

## 複数回交渉問題における履歴に基づいた自動交渉エージェントの提案

五十嵐 優智†

藤田 桂英‡

† 東京農工大学工学部情報工学科

‡ 東京農工大学大学院工学研究院先端情報科学専攻

### 1 はじめに

マルチエージェントシステムの研究分野において、自動交渉エージェントに関する研究が活発に行われており [1]、国際自動交渉エージェント競技会 (ANAC) が開催されている。ANAC は効用情報非公開下での二者間の複数論点交渉問題を対象とした自動交渉エージェントの競技会であり、現実の交渉モデルに近いモデルが採用されている。ANAC2013 から過去の交渉履歴を保存し、活用することが可能になった。通常、競技会では同じドメイン情報を用いて複数回の対戦を行う。以前に対戦した際に両者で交換した合意案候補 (bid) の情報を適切に解析することで、優位に行動することが可能になる。

本論文では、ANAC2013 で新たに追加された交渉履歴の保持機構を利用したエージェントを提案する。交渉中に相手から Offer された bid と Offer された時刻を保持し、時系列順に従って bid に適切な重みを付加することで相手の効用情報を推定する。さらに、歩み寄りに基づく戦略 [2] に効用情報推定手法を導入し、提案エージェントの有効性の評価する。

### 2 国際自動交渉エージェント競技会 (ANAC)

ANAC では二者間交渉によく用いられるプロトコルである alternating-offers protocol [3] を採用している。二者のいずれかのエージェントが作成した合意案候補 (bid) に対し他者は次の行動のうち 1 つを選択する。Accept: 相手が最後に提示した bid を受け入れ合意成立となる。Offer: 相手が最後に提示した bid の受け入れを拒否し、新たな bid を相手に提示、交渉を継続する。EndNegotiation: 合意を形成せず交渉を終了する。以上の操作を交渉終了もしくは制限時間まで繰り返す。

また、本競技会では制限時間が設定されており、制限時間内に合意が形成されない場合は合意形成に失敗したものと扱われ、お互い得られる効用値は最低値である。競技会では、本交渉プロトコルを全エージェン

トの総当たりで行い、最終的に得られた正規化された効用値平均が最大であったエージェントが優勝となる。

さらに、ANAC では割引率導入されており、早い段階で合意形成をするほど得られる効用値が高い。もし、制限時間  $t$  が正規化され  $[0, 1]$  の時間を取る場合、効用値は以下のように計算される:  $discountedUtility = originalUtility * d^t$

### 3 経過時間に基づく重み関数を導入した戦略

#### 3.1 経過時間に基づく重み関数の決定

本研究では相手の bid を全て履歴として利用し、経過時間に基づいて適切に重み付けを行うことで、相手の Value に設定される効用値を適切に推定する。各履歴 bid において選ばれた Value に経過時間に基づく関数で重み付けを行う。その値を足し合わせたものを推定効用値として、正しい効用値との差を乖離度として表現する。

今回、以下の 7 つの重み付け関数を用意した。(1) 重み付けなし: 単純に各 Value が選ばれた回数を推定効用値とする。(2) 右上がり一次関数: セッション序盤の bid を軽視し徐々に重みを増加させていくものである。(3) 右下がり一次関数: (2) と対照的にセッション序盤の bid を重視し徐々に重みを減らしていくものである。(4) 下に凸型二次関数: 時系列順中央時間を軸としたものであり、セッション序盤と終盤の bid を重視した重み付けである。(5) 上に凸型二次関数: 時系列順中央時間を軸としたものであり、セッション序盤と終盤の bid を軽視し、中盤の bid を最も重視する重み付けである。(6) 右上がりの指数関数:  $e$  を底とする指数関数による重み付けであり、セッション前半と後半の重み付けの差を (2) 以上に極端にしたものである。(7) 右上がりの自然対数関数:  $e$  を底とする対数関数による重み付けであり、(2) と同様にセッション序盤の bid は軽視するが、以降セッション終了まで微量の重みを加えていく。

図 1 は ANAC2011 の 8 エージェント 6 ドメインに対して行った検証実験の結果を示している。実験結果から、(6) 右上がりの指数関数による重み付けが効果的であることがわかる。

Automated Negotiating Agent based on Past Sessions in Multi-times Negotiations

†Masanori IKARASHI ‡Katsuhide FUJITA

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

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

表 1: ANAC2013 による評価実験結果 (Tournament Quality Measures) \*赤文字は最良値を示す。

	AgentKI	AgentKF	Slava Agent	TMF-Agent	GAgent	Meta-Agent
合意形成率 (%)	<b>72.7500</b>	74.4167	54.2917	<b>90.8333</b>	71.3333	80.6250
平均獲得効用値	<b>0.7651</b>	0.7476	0.7020	<b>0.7952</b>	0.7608	0.7512
平均獲得効用値 (合意形成時のみ)	<b>0.8768</b>	0.8334	<b>0.8963</b>	0.8227	0.8884	0.8253
パレートフロントとの平均距離	<b>0.1339</b>	0.1055	0.1996	<b>0.0362</b>	0.1531	0.1050
パレートフロントとの平均距離 (合意形成時のみ)	<b>0.0015</b>	0.0083	0.0016	<b>0.0014</b>	0.0075	0.0162
平均社会的効用値	<b>1.4968</b>	1.5440	1.3972	<b>1.6333</b>	1.4668	1.5417
平均社会的効用値 (合意形成時のみ)	<b>1.7181</b>	1.7373	<b>1.7787</b>	1.7011	1.7058	1.7026
パレートフロント上の Bid の割合	<b>0.8948</b>	0.7367	0.8272	<b>1.0000</b>	0.4266	0.7466
平均停止率	<b>0.6270</b>	0.4894	0.5849	<b>0.9941</b>	0.2624	0.6850

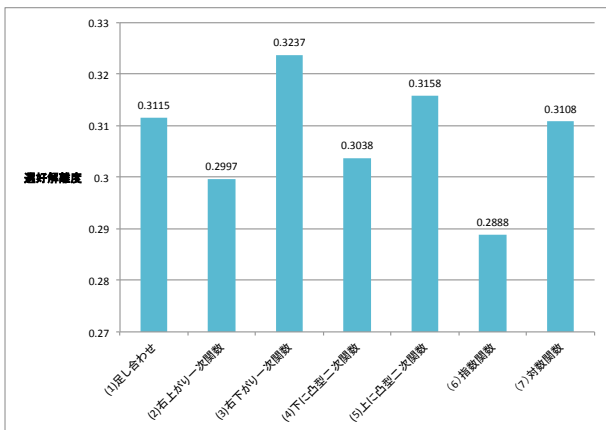


図 1: 各重み付け関数における平均効用乖離度

### 3.2 重み関数を導入した戦略

提案するエージェント Agent KI では、前節の右上がりの指数関数による重み付けに基づいてこれまでの履歴の重み付け和を計算することで、相手の効用情報を推定する。その後、相手の推定効用情報と自身の効用情報からパレートフロントとナッシュ交渉解を算出する。Offer 戦略は Agent K の歩み寄り戦略 [2] を基づき、提案する bid は推定したパレートフロント上のものとする。Accept 戦略は Agent K の受諾要件を満たし、かつ相手の推定効用値が自身の効用値より高い場合に受け入れる。以上の戦略により、推定されたパレートフロント上での合意により社会的効用を高めつつ、自身に有利な合意を得ることが可能になる。

## 4 ANAC2013 に基づく実験結果

履歴利用が実装されて行われた ANAC2013 の決勝に出場した 5 エージェントと 4 ドメインを用いて交渉シミュレーションを行い、提案したエージェント (Agent KI) の評価を行った。各エージェントにおける獲得効用値などを示す Tournament Quality Measures を図 1 に

示す。

提案した Agent KI は平均獲得効用値で第 2 位となった。一方、合意形成率は低く、平均獲得効用値が合意形成時のみの場合に比べ非合意形成時も含む場合に大幅に低くなっている。第 1 位となった TMF-Agent は制限時間間際まで非常に強固だが終盤に大きな譲歩を行い合意形成率を高めているため、Agent KI もこれに倣って譲歩を行い合意形成率を高める手法が有効な可能性がある。社会的効用 (合意形成時のみ) は第 3 位であり、パレートフロント上の bid の割合は 9 割に達している、以上から、本論文で提案した効用推定手法は効果的にパレートフロント上の Bid を推定できている。

## 5 まとめ

本研究では履歴 bid に適切な重みを付けることで非公開な相手の効用情報を推定する手法を提案した。また、推定した効用情報を用いる戦略を持つ、ANAC のプロトコルに基づくエージェントを作成した。さらに ANAC2013 のエージェントと対戦させることで、作成したエージェントの有効性を示した。今後の課題として、強固な戦略によって単独の交渉での効用優位を優先するか、譲歩してでも合意に至ることで交渉全体を通した効用の上昇を優先するかのトレードオフの解決が挙げられる。

## 参考文献

- [1] Sarit Kraus, Jonathan Wilkenfeld, and Gilad Zlotkin. Multiagent negotiation under time constraints. *Artificial intelligence*, 75(2):297–345, 1995.
- [2] Shogo Kawaguchi, Katsuhide Fujita, and Takayuki Ito. Compromising strategy based on estimated maximum utility for automated negotiation agents competition (anac-10). In *In Proceedings of IEA/AIE-2011*, pages 501–510, 2011.
- [3] Ariel Rubinstein. Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 97–109, 1982.