

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26730116

研究課題名(和文) マルチエージェント自動交渉モデルにおける効用抽出および論点構造化手法の確立

研究課題名(英文) Preference Elicitation and Issue Structurization for Multi-agent Automated Negotiations

研究代表者

藤田 桂英 (Fujita, Katsuhide)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00625676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではマルチエージェント自動交渉の実現のために、交渉論点の依存関係の自動構造化手法の開発、交渉参加者の選好情報を効率的に自動取得する手法の開発、論点および選好情報の抽出結果による効率的な自動交渉手法の提案を行った。研究成果として、階層分析法に着想を得たヒューリスティックな交渉戦略、論点間の依存関係と論点デンドログラムを考慮した交渉戦略、Deep Learningによる投稿種別および関係のマルチラベリング議論構造の自動抽出、自然言語による交渉ダイアログからの深層学習による自動効用抽出を達成した。全年度を通じて、おおむね順調に研究を進行させ、研究目標を達成することができた。

研究成果の概要(英文)：We proposed the method of structuring issue-dependencies automatically and extracting the users' preferences effectively. In addition, we proposed automated negotiation protocols considering the extracted issue-dependencies and users' preferences. Our outcomes are "Compromising Negotiation Strategy using Analytic Hierarchy Process," "Effective Automated Negotiations based on Recursive Partitioning by Issue Dendrogram," "Prediction of Nash Bargaining Solution by Deep Learning for Negotiation Dialogue," and "Argument Mining for Discussion Threads based on Parallel Constrained Pointer Architecture." Our research can be proceeded as I planned generally, and achieved research goals.

研究分野：人工知能

キーワード：マルチエージェントシステム 自動交渉 深層学習

1. 研究開始当初の背景

近年、マルチエージェントシステムに基づいた自動交渉機構に関する研究が盛んに行われるようになってきている。2010 年から自動交渉エージェント競技会 (ANAC) が開催され、ゲーム理論や意思決定理論にも基づいた交渉手法の設計は人工知能の研究分野の中で重要な分野と位置づけられている。これは Web の発展に伴い、インターネット上で、物、情報、仕事を取引する電子市場やクラウドソーシングの普及が必須となり、自動交渉技術が必要となっているためである。

また、様々な意思決定および合意形成が必要な場面 (e.g. 国際紛争の解決、科学技術戦略策定、ソフトウェア開発など) で何らかの計算機に基づいた支援が必要となってきている。例えば、Linux や Wikipedia をはじめとした Web を介した大規模な交渉や世界規模の交渉問題では、適切な合意案を発見するのが人手では困難である。しかし、計算機が何らかの支援を行なうことで合意案候補を絞り込めるとともに数理的に最適な合意を提示することが可能となる。特に、「交渉 (特に論点の構造や選好情報) の自動的なモデル化」、「合意形成を行うための効率的な交渉手法の確立」が重要な解決すべき課題といわれている。

既存のマルチエージェント分野における自動交渉機構の研究は論点がそれぞれ独立であると仮定されており、現実的な問題設定ではなかった。近年、研究代表者らが中心となり論点間の依存関係を考慮した自動交渉手法を開発し、提案手法が論点間に依存関係がある場合に有効であることを示している。

しかし、現実世界の交渉問題へ提案された自動交渉手法を適用させるためには、交渉論点の重要な構造を明らかにするとともに、交渉参加者の選好情報を自動的に抽出する機構を開発しなければならない。また、交渉論点の構造や効用関数の特徴に基づく適切な自動交渉手法の開発に関してはまだ未解決である。

2. 研究の目的

現実的な交渉支援システムを開発することを考えた場合、論点の構造を中心とした抽出機構、ユーザの効用情報を取得する機構、および、合意を形成する機構が必要となる。しかし、これまでの研究は単純な設定であるため容易に実現できたが、論点間に依存関係が存在するような複雑な状況下ではそれぞれの項目に関して、適切な手法を明らかにする必要があるとともに、現実の交渉問題を基づきテストベッドを作成し、評価する必要が出てくる。そこで、本提案ではマルチエージェントの自動交渉機構に関する以下の 3 点の研究を実施する。

(1) 交渉論点の依存関係の構造化および対応する自動抽出手法の開発

既存の交渉事例を解析し、代表的な交渉論点の依存関係を明らかにする。また、論点の依存関係の構造を自動的に抽出する手法を明らかにする。

(2) 交渉参加者の選好情報を効率的に自動取得する手法の開発

(1) において抽出した交渉論点の依存構造をもとに、交渉参加者の選好情報を効率的に取得する手法を開発する。合意案候補が多数存在する場合、交渉参加者は効用情報を大量に入力する必要がある。そこで、自動交渉手法と選好情報抽出機構を組み合わせた効率的な選好情報抽出機構を明らかにする。

(3) 目的(1)と(2)に基づいた効率的な自動交渉手法の開発

目的(1)および(2)により、交渉における論点の依存関係の構造や選好情報の特徴が明らかになるとともに、それに対応する自動交渉手法が結びつけられる可能性が高い。そこで、交渉の選好モデルの特徴や交渉問題の構造に基づいた効率的な交渉手法の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 交渉論点の依存関係の構造化および対応する自動抽出手法の開発

現実世界はこのような複雑なシステムの設計に対して各設計者間で交渉および協調を行っているが、交渉問題の複雑性のために合意形成が困難になる。そこで、各エージェントがもつ交渉論点の関係を解析することで、交渉問題を解析するとともに合意案の発見を効率的に行うことを目指す。自動交渉手法にこれらの知見を取り入れることで効率的かつ合理的に合意案を発見できると考えられる。

(2) 交渉参加者の選好情報を効率的に自動取得する手法の開発

Preference Elicitation の研究成果をもとに、効率的に交渉参加者の選好情報を取得する。特に、相手の選好に関連する部分情報から全体の (もしくは交渉で必要となる部分の) 選好情報を推定し、ユーザの選好情報を入力する負担を最低限にしながら合意形成を行う手法の開発を考えている。ユーザが入力した一部の自然言語等の情報を活用して、ユーザの効用情報の推定を行い、適切な合意案を発見する手法を考えている。

(3) (1)と(2)に基づいた効率的な自動交渉手法の開発

(1)と(2)で得た論点間の構造および選好情報が持つ特徴に基づいてこれまでより効率的な自動交渉手法を開発する。近年、自動交渉手法の有効性と交渉問題の関係性が明らかになってきている。目的(1)および(2)の交渉論点の構造と選好情報の特徴から、有効な交渉手法はどのような指標で決定できるかを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 階層分析法に着想を得たヒューリスティックな交渉戦略

参加者同士の効用情報が非公開の状態で行う多者間複数論点交渉問題に対して有効な階層分析法(AHP)に着想を得た交渉戦略と相手の効用情報の推定手法を提案した。提案手法では、論点内の各選択肢について相手からの提案 Bid の出現数を数え上げ、重要度の決定および幾何平均の計算によって交渉相手の効用関数の予測を行う。

さらに、階層分析法に着想を得た手法による自動交渉戦略を開発し、効率的な Bid 提案を行うことができる。最終的に、提案した交渉戦略と最先端の交渉エージェントとの対戦の結果、社会的余剰の高い合意を達成できていることを示した。

(2) 論点間の依存関係と論点デンドログラムを考慮した交渉戦略

自動交渉を現実世界に適用させるために、交渉問題における論点数や、交渉に参加するステークホルダーの人数が膨大で、論点間に依存関係がある交渉問題でも合意案を発見できる自動交渉プロトコルが重要である。

提案手法では、まず、各エージェントが制約情報に基づき論点の依存関係グラフを作成する。次に、メタデータは各エージェントの依存関係グラフをもとにクラスタ分析によりデンドログラムを作成する。その後、各エージェントは入札を行い、メタデータは入札情報をもとに組み合わせ最適解を求める。この時、組み合わせが存在せず合意案が得られなかった場合、デンドログラムをもとに交渉問題をさらに分割し、分割された交渉問題ごとに再び入札を行う。

また、交渉問題分割後の効用の分割時において、交渉途中においてすでに発見されている部分合意を考慮することで、さらに最適率の高い合意案を発見できる。

シミュレーション実験により、提案手法が既存の手法では合意案を発見できなかった論点数 100 の交渉問題に対して、最適な合意案を発見できていることを示した。

(3) Deep Learning による投稿種別および関係のマルチラベリング議論構造の自動抽出

目的(1)に関連して、深層学習による自然言語のダイアログからの構造化の実現可能性の検証を行った。自然言語の交渉ダイアログから Argument Mining における Argument Component や Relationなどを自動的に抽出し、自動構造化を行う手法を提案した

具体的には、Deep Learning により投稿種別と関係のマルチラベリングを実施することで、自然言語による議論文から、自動的に投稿文間の構造を抽出し、それらの投稿文の種別と関係の種類を自動的に判別する手法の開発および実装を行った。

提案手法では、まず、スレッド構造を持つオ

ンライン議論データに対して投稿内と投稿間との関係に着目したスキームを適用した。次に、そのスキームを用いてアノテーションを行い、Argument Mining の分野において最大規模のコーパスを作成することができた。また、文のタグ付け、投稿内関係および投稿間インタラクションを分類する識別モデルを提案した。新たに提案した学習モデル(制約付き Pointer 機構)は従来手法に比べて大きな技術的向上を果たした。提案手法は、従来の Pointer Sentinel Mixture Models(PSMM) [Potash et al., 2017] では探索空間に対して、時系列等の制約条件を考慮していないため、スレッド構造に対して無駄な学習を行う必要があった。一方、我々のモデルはスレッドの制約条件を学習時に取り入れることにより、関係の推論に対して高い精度で構造化できるという特徴がある。

識別モデルの評価実験の結果、我々のアノテーションデータを用いて、SVM や最先端の End-to-End なニューラルモデル等と比較して、スレッド構造に対して比較的安定した精度で End-to-End に識別することが可能であることが明らかになった。

(4) 自然言語による交渉ダイアログからの深層学習による自動効用抽出

目的(2)に関して、自然言語の交渉ダイアログからの深層学習により Attention モデルを付与した Gated Recurrent Units(GRUs)を効用抽出に適用させ、自動的に各エージェント選考情報を抽出する手法を提案した。本提案手法は、各エージェントの効用関数のモデルは、序数的効用モデルと基 数的効用モデルの両方に対応しており、予備実験ではそれぞれ実用化の可能性のある高い精度であった。

<引用文献>

[Potash et al., 2017] Peter Potash, Alexey Romanov, and Anna Rumshisky. Here's my point: Joint pointer architecture for argument mining. In Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pages 1375–1384. Association for Computational Linguistics, 2017.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 14 件)

1. Shinji Kakimoto and Katsuhide Fujita, “Effective Automated Negotiation based on Issue Dendrograms and Partial Agreements,” Journal of Systems Science and Systems Engineering, <https://doi.org/10.1007/s11518-018-536>

- 4-x, Volume 27, Issue 2, pp 201–214, 査読有, 2018.
2. Katsuhide Fujita, “Compromising Adjustment Strategy based on TKI Conflict Mode for Multi-times Bilateral Closed Negotiations,” *Computational Intelligence*, Volume 34, Number 1, pp.85-103, DOI: 10.1111/coin.12107, 査読有, 2018.
 3. 篠原裕幸, 藤田桂英, “三者間複数論点交渉問題における階層分析法に着想を得たヒューリスティックな交渉戦略,” *人工知能学会論文誌*, Vol.31, No.6, SP-B, pp.1-9, 査読有, 2016.
 4. 藤田桂英, 森 顕之, 伊藤 孝行, “ANAC : Automated Negotiating Agent Competition (国際自動交渉エージェント競技会),” *人工知能*, Vol.31, No.2, pp.237-247, 査読無, 2016.
 5. Tim Baarslag, Reyhan Aydogan, Koen V. Hindriks, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, and Catholijn M. Jonker, “The Automated Negotiating Agents Competition 2010-2015,” *AI Magazine*, Vo.36, No.4, pp.115-118, 査読無, 2015.
 6. Hisato Fujimagari and Katsuhide Fujita, “Detecting Research Fronts using Neural Network Model for Weighted Citation Network Analysis,” *Journal of Information Processing*, Vol.23, No.6, pp.1-6, 査読有, 2015.
 7. 柿本真司, 藤田桂英 “二者間非線形交渉問題における論点間の依存関係を考慮したパレートフロント推定手法と交渉戦略の提案,” *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J98-D, No.6, pp.926-935, 査読有, 2015.
 8. Masanori Ikarashi and Katsuhide Fujita “Analysis of Compromising Strategy based on Weighted Counting in Automated Multi-times Negotiations,” *International Journal of Computer and Information Science*, Vol.16, No.2, pp.40-50, 査読有, 2015.
 9. Katsuhide Fujita, “Automated Mediation Protocols based on Monotonic Tree Representations,” *Journal of Information Processing*, Vol.22, No.2, pp.195-201, 査読有, 2014.
 10. Katsuhide Fujita, Yuya Kajikawa, Junichiro Mori and Ichiro Sakata “Detecting research fronts using different types of weighted citation networks,” *Journal of Engineering and Technology Management*, Volume 32, 129-146, 査読有, 2014.
 11. Vitavin Ittipanuvat, Katsuhide Fujita, Ichiro Sakata, and Yuya Kajikawa “Finding linkage between technology and social issue: A Literature Based Discovery approach,” *Journal of Engineering and Technology Management*, Volume 32, 160-184, 査読有, 2014.
 12. Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Mark Klein “Efficient issue-grouping approach for multiple interdependent issues negotiation between exaggerator agents,” *Decision Support Systems*, Vol.60, pp.10-17, 査読有, 2014.
 13. Ivan Marsa-Maestre, Miguel A. Lopez-Carmona, Takayuki Ito, Mark Klein, Katsuhide Fujita, “Addressing Utility Space Complexity in Negotiations involving Highly Uncorrelated, Constraint-Based Utility Spaces,” *Computational Intelligence*, Vol30, No.1, pp.1-29, 査読有, 2014.
 14. Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, and Mark Klein, “An Approach to Scalable Multi-issue Negotiation: Decomposing the Contract Space,” *Computational Intelligence*, Vol.30, No.1, pp.30-47, 査読有, 2014.
- 〔学会発表〕(計 16 件)
1. Hiroyuki Shinohara and Katsuhide Fujita, “Alternating Offers Protocol considering Fair Privacy for Multilateral Closed Negotiation,” *The 20th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA2017)*, pp 533-541, 2017.
 2. Takaki Matsune and Katsuhide Fujita. “Weighting Estimation Methods for Opponents’ Utility Functions using Boosting in Multi-time Negotiations,” in *Proceedings of The 2nd International Conference on Agents (IEEE-ICA 2017)*, DOI: 10.1109/AGENTS.2017.8015296, 2017.
 3. Catholijn M. Jonker, Reyhan Aydogan, Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Takayuki Ito and Koen Hindriks, “Automated Negotiating Agents Competition (ANAC),” *Proceedings of the 31st AAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-17)*, pp.5070-5072, AAI Press, 2017.
 4. Shinji Kakimoto and Katsuhide Fujita. “Effective Automated Negotiations based on Recursive Partitioning by Issue Dendrogram,” in *Proceedings of 10th International Workshop on Agent-based Complex Automated*

- Negotiations (ACAN2017), 2017.
5. Takaki Matsune and Katsuhide Fujita. "Estimation of Opponents' Utility Functions using Boosting for Multi-times Negotiations," in Proceedings of 10th International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2017), 2017.
 6. Hiroyuki Shinohara and Katsuhide Fujita, "Compromising Strategy using Analytic Hierarchy Process for Multi-party Closed Automated Negotiations," in Proceedings of 9th International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2016), 2016.
 7. Hiroyuki Shinohara and Katsuhide Fujita, "Offering Method using Analytic Hierarchy Process for Multilateral Closed Automated Negotiations," The 10th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS2015), 2015.
 8. Katsuhide Fujita, "TKI Adaptation Strategy for Complex Multi-times Bilateral Negotiations," 8th IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA 2015), pp.232-246, 2015.
 9. Shinji Kakimoto and Katsuhide Fujita, "Preliminary Estimating Method of Opponent's Preferences using Simple Weighted Functions for Multi-lateral Closed Multi-issue Negotiations," International Joint Agents Workshop and Symposium (IJAWS2015), 2015.
 10. Shinji Kakimoto and Katsuhide Fujita. "Compromising Strategy considering Interdependencies of Issues for Multi-issue Closed Nonlinear Negotiations," in Proceedings of 8th International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2015), 2015.
 11. Katsuhide Fujita, "Compromising Adjustment based on Conflict Mode for Multi-times Bilateral Closed Nonlinear Negotiations," in Proceedings of 17th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems, (PRIMA 2014), pp.439-454, 2014 (**Best Paper Award**).
 12. Shinji Kakimoto and Katsuhide Fujita "Estimating Pareto Fronts using Issue Dependency for Bilateral Multi-issue Closed Nonlinear Negotiations," Knowledge and Service Technology for Life, Environment, and Sustainability (KASTLES), pp.289-293, 2014.
 13. Katsuhide Fujita "Efficient Strategy Adaptation for Complex Multi-times Bilateral Negotiations," 7th IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA 2014), pp.207-214, 2014.
 14. Masanori Ikarashi, Katsuhide Fujita, "Compromising Strategy using Weighted Counting in Multi-times Negotiations," 2nd International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence (ICSCAI 2014). 2014.
 15. Katsuhide Fujita, "Compromising Strategy based on Conflict Mode for Multi-times Bilateral Closed Negotiations," The 7th International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2014), 2014.
 16. Katsuhide Fujita, "Automated Strategy Adaptation for Multi-times Bilateral Closed Negotiations," In Proceedings of 13th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (**AAMAS 2014**), pp.1509-1510, 2014.
- [図書] (計 3 件)
1. Katsuhide Fujita, Quan Bai, Takayuki Ito, Minjie Zhang, Fenghui Ren, Reyhan Aydogan, Rafik Hadfi, "Modern Approaches to Agent-based Complex Automated Negotiation," Studies in Computational Intelligence 674, Springer, 総ページ数 255 (pp.85-100, pp.135-152, pp.185-190), 2017.
 2. Naoki Fukuta, Takayuki Ito, Minjie Zhang, Katsuhide Fujita, Valentin Robu(Eds), "Recent Advances in Agent-based Complex Automated Negotiation," Studies in Computational Intelligence, 638, Springer, 総ページ数 293(pp.21-37, pp.211-224, pp.241-247), 2016.
 3. Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Minjie Zhang, Valentin Robu (Eds) "Next Frontier in Agent-Based Complex Automated Negotiation," Studies in Computational Intelligence 596, Springer, 総ページ数 151(pp.59-72, pp.137-142), 2015.

〔産業財産権〕

出願状況（計 1 件）

名称：効用値推定装置、論点集合重要度算出装置、及びプログラム

発明者：藤田桂英

権利者：藤田桂英

種類：特許

番号：特願 2017-129141

出願年月日：2017 年 6 月 30 日

国内外の別：国内

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

URL:<https://kenkyu-db.tuat.ac.jp/tmp/4540/profile.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

藤田 桂英 (FUJITA, Katsuhide)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：00625676

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし