

オクハラ シュン

氏 名	奥原 俊
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博第1179号
学位授与の日付	2020年3月31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	エージェントの説明可能な交渉・協調モデルとその応用に関する研究 (Study on Explainable Negotiation and Cooperative Models of Agents and Their Application.)

論文審査委員	主 査	教授	伊藤 孝行
		教授	加藤 昇平
		准教授	打矢 隆弘
		准教授	白松 俊
		教授	松尾 徳朗
			(産業技術大学院大学)

論文内容の要旨

AI 技術が躍進する現代において、人間の能力では解決が困難であった事象が次々に実現可能となっている。しかし、人工知能の技術である Deep learning を含めた機械学習では高い精度での予測が可能であったとしても、複雑な計算モデルのため、AI の判断根拠が人間に対して説明ができないブラックボックス問題になっている。この問題は、異種の自律した主体であるエージェント間の交渉において協調による合意形成を行う自動交渉の研究でも大きな課題となっている。具体的には、自動交渉を行った合意形成の結果はわかるが、どのような過程で合意できたのか人間にエージェントの判断根拠を説明できない課題がある。この課題は、自動交渉で得られた技術の応用先として期待されている電子市場やクラウドソーシング、自動運転に対する導入の大きな障壁となっており、実社会で実現するために解決が望まれている。

本研究の目的は人間に説明可能な自動交渉の協調プロセスが表現できるモデルの確立である。そのため、本研究では、(1) 人間同士の交渉、(2) 従来の自動交渉を比較し、検証することで、人間に説明可能な自動交渉における協調の仕組みを設計する。本研究の目的を達成するために、はじめに(1) 人間同士の交渉における合意形成のための協調行動についての調査を行った。人間同士の交渉における合意形成のための協調行動についての

調査はエージェント同士の自動交渉の設定を踏まえ、制約、および論点を設け、チャットを用いて人間同士の交渉の実験を実施した。人間同士の交渉の実験では納得と比べて、協調プロセスである譲歩、妥協を行った人ほど合意結果に満足していないことが確認できた。

次に本研究は(2)従来の自動交渉から協調行動による合意形成を行うアルゴリズムの動作を調査した。本研究では従来の自動交渉として国際的な自動交渉競技会である ANAC (Automated Negotiating Agents Competition) および, PRIANAC (The Pacific Rim International Automated Negotiation Agents Competition) の環境を用いる。本研究で実装した自動交渉のエージェントは協調行動を過去の交渉情報から参照することで実現し、K-近傍法による合意案候補の探索を行うことにより、Social Welfare を高めるような合意案の提案を行う。また、評価実験は国際的な自動交渉競技会の PRIANAC, および ANAC の決勝大会に出場したエージェントとの交渉シミュレーションを行なった。交渉シミュレーションでは、提案したエージェントが様々な交渉ドメインにおいて高い Social Welfare を獲得することがわかった。

しかし、上記の(2)従来の自動交渉では、効用値の閾値を複雑な数式から調整することで合意を実現しており、(1)人間同士の交渉で見られた論点や制約から自身の合意案を変更する行動とは違い、人間に対して協調プロセスの説明が困難である。

そこで、本論文では閾値の調整から合意形成を行うのではなく、人間同士の交渉で見られた制約を取り除くことで、論点を緩和する仕組みから、人間に説明可能な自動交渉における協調プロセスを提案する。論点を緩和する仕組みとして、本研究では満たすべき制約の数を少なくすることで、自分が取り得る効用(価値)の総和を少なくする制約緩和を用いる。制約緩和が行われた場合には、「どの制約を信じて」、「どの制約を信じていないか」からどのように制約緩和したかの説明が可能になる。本研究で提案する自動交渉のモデルでは、エージェントが信じる(IN)制約集合と信じない(OUT)制約集合を持ち、制約を信じるINからいくつかの制約を信じないOUTに変更することで、制約緩和する仕組みを導入した。ここで導入した仕組みは、どのように制約をINからOUTに変更していくかについて様々な戦略が考えられる。本論文では、4つの方法を提案する。価値に基づく制約緩和、ランダム制約緩和、距離に基づく制約緩和、および、価値と距離に基づく制約緩和である。評価実験では、価値に基づく制約緩和、距離に基づく制約緩和、および価値と距離に基づく制約緩和による方法がランダム制約緩和よりも有意に高い社会余剰値を得られることを確認した。

以上から、本研究では制約緩和から合意形成する自動交渉のモデルを提案し、従来の課題であった人間に説明可能な協調プロセスを実現した。そして、本研究ではコンピュータ上で実装可能な、人間に説明可能な自動交渉のかたちとはどのようなものであるか、この問いに対して大きな可能性を示している。

論文審査結果の要旨

本研究は人間に説明可能な自動交渉の協調プロセスが表現できるモデルの確立を目的にしている。

そのため、本研究では、人間同士の交渉と従来の自動交渉を比較し、検証した結果を踏まえ、人間に説明可能な自動交渉における協調の仕組みをモデル化している。はじめに人間同士の交渉における合意形成のための協調行動についての調査を実施している。人間同士の交渉における合意形成のための協調行動についての調査では、エージェント同士の自動交渉における設定を考慮し、制約、および論点を設け、チャットを用いて人間同士の交渉実験を行なっている。人間同士の交渉の実験では人間が他者と合意するために論点を諦めて回答を変更していることを確認している。

次に本研究は従来の自動交渉から協調行動による合意形成を行うアルゴリズムの動作を調査した結果について述べている。本研究では従来の自動交渉として国際的な自動交渉競技会の環境を用いている。本研究で用いた自動交渉のエージェントは協調行動を過去の交渉情報から参照し、K-近傍法による合意案候補の探索を行うことにより、Social Welfareを高めるような合意案の提案を行う仕組みを用いている。本論文では提案されたエージェントを評価するために国際的な自動交渉競技会で決勝大会に出場したエージェントとの交渉シミュレーションを実施している。交渉シミュレーションは、提案したエージェントが様々な交渉ドメインにおいて高いSocial Welfareを獲得することが示された。

しかし、上であげた国際的な自動交渉競技会の自動交渉では、効用値の閾値を複雑な数式から調整することで合意を実現しており、人間同士の交渉で見られた論点や制約から自身の合意案を変更する行動とは異なる。そのため、人間に対して協調プロセスの説明が難しいという問題がある。

そこで、本論文では人間に説明可能な自動交渉における協調プロセスが実現可能なモデルを提案するために閾値の調整から合意形成を行うのではなく、人間同士の交渉で見られた制約を取り除くことから、論点を緩和する仕組みを提案している。論点を緩和する仕組みは、本研究では満たすべき制約の数を減少させることにより、自分が取り得る効用の総和を減らす制約緩和を用いている。制約緩和が行われた場合は、「どの制約を信じて」、「どの制約を信じていないか」を考慮することで、どのように制約緩和したかの説明が可能としている。本論文では、価値に基づく制約緩和、距離に基づく制約緩和、価値と距離に基づく制約緩和、およびランダム制約緩和の4つを提案している。評価実験では、価値に基づく制約緩和、距離に基づく制約緩和、価値と距離に基づく制約緩和による方法がランダム制約緩和よりも有意に高い社会余剰値を得られることを確認している。本研究では制約緩和から合意形成を行う自動交渉のモデルを提案し、従来の課題であった人間に説明可能な協調プロセスを実現しており、実社会に応用できる自動交渉の可能性を示している。

上記研究の奥原俊氏の博士論文で論じられている成果は、フルペーパーの学術論文4編（審査有）、および国際会議論文3編（審査有）に公表されている。これらの学術的な価値から、博士論文として十分な内容と判断し、博士（工学）の学位を授与するに値するものと認める。