

# 統合交渉プロトコルを用いた マルチエージェントシステムの合意形成

1X-8

塩谷 宗紀 稲積 宏誠

青山学院大学理工学部経営工学科

## 1. はじめに

分散人工知能の分野では、組織内での人間の活動をマルチエージェント環境としてモデル化している。エージェント間で合意形成を行うためのプロセスは交渉と呼ばれ、その相互作用は協調・妥協・競合に分類される。そこで本論文では、競合的状況も考慮したZlotkinらによる統合交渉プロトコルの枠組みに基づき、相手の価値体系が既知（相手の効用が計算できる）のもとでの交渉に限定されるなどの従来の条件を緩和し、相手の価値体系が未知の場合でも交渉が行えるような拡張モデルを提案する。

## 2. Zlotkinモデル<sup>[1][2]</sup>

Zlotkinモデルの諸定義を以下に示す。

- エージェント  $i$  の目標  $g_i$  : 充足したい述語の集合。
- $G_i$  :  $g_i$  のすべての述語を充足する状態の集合。
- プラン : オペレーション  $o_i$  の合成。状態  $s \in ST$  ( $ST$  はすべての可能な状態の集合) から状態  $f \in ST$  へと変化させる1エージェントプランを  $[o_i]_{(s \rightarrow f)}$  とする。ただし  $f = o_n(o_{n-1}(\dots o_1(s) \dots))$ 。
- ジョイントプラン  $J$  : 各エージェントのプランの対  $(P_A, P_B)$  とスケジュール (和集合上の半順序)。
- 混合ジョイントプラン  $J$  :  $[(P_A, P_B) : p]$  (確率  $p$  で  $P_A$  を、確率  $(1-p)$  で  $P_B$  を遂行。  $0 \leq p \leq 1$ )。
- コスト関数  $cost : OP \rightarrow N$  ( $OP$  はすべてのオペレーションの集合)。
- プラン  $P = [o_1, o_2, \dots, o_n]$  のコスト :  

$$Cost(P) = \sum_{i=1}^n Cost(o_i).$$
- 混合ジョイントプラン  $J : [(P_A, P_B), p]$  のコスト :  

$$Cost_i(J) = pCost(P_i) + (1-p)Cost(P_j) \quad (i \neq j).$$
- $s \rightarrow f$  ( $s, f$  は状態) : 状態  $s$  から  $f$  へと変化させる最小コスト1人エージェントプラン。

Mutual Agreement Mechanism for Multi-agent Systems  
by using Unified Negotiation Protocol  
Munenori Shioya, Hiroshige Inazumi  
Department of Industrial and Systems Engineering, College of  
Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

•  $s \rightarrow F$  ( $F$  は状態集合) : 状態  $s$  から  $F$  の中の一つの状態へと変化させる最小コスト1人エージェントプラン。

•  $W_i$  : エージェント  $i$  が目標  $g_i$  を達成するのに支払える最大予想コスト。

• ディール  $\delta$  : 状態  $s$  を状態  $G_A \cap G_B$  にする混合ジョイントプラン  $J$  (cooperative deal と呼ぶ)。

• ディール  $\delta$  のエージェント  $i$  に対する効用 :

$$Utility_i(\delta) = W_i - Cost_i(\delta).$$

• 個合理性 :  $\forall i, Utility_i(\delta) \geq 0$ 。

• 共同合理性 (パレート最適) : ディール  $\delta$  に対し、あるエージェントにとって良く、他のエージェントにとって悪くない他のディールが存在しない。

• 交渉領域 ( $NS$ ) : 個合理性、共同合理性を満たすディールの集合。

以上から、エージェント間の交渉は、 $NS$  に含まれるディールから両エージェントに好ましいディールを見つけだすためのプロセスと定義できる。

また、上の定義を用いて、エージェント間の状況を次のように分類することができる。

• 協調 :  $NS = \phi, W_i \leq Cost(s \rightarrow G_i)$

• 妥協 :  $NS = \phi, W_i > Cost(s \rightarrow G_i)$

• 競合 :  $NS = \phi$

特に、競合状況では全てのエージェントの目標を満たすことができないので、最終的にどちらのエージェントの目標を達成するかを確率的に決定する。

そこで、ディールの定義を拡張し、semi-cooperative deal :  $(t, J, q)$  とする。ただし、 $t$  : (中間的な) 状態であり、 $f_i$  : エージェント  $i$  が状態  $t$  で確率的に達成される最終状態、 $f_i = (t \rightarrow G_i) (t \in G_i)$  とすると、

$$W_i(f_i) = \begin{cases} W_i & \text{if } f_i \in G_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

•  $Utility_i(t, J, q) = q(W_i - Cost(t \rightarrow G_i))$

$$+ (1-q)(W_i(f_i) - Cost_i(J))$$

となる。以下ではディールは semi-cooperative deal を

指し、次の手順に従って交渉を行う。

- (1) エージェントは自分の  $NS$  から同時に、効用の高い順にディールを提示する。
- (2) 自分の提案と相手の提案をもとに評価を行い、合意するか否かを決定する。
- (3) 両者合意できない場合は、新たな提案を行う。

この結果、エージェント間の状況によらず統合的な交渉が保証される (図1)。また、ディールの評価と提案は、交渉ステップ  $u$  に対して  $Risk(i, u)$  を用いて行われる。

$$\bullet Risk(i, u) = \begin{cases} 1 & ; \text{if } Utility_i(\delta(i, u)) = 0 \\ \frac{Utility_i(\delta(i, u)) - Utility_i(\delta(j, u))}{Utility_i(\delta(i, u))} & ; \text{otherwise} \end{cases}$$

$Risk(i, u)$  の値が相手エージェントより高い場合には同一ディールを、そうでない場合は別のディールを提案し、 $Risk(i, u) \leq 0$  となるまで続けられる。

### 3. 拡張Zlotkinモデル

以下にZlotkinモデル拡張のための定義を示す。

#### 3.1 交渉領域 (NS) とディールの評価

- $W_i^*(f_j) = \begin{cases} W_i - Cost(t \rightarrow G_i) & ; \text{if } f_j \in G_i \\ -Cost(t \rightarrow G_i) & ; \text{otherwise} \end{cases}$
- $Utility_i^*(t, J, q) = q_i \{ W_i - Cost(t \rightarrow G_i) \} + (1 - q_i) W_i^*(f_j) - Cost(J)$

• 状態  $t$  : 全体集合から競合するものを除いた集合 ( $\delta_t$ )

• 最終状態 :  $\delta_k$  に競合するものを加えた集合 ( $\delta_l$ )

以上の定義から、 $Utility_i^*(\delta_k) \geq 0$  を満たすディール  $\delta_l$  を  $NS$  とする。

$Utility_i^*(\delta_l) \geq 0$  となるよう、効用の値を正規化して用いる。また、 $Risk(i, u)$  を次のように再定義する。

$$\bullet Risk^*(i, u) = \begin{cases} k & ; \text{if } Utility_i^*(\delta(i, u)) = 0 \\ \frac{Utility_i^*(\delta(i, u)) - Utility_i^*(\delta(j, u))}{Utility_i^*(\delta(i, u))} & ; \text{otherwise} \end{cases}$$

#### 3.2 交渉プロトコル

相手の価値体系がわかっていないので、各エージェントは相手の  $Risk$  値を計算することができない。そこで、図1のように自分の  $Risk$  値の公表する手続きを追加し、交渉を行う。また、ディールの提案順序は自分の効用が高く、相手のコストの低い順とする。このプロトコルによって合意が得られたディール  $\delta_l$  を交渉における解とする。

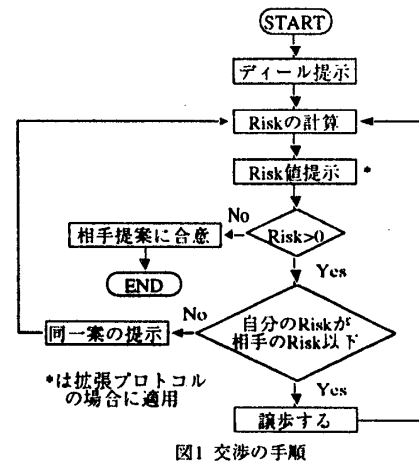


図1 交渉の手順

### 4. 適用例

本論文で提案したプロトコルは、次のような日程調整問題に適用することができる。

- エージェント数 : 2.
- 調整対象日程 :  $d_n (n = 1, \dots, 5)$ .
- $d_n$  には、必ず1エージェント割り当てる。
- $d_n$  には共通のコストが定義されている。
- $d_m$  と  $d_n (m \neq n)$  の相互コストが定義されている。
- エージェントは各々、支払えるコストの上限を定めている。
- エージェントには、都合の悪い日の存在を許す。

拡張Zlotkinモデルにより、各エージェントの期待効用が最大となるような上記の日程調整問題が解析可能である。一方、マルチエージェント環境における日程調整問題を例題とした合意形成の方法が提案されている<sup>[1]</sup>。そこでの交渉方式との比較を含め、詳細な検討は、機を改めて紹介する。

### 5. おわりに

本論文では、Zlotkinらの提案したモデルにおける条件を緩和した交渉プロトコルの提案と、競合解消案作成の一方法を示した。

#### <参考文献>

- [1] Zlotkin, G. and Rosenschein, J. S. : Negotiation and Task Sharing Among Autonomous Agents in Cooperative Domains, IJCAI-89, pp. 912-917 (1989)
- [2] Zlotkin, G. and Rosenschein, J. S. : Cooperation and Conflict Resolution via Negotiation Among Autonomous Agents in Noncooperative Domains, IEEE Trans. Syst. Man Cybern., Vol. 21, No. 6, pp. 1317-1324 (1991)
- [3] 柳澤洋, 村上 国男 : マルチエージェントシステムの合意形成方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 6 (1995)