

効用推定エージェントを導入したiGAに基づく 多人数交渉支援システム

安田 将典^{1,a)} 藤田 桂英^{2,b)}

概要：近年、地球環境問題や多国籍企業のグローバルな製品開発、国際紛争など、大規模な交渉が必要とされる場面が増えている。そこで、大規模な数の意見を集約し、交渉のうえ合意を形成するために、人間の交渉のためのマルチエージェントシステムに基づいた interactive Genetic Algorithm (iGA) による、交渉支援システムを提案する。iGA は人間による入力を評価関数とした遺伝的アルゴリズム (GA) に基づく最適化手法であるが、十分な精度を得るためには交渉参加者による膨大な効用情報の入力が必要であるという問題点がある。そこで、提案する交渉支援システムでは効用推定エージェントを導入し、交渉参加者の効用情報を推定することで交渉参加者の効用情報入力の負担を軽減した。さらに、シミュレーション実験を行い、提案システムによるユーザの負担軽減効果と論点数、エージェント数、突然変異率の設定からうける影響、そして効用推定エージェントを導入した場合と導入しない場合の交渉結果を比較して効用推定エージェント導入の効果の評価を行った。

1. はじめに

近年、地球環境問題や多国籍企業のグローバルな製品開発、国際紛争など、大規模な交渉が必要とされる場面が増えている。そこで、大規模な数の意見を集約し、交渉のうえ合意を形成するためには、人間のみの場合よりマルチエージェントシステムに基づく効率的な交渉支援システムを活用したほうが効率的な合意形成が実現できる。マルチエージェントシステムに基づく効率的な交渉支援システムを考えた場合、interactive Genetic Algorithm (iGA) による交渉支援システムが有効であると考えられる。iGA とは人間による入力を評価関数とした遺伝的アルゴリズム (GA) に基づく最適化手法であり、曖昧な判断基準をもつ製品デザインの最適化や、芸術分野の推薦システムなどに活用されている手法である ([1], [2], [3])。

一方、iGA に基づく交渉支援システムを考えた場合、十分な精度を得るためには交渉参加者に膨大な効用情報の入力が必要であるという問題点がある。そこで、本論文では交渉参加者の効用情報の入力を最低限にした、iGA に基づ

く交渉支援システムを提案する。提案する交渉支援システムでは効用推定エージェントを導入し、交渉参加者の入力に基づいて交渉参加者の効用情報を推定することで、交渉参加者の効用情報入力の負担を減らすことができる。また、シミュレーション実験を行い、提案システムによるユーザの負担軽減効果と論点数、エージェント数、突然変異率の設定からうける影響、そして効用推定エージェントを導入した場合と導入しない場合の交渉結果を比較して効用推定エージェント導入の効果の評価を行った。

マルチエージェントシステム分野における自動交渉に関する既存研究が存在している ([4], [5], [6], [7], [8])。自動交渉機構の導入により、効率的に合意形成を行えるが多数の既存研究は完全な効用情報が入力されることが仮定されている。また、Preference Elicitation の分野において、ユーザがもつ効用値を入力や反応情報などから推定する方法が提案されている ([9], [10], [11])。本論文では、交渉参加者の効用抽出および推定機構と自動交渉機構を融合したシステムを対象としている。

以下に本論文の構成を示す。第2章に対象とする交渉問題を示す。第3章において、iGA に基づく交渉支援システムおよび効用推定エージェントを提案する。第4章において、シミュレーション実験の結果を示し、第5章において、本論文のまとめを示す。

¹ 東京農工大学工学部情報工学科
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

² 東京農工大学大学院工学研究院先端情報科学部門
Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

a) yasuda@katfujilab.tuat.ac.jp

b) katfujic@cc.tuat.ac.jp



図 1 iGA に基づく交渉支援システム構成図

2. 複数論点交渉問題と効用関数

本論文では、 N 人のユーザが参加する状況を考える。個々の論点を $i_j \in I$ と表し、論点が $|I|$ 個存在する。論点 i_j は $[0, X_i]$ の範囲の整数を値として持つ。交渉の結果得られる合意案は各論点の値のベクトル $\vec{s} = (s_1, \dots, s_{|I|})$ と表現される。交渉に参加するユーザは論点毎に評価値を持ち、それを $eval(s_i)$ と表し、論点毎に min-max normalization に基づいて正規化されている。また、ユーザは論点毎に重みをもち、論点 i の重みを w_i と表す。交渉に参加するユーザの持つ重み、評価値は全て独自のもので全く共有されない。

合意案 \vec{s} に関するユーザ a の効用を

$$u_a(\vec{s}) = \sum_{i \in I} w_i \times eval(s_i)$$

と定義する。効用空間とは、各論点がとり得る値のあらゆる組み合わせについて、効用関数によって得られる値を効用値空間上にプロットして得られ、空間の次元数は (論点数) + 1 となる。

本論文で提案する交渉プロトコルの目的関数は、以下のように表現できる。 Ag はユーザの集合を表し、 $|Ag| = N$ である。

$$\arg \max_{\vec{s}} \sum_{n \in Ag} u_n(\vec{s}), u_a(\vec{s}) > \delta_a, (a = 1, \dots, N) \quad (1)$$

$$(\delta \text{ は各ユーザが合意を形成する最低値。}) \quad (2)$$

言い換えると、提案プロトコルは社会的効用、すなわち全てのエージェントの効用の総和を最大化する合意の発見を試みる。

3. iGA に基づく交渉支援システム

3.1 iGA に基づく交渉支援システムの構成と流れ

本論文の提案システムにおいて、ユーザは提示される合意案候補を比較する。iGA は世代において比較対象となる合意案候補を提示するので、ユーザはそれらを比較し、順位を提示する。効用推定エージェントはユーザによる順位を受け取ってユーザの効用値を推定し、代理で合意案候補を評価する。効用推定エージェントの導入により、iGA への評価の大部分を行い、ユーザとの応答回数の負担を軽減させながら、社会的効用の高い合意が発見できる。

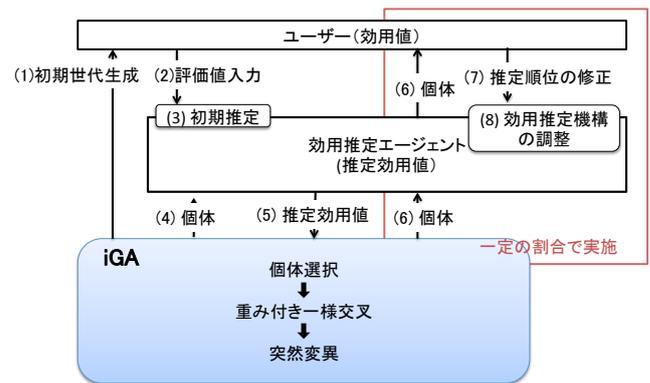


図 2 iGA に基づく交渉支援システム流れ

図 1 は iGA に基づく交渉支援システム構成図である。図が示すように、本システムは iGA を中心とし、効用推定エージェントがユーザと iGA の応答を代理に行う。ユーザからの入力はユーザの代理として働く効用推定エージェントが一旦受け取り、推定等を行いながら効率的に iGA を動作させる。

図 2 は iGA に基づく交渉支援システムの一連の流れを示している。図が示すように、本システムは iGA を中心とし、効用推定エージェントが iGA への応答を代理で行う。まず、iGA は初期世代を生成し、ユーザに合意案候補を提示する。次に、ユーザは提示された初期世代の合意案候補に対してランキングを入力する。その後、効用推定エージェントは初期推定を行う。iGA (個体選択、交叉、突然変異) は効用推定エージェントによって提示された推定効用値に基づき合意案の探索を行う。また、一定の割合で、エージェントはユーザに対して効用推定値の調整を行う。調整時は、iGA が提示した合意案候補に対して、ユーザが順位を入力し、提出された順位とエージェント自身が持つ推定効用値を比較することで推定の正確性を向上させる。上記の操作を決められた回数繰り返す、合意案を発見する。

3.2 interactive Genetic Algorithm (iGA)

iGA は、自然淘汰のモデルを利用した GA を拡張した最適化アルゴリズムである。GA は最適化すべき項目すべてについての数値セットを一つの個体とし、その個体を一定数でセットにして一つの世代とする。個体のもつ値を遺伝子と呼び、本システムでは論点の取り得る値がこれに相当する。iGA は一つの世代に対して評価、選択・淘汰、交叉、突然変異等の処理を行って新しい世代を生み出し、探索を行う。iGA は社会的効用空間全体を一回の世代交代で明らかにするのではなく、世代交代を重ねて社会的効用空間の最適解に近い部分を明らかにしながら探索する。

iGA における評価値はユーザの入力に基づいて決定される。本システムでは、ユーザの負担軽減のために、iGA への入力を合意案の比較による順位付けに基づいて行われている。iGA はの評価値はすべてのユーザ (効用推定エージェ

ント)からの入力を合計し、評価値とする。

iGA は評価値に基づいて選択/淘汰、交叉を行う。選択・淘汰処理は評価値を元に、次の世代に残す個体を決定する処理である。交叉処理ではすでにある二つの個体の遺伝子を交換し、新しい個体を生成する。本システムでは選択・淘汰を行った後に、残った個体から次の世代を構成する個体を交叉処理によって生成する。本論文における交叉処理では次節で提案する、重み付き一様交叉法を採用する。

本論文での選択/淘汰は、現世代の個体の中で評価値の高いものを一定割合保持するエリート戦略を採用している。評価値の高い半数の個体がエリートとなり、世代交代後も保持されている。

突然変異は一つの個体の遺伝子をランダムに変化させ、新しい個体を生成する処理である。本システムでは、現世代に含まれるすべての個体の全ての遺伝子(論点の値)を一定確率でランダム変化させ、個体を置き換える。選択・淘汰、交叉処理のみではすでに出現している遺伝子(論点の値)の組み合わせを変化させるため、局所解に陥る可能性がある。そこで、突然変異により新しい個体(合意案)出現させ、結果として大域的な探索を可能にする。

本論文では、iGA が生成する初期世代の遺伝子は、各論点毎の全ての値が出現するようにする。まず、初期世代生成時にランダムに論点毎の値を選択する。そして、先ほど生成した値を出発点としてすべての論点毎の値を+1することで初期世代の個体を増やす。上記のようにすることで、ランダムに初期世代を生成する場合よりも、各論点の選択肢が多く出現するため、効率的にユーザの各論点の評価値を推定できる。

重み付き一様交叉法

一様交叉法に疑似温度を持ち込んだものが重み付き一様交叉法である。一様交叉法とは、交叉対象となった二つの個体について、遺伝子毎に確率的に交叉をするかを決定する。重み付き一様交叉では i 番目に重みの大きい論点の値が交叉する確率 p_i は以下のように定義される。

$$p_i = \left(1 - \frac{1}{I}i\right) \left(\frac{2(i+I+1)}{3I+1}\right)^r$$

I は論点の総数であり、 $(0 \leq i \leq I)$ となっている。 $r \in N$ は世代交代の回数を元にした値で、この値が増加するほど重みの大きな論点の値の交叉確率が減少し、重みの小さな論点の値の交叉確率が増加する。疑似温度は交渉開始時に高く、世代交代が行われるにつれて低くなる。重み付き一様交叉法の導入により、システム開始時には重みの大きい重要な論点から徐々に重みの小さい論点へと対象を変更するため、合意に至りやすくなる。論点の重みはユーザ毎に異なるため、本システムでは全てのユーザから初期入力として論点の順位を受け取り、すべてのユーザの順位平均を論点の重みとして、重み付き一様交叉法に用いる。

3.3 効用推定エージェント

効用推定エージェントは、ユーザが論点ごとに持つ評価値を推定する。効用推定エージェントは初期入力時と、一定回数毎に行われる修正時に効用値の推定を行う。

初期入力時によって論点の重要性の順番を取得する。また、ユーザによる順位付けの後に、順位 r の合意案候補には $G - r - 1$ を加算する(初期世代の個体数を G とする)。具体的には、最も順位の高い選択肢は G を加算し、2 番目に順位が高い選択肢には $G - 1$ 、最もユーザの効用値が低い順位の選択肢には 1 が加算される。

一定回数世代交代が行われた後に、ユーザは効用情報の入力を行う。ユーザは対象となる世代で出現した個体間の順位を入力し、エージェントは推定効用値の修正を行う。そして、ユーザの入力した順位とエージェントのもつ推定順位を比較し、異なる順位を持つ個体を発見し、推定値の改善を行う。ユーザの入力した順位より推定順位が低い場合は各論点がとる値の評価値に対して一定値の加算、高い場合は一定値の減少を行う。上記の処理はユーザの入力した順位と推定順位で異なるすべての個体について行う。

4. 実験

4.1 実験設定

本実験では、同じ交渉問題の設定で 100 回試行した平均値を示す。問題設定は以下の通りである。

- ユーザ数 : 2-10
- 論点数 : 3-12
- 突然変異確率 0,2,5,10,15,20,25,30,35%
- iGA が受け取る入力の回数(世代交代回数) : 100
- ユーザ入力回数 : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 20, 25, 33, 50, 100 回
- 効用推定エージェントによる代理入力 : 100, 99, 98, 97, 96, 95, 94, 93, 92, 91, 90, 89, 88, 86, 84, 80, 75, 64, 50, 0 回

本実験では、提案システムが論点数やエージェント数、突然変異率にどのような影響があるかを解析を行うため、ユーザの効用値はランダムに決定される。ユーザは効用の順位を設定回数毎に入力し、それ以外への入力全て効用推定エージェントが行う。効用推定エージェントの推定効用値の修正処理はユーザが効用を入力することに行う。ユーザ入力回数が 0 回の場合であっても、初期入力による推定は必ず行われる。つまり、ユーザ入力回数が 0 回の場合は初期入力以外の全ての入力を効用推定エージェントが行う。

iGA における、選択・淘汰のアルゴリズムでは、ある世代に登場した個体の半分をエリートとして次の世代に残す、エリート戦略を用いる。突然変異については、論点毎に一定確率でランダムに変化する。

本実験では、(1) ユーザ入力回数、(2) ユーザ数、(3) 論点数、(4) 突然変異確率を変化させ、合意案の最適率の変化を

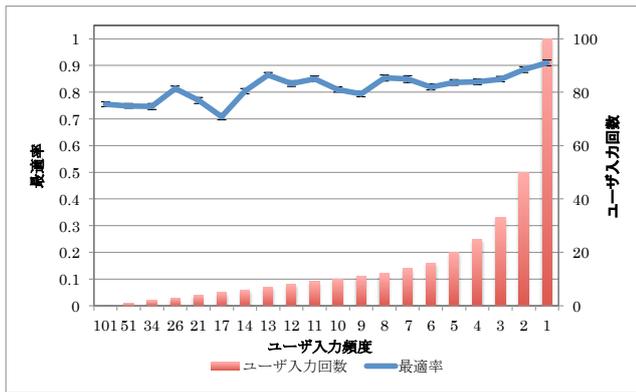


図 3 ユーザ入力回数を变化させた場合の最適率

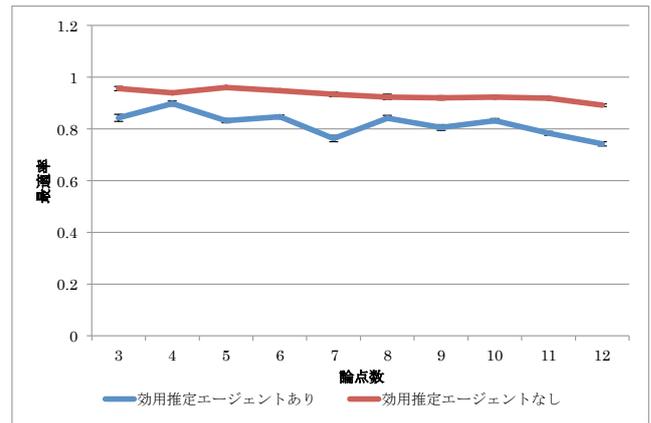


図 4 論点数を变化させた場合の最適率

解析する。(最適率) = (各実験結果の合意案の社会的効用値) / (最適な合意案の社会的効用値) と定義する。(1)では、ユーザ数 2 人、論点数 7、突然変異確率 15% で実験を行った。(2)では、ユーザ入力回数 20 回、論点 10、突然変異確率 15% で実験を行った。(3)では、ユーザ入力回数 20 回、ユーザ数を 2 人、突然変異確率 15% で実験を行った。(4)では、ユーザ入力回数 20 回、論点数 7、ユーザ数を 2 人で突然変異確率を变化させて実験を行った。また、(2)、(3)、(4)の設定については効用推定エージェントを使用しない場合、つまりユーザ入力回数が 100 回の場合でも実験を行い、効用推定エージェントを使用した場合の結果と使用しない場合の結果の比較を行った。効用推定エージェントを使用しない場合の実験設定は、交渉問題そのものとユーザ入力頻度以外の設定であるユーザ数、論点数、突然変異確率に関して、効用推定エージェントを使用する場合と同じものを使用して効用推定エージェントの使用する場合と使用しない場合について比較を行う。

4.2 実験結果

図 3 は iGA の世代交代回数に対するユーザによる入力の頻度と最適率、ユーザ入力回数の関係を示している。横軸の数値が小さいほど、ユーザ入力頻度が高く、ユーザの入力回数が増加する。図 3 より、ユーザの入力頻度が増えるほど最終合意の最適率が上がり、交渉参加者にとって効用値の高い合意形成がされる。推定効用値の修正はユーザの入力と同時に進んでいるので、ユーザ入力の頻度が高い場合は効用推定の修正回数が増えるために推定効用値がより正確になり、ユーザによる直接の入力によって効用推定の誤差の影響自体も小さくなるために、ユーザ入力の頻度が高い場合は参加者の効用値が高い合意案が形成される。図 3 の棒グラフはユーザ入力回数を表しており、ユーザ入力回数が 20 回を超えると最終合意の最適率が安定して 80% を超えている。これにより、ユーザ入力回数を 20 回を目安に適切に設定した場合には、最適率を重大に減少させることなくユーザの負担を軽減させることができること

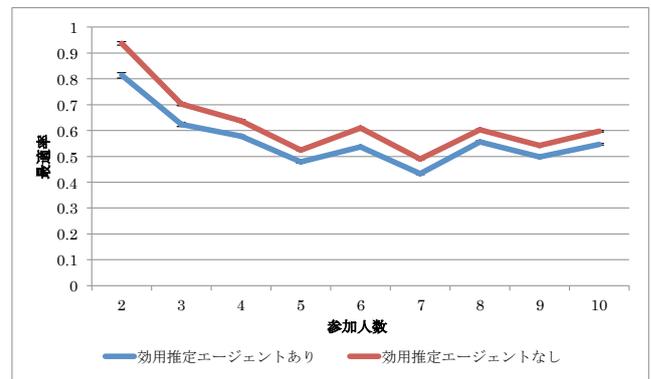


図 5 ユーザ数を变化させた場合の最適率

が分かった。

図 4 では問題の論点数と最適率の関係を示している。図 4 より、論点数が増加し、交渉問題が複雑化するほど最適率が下がることがわかる。効用推定エージェントを使用せず、全ての入力をユーザが行う場合の最適率は全て 90% を超え、論点数が増加するに従って徐々に減少する。しかし、効用推定エージェントを使用しても、論点数が 7、11、12 以外の場合では最適率が 80% を超えており、全体的に高い最適率を示している。また、効用推定エージェントを使用しない場合に比べて、グラフの凹凸が大きく、交渉結果の最適率が安定しない。これは交渉問題の設定そのものによる影響を大きく受けていることが考えられる。

図 5 ではユーザ数と最適率の関係を示している。図 5 より、効用推定エージェントを使用せず、ユーザが全ての入力を行った場合であっても交渉参加人数が 5 人を超えると最終合意の最適率が 60% 以下になる場合が存在し、効用推定エージェントを使用した場合は 4 人以上が参加する全ての設定では最適率が 60% を下回ってしまっていることがわかる。効用推定エージェントを使用しない場合の最適率は、効用推定エージェントを使用する場合の最適率よりも全て 5 10% ほど高い。効用値の推定はユーザ毎に行っているため、ユーザ 1 人毎に実際の効用と推定した効用の誤差が発生する。ユーザ数が増えたとこの推定値と実際の効用値の

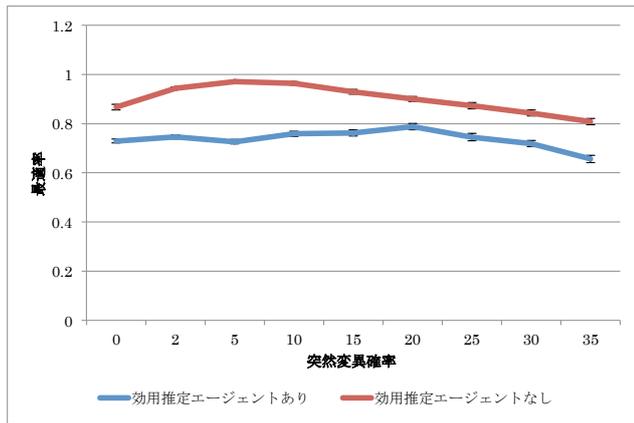


図 6 突然変異確率と最適率

誤差が増えて影響が大きくなるため、最適率が低い値になると考えられるが、図 4 の場合よりも、効用推定エージェントを使用した場合と使用しない場合での最適率の差が少なく、参加人数が増加するとさらに最適率の差が小さくなる。これにより、交渉参加人数が増えた場合には、効用推定の誤差よりも、多人数で合意に至ることの困難さが大きな影響を持っており、効用推定エージェントを使用する場合としない場合両方の最適率を大きく下げているようだ。また、ユーザ数が 5 人以上の場合に交渉問題ごとに最適率のグラフの凹凸が大きくなる。この理由としては、人数が多くなると合意案を発見すること自体が難しくなることが考えられる。

図 6 では突然変異確率と最適率の関係を示している。図 6 から、効用推定エージェントを使用しない場合は突然変異確率が 2 - 10% の場合に最適率が高く、それ以上の確率の場合は最適率が減少する。効用推定エージェントを使用した場合には突然変異確率が 10 - 20% の場合に最適率が高く、30% を超えると、最適率が低くなる。効用推定エージェントを使用しない場合よりも使用する場合のほうが、高い最適率を得られる突然変異確率が高くなっている。これは、効用推定エージェントを使用する場合は全ユーザの入力による合意案探索だけではなく、各ユーザの効用値に関する探索を同時に行っているため、効用推定エージェントを使用しない場合に比べて必要な探索量が増加していることが原因だと考えられる。また、効用推定エージェントを使用するときに突然変異確率が 10% 以下の場合にはユーザの効用推定が十分に行われていない状態で収束してしまうために最適率が低く、突然変異確率が 30% 以上の場合は探索におけるランダム性が非常に高く、安定した探索結果が得られない。よって、効用推定エージェントを使用しない場合よりも、効用推定エージェントを使用する場合には高い最適率を得られる突然変異確率が高いことが分かった。

5. まとめ

本論文では iGA の欠点である、多数の入力要求を軽減す

るためにユーザの効用値を推定するエージェントを組み込むシステムを提案した。本システムでは iGA の生成する初期世代へのユーザ入力を出発点としてエージェントがユーザの効用値を推定する。そして、一定の頻度のユーザ入力を要求し、推定を修正して効用値が高い合意を目指す。シミュレーション実験により、最終合意の最適率の減少を抑えつつユーザの負担を軽減することに成功していることが分かった。また、論点数が増加した場合には 10-20% 程度の効用値の減少がみられ、効用推定に対する影響は参加人数よりも論点数のほうが大きいと判明した。また、genetic algorithm において大域的な探索を可能にさせる突然変異は、本システムでは比較的高い 20% 前後の確率が設定された場合に、全体の効用値が高い合意を得ることができると分かった。

今後の課題として、現世代に属する個体に対するユーザの順位付けに基づいて効率的に効用値を推定する手法の開発が挙げられる。統計的、確率的な推定アルゴリズム等を導入することで、効用推定の精度を高める必要がある。具体的には、初期推定および少数のユーザ入力を元にして、推定対象ユーザの効用値を事前に用意した効用モデルに当てはめて推定の大部分を行う手法が考えられる。有効なモデルを作成して的確なマッチングを行うと効用値の推定の大部分を省略し、少数の修正で高い精度を得ることが出来る。また、論点間に相互依存関係がある場合や、交渉中にユーザの効用値が変化する場合などの現実世界に即した複雑な問題設定にも対応可能な手法の提案が必要である。特に、論点間に相互依存関係が存在する自動交渉手法はシミュレートドアニメーションや遺伝的アルゴリズムなど近傍探索アルゴリズムが有効であり、多数の先行研究が行われている ([12], [13], [14])。

参考文献

- [1] Tanaka, M., Watanabe, H., Furukawa, Y. and Tanino, T.: GA-based decision support system for multicriteria optimization, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 1556-1561 vol.2 (online), DOI: 10.1109/ICSMC.1995.537993 (1995).
- [2] Hee-Su, K. and Sung-Bae, C.: Application of interactive genetic algorithm to fashion design, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 13, No. 6, pp. 635 - 644 (2000).
- [3] Yi-Kai, J., Shen-Guan, S. and Yeng-Horng, P.: Decision support for housing customization: A hybrid approach using case-based reasoning and genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, Vol. 31, No. 1, pp. 83 - 93 (2006).
- [4] Marsa-Maestre, I., Lopez-Carmona, M. A., Velasco, J. R., Ito, T., Klein, M. and Fujita, K.: Balancing utility and deal probability for auction-based negotiations in highly nonlinear utility spaces, *Proceedings of the 21st international joint conference on Artificial intelligence (IJCAI-2009)*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., pp. 214-219 (2009).

- [5] Zuckerman, I., Segal-haLevi, E., Kraus, S. and Rosenfeld, A.: Towards Automated Negotiation Agents that use Chat Interface, *The Sixth International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN-2013)* (2013).
- [6] Bosse, T. and Jonker, C.: Human vs. computer behavior in multi-issue negotiation, *Rational, Robust, and Secure Negotiation Mechanisms in Multi-Agent Systems (RRS-2005)*, pp. 11–24 (2005).
- [7] Faratin, P., Sierra, C. and Jennings, N. R.: Using Similarity Criteria to Make Issue Trade-Offs in Automated Negotiations, *Artificial Intelligence*, Vol. 142, pp. 205–237 (2002).
- [8] Fatima, S., Wooldridge, M. and Jennings, N. R.: Optimal Negotiation of Multiple Issues in Incomplete Information Settings, *Autonomous Agents and Multiagent Systems, International Joint Conference on*, Vol. 3, pp. 1080–1087 (2004).
- [9] Li, C. and Pearl, P.: Survey of Preference Elicitation Methods, Technical report, SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY IN LAUSANNE (EPFL) (2004).
- [10] Shimazu, H.: ExpertClerk: navigating shoppers' buying process with the combination of asking and proposing, *Proceedings of the 17th international joint conference on Artificial intelligence (IJCAI-2001)*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., pp. 1443–1448 (2001).
- [11] Boutilier, C., Regan, K. and Viappiani, P.: Preference elicitation with subjective features, *Proceedings of the third ACM conference on Recommender systems (RecSys 2009)*, ACM, pp. 341–344 (2009).
- [12] Ito, T., Hattori, H. and Klein, M.: Multi-issue Negotiation Protocol for Agents: Exploring Nonlinear Utility Spaces Multi-issue Negotiation, Non-linear Utility, Multi-agent Systems, *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI- 2007)*, pp. 1347–1352 (2007).
- [13] Klein, M., Faratin, P., Sayama, H. and Bar-yam, Y.: Negotiating Complex Contracts, *IEEE Intelligent Systems Journal, special issue on Agents and Markets*, Vol. 18, pp. 32–38 (2002).
- [14] Fujita, K., Klein, M. and Ito, T.: Issue-Grouping Approach for Multiple Interdependent Issues Negotiation with Exaggerator Agents, *2011 IEEE 13th Conference on Commerce and Enterprise Computing (CEC-2011)*, pp. 333–340 (2011).