

氏名	フジ タ カツ ヒデ 藤 田 桂 英
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博第806号
学位授与の日付	平成23年6月15日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当 課程博士
学位論文題目	Automated Multi-Agent Negotiation Protocols for Highly Nonlinear Utility Space (高度非線形な効用空間のための自動マルチエージェント 交渉プロトコル)
論文審査委員	主査 准教授 伊藤 孝行 教授 犬塚 信博 教授 松尾 啓志 教授 横尾 真 (九州大学)

## 論文内容の要旨

交渉問題を扱う研究領域において、複数論点交渉問題が注目を集めている。筆者らは特に一般性が高く実世界に近い問題である複数の論点同士が相互依存関係にある交渉問題に注目している。例えば、自動車を購入に関する交渉問題に関して「車の大きさが大きければ多少値段が高くても購入する」などのように論点同士が相互依存関係の場合は現実的な例として多数存在する。多くの既存研究では論点の独立性が仮定されていたが、多くの既存プロトコルでは非線形な効用関数に対し適用が困難である。

本論文では複数論点交渉問題において特に重要な問題とされている以下の2点に着目する。まず、エージェントのプライバシー情報の公開である。交渉において、エージェントの効用情報が過剰に公開されるのは好ましくなく、できるかぎり非公開にする方がより現実的な設定である。次に、エージェントの効用空間の複雑さに対するスケーラビリティである。本論文では以上の二点に注目した交渉プロトコルを提案する。

プライバシー情報の公開に関して、各エージェントがどれくらい自分の効用情報を公開しているかを表す指標として公開範囲を定義し、公開範囲に基づいて閾値の調整を行うメカニズムを提案する。さらに、閾値調整メカニズムと計算量の関係について議論し、本手法を用いることで各エージェントが過剰公開を防いでいることを評価実験から示す。

メデイエータを含めた他者に各エージェントの効用値を知られることなく合意形成が可能な分散メデイエータに基づく交渉プロトコルを提案する。分散メデイエータに基づく交渉プロトコルは暗号分野のセキュアマルチパーティプロトコルを導入させた手法である。また、分散メデイエータに基づく交渉プロトコルの欠点であるエージェントとメデイエータの通信量の増大を低減したハイブリッド型セキュア交渉プロトコルを提案する。

交渉プロトコルのスケーラビリティに関して、代表エージェントという組み合わせ最適解を求めるステップに参加できるエージェントを定義し、計算量を削減する手法（代表エージェントに基づく交渉手法）を提案する。さらに、本手法がエージェント数に対してスケーラブルであり、合意形成失敗率を低減していることを評価実験により示す。

論点間の相互依存関係に基づき論点グループに交渉問題を再構成することでスケーラビリティを向上することができる。そこで、本論文ではエージェント間の相互依存関係に着目した論点グループに基づく交渉手法を提案する。論点グループに基づく交渉プロトコルは、メデイエータが存在する相互依存度が最大になるように、全論点をグループごとに分割し、分割したグループごとに合意形成を行なう手法である。以上の手法に関してシミュレーション実験を行い、既存の手法と比較してスケーラビリティや最適性、合意形成失敗率に関して比較を行う。

本論文で扱う制約を基にした効用関数では、効用関数の非線形性のために非凸性をもつことが分かっている。したがって、非線形性な効用空間を定義した場合、ナッシュ交渉解が単一にならない。さらに、ナッシュ交渉解が社会的効用最大かつ均等解である保証がない。そこで、本論文では近似公平性の概念を導入したセキュアかつ公平な交渉手法を提案する。本プロトコルは、まず、エージェントの効用情報を公開することなく、パレートフロントを探索する。その後、近似公平性に基づいて、合意案の公平性の観点から最終的な合意案を決定する。シミュレーション実験から、社会的効用最大かつ公平な合意案を得ることが困難な非線形効用関数の場合でも、社会的効用最大かつ公平性を考慮した合意案を発見可能となることを示す。

各論点が相互依存関係の場合の交渉問題を対象としたプロトコルは、共通のテストベッドが存在せず、個々のテストベッドによって評価されている。特に多くの既存研究ではランダムに生成された効用関数の場合しか評価されていない。交渉手法の有効性を評価するためには共通したテストベッドを用いて、交渉手法を様々な角度から検証される必要がある。本論文では各論点が相互依存関係の場合に対応した交渉プロトコルを評価するため、XMLを基にした共通テストベッドを提案する。また、共通テストベッドを利用した交渉プロトコル評価プログラムのオープンソース化に関して述べる。

## 論文審査結果の要旨

藤田桂英君の研究は、大規模合意形成支援のためのソフトウェアエージェントの自動交渉プロトコルに関するものであり、人工知能分野における自動交渉技術の確立に貢献している。特に、実現がほぼ不可能と言われてきた、論点が相互に依存する複雑な効用空間に利用可能な自動交渉プロトコルを提案した。ここでは藤田君が手がけた、論点間のグループ化によって、多次元の効用空間の次元数を削減することで、探索空間を縮小近似する手法が鍵となった。電子商取引や大規模合意形成支援に応用が期待される。また、理論面でも近似公平性と呼ぶ指標を提案し、大規模問題の解析を可能にした。

同君の研究業績は査読有り学術論文9編、査読有り国際会議論文16編にまとめられる。特に、国際的な評価が高い Group Decision and Negotiation Journal への論文掲載、難関国際会議 IAT2010 へのフルペーパーでの採択、2010年度 AAMAS 国際自動交渉エージェント競技大会 ANAC2010 総合優勝は評価できる。これらの活躍により、平成22年度情報処理学会山下記念研究賞、第24回電気通信普及財団技術学生賞、IEEE 学生賞などを受賞し、本学の学長表彰、平成22年度 NIT 国際賞も受賞している。

同君は研究分野を開拓する能力が高く、複数論点交渉問題における手法開発と評価法は同君が自ら設定したものである。また、国際的な研究活動への積極性には目を見張る。米国 MIT との共同研究に参画し、主要なメンバーとして認知されている。MIT のマーククライン博士とは共著論文18本を有する。同様に参加するオランダデルフト工科大との共同研究は、同君の貢献によって国際競技会に発展した。また2009年12月の国際会議 PRIMA では学生運営委員長を努め、同君の能力が十分に発揮された。他に、国際ワークショップ ACCDS2009 のプログラム委員長、ACAN2010 のプログラム委員、国際会議 ICIS 2010 の特別セッション長、およびプログラム委員を担った。

以上、藤田桂英君は標準修業年限で修了認定を受けた者が到達するべき水準を十分に達成しており、その研究成果は工学と学術の両側面から学位取得に十分なものと考えられる。また、藤田桂英君の研究に対する姿勢はたいへん積極的であり、リーダーシップに優れ後輩学生の信望も厚い。真摯で前向きな姿勢から、学位取得後の活躍が期待される。