

多者間同時多論点交渉の適用のための シミュレーションプラットフォーム

A Preliminary Approach on Simulation Platform for Multi-Issue Concurrent Negotiations

鶴橋 吉矩*¹ 福田 直樹*¹
Yoshinori Tsuruhashi Naoki Fukuta

*¹静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School 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. In bilateral negotiation settings, an agent negotiates to another agent with obtaining each agreement. When there are several agents that are concurrently negotiating each other and there is only a protocol for bilateral negotiations but no multi-lateral protocol is available, negotiating agents are obtaining agreements among three or more agents by their own negotiation strategies for manage and maintain simultaneous negotiations. In this case, negotiating agents need to have a proper meta-level strategy. However the meta-level strategies could be varied since there are so many kinds of negotiating situations. In this paper, we propose a preliminary idea about our simulation platform to analyze about meta-strategy in simultaneous negotiations.

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 [10]。この技術を用いた実用的な研究も多くなされている [3, 5, 11]。

二者間のエージェント間交渉に関して様々な研究が行われているが、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の考え方が応用されることが少なくない [12]。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な場合もある [4]。

多論点における妥協点の探索を複数者間で同時に行いたい場合の例として、たとえば文献 [13] では、プロバイダのリソース配分決定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には、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。

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場合もある [14, 15] 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。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。ある戦略が最適かどうかは交渉相手など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。さまざまな条件で同時交渉についての戦略を容易に解析できれば、高度な戦略の実装のための負担が軽減できる。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な場合には、その解析は難しいものとなる。

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同時交渉における戦略の解析を容易にするためのシステムの構築を目指し、解析の例として交渉中に相手エージェントが振る舞いを変えた時の戦略を観測・解析可能とするためのプラットフォームの構築について述べる。議論の出発点として、本研究では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自動交渉エージェント競技会 (ANAC) における alternating offer という二者間交渉のプロトコルを用いる。

2. 準備

複数者間の同時交渉問題は、単純な 1 対 1 の交渉問題をより現実的な問題設定に近づけるものとして、これまでに研究が進められてきている [1, 7, 8, 9]。同時交渉は e-market やクラウド・コンピューティングに応用することが考えられており、Pan ら [6] や Ren ら [7] のように多者間同時交渉を行うために交渉の仲介者を必要とする場合や、石川ら [13] のように必ずしも仲介者が信用に足るとは限らないことを考慮する場合もある。ここでは文献 [13] のような場合について想定し、仲介者を介さない同時交渉について考える。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 (多数者間合意形成問題 multilateral agreement problem) 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のように、1 つの交渉の結果が他に影響を与える場合があるものの、基本的に 1 対 1 の交渉が複数並列して存在するような場合がある。本論文では特に後者の場合の解析に

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

を変動した効用空間に合わせて変化させることが考えられる。

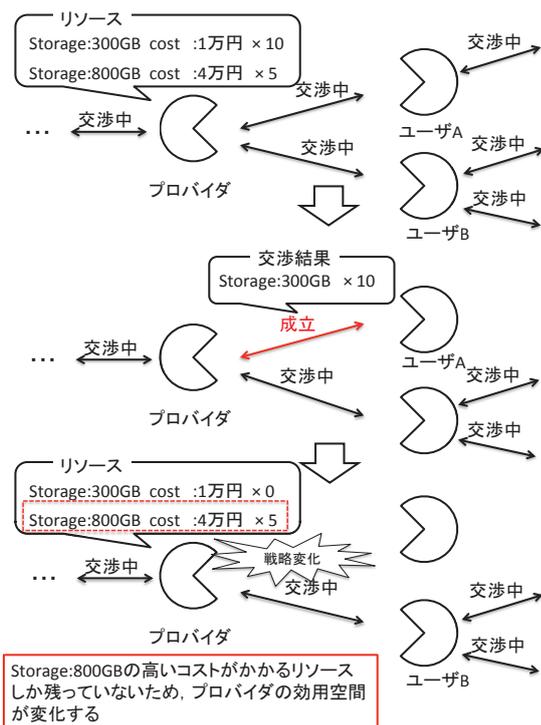


図 1: 効用空間の変化に伴う交渉相手が戦略を変化させた例

について考える。このとき、多者間同時交渉において例えば、どのエージェントと優先的に交渉を行うかといったような個々の交渉で用いる戦略とは別のメタレベルな交渉戦略（メタ戦略）を考える必要がある。文献 [14] で、我々は議論の出発点となる簡易なメタ戦略とその影響について解析している。

交渉を行うエージェントには、それぞれに交渉におけるゴールが異なる。たとえば、少なくとも一つの合意が成立するように交渉を行うエージェントの他に、複数同時交渉で複数の合意を求める目的をもった交渉エージェントなどが存在することが考えられる。このとき、交渉相手となるエージェントに、一定の時間内において複数者の合意を求める交渉を行うエージェントがいる場合、この交渉相手のエージェントは他との交渉の正否によって交渉中に効用空間が変わることが考えられる。たとえば、多対多の構成となる多者間交渉において、図 1 のように、エージェントは複数の交渉のうち特定の交渉相手と合意し、利益が確定したときに交渉が成立したことで交渉者の状況が変わり、各論点について効用が変動する。効用空間が変化することで、交渉を行っているエージェントがその交渉で用いる戦略を変化させることがある。たとえば、文献 [13] では、クラウドプロバイダは交渉中にユーザエージェントと交渉が合意することによって、自らが保有しているリソースが変化することについて考えられている。ここでは交渉中にプロバイダエージェントの効用空間が変化することによって、これまで行っていた交渉で用いていた戦略を自身の現在の効用空間に対して得られる効用値が最大化できるようにするために、何らかの形で変更あるいは切り替える必要があるとしている。このように効用空間が変化することによって多者間同時交渉では優先的に交渉を行う相手を動的に変化させたり、エージェントの持つ戦略

3. 複数エージェント間交渉の実行解析支援システム

本研究では、文献 [14] で用いられているメタ戦略を用い、それによる実際の複数エージェント間同時交渉の振る舞いなどの解析を容易にするために、その実行時の振る舞いを観測・操作可能な解析システムを実装した。本システムでは、多者間同時交渉を行わせる際のメタ交渉戦略を用いた場合の交渉の成立時に期待させる効用値の推移などを観測することができる。また解析を柔軟に行えるようにするために、すでに用意したメタ交渉戦略の動作を、実行時に手動でも調整できるような実装となっている。

メタ戦略の解析を行うユーザは交渉を行うエージェントのプログラムと効用空間を用意する。ここでは交渉を行う自動交渉エージェントについて ANAC に参加経験のある者から本システムで交渉を行うエージェントのプログラムを作成してもらい、効用空間についても ANAC で用いられている条件を本システムへ適用させ、そのエージェントプログラムと効用空間を用いて多者間同時交渉を行った。その実装アーキテクチャの概要を図 2 に示す。本システムの構成は、大きく 3 つの部分から成る。その 3 つの部分とは、交渉を行うそれぞれのエージェントプログラムに対し、メタ戦略を適用し実際に動作させるための交渉制御モジュール (control)、各エージェントが並列に交渉を行う交渉実行モジュール (negotiation environment) および、交渉相手の効用空間における期待される効用値の表示と効用空間の変化を入力するインターフェース (opponent utility interface) である。本システムを実際に実行したときの解析作業の概観を図 3 に表す。

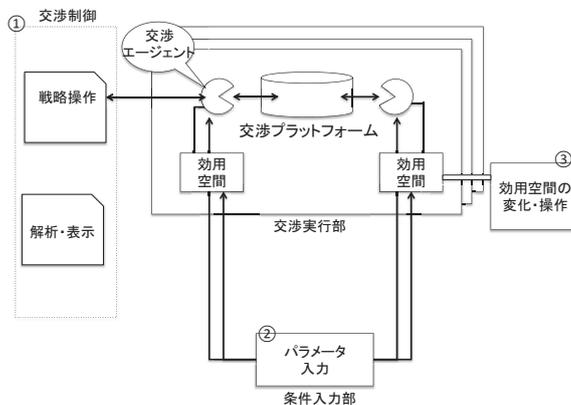


図 2: システムのアーキテクチャ

3.1 戦略の用意とその組み込み

本研究で扱うシステムにはあらかじめ用意として交渉を行うエージェントのプログラムと効用空間の定義ファイルを準備する。本プラットフォームでは、これらの組み合わせによる動作と解析が容易に行えるようにシステムを構成した。交渉戦略を組み込んだエージェントプログラムのプログラムは主に 1 対 1 での交渉戦略をコーディングする部分と、それらの 1 対 1 の交渉を背後から制御する「メタ戦略」に相当する部分をコーディングする部分に別れる。1 対 1 の交渉を行うエージェントとし

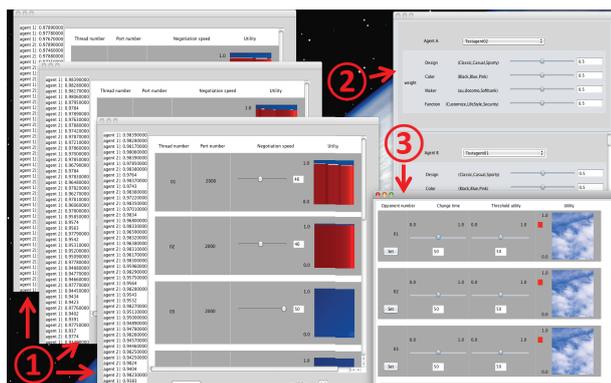


図 3: システムの概観

では、以下のメソッドを実装したコードを用意する。

- OpenConnection メソッド：

二者間交渉を行うエージェントプログラムは交渉制御モジュールで交渉全体を観測可能とするために交渉の経過を通信する必要がある。内部の実装では通信部分を標準的な java.net. パッケージに用意されている Socket クラスを用いて実装されている。OpenConnection メソッドは、1対1の交渉エージェントがメタ交渉制御用コードと通信を開始した時点での何らかの特別な初期化を行いたい場合にオーバーライドする。

- init メソッド：

エージェントプログラムが交渉を開始する前にメンバ変数等の初期化を行う必要がある場合に定義する。

- chooseAction メソッド：

提案された合意案に対して戦略に従って次の行動(代替案の提示など)を返すメソッドであり、基本的な構成は GENIUS[2] とほぼ同様になっている。

以上のメソッドを定義した交渉エージェントを構築するための抽象クラスが本プラットフォーム上で用意され、交渉エージェントの実装の際にはこれを継承し、必要なメソッドを追加したエージェントのクラスを準備する。

3.2 交渉実行モジュール

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[2] の設計をベースとしたエージェントを移植しやすいような程度の API の互換性をもたせたフレームワークを、独自に構成している。交渉を行うプラットフォームは交渉制御モジュール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モジュールに通信し、交渉実行モジュール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モジュールとの通信を確保し、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

制御モジュールに処理を移し、交渉制御モジュールと必要に応じて同期処理を行いながら交渉を進める。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モジュールに結果を通信する。

3.3 交渉制御モジュール

複数者間で同時に交渉を行うために、本システムでは、それぞれの交渉の実行制御を行う部分をモジュール化している。これを、本論文では交渉制御モジュールと呼ぶ。図3(①)に示すウィンドウでは、1つのウィンドウが1つのエージェントに対応し、そのエージェントが複数者間で交渉を行うときにそのエージェントから見た交渉成立時に期待される効用の推移や詳細なログを表示している。

エージェントが交渉を開始したら、制御モジュール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う。

今回の実装では、ある1つのエージェントから見た視点ごとに交渉の様子を解析できるように、メタ戦略に基づいて各交渉を制御する交渉制御モジュールに、そのメタ戦略の実行状況の表示やメタ戦略への解析者からの介入(手動での操作)を行うユーザインタフェースを用意している。

交渉制御モジュールによる複数交渉の状況表示および解析・操作は図3の①のように複数のエージェントについて交渉を行うことが可能である。その一部を拡大したものが図4である。図4に示す解析者はメタ交渉戦略を解析する際に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させるようにすることができる(図4(a))。また、交渉中の期待される効用の推移を棒グラフにして表示している(図4(b),(c))。図4の(b)は自身が提案する代替案について自身の効用空間における交渉成立時に期待される効用値の推移を示していて、図4の(c)は交渉を行う相手から提案された代替案について自身の効用空間で見た場合の交渉成立時に期待される効用の推移を示している。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、スライダー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。スライダー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。

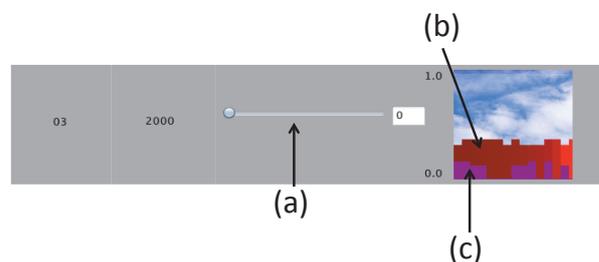


図 4: 複数同時交渉の状況表示を行うユーザインタフェースの一部

3.4 効用空間・戦略調整モジュール

交渉中に交渉相手エージェントの効用空間を変化させるための機構として、本システムでは各論点の重み付けを操作するためのユーザインタフェースを用意している(図3(②))。この交渉を始める前に、エージェントの戦略の種類などの選択を行

い、効用空間における各論点について重み付けを行う。この重み付けを行うのに用いたスライダーを交渉中に変化させた場合に、その変化を実際のエージェントの効用空間の定義へ即時反映させることが可能であり、それに合わせて相手のエージェントに戦略を変化させることができるようになる。

また、効用空間の変化に伴って戦略が変化した様子を観測するための手段として、交渉成立時に期待される効用値の推移が変化したことがわかるようにすると同時に、相手の効用空間から見た場合の期待される効用値も表示できるようにした(図3(③))。エージェントの効用空間を変化させる機構を用いて効用空間を変化させるとき、それが変化する時間を指定することができる。その変化を実際のエージェントへ即時反映させることができる。

交渉における交渉成立に必要な最低効用値のしきい値を指定することで、相手エージェントはしきい値を下回るような提案はしないようになる。

4. おわりに

本研究では、動的な効用空間における複数者間の交渉をシミュレーションにより解析可能とするためのテストプラットフォームの設計について述べた。交渉中に動的に効用空間が変わり、急に振舞いを変えるエージェントがいる場合でもメタ交渉戦略を解析することができるようにシステム上に適切なユーザーインターフェースを用意し、それらを利用可能とした。

多者間同時交渉において交渉を行うエージェントには、自分が保有するリソースを用いて複数の合意を求めるために交渉を行うものや、少なくとも1つの合意を目指す交渉、さらにそれらを組み合わせた交渉が考えられる。このようなゴールの違う交渉エージェントが存在する場合でも複数交渉を行うときに用いるメタ交渉戦略をシステムで実装し、さらに交渉途中で効用空間の変化からエージェントの持つ戦略が変化することが観測することができることでメタ交渉戦略について解析が可能になる。今回は解析の条件の例として alternating offer を用いて高々1つの交渉を成立させることを目指す主体についてシミュレーションを行えるようにした。今後はよりモデルを拡張し、様々な条件でメタ戦略を解析し、それぞれについてどのような特徴があるのかを解析できるようなプラットフォームとしたい。動的に変化する関係性を考慮し、中長期的な期間における交渉シミュレーションやさらにメタなレベルでの戦略の解析を行うことは今後の課題である。

参考文献

- [1] T. Ishikawa and N. Fukuta. A prototype system for federated cloud-based resource allocation by automated negotiations using strategy changes. *in Proc. of 6th Int. Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2013)*, 2013. (to appear).
- [2] K.Hindriks, C.M.Jonker, S.Kraus, R.Lin, and D.Tykhonov. Genius- negotiation environment for heterogeneous agents. *in Proc. of 8th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2009)*, 2009.
- [3] M. A. Lopez-Carmona, I. Marsa-Maestrey, and M. Klein. Consensus policy based multi-agent negotiation. *in Proc. of 4th Int. Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2011)*, pages 1–8, 2011.
- [4] N. Mizutani, K. Fujita, and T. Ito. Effective distributed genetic algorithms for optimizing social utility. *in Proc. The First Int. Workshop on Sustainable Enterprise Software (SES2011)*, 2011.
- [5] M. Okumura, K. Fujita, and T. Ito. Implementation of collective collaboration support system based on automated multi-agent negotiation. *in Proc. of 4th Int. Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2011)*, pages 71–76, 2011.
- [6] L. Pan, X. Luo, X. Meng, C. Miao, M. He, and X. Guo. A two-stage win-win multiattribute negotiation model: Optimization and then concession. *Computational Intelligence*, 2012.
- [7] F. Ren, M. Zhang, X. Luo, and D. Soetanto. A parallel, multi-issue negotiation model in dynamic e-markets. In D. Wang and M. Reynolds, editors, *S*, pages 442–451. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, 2011.
- [8] K. M. Sim. Concurrent negotiation and coordination for grid resource coallocation. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART B: CYBERNETICS*, 40(3):753–766, june 2010.
- [9] K. M. Sim. Complex and concurrent negotiations for multiple interrelated e-markets. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART B: CYBERNETICS*, 40(1):230–245, feb 2013.
- [10] 伊藤孝行. マルチエージェントの自動交渉モデルとその応用. 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), vol.22, No.3, pp.295–302, 2010.
- [11] 奥村命, 水谷信泰, 中川裕揮, 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.
- [12] 服部宏充, 伊藤孝行, M. 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, J89-D(12):2648–2660, 2006.
- [13] 石川貴文, 福田直樹. 効用空間の変化に応じた戦略切り替えを用いた交渉に基づくクラウド資源配置システムの試作. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2012 (JAWS2012), 2012.
- [14] Y. Tsuruhashi and N. Fukuta. An Analysis Framework for Meta Strategies in Simultaneous Negotiations. *in Proc. of 6th Int. Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2013)*, 2013. (to appear).
- [15] 鶴橋吉矩, 福田直樹. 動的な戦略の変化を考慮した多者間交渉におけるメタ戦略の解析のためのシステムの実現. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2012 (JAWS2012), 2012.