

# 基于整合效用的多议题协商优化\*

郭庆<sup>+</sup>, 陈纯

(浙江大学 计算机学院, 浙江 杭州 310027)

## An Integrated-Utility Based Optimization in Multi-Issues Negotiation

GUO Qing<sup>+</sup>, CHEN Chun

(College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-571-88867185, E-mail: guoqing@hznc.com, <http://www.cs.zju.edu.cn>

Received 2003-06-23; Accepted 2003-10-08

Guo Q, Chen C. An integrated-utility based optimization in multi-issues negotiation. *Journal of Software*, 2004,15(5):706-711.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/706.htm>

**Abstract:** In time-limited multi-issues negotiation among multi-Agents, the worst result is no trade-off. One of the most important factors contributing to the failure of the negotiation is that no agreement can be made in one of the negotiation-related issues. A multi-issues integrated utility evaluation mechanism is proposed firstly, and then an equal-utility exchange on the Agent's negotiation-related issues with a reserved value vector is given. This exchange makes use of the relationship between the utility of the Agent's negotiation-related issues. In order to get rid of the deadlock in one of the negotiation-related issues, the reserved value of the issue is adjusted. On the other hand, there is a mechanism to ensure the integrated-utility of the multi-issues exchange. In this way, the efficiency and the probability to get a trade-off are improved. An example is given to testify the optimization.

**Key words:** MAS (multi-Agent system); negotiation; issue; utility; reserved value

**摘要:** 在限时条件下的 Agent 之间的多议题协商中,最差的结果是没有达成协定.由于某一个议题没有达到平衡点而使得整个协商失败是影响协商效用的一个重要因素.给出了一个多议题整合效用评估机制,利用多议题整合效用中各议题因子之间的相关性进行保留值向量的等效置换,优化协商效用评估,在保证协商参与者整体协商效用的前提下动态放宽某个议题的保留值,促使协商双方避免协商僵局,快速达成一致的协定.实验数据表明,该机制有效地解决了协商僵局问题,提高了协商的成功率.

**关键词:** MAS (multi-Agent system); 协商; 议题; 效用; 保留值

中图法分类号: TP18 文献标识码: A

\* Supported by the National Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education of China under Grant No.20020335020 (国家教育部博士点基金); the Natural Science Foundation of Zhejiang Province of China under Grant No.M603230 (浙江省自然科学基金)

**作者简介:** 郭庆(1973-),男,山东烟台人,博士生,主要研究领域为分布式人工智能,MAS 系统,多 Agent 协商;陈纯(1955-),男,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机数字图像处理,CAD/CAM,计算机图形学,人工智能.

多 Agent 系统的协商框架是目前 MAS(multi-Agent system)研究的重要方向.近年来,基于多议题的协商框架成为新的研究热点.多议题协商框架是指两方或多方 Agent 个体就某一个协商命题的多个相关因子进行交互,从而达成一致.协商参与者关注代价、质量等多个方面的效用.一方面,通过协商使这些议题的整合效用最大化,另一方面为了达成一致的协商结果,Agent 个体也可以接受整合效用稍低的结果.

在多议题协商中,如何避免由于某一个议题没有达到平衡点而导致的协商僵局是协商框架优化的重要课题.例如,一个房屋开发商  $a$  就一个房屋工程项目  $\psi$  和工程承包商  $b$  进行协商. $a$  希望能够以价格 199 万,工期 100 天,罚金 100 万成交. $b$  希望能够以 200 万,工期 80 天,罚金 120 万成交.可以看到,协商双方虽然在工期、罚金等方面可以达成一致,但是在价格方面却有分歧(相差 0.5%),按照传统的协商机制进行推理将陷入协商僵局.另一方面,协商双方所期望的多个议题之间具有相关性,对于房屋开发商  $a$  来说,如果能够得到更短的工期,他可以在价格方面让步,例如可以为了工期 85 天完成项目而使保留价格成为 201 万,而维持整个房屋开发商  $a$  的整合效用不变,这样,协商双方将很快达成一致.

为了解决这一优化问题,我们首先提出了一个两方多议题协商的效用评估决策机制,利用协商各议题效用的相关性给出了协商效用评估的动态优化机制,在保证协商参与者整合效用不降低的前提下,动态放宽某个议题的保留值,避免协商僵局的出现,最后结合具体的实验证明了该机制的有效性.

## 1 协商框架

协商根据参与个体数目分为双方协商和多方协商.本文关注两方协商,并提出一个限时条件下的两方多议题协商框架.

整个协商框架包括协商议题集合、交互推理机制、效用评估决策机制 3 个部分.协商议题集合是协商参与者关注的协商要素的集合.交互推理机制负责依据各种策略控制双方的协商交互,发送协商提议,接受反向提议.效用评估机制根据对方提议以及 Agent 个体的议题保留值等信知进行效用评估,决策是否接受对方提议.

为了形式化地定义两方多议题协商模型,先给出以下定义:

**定义 1(协商参与者集合).**  $Ag = \{a_1, a_2, \dots, a_h\}$  表示协商 Agent 集合,  $h$  为 Agent 的个数,  $h=2$  表示两方协商,  $h>2$  表示多方协商(本文限定  $h=2$ ).

### 1.1 协商议题

协商议题是协商中与主命题相关的要素.参与者希望通过协商,就这些议题达成一致的意见.我们给出如下协商议题集定义:

**定义 2(协商议题集合).**  $\forall n \in \mathbb{N}, \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\}$  表示协商中涉及到的  $n$  个议题,其中  $n$  表示协商中涉及到的议题个数.

**定义 3(协商议题向量).**  $\forall n \in \mathbb{N}, X = \langle \chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n \rangle$  表示协商中涉及到的  $n$  个议题的议题向量,其中  $\forall m, 1 \leq m \leq n$ ,  $\chi_m$  表示第  $m$  个协商议题.

**定义 4(协商多议题值向量).**  $V^X = \langle v^{\chi_1}, v^{\chi_2}, \dots, v^{\chi_n} \rangle$  表示在多议题向量  $X$  上的一个取值向量,其中,  $\forall \chi_m \in X, v^{\chi_m} \in \Omega_m$  表示  $\chi_m$  议题上的一个取值,  $\Omega_m$  是议题  $\chi_m$  取值的值域.

**定义 5(协商议题保留值向量).**  $\forall a_i \in Ag, \bar{v}_{a_i}^X = \langle \bar{v}_{a_i}^{\chi_1}, \bar{v}_{a_i}^{\chi_2}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_n} \rangle$  表示 Agent 个体  $a_i$  在协商中保留的底线值,协商的最终结果不能比该保留值差,其中  $\forall \chi_m \in X, \bar{v}_{a_i}^{\chi_m} \in \Omega_m$ , 表示议题  $\chi_m$  的底线值.

### 1.2 效用评估机制

协商中效用评估机制是用来评估对方提议,以决策是否达成一致的协定.参与者都希望用最小的代价获得最大的效用.为实现协商的目标,效用评估遵循以下原则:(1) 最坏的结果是无协议达成;(2) 所获得的资源越多越有价值.

目前的研究成果中大多是基于单个议题的效用函数,仅与该命题的实现价值和实现代价相关.多议题协商中的效用评估机制相对要复杂得多.协商参与者希望通过交互使协商命题相关的多个议题得到最大的效用,并

尽量缩短与对方在各个议题方面的差异.因此,如何设计一个多议题整合的效用评估和比较机制是一个关键的问题.为此,给出基于曼哈顿距离的多议题整合效用比较机制.

首先给出以下定义:

**定义 6(单议题效用).**  $\forall a_i \in Ag, \forall \chi_m \in X, \rho_{a_i}^{\chi_m}$  表示 Agent 个体  $a_i$  在议题  $\chi_m$  上的效用函数,是  $v_{a_i}^{\chi_m}$  到实值空间的映射,  $\rho_{a_i}^{\chi_m}: \{v_{a_i}^{\chi_m}\} \rightarrow R$ , 其中  $v_{a_i}^{\chi_m} \in \Omega_m$  表示 Agent 个体  $a_i$  在议题  $\chi_m$  上的取值.

**定义 7(多议题整合效用).**  $\forall a_i \in Ag, \eta_{a_i}: \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_n \rightarrow R$  是 Agent 个体  $a_i$  在多议题向量  $X$  上的效用函数.

对于 Agent  $a_i$  及议题集合值向量  $V^X, \eta_{a_i}(V^X)$  是其多个议题效用值的加权整合,即

$$\eta_{a_i}(V^X) = \sum_{m=1}^n W_{a_i}^{\chi_m} \cdot \rho_{a_i}^{\chi_m}(v_{a_i}^{\chi_m}),$$

其中  $\forall \chi_m \in X, W_{a_i}^{\chi_m}$  表示  $\eta_{a_i}(V^X)$  中议题  $\chi_m$  的效用函数  $\rho_{a_i}^{\chi_m}$  的权值.多个议题的效用函数的权值之和为 1,即

$$\sum_{m=1}^n W_{a_i}^{\chi_m} = 1.$$

**定义 8(多议题整合效用距离).**  $\forall a_i \in Ag, \forall V^X, V'^X, \Delta(\eta_{a_i}(V^X), \eta_{a_i}(V'^X)) = \eta_{a_i}(V^X) - \eta_{a_i}(V'^X)$  表示 Agent 个体  $a_i$  在议题集  $X$  上的两个取值向量  $V^X, V'^X$  的整合效用函数的距离.

$\forall a_i \in Ag, \forall V^X, V'^X$ , 有

$$\Delta(\eta_{a_i}(V^X), \eta_{a_i}(V'^X)) = \sum_{m=1}^n W_{a_i}^{\chi_m} \cdot \rho_{a_i}^{\chi_m}(v_{a_i}^{\chi_m}) - \sum_{m=1}^n W_{a_i}^{\chi_m} \cdot \rho_{a_i}^{\chi_m}(v'_{a_i}{}^{\chi_m}) = \sum_{m=1}^n W_{a_i}^{\chi_m} \cdot (\rho_{a_i}^{\chi_m}(v_{a_i}^{\chi_m}) - \rho_{a_i}^{\chi_m}(v'_{a_i}{}^{\chi_m})),$$

即多议题整合效用距离  $\Delta$  是两个多议题向量值效用之间的曼哈顿距离.

在协商过程中, Agent 个体比较对方提出的议题向量  $V^X$  和自己的保留值向量  $\bar{v}_{a_i}^X$  的效用距离  $\Delta$ , 如果  $\Delta > 0$ , 表明  $V^X$  的效用超过了底线值, 则可以达成一致的协定.

### 1.3 交互过程和推理策略

假定协商参与者集合  $Ag = \{a_1, a_2\}$  与协商议题集合  $X = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\}$  正在进行第  $t$  次交互,  $0 \leq t < k$ , 其中  $k$  为协商交互时限, 则  $a_1$  的一次交互的推理过程如下:

- (1)  $a_1$  收到对手  $a_2$  发送的提议, 如果是结束提议, 则结束协商;
- (2) 如果是新的提议 (议题向量值为  $V_{a_2}^X$ ), 则计算  $V_{a_2}^X$  和  $\bar{v}_{a_1}^X$  的效用距离  $\Delta(\eta_{a_1}(V_{a_2}^X), \eta_{a_1}(\bar{v}_{a_1}^X))$ , 如果  $\Delta(\eta_{a_1}(V_{a_2}^X), \eta_{a_1}(\bar{v}_{a_1}^X)) > 0$ , 则协商成功, 最终的协商议题结果值是  $V_{a_2}^X$ ; 否则, 表示对方提议不能满足  $a_1$  对协商命题效用的期望, 需要进一步协商;
- (3) 判断  $t > k_{\max}$  是否成立, 如果是, 则表示协商超时, 发送结束提议, 协商结束;
- (4) 否则, 进入提议推理, 根据协商推理策略放宽各议题的取值, 得到  $V_{a_1}^X$ , 向  $a_2$  发送新的提议 (议题值为  $V_{a_1}^X$ ).

## 2 基于议题相关性的优化

针对多议题协商过程中由于某一个议题没有达到平衡点使得整个协商陷入僵局的问题, 本文采用调整保留值向量的方法来进行优化.

协商交互过程中的对方提议  $V_{op}^V$  是一个随着交互次数  $t$  而动态调整的变量,  $V_{op}^V: \{t | 0 < t < t_{\max}\} \rightarrow \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_n$ , 其中  $t_{\max}$  表示最大交互次数, 因此,  $\Delta(\eta_{a_1}(V_{op}^V), \eta_{a_1}(\bar{v}_{a_1}^X))$  也是一个定义在  $t$  值域上的变量,  $\Delta(\eta_{a_1}(V_{op}^V), \eta_{a_1}(\bar{v}_{a_1}^X)): \{t | 0 < t < t_{\max}\} \rightarrow R$ , 简称  $\bar{\Delta}_{a_1}^X(t)$ . 当随着交互次数  $t$  的增加而  $\bar{\Delta}_{a_1}^X(t)$  没有明显的变化时, 协商陷入僵局, 形式化的表述如下:

**定理 1.**  $\forall a_i \in Ag, \forall \bar{v}_{a_i}^X, V_{op}^X, \forall t, 0 < t < t_{\max}$ , 当  $\left| \frac{d(\bar{\Delta}_{a_i}^X(t))}{dt} \right| < e_{a_i} \wedge \Delta(\eta_{a_i}(V_{op}^X), \eta_{a_i}(\bar{v}_{a_i}^X)) < 0$  时, 协商陷入僵局, 其中  $e_{a_i}$

表示僵局阈值.

对于僵局问题, 采用保留值向量置换的方法来进行优化. 由效用评估算法可知:

**定理 2.**  $\forall V^X$ , 如果  $\Delta(\eta_{a_i}(V^X), \eta_{a_i}(\bar{V}_{a_i}^X))=0$ , 则  $V^X$  和  $\bar{V}_{a_i}^X$  是效用可置换的.

所有与  $\bar{V}_{a_i}^X$  等效的值向量组成了保留值向量的置换集合.

**定义 9(保留值置换集合).**  $\forall a_i \in Ag, \forall \bar{V}_{a_i}^X, \Gamma = \{V^X | \Delta(\eta_{a_i}(V^X), \eta_{a_i}(\bar{V}_{a_i}^X))=0\}$ .

$\Gamma$  集合实际上是  $n$  维空间  $\Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_n$  上的一个高维超平面的闭区间, 超平面把整个议题值向量空间按照整合效用值来进行划分, 超平面的两侧分别是整合效用大于和小于保留值效用的向量值空间. 当协商过程中出现僵局时, 协商参与者启动保留值置换机制, 从集合  $\Gamma$  中选择一个元素  $\bar{V}_{a_i}^{rX}$  代替  $\bar{V}_{a_i}^X$  作为新的保留值向量, 放宽出现僵局的议题保留值.

首先确定出现僵局的议题  $\chi_m$ .

**定义 10(僵局议题集合).**  $\forall a_i \in Ag, H = \{\chi_m | \chi_m \in \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\} \wedge \text{halt}(\chi_m)\}$ , 其中  $\text{halt}(\chi_m)$  表示  $\chi_m$  陷入僵局.

**定理 3.**  $\forall a_i \in Ag, \forall \bar{V}_{a_i}^X, \forall v_{a_i}^{Xm} \in V_{op}^X, \forall t, 0 < t < t_{\max}, \frac{d}{dt} \left( \frac{\rho_{a_i}^{Xm}(v_{op}^{Xm}) - \rho_{a_i}^{Xm}(\bar{v}_{a_i}^{Xm})(t)}{dt} \right) < e'_{a_i} \wedge (\rho_{a_i}^{Xm}(v_{op}^{Xm}) - \rho_{a_i}^{Xm}(\bar{v}_{a_i}^{Xm})) <$

$0$  时,  $\text{halt}(\chi_m)$ , 其中  $e'_{a_i}$  表示单议题僵局阈值.

然后, 在  $\{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\}$  中寻找  $\chi_m$  的保留值相关议题  $\chi_r$ . 为了最大化协商个体者的整合效用,  $\chi_r$  满足以下条件:  $\chi_r \in \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\} \wedge \chi_r \notin H \wedge W_{a_i}^{\chi_r} = \max_{\chi_h \in H} (W_{a_i}^{\chi_h})$ , 即  $\chi_r$  为非僵局议题中效用函数权值最大的. 该策略保证了在放宽僵局议题的限制时, 能够在其他最重要的议题上得到更多的效用.

由此, 通过改变僵局议题  $\chi_m$  及其保留值相关议题  $\chi_r$  的取值 (其他议题值不作改动), 实现对议题保留值向量  $\bar{V}_{a_i}^X$  的等效置换, 得到新的置换元素  $\bar{V}_{a_i}^{rX} = \langle \bar{v}_{a_i}^{\chi_1}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_m}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_r}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_n} \rangle$ , 由  $\bar{V}_{a_i}^{rX}, \bar{V}_{a_i}^X \in \Gamma$  可推知:

**定理 4.**  $\forall a_i \in Ag, \forall \bar{V}_{a_i}^X = \langle \bar{v}_{a_i}^{\chi_1}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_m}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_r}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_n} \rangle$  及其关于议题  $\chi_m$  和相关议题  $\chi_r$  的等效置换  $\bar{V}_{a_i}^{rX} = \langle \bar{v}_{a_i}^{\chi_1}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_m}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_r}, \dots, \bar{v}_{a_i}^{\chi_n} \rangle$ , 则  $W_{a_i}^{\chi_m} \cdot (\rho_{a_i}^{Xm}(\bar{v}_{a_i}^{\chi_m}) - \rho_{a_i}^{Xm}(\bar{v}_{a_i}^{rXm})) = W_{a_i}^{\chi_r} \cdot (\rho_{a_i}^{Xr}(\bar{v}_{a_i}^{\chi_r}) - \rho_{a_i}^{Xr}(\bar{v}_{a_i}^{rXr}))$ .

证明: 由  $\bar{V}_{a_i}^{rX}, \bar{V}_{a_i}^X \in \Gamma$  可知,  $\Delta(\eta_{a_i}(\bar{V}_{a_i}^{rX}), \eta_{a_i}(\bar{V}_{a_i}^X))=0$ . 即  $\eta_{a_i}(\bar{V}_{a_i}^{rX}) - \eta_{a_i}(\bar{V}_{a_i}^X)=0$ , 由  $\eta_{a_i}$  的定义可推知

$$\sum_{j=1}^n W_{a_i}^{\chi_j} \cdot (\rho_{a_i}^{\chi_j}(\bar{v}_{a_i}^{\chi_j}) - \rho_{a_i}^{\chi_j}(\bar{v}_{a_i}^{rXj}))=0, \text{ 因此有 } W_{a_i}^{\chi_m} \cdot (\rho_{a_i}^{Xm}(\bar{v}_{a_i}^{\chi_m}) - \rho_{a_i}^{Xm}(\bar{v}_{a_i}^{rXm})) = W_{a_i}^{\chi_r} \cdot (\rho_{a_i}^{Xr}(\bar{v}_{a_i}^{\chi_r}) - \rho_{a_i}^{Xr}(\bar{v}_{a_i}^{rXr})). \quad \square$$

假定协商参与者集合  $Ag = \{a_1, a_2\}$ , 协商议题集合  $X = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\}$ , 保留值向量为  $\bar{V}_{a_i}^X$ , 正在进行第  $t$  次交互,  $0 \leq t < k$ , 其中  $k$  为协商交互时限, 下面给出增加了保留值置换机制的协商推理过程:

- (1)  $a_1$  收到对手  $a_2$  发送的提议, 如果是结束提议, 则结束协商;
- (2) 如果是新的提议 (议题向量值为  $V_{a_2}^X$ ), 则计算  $V_{a_2}^X$  和  $\bar{V}_{a_1}^X$  的效用距离  $\Delta(\eta_{a_1}(V_{a_2}^X), \eta_{a_1}(\bar{V}_{a_1}^X))$ , 如果  $\Delta(\eta_{a_1}(V_{a_2}^X), \eta_{a_1}(\bar{V}_{a_1}^X)) > 0$ , 则协商成功, 最终的协商议题结果值是  $V_{a_2}^X$ ; 否则, 表示对方提议不能满足  $a_1$  对协商命题效用的期望, 需要进一步协商;
- (3) 判断  $t > k_{\max}$  是否成立, 如果成立, 则表示协商超时, 发送结束提议, 协商结束;
- (4) 否则, 根据僵局阈值  $e_{a_1}$  判断是否进入协商僵局, 如果不是, 则转(5), 否则, 根据单议题僵局阈值  $e'_{a_1}$  计算  $H$  集合, 找到  $H$  集合中第 1 个  $\text{halt}$  议题  $\chi_m$  的保留值相关议题  $\chi_r$ , 放宽  $\chi_m$  的取值并根据定理 4 得到新的保留值  $\bar{V}_{a_1}^{rX}$ , 转(5);
- (5) 进入提议推理, 根据协商推理策略放宽各议题的取值, 得到  $V_{a_1}^X$ , 向  $a_2$  发送新的提议 (议题值为  $V_{a_1}^X$ ).

### 3 验证系统

为了验证该优化方法的效率, 我们设计实现了一个验证系统, 并与 Faratin, Jennings 等人在文献[1,2]中提出的协商模型进行了比较. 首先给出一个任务型的协商例子: Agent  $a_1$  就某一个任务  $\Psi$  与 Agent  $a_2$  进行协商. 关于 Agent  $a_1, a_2$  的假设见表 1.

**Table 1** Parameters of negotiating Agent  $a_1, a_2$   
**表 1** Agent  $a_1, a_2$  协商参数

Agent	Issues-Set (X)	Issues vector value ( $V_{a_i}$ )	Initial issues vector value ( $V_{a_i}^0$ )	Reserved issues value ( $\bar{V}_{a_i}$ )	Utility function ( $\rho_{a_i}^{X_m}$ )	Weight ( $W_{a_i}^{X_m}$ )
$a_1$	$\langle Cost, Time \rangle$	$\langle v_{a_1}^{Cost}, v_{a_1}^{Time} \rangle$	$\langle 75, 43 \rangle$	$\langle 95, 50 \rangle$	$\rho_{a_1}^{Cost}(v^{Cost}) = 100 - v^{Cost}$	$W_{a_1}^{Cost} = 0.5$
					$\rho_{a_1}^{Time}(v^{Time}) = 50 - v^{Time}$	$W_{a_1}^{Time} = 0.5$
$a_2$	$\langle Cost, Time \rangle$	$\langle v_{a_2}^{Cost}, v_{a_2}^{Time} \rangle$	$\langle 120, 57 \rangle$	$\langle 100, 45 \rangle$	$\rho_{a_2}^{Cost}(v^{Cost}) = v^{Cost} - 100$	$W_{a_2}^{Cost} = 0.5$
					$\rho_{a_2}^{Time}(v^{Time}) = v^{Time} - 50$	$W_{a_2}^{Time} = 0.5$

Agent  $a_1$  的第 1 次协商推理过程如下:

- (1)  $a_1$  收到  $a_2$  发送的提议  $\langle 120, 57 \rangle$ ;
- (2) 计算  $\langle 120, 57 \rangle$  和  $\bar{V}_{a_1}^X = \langle 95, 50 \rangle$  的效用距离  $\Delta = -16$ , 因为  $\Delta < 0$ , 所以进一步协商;
- (3) 协商没有超时, 根据  $e_{a_1} = 0.2$  判断没有进入协商僵局, 进入提议推理, 得到  $V_{a_1}^X = \langle 75, 43 \rangle$ , 向  $a_2$  发送新的提议  $\langle 75, 43 \rangle$ ;

...

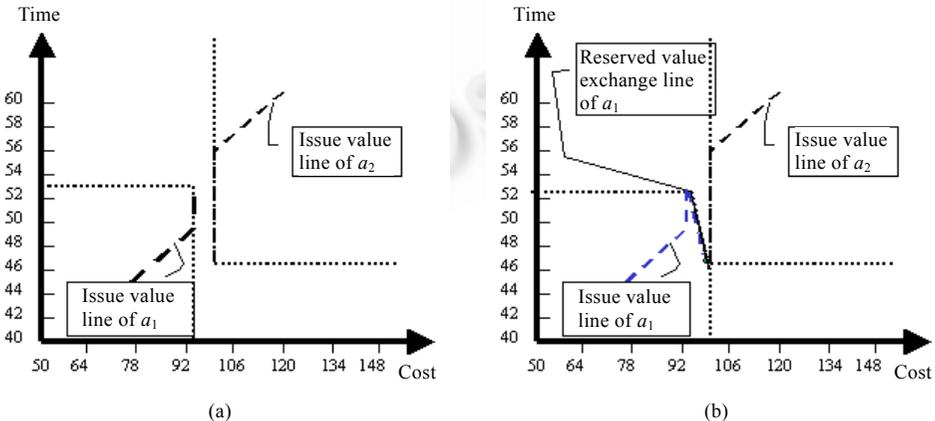
经过  $t$  次协商以后, 由于双方在 Cost 议题上不能达成一致, 导致协商僵局, 需要进行协商保留值优化, 其推理过程如下:

- (1)  $a_1$  收到对手  $a_2$  发送的提议  $\langle 100, 50 \rangle$ ;
- (2) 计算  $\langle 100, 50 \rangle$  和  $\bar{V}_{a_1}^X = \langle 95, 50 \rangle$  的效用距离  $\Delta = -2.5$ , 因为  $\Delta < 0$ , 所以进一步协商;
- (3) 协商没有超时, 根据  $e_{a_1} = 0.2$  判断进入了协商僵局, 根据  $e_{a_1} = 0.1$  得到 halt 议题 Cost 以及相关议题 Time, 调整得到新的保留值  $\langle 96, 49 \rangle$ ;
- (4) 进行新的提议, 得到  $V_{a_1}^X = \langle 96, 49 \rangle$ , 向  $a_2$  发送新的提议  $\langle 96, 49 \rangle$ ;

...

假定 Agent  $a_2$  没有进行过协商优化, 则最终协商双方得到一致的协定  $\langle 100, 45 \rangle$ , 协商成功.

Faratin, Jennings 等人在文献 [1,2] 中提出的协商模型针对多议题协商提出多种协商交互策略, 但是各种策略都是针对单个议题的. 在上述例子中, 由于协商双方就议题 Cost 的保留值不能相交, 所以采用该模型. 无论采用哪种策略, 最终的协商结果是无一致的协定形成. 具体协商过程中议题值的变化如图 1 所示.



**Fig.1** The change of the value of negotiation issue  
 图 1 协商议题值变化

图 1(a) 是采用 Faratin, Jennings 等人提出的协商模型, 在交互时协商双方关于两个议题值的变化曲线, 由图 1 可知, 在双方都达到各自 Cost 议题的保留值时, 协商将陷入僵局. 图 1(b) 是采用本文提出的模型的变化曲线, 在双方陷入僵局时, 采用保留值置换算法, 使得协商双方在不降低整体效用的前提下最终达成一致.

## 4 相关研究

多 Agent 协商框架的研究一直以来是 DAI 领域的研究热点.许多学者从不同的角度提出了相应的研究模型.文献[3,4]综述了目前国内外多 Agent 协商研究的进展,其中多 Agent 之间在信知不完整的环境下的多议题协商优化问题是一个重要的研究课题.Kraus 在文献[5]中提出的协商模型提供了一个通用协商框架.该模型考虑协商中的社会性和协同性等问题,并考虑了不完整信知以及不正确信知条件下的协商问题.但是,该模型是基于单议题的.Sandholm 等人在文献[6,7]中提出了基于承诺的协商机制,并就 one-to-many 的协商进行了研究,考虑了 Agent 个体的意识状态对协商的影响以及协商中的信用等级和可靠性问题.但是,该模型同样是单议题协商.Sycara 等人在文献[8]中提出的 PERSUADER 系统协商模型是一个针对多议题的有限放宽的过程,并提供了一个基于贝叶斯学习算法的协商交互中的信知更新模型.该模型的缺点是要求信知完整且协商效用机制简单.文献[9]针对限时条件下的多议题协商提出了相应的协商模型,给出了协商多次交互中的协商协议、推理策略,重点阐述了时间限制对协商结果的影响.但是,该模型对协商效用评估没有进行详细的阐述.Faratin,Jennings 等人在文献[1,2]中提出的协商模型考虑到协商的多议题、多策略,通过多次命题和反命题的交互缩小协商双方的差距,从而达成一致,提出了时间依赖、资源依赖、对方模仿等多种协商策略,并进行了整合,是针对多议题协商中实用性较强、阐述得较完整的模型.但该模型的缺点是侧重于协商策略,没有对协商效用进行阐述,所提供的效用评价机制对各议题是各自独立的,其协商策略只是在双方保留值完全重叠时能够提高协商效率,而不能处理单议题僵局的问题.本文提出的效用模型则考虑了多议题间的相关性和整合效用的可置换性,有效地解决了单议题僵局问题.

## 5 结 语

本文提出了一个多议题整合的效用评估机制,针对多议题协商中的单议题僵局问题提出了保留值向量的等效置换集,通过保留值向量置换放宽陷入僵局的议题的保留值,从而有效解决了协商僵局问题,在保证整体效用的前提下提高了协商成功率.

本文的研究还只是一个初步的成果.今后的研究将主要集中在保留值向量置换策略和学习机制、整合效用中各议题效用的动态权值调整以及离散型协商议题值的置换方面.另外,多方之间的多议题协商框架也是一个重要的研究课题.

### References:

- [1] Jennings NR, Faratin P. Autonomous Agents for business process management. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, 2000, 14(2):145~189.
- [2] Faratin P, Sierra C, Jennings NR. Using similarity criteria to make issue trade-offs in automated negotiations. *Artificial Intelligence*, 2002,142(2):205~237.
- [3] Li J, Chen ZQ, Chen SF. Survey of multiple Agents teamwork. *Journal of Computer Research and Development*, 2003,40(3): 422~429 (in Chinese with English abstract).
- [4] Jennings NR, Faratin P, Lomuscio AR, Parsons S, Sierra C, Wooldridge M. Automated negotiation: Prospects, methods and challenges. *International Journal of Group Decision and Negotiation*, 2001,10(2):199~215.
- [5] Kraus S, Wilkenfeld J, Zlotkin G. Multiagent negotiation under time constraints. *Artificial Intelligence*, 1995,75(2):297~345.
- [6] Sandholm TW, Zhou YH. Surplus equivalence of leveled commitment contracts. *Artificial Intelligence*, 2002,142(2):239~264.
- [7] Braynov S, Sandholm T. Contracting with uncertain level of trust. *Computational Intelligence*, 2002,18(4):501~514.
- [8] Zeng DJ, Sycara K. Bayesian learning in negotiation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 1998,48(1):125~141.
- [9] Fatima S, Wooldridge M, Jennings NR. Multi-Issue negotiation under time constraints. In: Castelfranchi C, Johnson WL, eds. *Proc. of the 1st Int'l Joint Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2002)*. Bologna: ACM Press, 2002. 143~150.

### 附中文参考文献:

- [3] 李静,陈兆乾,陈世福,徐殿祥.多 Agent Teamwork 研究综述. *计算机研究与发展*,2003,40(3):422~429.