

複数論点交渉における時系列情報を考慮した効用値推定

細川 雄太†

藤田 桂英‡

† 東京農工大学 工学部

‡ 東京農工大学大学院 工学研究院

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効率的に競合を解消し、合意形成を行う手段として、自動交渉への関心が高まっている。通常、各エージェントが独自に持つ選好情報は互いに公開されない。しかし、個人的ならびに社会的により良い合意を得るためには、交渉相手の選好をより正確に推定することが必要である。

本研究では、より幅広い交渉環境で精度の高い効用推定を行うことを目的に、既存の頻度モデルを拡張した効用推定手法を提案する。シミュレーション実験により、提案する効用推定手法が既存手法の推定精度を上回ることを示す。

2 二者間複数論点交渉問題

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 $v_{i_1}^1, v_{i_2}^1, \dots, v_{i_{k_i}}^1$ 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。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 $eval(v_c^i) \geq 0$ 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。

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

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。交渉プロトコルとして、Alternating Offers Protocol を用いる [1]。このプロトコルでは、2つのエージェントが合意するまで、交互に合意案候補を提案 (Offer) する。

An Estimation of Opponent's Preference Considering Time Series in Multi Issue Negotiation

†Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

‡Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

3 頻度の分布に基づく効用推定

Tunali ら [2] は、Offer の頻度を数え上げて推定評価値とする従来の頻度モデルを拡張し、提案頻度の分布に基づく効用推定手法を提案した。

選択肢の推定評価値 $\widehat{eval}(v_j^i)$ は、式 (2) で表される。

$$\widehat{eval}(v_j^i) = \frac{(1 + freq(v_j^i))^\gamma}{\max_k (1 + freq(v_k^i))^\gamma} \quad (2)$$

ただし、 $freq(v_j^i)$ は、論点 I_i について、選択肢 v_j^i が選択された回数である。ラプラススムージングと $0 \leq \gamma \leq 1$ を用いた指数関数により、相手が一度も選択していない選択肢にも一定の評価値を与えると同時に、相手エージェントが特定の Bid を何度も繰り返し提案する場合の提案回数の増加を抑制している。

各論点の重みの推定には、相手から送られた Bid 列を k 個ごとに分割したウィンドウ情報を用いる。隣り合うウィンドウ間の提案頻度の分布に変化があるか χ^2 検定で確かめ、分布が変化しない論点の推定重みを増加させる。ウィンドウ内の分布を比較することで、確率的に提案を送るエージェントに対する予測精度の低下を防ぐとともに、相手の譲歩戦略の大域的な動きを観測することが可能となる。

4 効用推定モデル TDR Model の提案

実時間交渉において、1つの Bid を提案するまでにかかる時間はエージェントにより異なる。これに対し、既存の効用推定手法には Bid の提案回数の値を直接使用するケースが多く、相手エージェントの提案速度に依存して効用推定結果が大きく変化する。また、多くのエージェントは交渉の時間経過とともに譲歩を行うため、交渉時間とともに提案の重要度は変化する。交渉開始時から数え上げた提案回数を使用する既存の頻度モデリング手法では、このような提案の変化を考慮せず、すべての提案を一律に扱うという問題点がある。

提案する評価値推定手法では、提案速度や制限ラウンド数によらず一定の提案率を使用し、時間とともに変化する重み付けを行う。推定評価値 $\widehat{eval}(v_j^i)$ は、式 (3) のとおりに計算する。

$$\widehat{eval}(v_j^i) = \frac{(1 + \sum_t w(t) \times P(v_j^i, t))^\gamma}{\max_k (1 + \sum_t w(t) \times P(v_k^i, t))^\gamma} \quad (3)$$

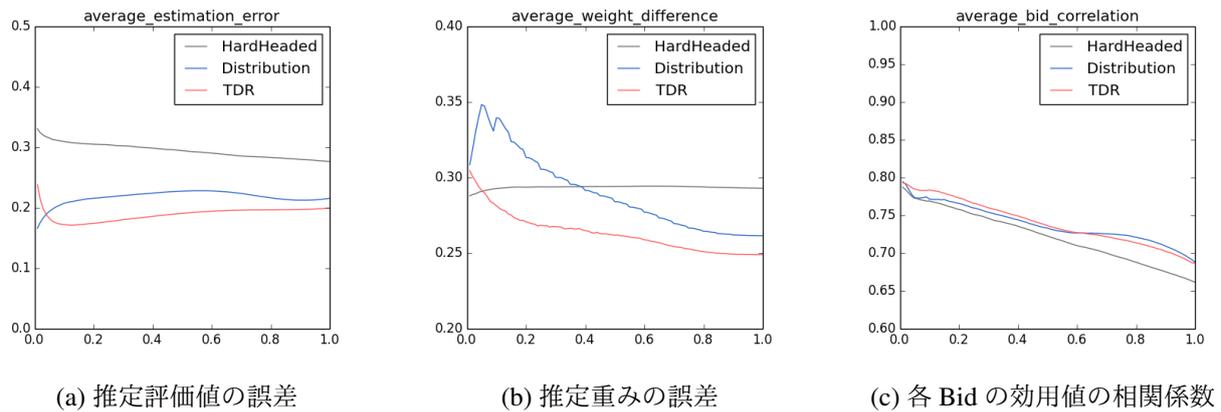


図 1: 交渉時刻と精度の関係

$P(v_j^i, t)$ は、時刻 t における選択肢の提案率である。時刻は交渉の制限時間の $1/100$ ごとに離散化し、各離散時刻において選択肢が選択された割合を計算する。これにより、譲歩関数が同一である限り、エージェントの提案速度や制限ラウンド数の違いによらず一定の推定を行うことができる。 $w(t)$ は、提案率の時間変化を利用し、精度の高い評価値推定を行うために付加する重みである。予備実験の結果から、 $w(t) = 1 - t^{\frac{1}{2}}$ とした。

論点の重みの推定には、Tunaliら [2] の頻度の分布に基づくアルゴリズムを使用する。ただし、推定に使用するウィンドウは交渉時間で定義する。ウィンドウを k 個ごとに区切った Bid 列として定義すると、交渉時間全体のウィンドウ数はエージェント・制限時間等により大きく変化する。このため、相手から送られる Bid 列を離散時刻ごとに分割しウィンドウとする。

5 評価実験

5.1 実験設定

自動交渉プラットフォーム GENIUS[3] を用いて、推定精度を評価するためのシミュレーション実験を行う。ドメインサイズ、Bid の分布、対立度を考慮し、27 種類の評価用ドメインセットを独自に作成した。エージェントの譲歩戦略や Offer の受諾戦略の影響を排除し、推定した効用関数の純粋な精度を評価するため、式 (4) で表される 10 種の譲歩関数に従う Bid 列を効用推定手法に入力する。

$$U_{target}(t) = U_{min} + (1 - U_{min}) \times t^{1/e} \quad (4)$$

$(U_{min} \in \{1.0, 0.8, 0.6, 0.4\}, e \in \{0.2, 1.0, 5.0\})$

5.2 実験結果

HardHeaded の頻度モデル [4]、Tunali らの頻度の分布に基づくモデル (Distribution-based Frequency Model)[2]、

提案した TDR Model の 3 手法について、交渉時間の経過と推定精度の関係を平均したグラフを図 1 に示す。(a) 推定評価値の誤差、(b) 推定重みの誤差ともに、交渉最初期を除き既存手法よりも誤差が小さい。特に交渉の前半において、頻度の分布に基づくモデルとの差が大きくなっている。提案率を使用した上で交渉前半の選択を重要視する重みを付加したことにより、各選択肢の評価値をより正確に推定できた。論点の重み推定では、ウィンドウの大きさを交渉時間で定義するため、制限ラウンド数によらず譲歩による提案の変化を読み取ることができた。一方、(c) 各 Bid の効用値の相関係数は、3 つの手法とも大きな差は見られない。以上より、提案手法は、順序関係だけでなく実際の効用値をより正確に推定できている。

6 まとめ

本論文では、時間依存する重みを付加した相手エージェントの提案割合に基づく効用推定手法 TDR Model を提案した。シミュレーション実験により、精度の高い評価値・重み推定が可能なることを示した。

参考文献

- [1] Ariel Rubinstein. Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 97–109, 1982.
- [2] Okan Tunali, Reyhan Aydoğın, and Victor Sanchez-Anguix. Rethinking frequency opponent modeling in automated negotiation. In *PRIMA2017*, pages 263–279. Springer, 2017.
- [3] Raz Lin, Sarit Kraus, and Tim Baarslag et al. Genius: An integrated environment for supporting the design of generic automated negotiators. *Computational Intelligence*, 30(1):48–70, 2014.
- [4] Thijs van Krimpen, Daphne Looije, and Siamak Hajizadeh. Hardheaded. In *Complex Automated Negotiations: Theories, Models, and Software Competitions*, pages 223–227. Springer, 2013.