

複数エージェントに対する同時交渉における メタ交渉戦略解析手法の検討

A Preliminary Analysis about Meta-strategies
in Simultaneous Negotiations among Agents

鶴橋吉矩*1
Yoshinori Tsuruhashi

福田直樹*2
Naoki Fukuta

*1 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University

*2 静岡大学情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

Automated negotiation techniques among agents can be applied to various purposes to obtain win-win agreements without revealing their utility spaces. Various approaches have been investigated in negotiations between two agents and also in obtaining agreements among three or more agents. However, there could be multiple simultaneous negotiations to agents that are competing each other to obtain a better agreement to a certain agent. In this paper, we propose a preliminary analysis about such simultaneous negotiations and possible meta-strategies in them.

1. はじめに

エージェント間交渉とは、エージェントが互いに効用空間 (utility space) を持ち、お互いがその効用空間をできるだけ公開することなく合意できる点を見つけ出す技術である。この技術を用いた実用的な研究も多くなされている [Raz 11, Okumura 11, 奥村 10]。

また、二者間のエージェント間交渉に関して様々な研究 [水谷 10, 服部 06, Hindriks 09, Ivan 09, Miguel 11] が行われているが、文献 [水谷 10, 服部 06] のように 1 対多の同時交渉においてはオークション形式のメカニズムが利用されることが多い。オークションメカニズムは、非常に多くの相手を対象に扱うことができる反面、多論点での複雑なエージェント間交渉のように、精密に妥協点を探すには不向きであった [水谷 10]。現実には多論点における具体的な妥協点の探索を複数者間で同時に行いたい場合がある。たとえば文献 [石川 12] では、プロバイダのリソース提供を目的として複数者間に対する自動交渉技術が用いられている。

多者間で交渉する場面はいくつか考えられる。たとえば、三者間以上の主体の間で 1 つの合意案を得るものと、ある特定の主体との間で高々 1 つの合意案を得るために他の複数の主体が競争しながら交渉を行うような場合がある。本論文では、特に後者の場合を考える。二者間で交渉する場合と、多者間で 1 対 1 の交渉を並列して実行する場合とを比べた場合、後者の交渉は、提案の回数や交渉終了時間に制限がなく、成立した交渉のうち最も条件の良いものを選べる立場にある場合では、二者間交渉と同じように交渉を行うと全体の交渉が終わるまで長い時間がかかるが、相性のいい交渉相手を見つけ出すことができる余地があるので、多者間で交渉したほうが高い効用値が得られるのは自明である (図 1)。

しかし、交渉成立までにかかる時間が、得られる効用値に影響を与える場合、特に、交渉時間が長くなるに従って効用値が下がってくるような場合には、得られる効用値を高めるための戦略として交渉成立を優先することが必要な場合もあるため、二者間交渉の場合で得られる効用値と同様かそれ以上となることは保証されない。なぜなら、最も早く交渉を成立させる戦略

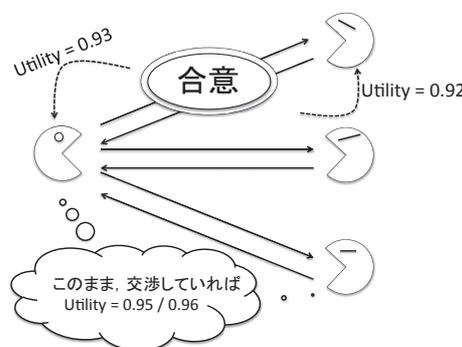


図 1: 交渉相手選択の余地がある多者間交渉

は最も多くの効用値を得ることができる戦略とは必ずしもいえないからである [鶴橋 12]。

すなわち、多者間交渉においてはそれぞれの交渉の戦略とは別に、全体の交渉をどのように進めるかといった戦略が必要になると考えられる。そして、考えられる戦略が最適かどうかは交渉相手やそれぞれの戦略など、置かれた状況に依存するため、状況ごとに最適な戦略が異なってくる可能性がある。

また、エージェントがもつ効用空間においても、複数の論点の加重和によって求められる線形的効用空間ばかりでなく、効用空間を表現する関数が非線形効用な場合も考えられる。

本研究では、複数の論点の加重和からなる線形空間と比較的容易に表現できる非線形空間に対し、エージェントを用いた多者間交渉におけるプロトコルとそれに対応する戦略の適切さの解析を容易にするようなシステムの試作を目指す。複数者間での交渉プロトコルには、その議論の出発点として本研究では次の交渉のプロトコルを用いることにする。複数者間の交渉を実現するために、二者間交渉を複数同時に行う方法を取る。二者間交渉においては ANAC2011 における alternative offer という二者間交渉のプロトコルを用いる。

上述のプロトコルに基づく二者間交渉を、複数者間で並列に行う。ただし交渉が少なくとも 1 つ成立した時点ですべての

連絡先: 鶴橋吉矩, 静岡大学大学院情報学研究科,

〒 432-8011 静岡県浜松市中区城北 3-5-1,
gs12027@s.inf.shizuoka.ac.jp

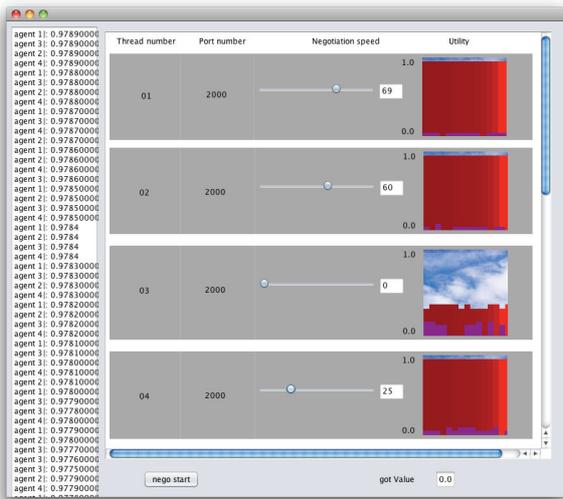


図 2: 早い交渉が高い効用を得られない例

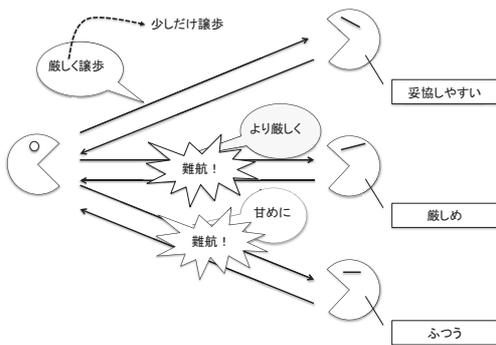


図 3: メタ戦略を用いた交渉例

交渉は終了するものとし、そのときの交渉結果が最終的な結果となる。また、同時に交渉が成立してしまったときにはいずれかの交渉を違える違約金という形でコストを払うことにする。

2. メタ戦略の適用

2.1 線形空間におけるメタ戦略の解析

線形効用空間において以下のような条件で具体的なメタ戦略を用いた交渉を行わせ、その解析を行った。

自身のエージェントがもつ戦略は、どの交渉相手に対しても同じものを適用し、交渉相手の戦略については自身の戦略とは異なる戦略を複数用意した。効用空間については、複数の論点にそれぞれ重みが付けられているものを用い、それぞれの加重和によって効用が求められる。

ここではメタ戦略の一例として、自身から見て高い効用を期待できる交渉を優先して進めるといったメタ戦略を用いた多者間同時交渉を行い、そのときの自身が交渉中に期待される効用の推移にグラフを示す。縦軸に期待される効用値、横軸に時間軸をとり、0.1秒ごとに自身に対して期待される効用値を自身の提案と4つの交渉対象のエージェントからの提案それぞ

れに対してプロットした。

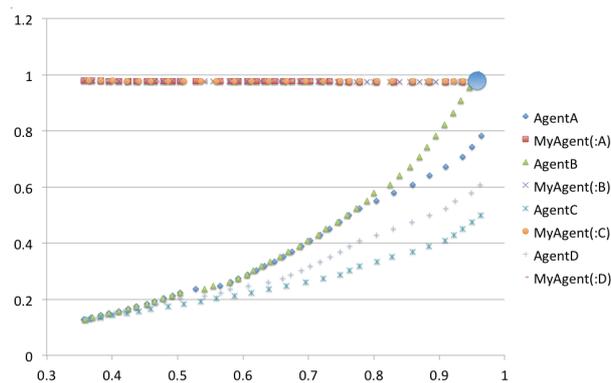


図 4: 線形空間におけるメタ戦略を用いた交渉 1(自身から見た期待される効用)

このグラフのように自身の期待される効用が大きい交渉を早く進めればより早くお互いの妥協点を探索することが可能になる。

一方で、図 5 に示すように同じメタ戦略を用いた交渉でも自身から見て高い効用が期待できずに交渉成立してしまうこともある。

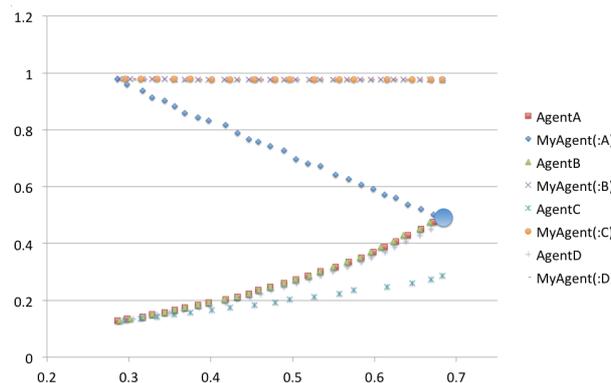


図 5: 線形空間におけるメタ戦略を用いた交渉 2(自身から見た期待される効用)

同じメタ戦略でも必ずしも高い効用を得られるわけではなく、交渉を行う自身や相手エージェントの戦略や交渉状況、それぞれの効用空間を考慮しながらメタ戦略を組み合わせる交渉を行い、これを解析、評価する必要があると考える。

2.2 メタ戦略の検討

前述したように、多者間同時交渉における有効なメタ戦略は一意に定まらない。そのため、複数のメタ戦略を提案し、これらを組み合わせた戦略の解析を行う。つまり、同時交渉において二者間の交渉とは異なる多者間交渉のための戦略を複数用意し、これらに基づき交渉、解析を行った。具体的にはこれらのメタ戦略から算出された値に基づき交渉の速度を操作し、 N 個の交渉に対し、速度の異なる交渉を実現した。ここでは解析に用いたメタ戦略について説明する。

● (戦略1)

最新の相手の案から期待される効用と自分の案から期待される効用の平均を計算し、より多くの効用を期待できる交渉を優先するよう重みを付ける。具体的には以下の式を用いる。 $sh_x(x = 1, \dots, n)$ はある交渉における双方の現在期待されている効用の平均値で、 S はすべての交渉について sh_x に対する総和である。これに基づきそれぞれの交渉速度 sp_x が求められる。

$$sh_x = (hm_x + ho_x)/2$$

$$S = \sum_{k=1}^n sh_k$$

$$sp_x = sh_x / S$$

● (戦略2)

相手から提案された案の期待される効用の変動が大きい交渉を優先する。すべての交渉について、提案された案に対して直前の提案についての効用と比較し、その差が大きい交渉、つまり相手の行動幅が大きい交渉ほど交渉速度を早くする。たとえば、時刻 t で提案された案に対する効用を v_x 、時刻 $t-1$ に提案された案に対する効用を $v0_x$ とし、以下のような式を用いてエージェント x の交渉速度 vp_x を求める。

$$vd_x = \Delta v_x - v0_x$$

$$V = \sum_{k=1}^n vd_k$$

$$vp_x = vd_x / V$$

● (戦略3)

自身の提案に対して、代替案として提案した相手の速度が早い交渉を優先する。自身の提案した時刻を $t0_x$ とし、相手から代替案を提案した時刻を t_x とした時に、差分 $\Delta t_x - t0_x$ が小さい交渉に対して速く交渉を行う。

$$tg_x = \Delta t_x - t0_x$$

$$T = \sum_{k=1}^n tg_k$$

$$tp_x = tg_x / T$$

2.3 メタ戦略を用いた交渉

用意したメタ戦略をそれぞれシステム上で動作させたときに、自身から見た期待される効用値の推移は以下のとおりである。ここではメタ戦略1とメタ戦略2についてシステムを動作させてみた。

3. システムの実装

用意したメタ戦略を用いて交渉を行い、それらを組み合わせた戦略などを解析するために、多者間同時交渉を行いながらメタ戦略を用いたときの自身から見た期待される効用の推移などを観測するシステムを試作した。また、解析を柔軟に行うためにメタ戦略の手動での調整も行えるようにシステムを実装した。

システムの実装方法について概要を図8に示す。本システムの構成は大きく二つの部分から成る。一つは、各エージェントが相手に効用空間を直接開示せず、相互の交渉を行う交渉プラットフォームでこれを、これを交渉実行部 (negotiation

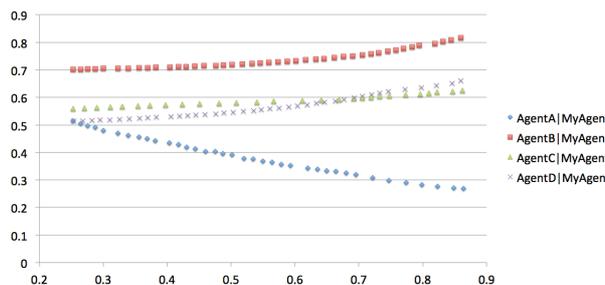


図 6: メタ戦略1を用いた交渉 (自身から見た自身と相手の案から期待される効用の平均値)

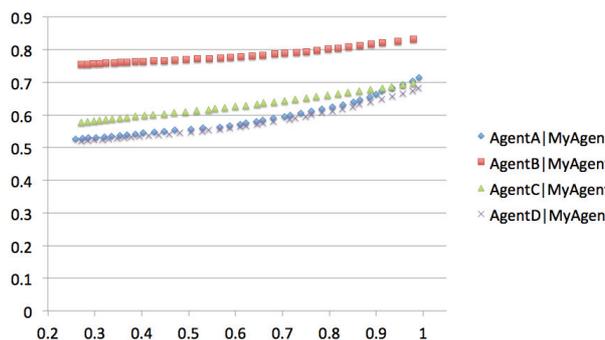


図 7: メタ戦略2を用いた交渉 (自身から見た自身と相手の案から期待される効用の平均値)

environment) と呼ぶ。もう一つは交渉するエージェントをそのプラットフォームに送り出すと同時に、並列に交渉を行う複数のエージェントに対するメタな制御を行う部分であり、これを交渉制御部 (control) と呼ぶ。

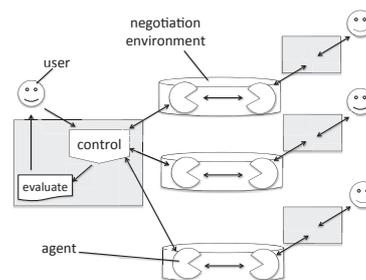


図 8: システムのアーキテクチャ

3.1 交渉実行部

エージェント間で交渉する際の、交渉実行プラットフォームとして二者間交渉を実現する部分の実装には GENIUS[Hindriks 09] の設計をベースとして、独自に構成したものを用いる。交渉を行うプラットフォームは交渉制御部からは独立した実行環境で動作しており、プラットフォーム上での1対1のエージェント間交渉を行わせる際には、エージェントと効用空間をそのプラットフォームに送ることで相互に二者間交渉を行えるようにする。エージェントの持つ効用空間は

各論点とその重みからなる加重和によって表現され、交渉エージェントは交渉の経過や結果について交渉実行部に通信し、交渉実行部からは交渉における提案のタイミングが通信される。これにより、それぞれの交渉プラットフォームにおいて戦略や効用空間などの状況の違う交渉を実現し、速度の異なる交渉が可能になる。エージェントは交渉を開始したら交渉制御部との通信を確保し、交渉における合意案を提案する。相手エージェントが代替案を提案してきたら交渉制御部に次の行動までの指示を仰ぎ、待機する。交渉が成立したら他の交渉に交渉の終了を告げるために交渉制御部に結果を通信する。

3.2 交渉制御部

複数者間で同時に交渉を行うためには、それぞれの交渉をコントロールするモジュールが必要になる。ここでは同時交渉における戦略に基づく、各エージェントのコントロールを行うモジュールである交渉制御部について述べる。エージェントが交渉を開始したら、制御部は戦略に従って各交渉エージェントの交渉速度などのコントロールを行う。いずれかのエージェントが交渉を成立させたとき、その他のエージェントに対して、交渉の中断を行うよう指示を行い、得られた効用値や交渉時間などの情報を戦略評価部に伝える。交渉制御部による複数交渉の状況表示および解析・操作を行うユーザインタフェースを図2に、交渉を行うエージェントの入力を行うインターフェースを図9に示す。各エージェントの通信で使用しているポート番号と交渉速度および交渉の詳細な様子がログ表示部に表示される。期待される効用値はエージェントごとにグラフで表示され、スライダを用いてそれぞれのエージェントの交渉速度を手動で、あるいは自動で変更することができる。スライダの数値が大きくないほど交渉における次の提案までの待機時間が短くなり、より早い交渉が可能になる。

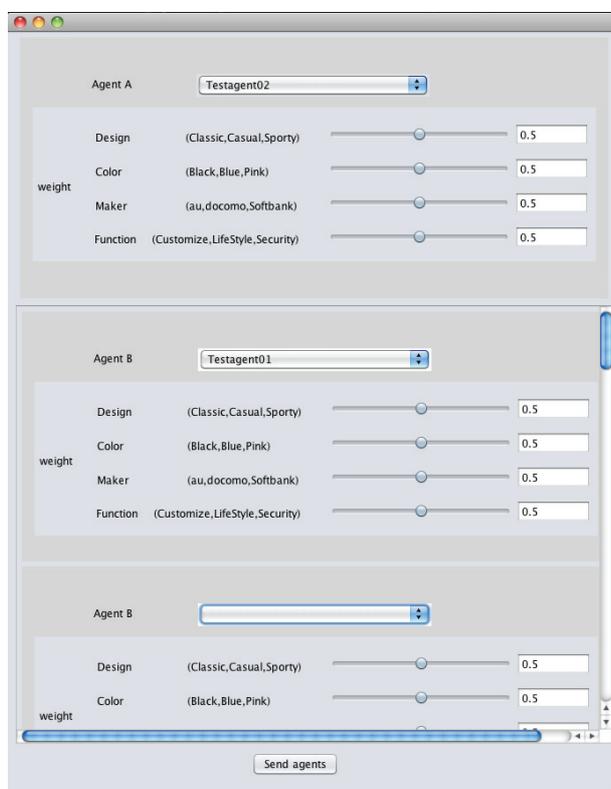


図 9: 入力インタフェース

4. まとめ

本研究では多者間における同時交渉を実行可能なシステムを実装するとともに、より有効なメタ戦略についての解析・検討を行えるようにした。本システムを用いれば、多者間で交渉する際にどのような状況でどのようなメタ戦略が有効かを解析することができ、また、手で戦略を操作することでメタ戦略の検討を容易に進めることができるようにした。また、用意したメタ戦略を用いてシステムを動作させ、メタ戦略の違いによる影響を確認した。

参考文献

- [Raz 11] Raz Lin, Yehoshua Gev, Sarit Kraus, Facilitating Better Negotiation Solutions using AniMed, in Proc. of Agent-based Complex Automated Negotiations 2011 (ACAN2011), pp.64-70 (2011)
- [Okumura 11] Mikoto Okumura, Katsuhide Fujita and Takayuki Ito, Implementation of Collective Collaboration Support System based on Automated Multi-Agent Negotiation, Proc. of Agent-based Complex Automated Negotiations 2011 (ACAN2011), pp.71-76 (2011).
- [奥村 10] 奥村命, 水谷信泰, 中川裕輝, 藤田桂英, 伊藤孝行, 自動交渉エージェントを用いたコラボレーティブな公共空間設計支援システムの試作, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS2010), (2010).
- [水谷 10] 水谷信泰, 藤田桂英, 伊藤孝行, 論点クラスタリングと分散 GA による交渉プロトコルの効率化について, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム (JAWS2010) (2010).
- [服部 06] 服部宏充, 伊藤孝行, Mark Klein, 非線形効用関数を持つエージェントのためのオークションに基づく交渉プロトコル, 電子情報通信学会論文誌, vol. J89-D, no. 12, pp. 2648-2660, (2006).
- [石川 12] 石川貴文, 福田直樹, 自動交渉技術を用いた複合クラウドへのアプリケーション自動最適配置フレームワークの試作, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 3T-8, (2012).
- [鶴橋 12] 鶴橋吉矩, 福田直樹, 複数者間の同時交渉に適用可能なエージェント間多論点交渉システムの試作, 情報処理学会 第 74 回全国大会, 3T-7, (2012).
- [Hindriks 09] K. Hindriks, C. M. Jonker, S. Kraus, R. Lin, D. Tykhonov, GENIUS- Negotiation Environment for Heterogeneous Agents, Proc. of 8th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009), (2009).
- [Ivan 09] Ivan Marsa-Maestre, Takayuki Ito, Mark Klein, Katsuhide Fujita, Balancing Utility and Deal Probability for Auction-Based Negotiations in Highly Nonlinear Utility Spaces, Proc. of IJCAI-2009, pp. 214-219 (2009).
- [Miguel 11] Miguel A. Lopez-Carmona, Ivan Marsa-Maestrey, Mark Klein, Consensus Policy Based Multi-Agent Negotiation, Proc. of Agent-based Complex Automated Negotiations 2011 (ACAN2011), pp.1-8 (2011).