

## 複数論点交渉問題のための 効用空間の絞り込みに基づくマルチエージェント交渉手法

服部 宏充†      伊藤 孝行†      マーク クライン‡  
†名古屋工業大学大学院      ‡マサチューセッツ工科大学

### 1 はじめに

マルチエージェント研究において、複数論点交渉問題が重要な研究課題となってきた。既存の研究では、論点の独立性が仮定されており、エージェントの効用は単一の最適点を持つ線形の効用関数として表現されていた [1]。一方、筆者等は、複数の論点が依存関係を持ち、エージェントの効用が多峰性を持つ非線形効用関数として表現される複雑な交渉問題に注目している [2]。本稿では、入札と合意の決定を反復実行しながら、徐々に解空間を絞り込むマルチラウンドの交渉プロトコルを提案する。

### 2 非線形効用関数に基づくエージェント交渉

本論文では、 $N$  個のエージェントが合意形成を試みる交渉の状況を考える。論点が  $M$  個存在し、個々の論点を  $i_j \in I$  と表す。各論点は、効用空間において直行する次元に一致する。論点  $i_j$  は  $[0, X]$  の範囲の整数値として持つ（すなわち、 $i_j \in [0, X]$ ）。交渉の結果得られる合意案は、各論点の値のベクトル  $\vec{s} = (i_1, \dots, i_M)$  として表現される。

エージェントの効用関数は制約を用いて表現する。個々の制約は  $c_k \in C$  と表し、単一、もしくは複数の次元（論点）に関して、制約充足条件となる値の範囲、および効用値を持つ。制約  $c_k$  は、合意  $\vec{s}$  によって充足される場合のみ、 $w_i(c_k, \vec{s})$  を効用値として持つことができる。合意  $\vec{s}$  に関するエージェント  $i$  の効用を  $u_i(\vec{s}) = \sum_{c_k \in C} w_i(c_k, \vec{s})$  と定義する。この効用表現により、より多くの制約を充足可能な地点は効用が高くなり、逆に充足する制約数が少ない地点では効用が低くなるため、空間内に効用値による高低が生じ、凹凸のある非線形の効用空間が形成される。

### 3 非線形効用関数を持つエージェントのための入札に基づく交渉プロトコル

非線形効用関数を持つエージェントの入札に基づく交渉プロトコルは、主に2つのステップから成る。  
入札の生成: エージェントは、自身の効用空間の中から、適切な部分空間を選び出し、選び出された空間に

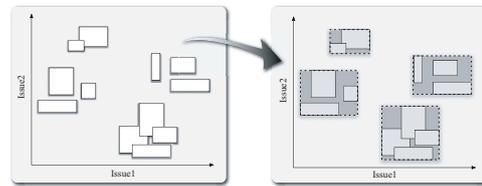


図 1: クラスタ入札の例

解（合意）が含まれる事を求める入札を生成し、効用値を割り当てて、メディアータに送信する。  
合意の決定: メディアータは、全ての入札の組合せを考慮して合意を決定する。合意には、各エージェントにつき、少なくとも1つの入札を含む。

メディアータによる合意の決定を現実的な時間内で実行するためには、各エージェントの入札数に上限を設ける必要がある。本研究で現在用いている合意決定アルゴリズムでは、入札の組合せの数が 6,400,000 以内であれば、現実的な時間内で解の計算が可能である。従って、エージェント数が  $N$  の場合、各エージェントに対する入札数の上限は、 $\sqrt[3]{6400000}$  となり、エージェントに課す上限は、エージェント数の増加に伴って低くなる。入札数に上限が原因となり、社会的効用の低下、合意の失敗可能性が高まる。本稿で提案する交渉プロトコルは、各々異なる交渉スキーム（クラスタ入札・最大制約入札・ピーク入札）を用いる3つのラウンドから成る。

#### 3.1 クラスタ入札

クラスタ入札の生成のため、まず、エージェントは制約のクラスタリングを行う。生成された各制約クラスタは、一つのクラスタ入札となる。クラスタ入札がカバーする領域は、クラスタに含まれる全ての制約の和集合である。図1に、二つの論点に関する二項制約を用いたクラスタ入札の生成例を示す。実線の矩形は個々の制約がカバーする領域を表し、色付けされた破線の矩形はクラスタ入札がカバーする領域を表す。図に示す通り、クラスタ入札は、どの制約も充足しない空白の領域を含むが、少なくとも一つの制約を充足する空間を全てカバーしている。クラスタ入札によって、効用が得られる可能性が高い空間を表明できると共に、合意には含まれることの無い領域を除外できる。

Using Iterative Narrowing to Enable Multi-Party Negotiations with Multiple Interdependent Issues

†Hiromitsu HATTORI †Takayuki ITO ‡Mark Klein

†Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

‡Massachusetts Institute of Technology

### 3.2 最大制約入札

最大制約入札は、クラスター入札に基づいて得られた合意案がカバーする領域内で、有望な部分を特定するために生成される。エージェントは、第一ラウンドで得られた合意案がカバーする領域内の任意の地点を選択し、その地点を起点としたシミュレーテッドアニーリングを実行して、各々の領域内での局所最適解を発見する。次に、見つかった局所最適解によって充足可能な制約を特定し、カバーする領域のサイズが最も大きい制約のみを用いて、入札を生成する。

ここで重要な点は、第二ラウンド（および第三ラウンド）では、第一ラウンドよりも入札数に関する制限が緩和される可能性がある事である。前のラウンドで複数の合意が得られていても、各々の合意がカバーする領域は重複しないため、各合意について独立に処理が可能である。従って、第一ラウンドでは効用空間全体を対象として入札を生成していたが、第二ラウンド以降では、前のラウンドで得られた各合意がカバーする、狭い領域のみを対象とした入札の生成が可能となる。具体的には以下の通りである。エージェント数が  $N$  であり、第一ラウンドで  $M$  個の合意が得られたとする。合意の決定において、入札の組合せの数を、6,400,000 以下に抑えるためには、エージェントの入札数の上限を、各々の合意につき  $\sqrt[10]{6400000/M}$  とすればよい。例えば、エージェント数が 10 で、第一ラウンドで得られた合意の数が 5 の場合、エージェントの生成できる入札数の総和は最大で  $5 \times \sqrt[10]{6400000/5} = 20$  となる。一方、第一ラウンドにおける入札数の上限は 5 である。

### 3.3 ピーク入札

第二ラウンドで得られたそれぞれの解に関して、ピーク入札が生成される。エージェントは、各々の解がカバーする領域内の任意の地点を選択し、その地点を起点としたシミュレーテッドアニーリングを実行して、各々の領域内での局所最適解を発見する。次に、各々の局所最適解に関して入札を生成するが、入札がカバーする領域は、局所最適解と同一の効用が得られる周辺の全ての合意案をカバーするように決定される。このような入札の領域は、局所解によって充足される全ての制約の共通部分を取ることで、容易に決定できる。ピーク入札に基づき、最終的な合意が得られる。複数の合意が得られた場合は、最も社会的効用の高い合意が選択される。

## 4 評価実験

図 2 に、効用関数における制約クラスターの各論点に関する値域の幅を [3, 7] の範囲でランダムに決定した場合の最適率を示す。本実験では、エージェントが興味を共有する領域（共有クラスター）とエージェント数を変化させた場合の影響を示す。図に示す通り、共有クラスターの数 が 4 以下の場合、平均して 90% 程度の質

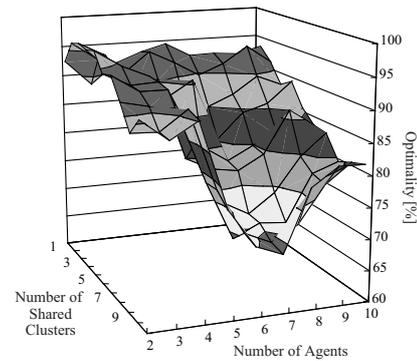


図 2: 提案プロトコルの最適率

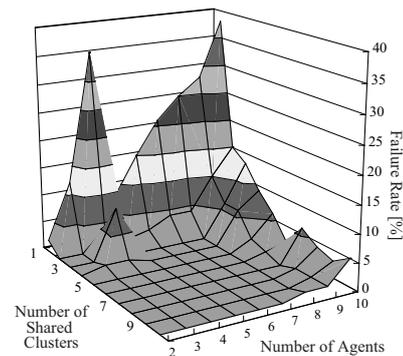


図 3: 合意形成の失敗率

の解が得られている。図 3 に、同様の設定における合意形成の失敗率を示す。エージェントの効用関数の相関が低い場合、すなわち共有クラスター数が 1, 2 個しか無い場合、全てのエージェントが満足する解の数が少なくなるため、合意形成の失敗率は高くなる。しかし、それ以外のケースでは、失敗率は一桁程度に抑えられている。

## 5 まとめ

本稿では、相互に依存する複数の論点を扱うマルチエージェント交渉問題のために、交渉過程で注目する領域を反復的に絞り込むに手法を用いた、新奇な交渉プロトコルを提案した。

## 参考文献

- [1] S. Fatima, M. Wooldridge, and N. R. Jennings, “Optimal Negotiation of Multiple Issues in Incomplete Information Settings”, Proc. of AAMAS-2004, pp. 1080–1087, 2004
- [2] 服部宏充, 伊藤孝行, and 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, No. 12, pp. 2648–2660, 2006