

複数論点交渉問題の論点群生成に基づいた高速化手法の提案

藤田 桂英 †‡ 伊藤 孝行 †* Mark Klein ‡

†名古屋工業大学 情報工学専攻 ‡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が相互依存関係にある場合に注目している [1]。複雑な交渉問題において交渉プロトコルのスケーラビリティが重要となる。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、投票に基づく SA により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、シミュレーション実験により既存の手法と比較して本手法は高いスケー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を示し、3. において提案手法を示す。その後、4. 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交渉モデル

本論文では、 N 個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。個々の論点を $i_j \in I$ と表し、論点が $|I|$ 個存在する。論点 i_j は $[0, X]$ の範囲の整数を値として持つ ($1 \leq j \leq |I|$)。交渉の結果得られる合意案は、各論点の値のベクトル $\beta = (s_1, \dots, s_{|I|})$ と表現される。エージェントの効用関数は $u_a(\beta)$ とする。論点同士が相互依存関係の場合、各エージェントの効用空間が膨大になるため、多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。

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。 $(G(P, E, w) : P = \{1, 2, \dots, |I|\} (\text{有限集合}), E \subset \{\{x, y\} | x, y \in P\}, w : E \rightarrow R)$ 。図 1 に相互依存関係グラフの例を示す。交渉における相互依存度の定義は [2] や文献 [1] など複数の指標が存在する。

3 論点グループに基づく交渉プロトコル

論点グループに基づく交渉プロトコルを示す。

Efficient Negotiation Protocol based on Issue-grouping for Highly Complex Scenario

†‡Katsuhide FUJITA †* Takayuki ITO ‡Mark KLEIN

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

‡Sloan School of Management, Massachusetts Institute of Technology

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

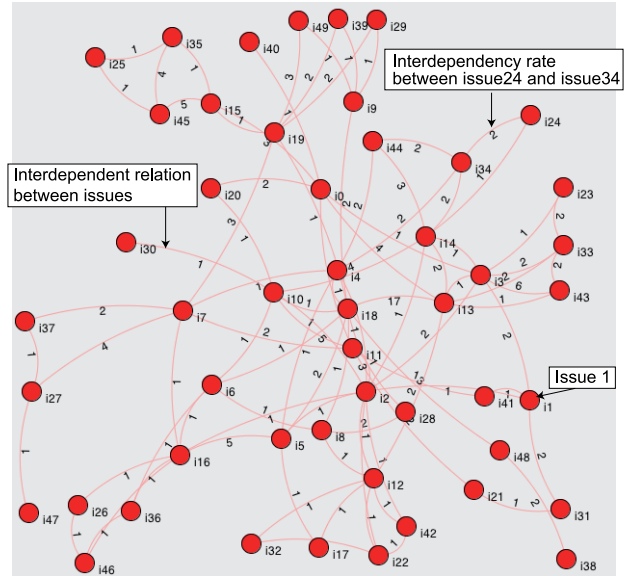


図 1: 相互依存関係グラフ

(1) **相互依存関係の抽出** エージェントの効用関数を解析し、自身の相互依存度グラフを生成する。その後、エージェントはメタデータに相互依存関係グラフを送信する。

(2) **論点グループの決定** 各エージェントは Girvan-Newman algorithm [3] を用いて論点グループ案を作成する。その後、メタデータは各エージェントから提出された合意案を幅優先探索に基づいて組み合わせ、最終的な論点グループを決定する。論点グループ生成の際に論点グループ数やパラメータを中央で単一に決めるのは、エージェントごとに基準が異なるため困難である。本手法はメタデータがエージェントから論点グループ案を受け取り組み合わせているため、すべてのエージェントのアイデアを考慮した論点グループの決定ができる。

(3) **合意案の発見** 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。最終的な合意案の発見は全エージェントからの 4 種類の投票結果 (Accept(+2), Weakly Accept(+1), Weakly Reject(-1), Reject(-2)) の和を評価値とした SA [4] により行う。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。

4 評価実験

4.1 実験設定

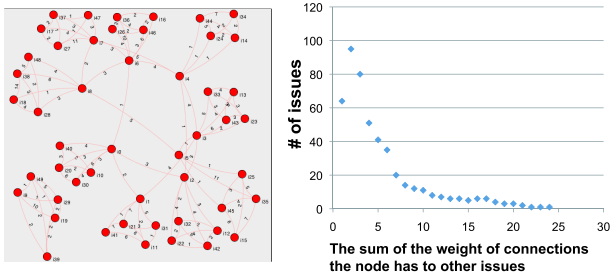


図 2: 論点間の相互依存関係

本実験では、エージェント間の交渉を 100 回試行し平均値を取る。効用空間および相互依存度の定義は文献 [1] を採用する。効用空間作成のパラメータは以下の通りである。論点の値域: $[0, 9]$, 制約数: 10 (単項制約), 5 (二項制約), 5 (三項制約以上)。制約の最大効用: $100 \times (\text{論点数})$ 。制約の最大範囲: 7。また、各論点間の相互依存度の決定は図 2 が示す設定とし、多くの論点がほとんど他の論点と依存関係にかく、少数の論点が多い他の論点依存関係にある。

本実験では主に 3 つの手法の比較を行う。“(A) SA based on Vote” は論点グループを生成せずに投票に基づく SA による交渉手法である。“(B) Issue-Grouping based on vote” は本論文で提案している論点グループを生成し、投票に基づく SA で合意形成を行う手法である。“(C) Issue-Grouping with Maximizing” は論点グループを生成し、通常の SA を用いて最適化する手法である。手法 (A), (B) において論点グループごとに最適化を行う場合、SA は初期の温度を 50 度として、100 回の繰り返し処理を経て温度を 0 まで下げることとし初期解はランダムに選択する。

最適率を求める実験において、網羅的な探索を行った場合、問題がスケールアップするにつれて計算量的困難が生じる。そこで、全エージェントの効用関数をすべてメディアータに公開し、SA を用いた探索により、発見した解を近似最適解とする。近似最適解を求めるための SA は初期の温度を 50 度として、500 回の繰り返し処理を経て温度を 0 まで下げることとし初期解はランダムに選択する。最適率として (各手法で求めた解の効用値) / (近似最適解) を用いる。また、最適率を求める際は合意形成失敗つまり合意案が発見できない場合は解の効用値を 0 とする。実験は JAVA2(1.5) で記述し、Mac OS 10.6 が動作している iMac (Core2Duo 2.33GHz メモリ 1.5GB) で行った。

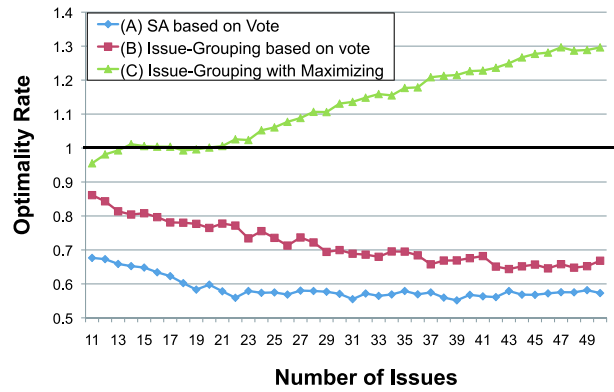


図 3: 最適率の比較

4.2 実験結果

図 3 は各手法の最適率の比較を示している。(B) と (C) を比較した場合、提案手法 (B) のほうが最適率の高い合意案を発見できている。また、(A) の最適率が 1 を上回っている。以上の結果から論点グループを生成することで同じ計算時間で最適率の高い合意案を効率的に発見できていることが分かる。論点数が増加するごとに (A), (B) の最適率は減少している。減少の理由としては、論点数が増加するごとに探索空間がひろくなるため、良質な合意案を発見するのが困難だからである。一方、論点数が増加するごとに (C) の最適率が増加している。増加の理由としては、論点グループの生成により個々の論点グループの探索空間の増大を抑制しているからである。

5 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高いスケラビリティをもつことを示した。今後の課題として、論点グループに基づく交渉手法が序数的効用でも適用できるかの解析が必要がある。

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] K. Fujita, T. Ito, M. Klein. “An approach to scalable multi-issue negotiation: Decomposing the contract space based on issue interdependencies.” IAT-2010, pp.399-406, 2010.
- [2] V. Robu, D. J. A. Somefun, J. L. Poutre. “Modeling complex multi-issue negotiations using utility graphs.” AAMAS 2005, pp. 280-287, 2005.
- [3] Girvan M. and Newman M. E. J. “Community structure in social and biological networks.”, National Academy of Sciences of USA (PNAS), 99(12), pp.7821-7826, 2002.
- [4] S. J. Russell and P. Norvig “Artificial Intelligence : A Modern Approach”, Prentice Hall, 2002