

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12131

研究課題名（和文）自動交渉技術を用いた統計的意志決定過程推定手法の確立

研究課題名（英文）Statistical Estimation of Decision Process in Automated Negotiation

研究代表者

山崎 啓介（Yamazaki, Keisuke）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究チーム長

研究者番号：60376936

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：自動交渉においてエージェントの行動決定やプロトコルと呼ばれる交渉ルールをモデル化し、交渉の際に生成されるデータから意思決定の基となる戦略を統計的に推定する方法を構築した。エージェントと交渉環境を含むモデルを考慮することにより、交渉のダイナミクスや交渉終了にかかる時間など大域的な性質の分析が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

AI利用の拡大により取引や交渉がエージェントによって自動的に行われる場面が増えている。従来の自動交渉の研究では相手エージェントの戦略を推定することで自らに有利な条件で合意を導くことに主眼が置かれていた。本研究は参加している全てのエージェントと交渉の場を含むモデルを考慮することで、第三者の立場からリソース分配の公平性の分析、およびそれを促進するためのインセンティブ設計指針の提供を可能にする。

研究成果の概要（英文）：In automated negotiations, we have modeled the decision process of the agents and the negotiation rules called protocols, and established a method to statistically estimate the strategies of the agents from the generated data during negotiations. The model including agents and the negotiating environment allows us to analyze the global properties such as the dynamics of negotiations and the time to achieve the agreement.

研究分野：機械学習

キーワード：人工知能 シミュレーション マルチエージェント データ同化

1. 研究開始当初の背景

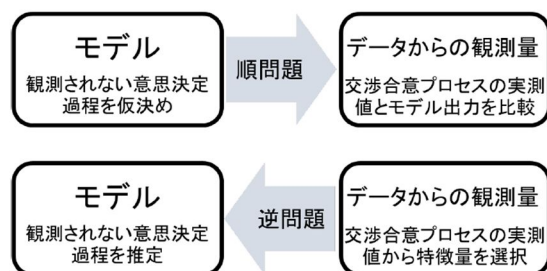
マルチエージェントシミュレーションは交通流・人流解析など社会現象の分析や理解に広く用いられている。シミュレーション結果が対象の現象を忠実に再現することは最重要課題であり、その評価方法の確立が必要不可欠である。従来の方法ではエージェントモデルを定義し、シミュレーション結果と現実に観測された現象を定性的に比較する主観的なものだった。近年のセンサー技術の発達にともない交通流や人流などの現象がデータとして取得可能になり、データ同化に代表される統計的推定によってシミュレータのパラメータ最適化が可能になった。これにより定量的な評価が行われ、データ駆動型の社会現象理解が進んでいる。行動主体の意思決定過程が推定できれば、インセンティブなどの行動変容のための社会的仕組みを設計する指針が提供可能となる。しかしながら現在の大規模マルチエージェントシミュレーションでは行動ルールのモデル化・推定にとどまっておらず意思決定過程を統計的に推測するに至っていない。

2. 研究の目的

本研究ではエージェント間での交渉において合意にいたるプロセス、つまり個々の意思決定過程を自動交渉技術を用いることでデータから統計的に推定する手法を確立する。

3. 研究の方法

複数エージェント間の交渉は自動交渉という分野で既に研究があり、交渉シナリオや交渉のための戦略のモデル化が行われている。またミクロ経済学ではゲーム理論に代表される数学的なモデル定式化や分析がある。これらの分野では意思決定過程のモデル化を行い交渉結果(合意案)の特性を分析する。つまりモデルを決めて交渉履歴データについて考察を行うという「モデルからデータ」の方向をもつ。これはいわゆる順問題のアプローチである(図の上部)。一方、本研究では交渉履歴データを用いてモデルを最適化することで意思決定過程を推定するという「データからモデル」の方向をもつ。これは順問題に対して逆問題のアプローチといえる(図の下部)。データからのモデル最適化は統計的機械学習の分野の手法を適用する。これにより推定された意思決定過程の最適性や精度が定量的に定義および分析可能となる。

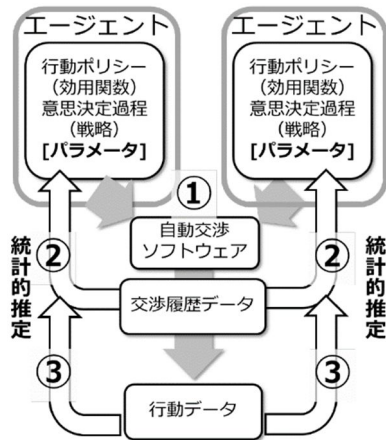


4. 研究成果

本研究では意思決定過程の推定手法を構築したが、そこで用いるデータとして交渉履歴データと行動データの2種類の場合を考察した。具体的には以下の3項目を行った：

- (1) データの整備
- (2) 交渉履歴データからのパラメータ学習
- (3) 行動データからのパラメータ学習

交渉を行いながら行動するシミュレーションにおいて交渉履歴データと行動データの生成を(1)で行い、それぞれのデータを用いた意思決定過程のパラメータ学習を(2)と(3)で行った。



(1) データの整備

自動交渉の分野ではエージェント間の交渉を模擬するソフトウェアが存在する．このようなソフトウェアでは意思決定過程に対応する部分がモデル化されており，効用関数と呼ばれる行動ポリシーを定義するものや，戦略と呼ばれる意思決定アルゴリズムを定義するものがある．過去に行われた自動交渉の競技会により，エージェントの戦略が複数準備されているためこれらをプロトタイプとして用いた．交渉の規則（プロトコル）は様々なものが存在するが，エージェントが順に希望する案を提示する「相互交換プロトコル」を対象とし，データを生成・整備した．

(2) 交渉履歴データからのパラメータ学習

自動交渉ソフトウェアにおけるエージェントは効用関数や戦略により意思決定過程が決定され，これらはパラメータを有する．交渉履歴データを生成したエージェントがもつパラメータを真のパラメータとすると，意思決定過程の推定は交渉履歴データを最も良く表現できるパラメータを探す問題に帰着される．交渉履歴データ表現の適切さは尤度関数で定義できるため，それを用いることで最尤推定やベイズ推定などの統計的推定手法を構築した．

交渉履歴データは，各エージェントが選択したオファー，交渉経過時間，合意に達したか否かを示す変数を有する．

相互交換プロトコルは相手が直前に示したオファーに合意すると交渉が終了するためマルコフ過程で表現可能であることがわかった．これから機械学習分野で用いられる尤度の定式化や学習アルゴリズムの援用ができるため，効率的なパラメータ推定の実行が可能となった．

(3) 行動データからのパラメータ学習

現実の集団行動からデータを取得する場合は必ずしも交渉履歴データが観測可能であるとは限らない．行動データから直接的にパラメータを推定する方法を構築した．エージェントの行動は交渉の結果（合意案）によって決定されるため，行動データには交渉の途中過程が記録されていない．よって行動データからの推定は不完全な情報を基にしたパラメータ推定に相当する．具体的には(2)で示した交渉履歴データに含まれる項目のうち，合意に達したか否かを示す変数のみが与えられている状況に相当する．

相互交換プロトコルでは(2)で示したように交渉のダイナミクスがマルコフ過程で表現可能であるため，不完全な情報下でのパラメータ推定は隠れマルコフモデルのパラメータ推定と等価となることを明らかにした．

さらに交渉が終了することはマルコフ過程において「合意」状態に吸収されることを意味しており，吸収壁のあるマルコフ過程によって交渉終了時間の分布を定義することが可能であることを示した．吸収壁のあるマルコフ過程は数理的な性質が古くから調べられており，それらの理論を応用することで交渉の性質を統計的に解析することが期待される．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 清川裕, 山崎啓介, 齊藤敦美, 山田聡, 小森悠斗, 時枝 紘史
2. 発表標題 シミュレーションモデル間の機械学習によるブリッジ手法
3. 学会等名 第25回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山崎啓介, 齊藤敦美, 清川裕, 山田聡
2. 発表標題 シミュレーションと機械学習モデルの連携技術とその展開
3. 学会等名 第25回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田聡, 山崎啓介, 鷲尾隆
2. 発表標題 カーネル平均埋め込みを用いたベイズ最適化
3. 学会等名 第25回情報論的学習理論ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keiichi Kisamori, Keisuke Yamazaki, Yuto Komori, Hiroshi Tokieda
2. 発表標題 Model Bridging: Connection Between Simulation Model and Neural Network
3. 学会等名 ECML/PKDD2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Yamazaki
2. 発表標題 ML in simulation and simulation in ML
3. 学会等名 International Workshop on Machine Learning for Soft Matter 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎啓介, 木佐森慶一, 小森雄斗, 時枝紘史
2. 発表標題 モデルブリッジによるシミュレーションパラメータの推定
3. 学会等名 IBIS2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小森雄斗, 時枝紘史, 木佐森慶一, 山崎啓介
2. 発表標題 物理シミュレーションパラメータのモデルブリッジによる推定
3. 学会等名 IBIS2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木佐森慶一, 山崎啓介
2. 発表標題 カーネル平均埋め込みによる共変量シフト下でのシミュレーションパラメータ推定
3. 学会等名 IBIS2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kisamori, K. Yamazaki, Y. Komori, H. Tokieda
2. 発表標題 Model Bridging: To Interpretable Simulation Model from Neural Network
3. 学会等名 Machine Learning and the Physical Sciences Workshop at NeurIPS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山崎啓介	4. 発行年 2022年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 782
3. 書名 数理社会学事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------