

ドメイン絞り込み交渉を用いた自動交渉プロトコルの効率化

細川 雄太†

† 東京農工大学 工学府 情報工学専攻

藤田 桂英‡

‡ 東京農工大学 工学研究院 先端情報科学部門

1 はじめに

マルチエージェントシステムにおいて、エージェントの自律性を保ちながら競合を解消し合意形成を目指す手段として自動交渉が注目されている [1]. 交渉のフィールドである交渉空間が大きい場合、エージェントが交渉空間を探索するための計算コストがかさみ、交渉の効率が悪くなる. 一方、エージェントが自身の選好情報を公開すると、相手エージェントが一方的に獲得効用を高める搾取が起こりうるため、交渉エージェントは選好を公開して効率化を図ることを好まない.

本研究では、エージェントが交渉相手やメデイエータに開示する情報を少なく抑えながら、巨大な交渉空間における交渉を効率化することを目的に、新たな交渉プロトコルを提案する. 提案するプロトコルでは、通常の交渉に先立って論点の絞り込みと選択肢の絞り込みを行う交渉空間絞り込みフェーズを導入する. 提案するプロトコルによる交渉の実験により、交渉の効率化が図れるとともに各エージェントが獲得する効用を高めることができると示す.

2 二者間複数論点交渉問題

本研究で扱う二者間複数論点交渉問題では、2つのエージェントが共通のドメイン上で交渉を行うことを考える. 交渉ドメインは、 n 個の論点 I_1, I_2, \dots, I_n と、各論点 I_i に対する k_i 個の選択肢 $v_1^i, v_2^i, \dots, v_{k_i}^i$ から構成される. 交渉中に提案される合意案候補 (Bid) は、各論点の選択肢1つずつからなるベクトル $\vec{b} = [v_{c_1}^1, v_{c_2}^2, \dots, v_{c_n}^n]$ で表される. よって、交渉空間の大きさ (ドメインサイズ) は $\prod_{i=1}^n k_i$ で表される.

交渉を行うエージェントには、それぞれ固有の効用関数が設定される. 効用関数は、論点 I_i に対する論点の重み w_i と、各選択肢 v_c^i に対する評価値 $eval(v_c^i)$ から構成される. なお、論点の重み w_i は $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ かつ $w_i \geq 0$ を満たし、評価値は $0 \leq eval(v_c^i) \leq 1$ を満たす. 本論文で扱う交渉問題の目的は、合意した Bid により得られる効用値を最大化することである. 合意案

候補 $\vec{b} = [v_{c_1}^1, v_{c_2}^2, \dots, v_{c_n}^n]$ に対する効用値は、式 (1) で表される.

$$U(\vec{b}) = \sum_{i=1}^n (w_i \times eval(v_{c_i}^i)) \quad (1)$$

交渉を行うエージェントには、互いの効用関数の情報は公開されない. 交渉の際は、Alternating Offers Protocol を用いる [2]. はじめに、一方のエージェントが合意案候補をひとつ提案 (Offer) し相手に送る. 他方のエージェントは、この Offer が受け入れられない場合新たな提案を送り、これを交互に繰り返す. ある Offer を相手が受け入れる (Accept) と交渉は終了し、それぞれの効用関数で合意案を評価した効用値を受け取る. 制限時間内に合意できない場合、獲得効用は 0 となる.

3 提案手法

巨大な交渉空間において、エージェントが効率的に合意するための交渉空間事前絞り込みプロトコルを提案する. このプロトコルでは、本交渉の前に交渉空間絞り込みフェーズを導入し、本交渉で対象となるドメインサイズを小さくする. 交渉空間絞り込みフェーズは、事前交渉による論点の絞り込みと選択肢の絞り込みから構成される. 以下にこれらの詳細を述べる.

論点の絞り込み

本交渉の対象とする論点の絞り込みは、事前交渉により決定する. 事前交渉では、交渉空間内の各論点について、「本交渉の対象とする」「エージェント A が選択する」「エージェント B が選択する」を選択肢とするドメインで交渉を行う. このドメインにおいて通常と同様に Alternating Offers Protocol による交渉を行い、合意案を決定する. 事前交渉の合意に基づき、本交渉の対象としない論点が決まり、選択権を得たエージェントが部分合意を決定する. なお、事前交渉で合意に至らなかった場合は、論点の絞り込みは行われず、すべての論点について本交渉フェーズで交渉を行う.

選択肢の絞り込み

各エージェントは、論点の絞り込みにおいて削除されなかった論点内の全ての選択肢のうち、交渉の対象としなくても良いと考える選択肢の一覧をメデイエータ (交渉の仲介者) に提出する. メデイエータは、すべてのエージェントから提出された一覧に共通する選択肢を交渉空間から削除し、エージェントに開示する.

Efficient automated negotiation protocols using domain narrowing negotiations

†Department of Computer and Information Sciences, Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

‡Division of Advanced Information Technology and Computer Science, Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

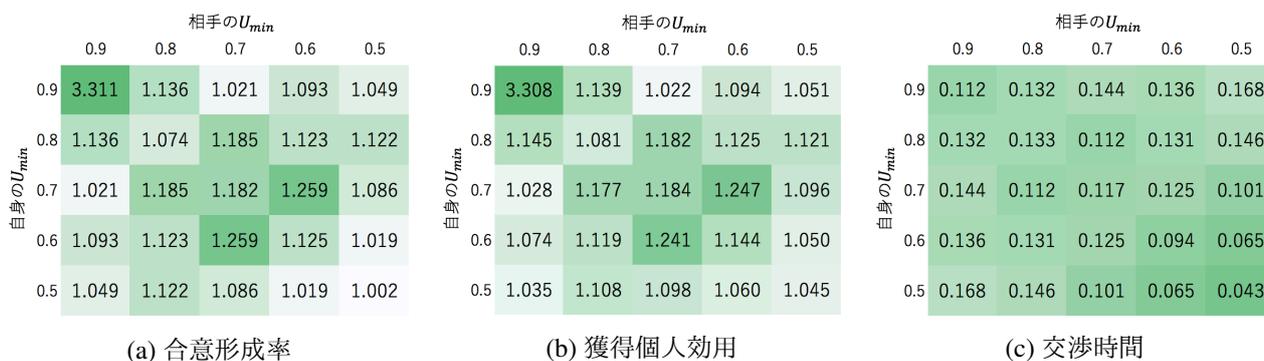


図 1: 絞り込みフェーズを含んだ交渉結果 (絞り込みを行わない交渉による結果を 1 としたときの割合)

4 実験

4.1 実験設定

提案したプロトコルの効率性を評価するため、交渉のシミュレーション実験を行う。実験には、自動交渉プラットフォームの NegMAS[3] を使用する。ドメインサイズ、Bid の分布、対立度の異なる 31 組の評価用ドメインセットを作成し、実験に使用した。

評価実験において、エージェントは単純で効果的なナイーブ戦略を用いる。戦略のパラメータとして、妥協できる最小の効用値 U_{min} を設定する。事前交渉による論点の絞り込みでは、本交渉で最終的に獲得できると見込まれる効用値に基づき、交渉時間とともに線形に減少する関数を用いた譲歩を行う。交渉中の時刻 t ($0 \leq t \leq 1$) と目標効用値の関係は、式 (2) で表される。

$$U_{target}(t) = 1 - (1 - U_{min}) \times t \quad (2)$$

選択肢の絞り込みで提出する選択肢の一覧は、効用関数で設定された評価値に基づき決定する。本交渉において最終的に U_{min} 以上の効用を獲得するため、評価値が $eval(v_j^i) < U_{min}$ となる選択肢を削除すべき選択肢として提出する。ただし、論点の絞り込みによりすでに選択肢が決まっているものについては変更できないため、この結果を差し引く。本交渉では、式 (2) と同じ譲歩関数による線形な譲歩を行う。

絞り込みフェーズを含まない通常の交渉と、絞り込みフェーズを導入した交渉をそれぞれ実行し、結果を比較する。通常の交渉の制限時間は 200 ラウンドとし、絞り込みフェーズを含む交渉では事前交渉と本交渉の制限時間をそれぞれ 100 ラウンドに設定する。エージェントが持つ U_{min} の値は $U_{min} \in \{0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5\}$ とし、交渉する 2 つのエージェントが持つ U_{min} はすべての組合せで 100 回ずつ実験を行い平均値を比較する。

4.2 実験結果

交渉空間絞り込みフェーズを導入した交渉の合意形成率、獲得個人効用、交渉時間を、絞り込みを行わ

ない交渉の場合と比較した結果を図 1 に示す。論点や選択肢の絞り込みを行い、各エージェントにとって都合の悪い Bid が削減されたことで、本交渉で合意に至りやすくなった。特に、 U_{min} が互いに 0.9 で強硬なエージェントだった場合の合意形成率が、通常の交渉では $\frac{1}{20}$ 未満であったが、交渉空間絞り込みフェーズの導入により大きく改善した。交渉空間絞り込みフェーズで合意に至りにくい部分を削減し、合意に至る Bid を探索しやすくなったためである。合意形成率の結果と同様に、各エージェントが獲得する効用値も高まる傾向が見られた。交渉空間絞り込みフェーズを導入することで合意に至りやすく、獲得できる効用が増加するため、エージェントが交渉空間の絞り込みに同意する動機付けとなる。また、交渉空間絞り込みフェーズを導入したことで、通常の交渉よりも計算時間が大幅に短縮された。巨大な交渉空間を事前に絞り込んでから本交渉を行うことで、各エージェントが交渉のために探索する空間が小さくなり、計算時間の減少につながった。

5 まとめ

本研究では、巨大なドメインでの交渉を効率化するための交渉空間事前絞り込みプロトコルを提案した。事前交渉による論点の絞り込みと選択肢の絞り込みを行った上で本交渉をすることで、合意形成率や獲得効用を高めるとともに交渉時間が短縮されることが確かめられた。

参考文献

- [1] 産業競争力懇談会 COCN. 産業競争力懇談会 2017 年度プロジェクト最終報告 人工知能間の交渉・協調・連携. <http://www.cocn.jp/report/theme98-L.pdf/>, 2018.
- [2] Ariel Rubinstein. Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 97–109, 1982.
- [3] Yasser Mohammad, Amy Greenwald, and Shinji Nakadai. Negmas: a platform for situated negotiations. In *Twelfth International Workshop on Agent-Based Complex Automated Negotiations (ACAN2019) in Conjunction with IJCAI*, 2019.