

## 非線形効用関数の論点依存関係に基づくマルチエージェント自動交渉機構

森井 翔太†

†名古屋工業大学大学院情報工学専攻

伊藤 孝行‡

‡名古屋工業大学大学院産業戦略工学専攻

## 1 はじめに

自動交渉エージェントの研究分野において、論点間に依存関係を持った非線形の効用関数下における、複数論点交渉問題について広く研究が行われている [1, 2]。既存研究では最適な合意案を導出しているものの、計算量が膨大であり、短時間でより良い交渉結果を得ることは困難であった。したがって、本研究では論点依存関係に基づいたメディアータ主導による交渉プロトコルを新たに提案する。具体的には、論点間の依存関係をハイパーグラフによって簡潔に表現し、メディアータが交渉を円滑に進めるための論点の探索手法について検討する。また、シミュレーション実験により、本提案交渉プロトコルが既存プロトコルよりも短時間で効率的な交渉を行えることを示す。

## 2 非線形な効用関数におけるハイパーグラフによる表現

複数の論点が相互依存関係にある複雑な交渉問題において、有効な効用関数として制約に基づく効用関数が考えられている [3]。非線形な効用関数とハイパーグラフによる表現について、以下に詳細を示す。

二者のエージェントが合意形成を試みる交渉の状況を考える。論点が  $M$  個存在し、個々の論点を  $i_j \in I$  と表す。論点  $i_j$  は  $[0, X]$  の範囲の整数を値として持つ。すなわち、各論点の値  $s_j$  は  $s_j \in [0, X]$  として表現され、交渉の結果得られる合意案候補は、各論点の値のベクトル  $\vec{s} = (s_1, s_2, \dots, s_M)$  として表される。次に、エージェントの効用関数は制約を用いて表現する。  $l$  個の制約が存在するとし、個々の制約は  $\varphi_k \in \Phi$  と表す。制約は制約充足条件となる値の範囲、および効用値を持つ。制約  $\varphi_k$  は、合意案候補  $\vec{s}$  によって充足される場合のみ、 $w(\varphi_k, \vec{s})$  を効用値として持つ。したがって効用関数は、論点集合  $I$  と制約集合  $\Phi$  を持つハイパーグラフ  $\Gamma$  として表現することができ、 $\Gamma = (I, \Phi)$  と書く。

A Dependency-based Multi-agent Automated Negotiation Mechanism for Nonlinear Utility Functions

†Shota MORII ‡Takayuki ITO

†Department of Computer Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology

‡Master of Techno-Business Administration, Nagoya Institute of Technology

## 3 論点依存関係による二者間交渉プロトコル

## 3.1 交渉プロトコル概要

本論文で提案する二者間交渉モデルでは、エージェントとメディアータによって交渉が行われる。以下に本交渉モデルの流れを示す。

## [Step1: ハイパーグラフによる効用関数の生成]

初めに交渉エージェント(以下 A および B)は自身の効用関数に基づいたハイパーグラフ  $\Gamma_A = (I_A, \Phi_A)$ 、および  $\Gamma_B = (I_B, \Phi_B)$  を生成し、メディアータに提出する。

## [Step2: メディアータによる交渉論点の決定]

Step1 で取得したハイパーグラフ  $\Gamma_A$  および  $\Gamma_B$  から、メディアータは交渉論点を  $n (> 0)$  個決定する。交渉論点はグラフ構造の依存関係から決定され、双方のエージェントが円滑に交渉を進めることができると予測される論点が、メディアータによって提示される。

## [Step3: 交渉論点におけるエージェントの交渉]

Step2 でメディアータから選ばれた交渉論点において、エージェントは交渉を行う。すなわち、エージェントは交渉論点について交渉を行い、適宜譲歩を行う。交渉論点以外の論点については、エージェントは自身の効用値が最大化されるように値を選択する。

## [Step4: メディアータによる交渉論点の追加]

メディアータはエージェントの交渉経過を観察しながら、交渉が上手く進まない場合は Step2 にしたがって、交渉論点を  $n + 1, n + 2, \dots, n(I_A)$  ( $=n(I_B)$ ) と増やしていく。

## 3.2 依存関係に基づくメディアータの探索戦略

メディアータはグラフ構造の依存関係に着目し、双方が依存関係にある論点を探索することで交渉論点を決定する。以下にグラフ構造の依存関係に基づいた、メディアータの探索戦略について述べる。

初めに依存関係とは、ある論点  $i_j$  が持つ制約の集合  $\nu(i_j) = \{\varphi \in \Phi \mid i_j \in \varphi\}$  に対し、 $\nu(i_j)$  と接続する ( $i_j$  を除く) 論点の集合である。すなわち、制約  $\varphi_k$  に接続する論点集合  $\mathcal{N}(\varphi_k)$  を定義すれば、論点  $i_j$  の依存関係は

表 1: 各ドメインにおける社会的余剰値

論点数		Random	Dependence	Mediator
10	Max.	<b>1.736</b>	<b>1.736</b>	<b>1.736</b>
	Min.	1.443	1.421	<b>1.486</b>
	Mean.	1.619	1.627	<b>1.656</b>
30	Max.	<b>1.812</b>	<b>1.812</b>	<b>1.812</b>
	Min.	1.587	1.609	<b>1.639</b>
	Mean.	1.729	<b>1.738</b>	1.731
50	Max.	1.770	<b>1.787</b>	<b>1.787</b>
	Min.	1.574	1.541	<b>1.607</b>
	Mean.	1.687	1.694	<b>1.695</b>

表 2: 各ドメインにおける交渉回数

論点数		Random	Dependence	Mediator
10	Max.	485.0	<b>314.0</b>	471.0
	Min.	37.0	<b>31.0</b>	<b>31.0</b>
	Mean.	218.1	<b>161.7</b>	262.6
30	Max.	1003.0	523.0	<b>412.0</b>
	Min.	74.0	58.0	<b>47.0</b>
	Mean.	364.4	238.6	<b>194.1</b>
50	Max.	854.0	<b>731.0</b>	<b>731.0</b>
	Min.	<b>20.0</b>	129.0	30.0
	Mean.	439.6	451.4	<b>380.2</b>

以下の式 (1) で表される .

$$\psi(i_j) = \{i \in I \mid i \in N(v(i_j)) \wedge i \neq i_j\} \quad (1)$$

交渉論点の決定は依存関係  $\psi_A(i_j)$  および  $\psi_B(i_j)$  から、相互に依存する論点を選出する (式 (2)) .

$$\begin{aligned} \psi(i_j)_{AB} &= \psi_A(i_j) \cap \psi_B(i_j) \\ &= \{i \in I \mid i \in \psi_A(i_j) \wedge i \in \psi_B(i_j)\} \end{aligned} \quad (2)$$

このとき選ばれた論点集合はエージェント A および B 双方の依存関係が同じである . すなわち、お互いにとって重要な論点を抽出することが可能であり、エージェントは円滑な交渉を進めることが可能となる .

#### 4 評価実験

本実験では同じ交渉戦略を持つエージェントを複数用意し、本提案交渉プロトコルの有効性を評価する . 具体的には交渉論点の追加方法について、以下の 3 つの手法を用意し評価実験を行う .

- メディエータを使用し、メディエータがお互いの依存関係に基づいて交渉論点を追加する ( **Mediator** ) .
- メディエータを使用せず、エージェントは自身の依存関係のみを考慮して交渉論点を追加する ( **Dependence** ) .
- メディエータを使用せず、ランダムに交渉論点を追加する ( **Random** ) .

なお、評価実験には論点数が 10, 30, および 50 である交渉問題を用い、それぞれ 100 回の交渉を行った .

表 1 に各ドメインにおける社会的余剰値 (各エージェントが得た効用値の合計値) を、表 2 に交渉回数を示す . 表 1 より社会的余剰値について、メディエータを用いた交渉論点の追加手法が有効であることが分かる .

特に社会的余剰値の最低値 ( *Min.* ) については、全てのドメインにおいてメディエータに基づく手法が最も高い値を獲得している . また、表 2 より交渉回数の各指標値について、自身の依存関係に基づく追加手法とメディエータに基づく追加手法が有効であることが示された . 2 つの手法はどちらも論点間の依存関係に基づいて交渉論点を追加しているため、依存関係に基づいた探索手法が効果的に働いていることを示している .

#### 5 まとめ

本論文では非線形の効用関数下における複雑な交渉問題に対し、論点依存関係に基づくメディエータを用いた交渉プロトコルを新たに提案した . 評価実験により、本提案交渉プロトコルが少ない交渉数でより良い合意候補で合意を形成できることが示された .

#### 参考文献

- [1] Valentin Robu, DJA Somefun, and Johannes A La Poutré. Modeling complex multi-issue negotiations using utility graphs. In *Proceedings of the fourth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, pp. 280–287. ACM, 2005.
- [2] Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, and Mark Klein. An approach to scalable multi-issue negotiation: Decomposing the contract space. *Computational Intelligence*, 2012.
- [3] Takayuki Ito, Hiromitsu Hattori, and Mark Klein. Multi-issue negotiation protocol for agents: Exploring nonlinear utility spaces. In *Proceedings of the 30th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI2007)*, Vol. 7, pp. 1347–1352, 2007.