所赋的权值,  $v_j^i(x_j^i(t))$  表示对 Agent  $j$  所作提议  $x^i(t)$  的评估分值。

## 3 社会承诺机制和承诺管理 Agent cm

从协商模型框架可以看到正是由于可以同时存在多个子买方与相应卖方达成一致的情况,因此就可能出现买方为获得更多效用而随意与多个卖方达成一致,在最大协商时间  $T_b$  来临时才从中选择一个效用最大的卖方进行交易的利己行为。显然这对于卖方是不公平的,会引起买卖双方的信用危机,导致非理性的和无效的协商行为发生。因此本文引入一种基于时间-效用的 Agent 社会承诺机制来解决上述问题。

**定义 4(买方对卖方的社会承诺)** 买方  $b$  对卖方  $s_j$  的社会承诺是指两者在子协商过程中达成一致后,  $b$  承诺  $s_j$  在最大协商时间  $T_b$  来临时就与其进行交易;否则需要付给  $s_j$  罚金  $p_j$ , 赔偿  $s_j$  的损失。

如图 1,模型中的承诺管理 Agent  $cm$  就负责管理买方对卖方的社会承诺。

### 3.1 建立承诺

**定义 5(建立承诺)** 当买方  $b$  与卖方  $s_j$  在子协商中达成一致时,双方就建立了社会承诺关系。

### 3.2 解除承诺

**定义 6(解除承诺)** 当买方  $b$  与卖方  $s_j$  在子协商中达成一致、建立承诺后,由于某些原因,  $b$  要求取消达成一致的承诺,  $b$  付给  $s_j$  一定罚金  $p_j$ , 赔偿  $s_j$  的损失后,双方就解除了社会承诺关系。

$\min_j(p), \max_j(p)$  为  $b$  与  $s_j$  在解除承诺时所付罚金  $p_j$  的下限和上限,分别称为最低罚金额和最高罚金额,  $\min_j(p) \leq p_j \leq \max_j(p), \min_j(p), \max_j(p) \in (0, u_j], u_j$  为买卖双方的协商效用,买卖双方决定协商时就对  $\min_j(p), \max_j(p)$  做出规定。不同卖方的最低罚金额和最高罚金额是不同的。

#### 3.2.1 罚金方法

**规则 1(动态罚金法)**

$$p_j(t) = u_j(t') * (\min_j(p) + \frac{t-t'}{T_b-t'} * (\max_j(p) - \min_j(p)))$$

其中  $u_j(t')$  为买方  $b$  与卖方  $s_j$  在第  $t'$  轮子协商中达成一致的效用,  $T_b$  为  $b$  的最大协商时间,则  $b$  在第  $t$  轮子协商( $t > t'$ )与  $s_j$  解除承诺所付罚金  $p_j(t)$  可以用上式计算得到。

动态罚金规则规定  $p_j(t)$  除了与协商对象相关外,还与协商时间和效用密切相关。例如,买方在最大协商时间来临时与某个卖方解除承诺所交的罚金远远高于它在协商早期就与该卖方解除承诺所交的罚金。

因为买方与卖方解除承诺,需要付给卖方一定罚金,所以能够有效避免买方为获得更多效用而随意与多个卖方达成一致,在最大协商时间  $T_b$  来临时才从中选择一个效用最大的卖方进行交易的利己行为。承诺解除机制不光解决了前述问题,而且还能使买方获得在某些情况下选择效用更大的卖方进行交易的机会,使得协商模型更为灵活有效。下面分析买方在哪些情况下可以解除承诺,选择新的卖方达成一致、建立承诺。

#### 3.2.2 解除承诺的条件

设买方  $b$  已与卖方  $s_j$  在第  $t'$  轮子协商建立承诺,获得的效用为  $u_j(t')$ 。如果  $b$  要在第  $t$  轮子协商( $t > t'$ )与  $s_j$  解除承

诺, 付给罚金  $p_j(t)$ , 则必须同时满足下面两个条件:

(1) 存在卖方  $s'_j$  与  $b$  在第  $t$  轮子协商中获得的效用  $u'_j(t) > u_j(t') + p_j(t)$ .

(2) 设  $\alpha(x_j(t))$  表示  $b$  对  $s_j$  的提议  $x_j(t)$  的可接受程度, 承诺管理 Agent  $cm$  给定阈值  $\epsilon$ , 则  $\alpha(x_j(t)) \geq \epsilon$ , 其中

$$\alpha(x_j(t)) = \frac{u_j(t) - p_j(t)}{\max(\exp(u_k(t)) | k \in \{1, 2, \dots, n\} \setminus j') * \frac{t}{T_b}}$$

$p_j(t)$  表示  $b$  在第  $t$  轮子协商与  $s_j$  解除承诺所付罚金。若  $b$  在第  $t$  轮子协商并未与  $s_j$  解除承诺, 则  $p_j(t) = 0$ ,  $\exp(u_k(t))$  表示对  $b$  与  $s_k$  在第  $t$  轮子协商获得效用的预测:

$$\exp(u_k(t)) = u_k(t) + \frac{u_k(t) - u_k(t-1)}{u_k(t-1) - u_k(t-2)} * |u_k(t) - u_k(t-1)|$$

### 3.3 遵守承诺

经济学理论认为, 即使交易所获效用与不交易一样, 选择交易也比不交易要好, 这样使得协商双方的行为是合理的 (Individual Rationality)。因此下面定义遵守承诺和最佳交易伙伴规则用于买方在最大协商时间来临时在多个卖方中确定一个最佳交易对象。

**定义 7 (遵守承诺)** 当买方  $b$  与卖方  $s_j$  在子协商中达成一致并且最终与其完成交易, 则  $b$  遵守了对  $s_j$  的社会承诺。

同理也存在卖方解除对买方的社会承诺的风险, 所以买方对最终交易卖方的选择与协商效用和信任度有关。在第 2 节中已定义了协商效用, 下面定义信任度。

**定义 8 (信任度)**

$$z_{b \rightarrow s_j} = \frac{m^+}{m^+ + m^-} * \text{sim}(x_b(t), x_{s_j}(t)) * \frac{t}{T_b}$$

表示买方  $b$  对卖方  $s_j$  的信任度, 其中  $m^+$  是  $s_j$  接受  $b$  提议的次数,  $m^-$  是  $s_j$  与  $b$  解除承诺及退出协商的次数之和,  $\text{sim}(x_b(t), x_{s_j}(t))$  是  $b$  和  $s_j$  在第  $t$  轮子协商建立承诺时双方最近提议的相似度<sup>[8]</sup>。

**规则 2 (最佳交易伙伴规则)** 在最大协商时间  $T_b$  来临时, 买方  $b$  选择的最终交易卖方为  $\text{best-dealer} = \arg \max_{1 \leq j \leq n} \{z_{b \rightarrow s_j}\}$

## 4 实验

为了验证本文承诺机制的可行性和有效性, 我们在 JADE 平台上<sup>2</sup> 设计了没有承诺机制的原型协商系统和引入本文承诺机制的原型协商系统, 并做以下对比分析实验。从图 2 和图 3 可以得出, 引入本文承诺机制的系统比没有承诺机制的系统的平均建立承诺率有一定的减少, 但其平均成交率却在上升, 并且这两种优势随着参加协商的卖方 Agent 数的增加在逐渐增大。从图 4 可以得出, 引入本文承诺机制的系统虽然在协商前期的平均效用不如没有承诺机制的系统, 但在协商后期其平均协商效用就大于没有承诺机制的系统, 并且随着协商时间的增加, 这种优势在逐渐增大。

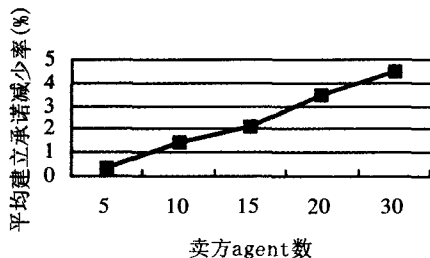


图 2 平均建立承诺率比较

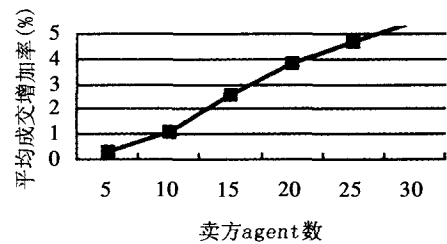


图 3 平均成交率比较

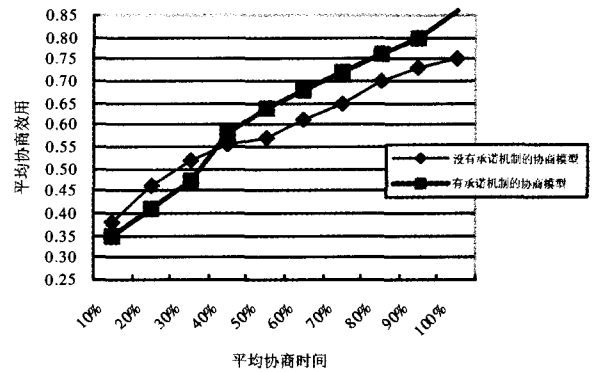


图 4 平均协商效用比较

**小结** 本文为存在最大协商时间的一对多协商提出了一种基于时间-效用的 Agent 社会承诺机制, 通过将 T. Sandholm 的分级承诺合同协议思想与时间-效用对协商的影响有机地结合起来, 分析了解除承诺的条件, 设计了建立承诺、解除承诺和遵守承诺的规则, 并进行了仿真实验。实验结果证明本机制是可行的, 能够有效避免买方的非理性行为, 同时优化买卖双方的协商行为, 提高系统效率和效用。

## 参考文献

- 1 Rahwan I, Kowalczyk R, Pham H H. Intelligent Agents for Automated One-to-Many e-Commerce Negotiation. In: Twenty-Fifth Australian Computer Science Conference (ACSC2002), Australian, 2002, 4:197~204
- 2 Nguyen T D, Jennings N R. A Heuristic Model for Concurrent Bi-lateral Negotiations in Incomplete Information Settings. In: Proc. 18th Int Joint Conf on AI, Mexico, 2003
- 3 Sandholm T, Lesser V. Advantages of a Leveled Commitment Contracting Protocol. In: Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96), Portland, OR, 1996
- 4 Castelfranchi C. Commitments: From individual intentions to groups and organizations. In: Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS), San Francisco, California, June 1995, 41~48
- 5 张伟, 石纯一. Agent 的组织承诺和小组承诺. 软件学报, 2003, 14(3):0473~0478
- 6 Excelente-Toledo C B, Bourne R A, Jennings N R. Reasoning about Commitments and Penalties for Coordination between Autonomous Agents. In: Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agents, New York: ACM Press, 2001. 131~138
- 7 Rubinstein A. Perfect equilibrium in a bargaining model. Econometrica, 1982, 50(1):97~109
- 8 Faratin P, Sierra C, Jennings N R. Using Similarity Criteria to Make Issue Tradeoffs in Automated Negotiations. Artificial Intelligence, 2002, 142(2):205~237
- 9 张谦, 邱玉辉. 一种具有自主学习能力的并发协商模型. 计算机应用, 2006, 26(3):663~665

2) JADE (Java Agent DEvelopment Framework) 是一个用 java 语言开发的 Agent 应用程序的软件框架。具体请参看 <http://jade.cseit.it/>