

複雑な交渉問題における論点間の依存関係を利用した マルチエージェント合意形成機構

藤田 桂英† 伊藤 孝行†‡* Mark Klein‡

†名古屋工業大学 産業戦略工学専攻 ‡マサチューセッツ工科大学 スローン経営大学院

* 科学技術振興事業団 (JST) さきがけ 研究員

1 はじめに

マルチエージェント研究分野において複数論点交渉問題が重要な研究課題となってきた。特に、筆者らはより現実的な設定である複数の論点相互依存関係にある複雑な交渉問題に注目している [1, 2]。既存の各論点が相互依存関係の場合に対応可能な手法として入札に基づく交渉手法を提案されている [1]。しかし、課題としてエージェント数や論点数に関するスケラビリティが低い。本論文では、各論点間の相互依存度に基づき論点グループを決定し、論点グループごとに合意形成を行なう手法を提案する。

また、本論文では相互依存度の定義に対して、制約の関係する項数や効用値を考慮した場合に合意案の最適性や合意形成失敗率に与える影響を解析する。また、既存の手法と比較して本手法は高いスケラビリティをもつことを示す。

本論文の構成を以下に示す。2. において本交渉問題の設定および提案手法を示す。その後、3. において実験的評価を行い、最後にまとめを示す。

2 論点間の依存関係に基づく合意形成モデル

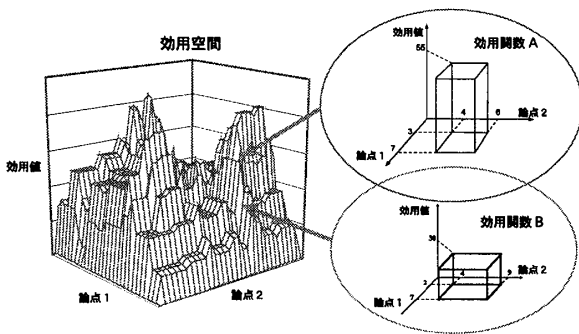


図 1: 複雑な効用空間の例

本論文では [1] と同様の交渉問題の設定である。また、エージェントの効用関数は文献 [1] で提案されている制約に基づく効用関数とする。効用関数は図 1 の効

用関数 A,B が示すように制約を用いて表現され、単一、もしくは複数の論点に関して、制約充足条件となる値の範囲、および効用値を持つ。また、各論点を取りうる値のあらゆる組み合わせについて効用関数によって得られる効用値を空間状にプロットして得られるグラフ (効用空間) は複雑な高低が生じる非線形の効用空間となる。図 1 に示す通り、非線形の効用空間は山と谷が入り組んだ複雑なものとなり、合意形成を行なうためには莫大な計算量が必要になる。プロトコルの目的関数は、全てのエージェントの効用の総和を最大化する合意の発見とする。

次に、各論点の相互依存度を定義する。本論文では相互依存度の定義が合意案の最適性や合意形成失敗率に与える影響を解析するため、以下の 4 つの相互依存度を定義する ($D_n(i_j, i_{jj})$: エージェント n における論点 i_j と論点 i_{jj} の相互依存度)。(A) 制約数のみ: $D_n^{(A)}(i_j, i_{jj}) = \#\{c_k | \delta(c_k, i_j) \neq \emptyset \cap \delta(c_k, i_{jj}) \neq \emptyset\}$. ($\delta(c_k, i_j)$: 制約 c_k が論点 i_j に関して制約充足条件となる値の集合)。(B) 制約における項数を考慮: $D_n^{(B)}(i_j, i_{jj}) = \sum_{c_k \in C} \epsilon(c_k)$ if c_k is $\delta(c_k, i_j) \neq \emptyset \cap \delta(c_k, i_{jj}) \neq \emptyset$. ($\epsilon(c_k)$: c_k に関係する項数)。(C) 制約の効用値を考慮: $D_n^{(C)}(i_j, i_{jj}) = \sum_{c_k \in C} w(c_k)$ if c_k is $\delta(c_k, i_j) \neq \emptyset \cap \delta(c_k, i_{jj}) \neq \emptyset$ ($w(c_k)$: c_k がもつ効用値を正規化したもの)。(D) 制約の項数と効用値を考慮: $D_n^{(D)}(i_j, i_{jj}) = D_n^{(B)}(i_j, i_{jj}) * D_n^{(C)}(i_j, i_{jj})$

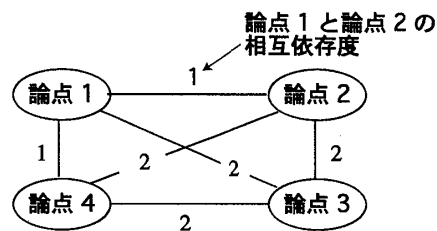


図 2: 相互依存関係グラフの例

また、エージェントは論点間の相互依存関係を相互依存関係グラフにより保持する。相互依存関係グラフはノードを各論点、エッジを相互依存関係の有無、重みを相互依存関係度とした、重み付き無向グラフである。($G(P, E, w) : P = \{1, 2, \dots, |I|\}$ (有限集合), $E \subset \{\{x, y\} | x, y \in P\}$, $w : E \rightarrow R$)。図 2 に相互依存関係グラフの例を示す。

A negotiation protocol based on issue-interdependency for highly complex scenario

†Katsuhide FUJITA ‡‡* Takayuki ITO ‡Mark KLEIN

†Techno-Business School, Nagoya Institute of Technology

‡Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology

* Researcher, PREST, Japan Science and Technology Agency (JST).

以下に、論点グループに基づく交渉プロトコルを示す。(1) 相互依存関係の抽出 エージェントがもつすべての制約を調査し、自身の相互依存度グラフを生成する。その後、エージェントはメディアータに相互依存関係グラフを公開する。(2) 論点グループの決定 メディアータがエージェントからの相互依存関係グラフから、論点間における相互依存関係の損失が少ない最適な論点グループを決定する。本論文では、グループ数をあらかじめ決めておき、シミュレーテッドアニーリング (SA) で評価値を最大化する手法を採用する。SA の評価値はグループに分割した場合に存在するエッジの重みの和である。(3) 入札の生成 [1] と同様に全論点を対象に入札の生成を行う。次に、全論点を対象にして生成した入札をグループ別に分割し、分割した入札が取りうる最大の効用値を評価値として設定する。(4) 合意案の発見 各エージェントの全ての入札の組み合わせを考慮し、グループ内で関係する論点間の合意案を決定する [1]。そして、各グループから生成された合意案を組み合わせ、最終的な合意案を作成する。もし、グループ外の論点に関して相互依存関係が全くなければ、最終的に組み合わせられた最終的な合意案は、各グループで作成された合意案の評価値と一致するため、最適な合意案を発見できる。

3 評価実験

本章では評価実験の結果を示す。実験設定は [2] と同様とする。また、効用関数は基本的に一様分布に基づく乱数によって決定する。

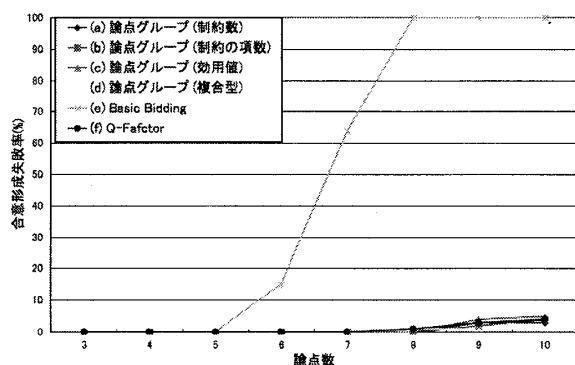


図 3: 合意形成失敗率の比較

図 3 は指数分布型の合意形成失敗率の比較を示している。(a)-(d) と (e) を比較すると、(a)-(d) の方が低い合意形成失敗率になっている。(a)-(d) が合意形成失敗の回避に有効な理由は、入札の組み合わせ最適解を求める際の計算コストが削減されているためである。また、(a) と (f) [3] を比較した場合、合意形成失敗率に大きな差は見られなかった。(a), (f) とともに、グループ数や

Q-Factor などの値の調整により合意形成失敗率を大きく改善することが可能である。

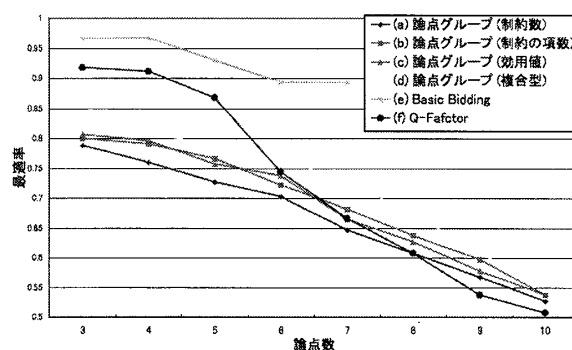


図 4: 最適解の比較

図 4 は最適率の比較を示している。(a)-(d) と (f) を比較した場合、論点数が大きくなるにつれて論点グループに基づく手法の方が Q-Factor に基づく手法と比較して高い最適率になってきている。論点グループに基づく手法の最適率が高くなる理由は、グループに基づく手法の方が交渉空間を分割して合意形成を行うため論点数が大きくなっても効率よく良解を発見できるためである。また、(d) の効用値や関係する制約の項数を考慮した方が他の論点グループに基づく手法と比較して高い最適率になっている。したがって、効用値が高く、関係する項数が高い制約の比重を高くすることで、最適率を向上することが可能である。

4 おわりに

本論文では、論点グループに基づく合意形成手法を提案した。また、本論文の提案手法が既存の手法と比較して合意形成失敗率を大きく改善することを示した。さらに、効用値が高く、関係する項数が高い制約を考慮して相互依存度を定義することで、最適率を向上できることを示した。今後の課題として、本論文で扱っている効用関数や交渉手法が序数的効用でも適用できるか解析する必要がある。

謝辞

本研究は JST 戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) より支援を受けている。

参考文献

- [1] Takayuki Ito, Mark Klein and Hiromitsu Hattori. "Multi-issue negotiation protocol for agents: Exploring nonlinear utility spaces" In JCAI-2007, pp. 1347-1352, 2007.
- [2] 藤田桂英, 伊藤孝行, Mark Klein, "複数論点交渉問題における論点間の依存関係を考慮した合意形成機構", JAWS2009, 2009.
- [3] Ivan Marsa-Maestre, Miguel A. Lopez-Carmona, Juan R. Velasco, Takayuki Ito, Mark Klein and Katsuhide Fujita, "Balancing Utility and Deal Probability for Negotiations in Highly Nonlinear Utility Spaces", In IJCAI-09, 2009