

戦略型ゲームによる提案応答ゲームの分析に基づくメタ交渉戦略の提案

森 顕之†

伊藤 孝行†

†名古屋工業大学 大学院 工学研究科 情報工学専攻 知能科学分野

1 はじめに

交渉は相互利益のために、競合解決と合意形成を行うための重要な社会活動である。本論文では、Rubinstein の提案応答 (Alternating-Offers) [1] によるエージェントによる自動交渉を想定する。Rubinstein が提示した提案応答ゲームは、二人のプレイヤーが互いに入札の提案応答を繰り返すことによって、合意を目指すゲームである。本論文で想定する自動交渉は、非協力ゲームであり、各エージェントはそれぞれ自己の利益を優先した振る舞いをする。非協力的な提案応答による自動交渉において、有効に働く交渉戦略は数多く提案されている [2]。しかし、既存研究の多くは、個々のエージェント視点での交渉戦略に着目しており、交渉戦略の安定性は保証されていない。

本論文では、進化ゲーム理論に基づき、全プレイヤーによって選ばれた際に進化的に安定となる交渉戦略を提案する。本論文では、プレイヤーの数だけ集団が存在する複数集団のモデルによる相互作用を想定する。例えば、二者間の売買交渉を考える場合、買い手の集団と売り手の集団は互いに独立しており、それぞれの集団で戦略分布を構成する。複数集団のモデルにおいて、進化的に安定となるのは、strict ナッシュ均衡のみであることは知られている [3]。strict ナッシュ均衡はナッシュ均衡よりも制約が厳しい均衡であり、ナッシュ均衡が他の戦略へ変更する誘引がないことを条件とするのに対し、全てのプレイヤーがそれぞれ他の戦略に変更した場合に損失を被る状態である。本論文では、個々のプレイヤー視点ではなく、交渉全体を俯瞰するメタ視点によって導出する交渉戦略を「メタ交渉戦略 (Negotiation meta-strategy)」とよぶ。本論文では、メタ交渉戦略が strict ナッシュ均衡となるように、メタ交渉戦略を定義する譲歩関数モデルのパラメータセットを Simulated Annealing (SA) によって探索する導出手法を提案する。本論文における、譲歩関数とは、受容、および提案可能な合意案候補の効用値を制御するための関数である。

本論文では、提案手法を自動交渉エージェントに実装し、交渉シミュレーションによって、提案手法を評価する。提案手法の評価実験として、自動交渉エージェント国際競技会 (Automated Negotiating Agent Competition: ANAC) [4] に提出された交渉問題と自動交渉エージェントを用いた交渉シミュレーションを行う。そして、全てのプレイヤーがメタ交渉戦略を選択した場合の組み合わせが strict ナッシュ均衡となるパラメータセットが探索可能であることを示す。

以下に本論文の構成を示す。第2章では、本論文で提案するメタ交渉戦略の導出手法を示す。第3章では、提案手法の有効性を交渉シミュレーションによって示す。そして、第4章では、本論文のまとめと今後の課題を示す。

2 メタ交渉戦略の導出手法

メタ交渉戦略を導出するために用いる譲歩関数モデルはより複雑な譲歩関数を表現できることが望ましい。本論文では、式 (1) の譲歩関数モデルを提案する。

$$T_k(t) = u_{k-1} + (u_k - u_{k-1}) \cdot ((t - t_{k-1}) / (t_k - t_{k-1}))^{\alpha_k} \quad (1)$$

式 (1) 中の k は時間の区間を示し、 $k = 1, 2, \dots, n$ とする。 $T_1(t)$ は区間1での譲歩関数 $T(t)$ を示す。式 (1) の譲歩関数は、 $t_{k-1} \leq t \leq t_k$ の時刻に $T_k(t)$ を用いる。ここで、交渉開始時刻 $t_0 = 0.0$ 、交渉終了時刻 $t_n = 1.0$ とする。また、 u は正規化効用値と同様に $[0, 1]$ の値をとる。例えば、 $n = 3$ の場合、譲歩関数のパラメータセット $\{a_1, a_2, a_3, t_1, t_2, u_0, u_1, u_2, u_3\}$ を調整することによって、適切なメタ交渉戦略を得る。本論文で提案する譲歩関数モデルは n を増加させることによって、譲歩関数の表現力を高めることができる。ただし、 n を増加させるとパラメータの数が増えるため、最適化が困難となる。

SA で使用する評価関数はメタ交渉戦略が唯一の strict ナッシュ均衡になるように定義した。式 (2) は、メタ交渉戦略を strict ナッシュ均衡にするための評価関数 $e_1(\mathbf{P})$ である。

$$\begin{aligned} e_1(\mathbf{P}) = \min(& u_1(\mathbf{m}) - \max(\mathbf{U}_1(\mathbf{m}) \setminus \{u_1(\mathbf{m})\}), \\ & u_2(\mathbf{m}) - \max(\mathbf{U}_2(\mathbf{m}) \setminus \{u_2(\mathbf{m})\}), \\ & \dots, \\ & u_{n_p}(\mathbf{m}) - \max(\mathbf{U}_{n_p}(\mathbf{m}) \setminus \{u_{n_p}(\mathbf{m})\})) \quad (2) \end{aligned}$$

The proposal of negotiation meta-strategy for alternating-offers bargaining game based on the analysis of strategic form game

†Akiyuki MORI ‡Takayuki ITO

†Department of Computer Science and Engineering Nagoya Institute of Technology

利得行列 $\mathbf{P}$ の値は、交渉結果を参照し、各交渉戦略の組み合わせにおけるプレイヤーの平均個人効用値である。式 (2) 中の n_p は交渉に参加するプレイヤーの総数を示す。また、 $u_i(\mathbf{c})$ は、各プレイヤーが交渉戦略の組み合わせ $\mathbf{c}$ に従って交渉戦略を選択している場合に、プレイヤー i が得られる効用値を示す。 $c_i \in \mathbf{c}$ はプレイヤー i が交渉戦略 c_i を選ぶことを示す。式 (2) 中の $\mathbf{m}$ は全プレイヤーがメタ交渉戦略を選択した場合の交渉戦略の組み合わせを示す。そして、 $U_i(\mathbf{c})$ はそれぞれのプレイヤーの交渉戦略の組み合わせが $\mathbf{c}$ である際に、自身の交渉戦略の変更によって取りうるプレイヤー i の効用値の集合を示す。例えば、全てのプレイヤーは交渉戦略 c_1, c_2 の中から交渉戦略を選択できる場合、 $\mathbf{c} = (c_1, c_1)$ とすると、 $U_1(\mathbf{c}) = \{u_1((c_1, c_1)), u_1((c_2, c_1))\}$ となる。式 (2) を最大化することによって、メタ交渉戦略の組み合わせが strict ナッシュ均衡に近づいていく。 $e_1(\mathbf{P}) > 0.0$ の場合、メタ交渉戦略は strict ナッシュ均衡となり、 $e_1(\mathbf{P}) \leq 0.0$ の場合は、メタ交渉戦略は strict ナッシュ均衡とはならない。

式 (3) は、メタ交渉戦略を唯一の strict ナッシュ均衡にするための評価関数 $e_2(\mathbf{P})$ である。

$$e_2(\mathbf{P}) = \sum_{\mathbf{c} \in \mathcal{N}_s \setminus \mathbf{m}} \min(u_0(\mathbf{c}'(0, \mathbf{m})) - u_0(\mathbf{c}), \\ u_1(\mathbf{c}'(1, \mathbf{m})) - u_1(\mathbf{c}), \\ \dots, \\ u_{n_p}(\mathbf{c}'(n_p, \mathbf{m})) - u_{n_p}(\mathbf{c})) \quad (3)$$

式 (3) 中の $\mathcal{N}_s$ は、strict ナッシュ均衡の集合を示す。 $\mathbf{c}'(i, \mathbf{c})$ は戦略の組み合わせ $\mathbf{c}$ のプレイヤー i の戦略を $\mathbf{c}$ に置換した戦略の組み合わせを示す。したがって、式 (3) 中の $u_i(\mathbf{c}'(i, \mathbf{m}))$ は、メタ交渉戦略以外の strict ナッシュ均衡となる組み合わせ $\mathbf{c}$ において、プレイヤー i のみがメタ交渉戦略に切り替えた場合に、プレイヤー i が得る効用値を示す。式 (3) 中の $\mathbf{m}$ はメタ交渉戦略を示す。式 (3) は全てのプレイヤーがメタ交渉戦略をとる組み合わせ以外が strict ナッシュ均衡となる場合に負の値をとる。

式 (2) と式 (3) に基づき、本論文で用いる最終的な評価関数 $v(\mathbf{P})$ が式 (4) である

$$v(\mathbf{P}) = e_1 + e_2 \quad (4)$$

提案手法では、 $v(\mathbf{P})$ を最大化するように、SA を実行する。

3 評価実験

本論文では、最も簡易な 2 人のプレイヤーによる提案応答ゲームによる交渉問題に対して、提案手法を適

表 1: 実験によって得られたパラメータセット (T:triangularFight, D:DomainTwF, P:PEnergy, K:KDomain, N:NewDomain)

	a_1	a_2	a_3	t_1	t_2	u_0	u_1	u_2	u_3	$v(\mathbf{P})$
T	1.09	1.10	1.00	0.433	0.644	0.796	0.765	0.927	0.548	0.0764
D	0.693	1.08	1.24	0.187	0.618	0.774	0.980	0.658	0.622	0.406
P	0.177	0.914	0.903	0.0410	0.137	0.600	0.513	0.616	0.905	0.00257
K	1.99	2.07	0.665	0.974	0.0964	0.647	0.879	0.940	0.575	0.301
N	0.409	0.947	1.829	0.532	0.786	0.732	0.676	0.991	0.844	0.519

用し、評価を行う。本実験では、ANAC2016 の個人効用部門における上位 3 エージェントである、Caduceus, ParsCat, および YXAgent を用いる。本実験で使用する交渉問題は、ANAC2016 で使用された交渉問題の中から合意案候補数、割引係数、および留保価格が異なる triangularFight, DomainTwF, PEnergy, KDomain, および NewDomain を選んだ。交渉者の効用情報は各交渉問題のプレイヤー 1 とプレイヤー 2 を用いる。本実験における交渉の制限時間は 10 秒とする。また、SA の実行中における、パラメータセットの評価の際に行う交渉シミュレーションでは、戦略間の各組み合わせをそれぞれ 10 回ずつ試行する。本実験では $n = 3$ とする。そして、SA を 5 回実行し、唯一の strict ナッシュ均衡となり、最も評価関数の値が高いパラメータセットを交渉問題に対するメタ交渉戦略として採用する。

表 1 は、提案手法によって得ることができた各交渉問題に対するメタ交渉戦略のパラメータセットである。本実験によって、提案手法によって、全てのプレイヤーに選ばれた場合に strict ナッシュ均衡となるようなメタ交渉戦略が導出可能であることが実験的に示された。

4 まとめ

本論文では、提案応答ゲームによる自動交渉を、特定の戦略のみを使用可能とする戦略型ゲームとして分析することによって、メタ交渉戦略を導出する手法を提案した。そして、評価実験によって、提案手法を用いることで提案応答ゲームによる交渉問題へのメタ交渉戦略を導出可能であることを実験的に示した。

参考文献

- [1] A. Rubinstein. Perfect equilibrium in a bargaining model. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 97-109, 1982.
- [2] C. R. Williams, V. Robu, E. H. Gerding, and N. R. Jennings. Using gaussian processes to optimise concession in complex negotiations against unknown opponents. In *Proceedings of the Twenty-second International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI2011)*, volume 1, pages 432-438. AAAI Press, 2011.
- [3] J. W. Weibull. *Evolutionary game theory*. MIT press, 1997.
- [4] T. Baarslag, R. Aydogan, K. V. Hindriks, K. Fuijita, T. Ito, and C. M. Jonker. The automated negotiating agents competition 2010-2015. *AI Magazine*, 2016.