

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700134

研究課題名(和文) マルチエージェント交渉機構における論点間の依存構造の抽出および手法評価に関する研究

研究課題名(英文) Structuring Issue-Interdependencies and Evaluations for Automated Negotiations in Multi-agent Systems

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：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、(1)交渉論点の依存関係の構造化および分類(2)交渉論点の依存構造を考慮した交渉手法の提案(3)現実の交渉事例に基づいた交渉手法の検証および評価を達成する。
本研究期間中に論点間に階層構造がある場合に有効な交渉手法と自動交渉エージェント競技会に有効な手法の開発に成功している。また、シミュレーションや競技会に基づく評価により、提案手法の有効性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This research focuses on automated negotiations in Multi-Agent Systems. I tried to achieve the following research problems: (1) Structuring and categorizing of interdependencies between issues, (2) Automated negotiation protocols considering structures of interdependencies between issues, (3) Evaluations of the proposed methods using the scenarios in real life.
Automated Mediation Protocols based on Monotonic Tree Representations and Automated Strategy Adaptation for Multi-times Bilateral Closed Negotiations using TKI can be proposed during the three years study period. In addition, we can demonstrate that the proposed methods have enough effectiveness in the simulations and the automated negotiating agent competition(ANAC).

研究分野：知能情報学

キーワード：マルチエージェントシステム 自動交渉 非線形効用 自動交渉エージェント競技会

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)[1]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。また、様々な意思決定および合意形成が必要な場面で何らかの計算機に基づいた支援の必要性が認識されている。

既存の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[2]。しかし、依存関係の構造に関して適切な分類がされておらず、交渉問題の論点関係を適切に構造化が困難であった。また、現実世界の交渉問題を対象にした評価が不十分である。

2. 研究の目的

本研究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点の目標に関して現実的な合意形成および集団意思決定を支援するために研究を実施する。

- (1) 交渉論点の依存関係の構造化および分類
既存の交渉事例を解析し、交渉論点の依存関係を構造化する。また、論点の構造としてはどのような種類が存在し、どのような特徴があるかを明らかにする。
- (2) 交渉論点の依存構造を考慮した交渉手法
(1)において抽出した交渉論点の依存構造をもとに特定の構造に特に有効な交渉手法を提案する。
- (3) 現実の交渉事例に基づく交渉手法の評価
(2)において提案された交渉手法に対して検証および評価を行う。本研究において提案された手法が既存の手法と比較して、短時間で適切な合意案を提案できているか、および現実の交渉問題を対象とした状況でも有効に働くかを中心に評価する。

3. 研究の方法

- (1) 交渉論点の依存関係の構造化および分類
論点や部品などの依存関係に着目した先行分野として多数のモジュールが存在する大規模ソフトウェア開発に関する研究が存在する。本研究では研究協力機関から提供された交渉事例から論点を洗い出した後に、様々な依存関係を抽出することができる既存手法を用いて、各論点の依存関係の抽出を行う。
- (2) 交渉論点の依存構造を考慮した交渉手法
交渉論点の依存構造を考慮した交渉手法の提案を行う。通常、論点間に依存関係がある場合、交渉手法のスケラビリティが重要となる[2]。従来では論点間の依存構造を

考慮していなかったため、計算量を削減しながら良質な合意案を求めるのが困難であった。しかし、(1)の成果より論点の依存構造が明確になるため、依存構造を考慮した効率的な合意形成手法を開発できる。特に、どの論点郡を対象として合意形成を行うと効率的か判断できる。

(3)現実の交渉事例に基づく交渉手法の評価

交渉のデータとしては MIT が所持している大規模ソフトウェアシステムの設計に関する交渉事例や戦略策定に関する交渉事例を用いた交渉事例の評価を計画している。評価の内容としては既存の交渉手法との合意形成の効率性および合意案の質的評価を行う。さらに、各分野の事例に関連する専門家へのインタビューを行う。

4. 研究成果

(1) 交渉論点の依存関係の構造化

交渉論点の依存関係を複雑ネットワークにより可視化を行った。交渉論点の依存関係の可視化が可能になることで、現実社会における合意形成を促すことが可能となる。図1はある交渉問題における論点構造を複雑ネットワークにより可視化したものである。ここでいう相互依存関係グラフはノードを論点、エッジを相互依存関係の有無、重みを相互依存度とした、重み付き無向グラフである。これらの成果は Decision Support Systems や Computational Intelligence のような国際学術雑誌に掲載された。また、これらの考え方を具体的な例(学術研究の萌芽分野発見や原子力開発)に関して適用させた成果も、国内外の学会発表も積極的に行っている。

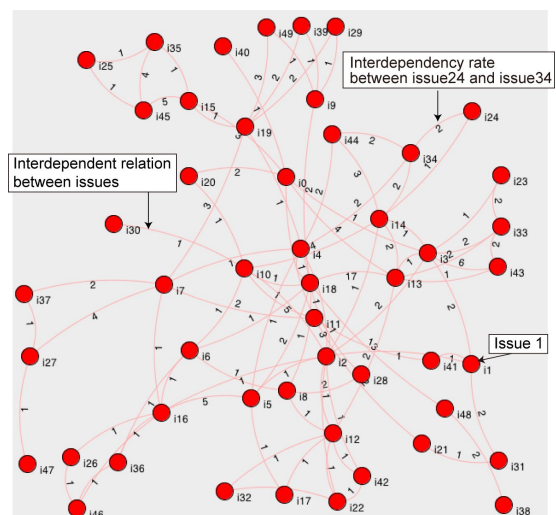


図1: 相互依存関係グラフ

- (2) 交渉論点の依存構造を考慮した交渉手法
論点間の単調性に着目した交渉手法
論点の階層構造に着目した自動交渉手法に関して、新たな手法を提案した。提案手法では論点が階層構造を作成する際に、論点間の単調性に着目し、各エージェントの効用空間

における単調性の情報に基づいて、Monotonic Tree を作成する。Monotonic Tree は論点の Hierarchy を木構造により表現したものである。

Monotonic Tree に基づく自動交渉メカニズムは以下の通りである(図2)。まず、メディエータが論点グループをクラスタリング手法により発見する。次に、メディエータは論点グループを各エージェントに提示する。その後、各エージェントは論点グループ毎に効用関数を探索し、bid を生成する。さらに、メディエータは各エージェントから受け取った bid から、合意案候補を生成する。最後に、各エージェントは提示された合意案候補に対して、受け入れるかどうかを返答する。もし、全エージェントが合意案候補を受け入れた場合は、合意案を生成し交渉を終了する。もし、反対するエージェントが存在する場合は、Monotonic Tree の高さを調整し、再びこれらのメカニズムを繰り返す。

本提案手法により、論点の依存関係が階層構造の場合にも対応可能となった。シミュレーションによる評価実験において、提案手法が論点に階層構造が含まれる場合にも有効性が高いことを示した。交渉論点の依存関係の構造化に関しては当初の予定とは異なる手法ではあるが、より有効性の高いクラスタリングに基づいた手法を開発することができ、当初の目標を達成した。

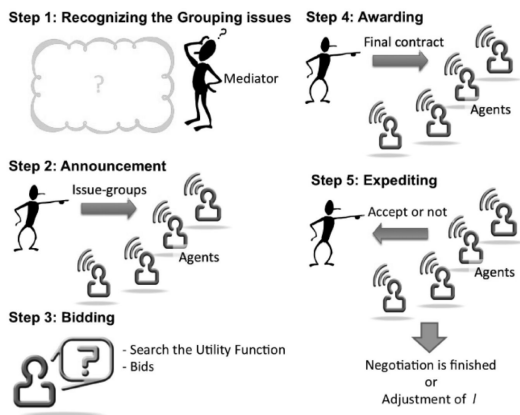


図 2: Monotonic Tree による自動交渉メカニズム

TKI を導入した二者間自動交渉手法

また、非協力的かつ相手の効用情報非公開の状況における二者間自動交渉手法の開発を行った。本研究では、過去の同一状況下での履歴情報を利用して相手の交渉戦略のタイプを分類する(図 3)。その際の分類方式は Thomas-Kilmann Conflict Mode Instrument (TKI) に従い決定している。TKI は非協力交渉下における人間行動をモデル化したものであり、協力性 (cooperativeness) と自己主張性 (assertiveness) の二つの指標から 5 つのタイプに分類したものである。提案手法では、それらのタイプを過去の履歴と現在の交渉状況の違いから判断する。

図 4 は歩み寄り速度の変更戦略の概念図を示

している。提案エージェントは α に基づいて、歩み寄りの速度が決定される。そこで、提案するエージェントの α を高い値に設定しておき、相手が Accommodating と Compromising である場合に、 α を減少させ、より協力的な戦略をとる。本エージェントは、相手が合意を得ようとする戦略を示した場合、強固に個人の利得を求める戦略から、できる限り合意を形成しようとする戦略に切り替える。時間が経過するごとに獲得効用が減少する状況では、これまでの単純な歩み寄りに基づく戦略では制限時間直前にしか合意ができなかった。一方、 α の変更戦略を取り入れることで、早い時間に合意形成できる。一方、相手の戦略や状態を考慮しているため、こちらが損をするような歩み寄りを防ぐことができる。

本手法を評価するために、提案エージェントを自動交渉エージェント競技会世界大会 (ANAC2013) に参加した。ANAC2013 において、全体で 19 エージェントが世界中から提案され、対戦を行った。対戦するドメインは参加者が作成したドメインからランダムに 11 ドメインが選択された。また、各対戦は統計的に優位かつ学習を行うために、同一のプロファイルの対戦が 10 回繰り返される。言い換えると、各ドメインにおいて、同一の対戦ペアで 20 回(プロファイルを交換する必要があるため)行うことになる。実際に、75,240 回の交渉が行われた。図 5 が示すように、提案エージェント (AgentKF) は首位で予選を通過した。また、分散も小さく、他のエージェントと比較してかなり優位な結果であった。

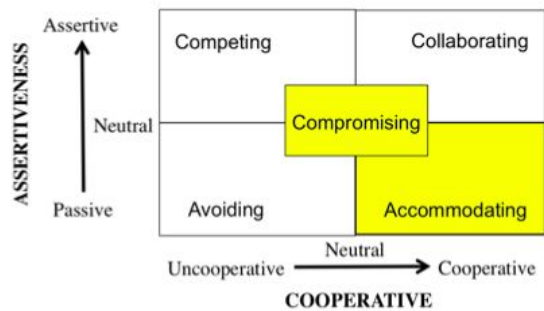


図 3: Thomas-Kilmann Conflict Mode Instrument (TKI)

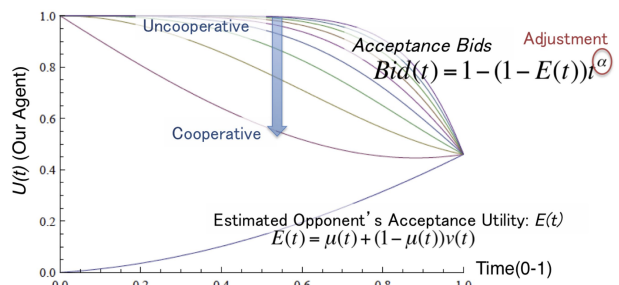


図 4: TKI に基づく交渉手法

Position	Agent	Rank	Mean	Variance (Per run)
1	AgentKF	1	0.562	0.00019
2	TheFawkes / Agent Slinkhard	2-3	0.522	0.00132
3	TMFAgent	2-4	0.516	0.00163
4	MetaAgent	3-4	0.495	0.00252
5	G-Agent	5-8	0.457	0.00241
6	InoxAgent	5-8	0.455	0.00235
7	SlavaAgent	5-11	0.447	0.00018
8	VAStockMarketAgent	5-11	0.446	0.00520
9	RoOAgent	7-11	0.432	0.00313
10	AgentTalex	7-11	0.431	0.00285
11	AgentMRK2	7-11	0.430	0.00344
12	Elizabeth	12-14	0.387	0.00443
13	ReuthLiron	12-15	0.374	0.00416
14	BOAconstrictorAgent	12-15	0.373	0.00141
15	Pelican	13-18	0.359	0.00434
16	Oriel_Einat_Agent	15-18	0.350	0.00534
17	MasterQlao	15-18	0.345	0.00214
18	Eagent	15-18	0.338	0.00707
19	ClearAgent	19	0.315	0.00109

図 5: ANAC2013 予選ラウンドの結果

これらの研究成果は Artificial Intelligence Journal (AIJ) など人工知能の代表的な国際ジャーナルに採録された。また、これらに関する国内外の学会発表も積極的に行った。

- (3) 現実の交渉事例に基づく交渉手法の評価
 既にモデル化が達成されているデータセットに対しては、シミュレーション等を用いて交渉手法の評価を完了している。
 現実の交渉事例の収集に関しては MIT が管理する NegoWiki[3]や ANAC[1]で管理・運営されている。一方、交渉事例を自動交渉に適用されるためにはモデル化が必要であり、期間内に行うことができなかった。今後、これらを自動で行う手法を開発し、現実の交渉事例に基づく評価を行う必要がある。また、各分野の事例に関連する専門家へのインタビューに関しても、評価が完了しなかったため、行うことができなかった。

<引用文献>

- [1] Automated Negotiating Agents Competition (ANAC): <http://mmi.tudelft.nl/anac>
 [2] Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Mark Klein “A Secure and Fair Protocol that Addresses Weaknesses of the Nash Bargaining Solution in Nonlinear Negotiation,” Group Decision and Negotiation, Springer, Vol.21, No.1, pp.29-47, 2012.
 [3] Ivan Marsa-Maestre, Mark Klein, Catholijn M. Jonker, and Reyhan Aydoğan. “From problems to protocols: Towards a negotiation handbook.” Decision Support Systems. Vol.60, pp.39-54, 2014.

5. 主な発表論文等

(研究代表者には下線)

(雑誌論文) (計12件)

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, 査読有, Vol.J98-D, No.6, pp.926-935, 2015.
 DOI: 10.14923/transinfj.2014SWP0011

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, 査読有, Vol.16, No.2, 2015 (in press).

Katsuhide Fujita, “Automated Mediation Protocols based on Monotonic Tree Representations,” Journal of Information Processing, 査読有, Vol.22, No.2, pp.195-201, 2014.
 DOI: 10.2197/ipsjip.22.195

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, 査読有, Volume 32, pp.129-146, 2014.
 DOI: 10.1016/j.jengtecman.2013.07.002

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, 査読有, Volume 32, pp.160-184, 2014.
 DOI: 10.1016/j.jengtecman.2013.05.006

Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Mark Klein “Efficient issue-grouping approach for multiple interdependent issues negotiation between exaggerator agents”, Decision Support Systems, 査読有, Vol.60, pp.10-17, 2014.
 DOI: 10.1016/j.dss.2013.05.016

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, 査読有, Vol30, No.1, pp.1-29, 2014.
 DOI: 10.1111/j.1467-8640.2012.00461

Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, and Mark Klein, “An Approach to Scalable Multi-issue Negotiation: Decomposing the Contract Space”, Computational Intelligence, 査読有, Vol.30, No.1, pp.30-47, 2014.
 DOI: 10.1111/j.1467-8640.2012.00462

Katsuhide Fujita, Masanori Akiyama, Nobuyuki Toyama, Yasuko Kamemori,

“Detecting Effective Classes of Medical Incident Reports based on Linguistic Analysis for Common Reporting System in Japan,” *Studies in Health Technology and Informatics*, 査読有, Vol.192, pp.137-141, 2013.

DOI: 10.3233/978-1-61499-289-9-137

Tim Baarslag, Katsuhide Fujita, Enrico Gerding, Koen Hindriks, Takayuki Ito, Nick R. Jennings, Catholijn Jonker, Sarit Kraus, Raz Lin, Valentin Robu, Colin Williams, “Evaluating practical negotiating agents: Results and analysis of the 2011 international competition”, *Artificial Intelligence Journal (AIJ)*, 査読有, Vol.198, pp.73-103, 2013.

DOI: 10.1016/j.artint.2012.09.004

Eriko Kiriya, Yuya Kajikawa, Katsuhide Fujita, and Shuichi Iwata, "A lead for transvaluation of global nuclear energy research and funded projects in Japan," *Applied Energy*, 査読有, Volume 109, pp.145-153, 2013.

DOI: doi:10.1016/j.apenergy.2013.03.045

Katsuhide Fujita, Masanori Akiyama, Keunsik Park, Etsuko Yamaguchi (Nakagami), Hiroyuki Furukawa, Ichiro Sakata, “Linguistic Analysis of Large-Scale Medical Incident Reports for Patient Safety,” *Studies in Health Technology and Informatics*, 査読有, Vol.180 pp.250-254, 2012.

DOI: 10.3233/978-1-61499-101-4-250

[学会発表] (計17件)

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), Gold Coast (Australia), 2014.12.2 (Best Paper Award).

Katsuhide Fujita “Efficient Strategy Adaptation for Complex Multi-times Bilateral Negotiations,” 7th IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA 2014), Kunibiki Messe, Matsue (Shimane), 2014.11.19.

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), Kunibiki Messe, Matsue (Shimane), 2014.11.17.

Masanori Ikarashi, Katsuhide Fujita, “Compromising Strategy using Weighted Counting in Multi-times Negotiations,” 2nd International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence (ICSCAI 2014), Kitakyushu Convention Center, Kitakyushu (Fukuoka), 2014.9.2.

Hisato Fujimagari, Katsuhide Fujita “Detecting Research Fronts using Neural Network Model for Weighted Citation Network Analysis,” 5th International Conference on E-Service and Knowledge Management (ESKM 2014), Kitakyushu Convention Center, Kitakyushu (Fukuoka), 2014.9.1.

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)*, Paris (France), 2014.5.7.

Katsuhide Fujita, “Compromising Strategy based on Conflict Mode for Multi-times Bilateral Closed Negotiations,” *The Seventh International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2014)*, Paris (France), 2014.5.6.

Katsuhide Fujita, “Automated Negotiating Agent with Strategy Adaptation for Multi-times Negotiations,” *IEEE International Conference on Service Oriented Computing & Applications (SOCA 2013)*, Hawaii (U.S.), 2013.12.16.

Katsuhide Fujita, "Efficient Automated Negotiation Approach for non-monotonic utility based on Tree Representations," 1st International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence (ICSCAI 2013), Kunibiki Messe, Matsue (Shimane), 2013.9.1.

Katsuhide Fujita, Masanori Akiyama, Nobuyuki Toyama, Yasuko Kamemori, “Detecting Effective Classes of Medical Incident Reports based on Linguistic Analysis for Common Reporting System in Japan,” 14th World Congress on Medical and Health Informatics (MedInfo2013), Copenhagen (Denmark), 2013.8.22.

Masanori Akiyama, Katsuhide Fujita, "How to improve patient safety by text mining with medical incident reports: Innovative technologies using e-health and health technology assessment," 2013 Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Vancouver (Canada), 2013.7.30.

Katsuhide Fujita "Automated Mediation Technologies for Non-monotonic Utility Function based on Tree-Height Adjustments" The 6th International Workshop on Agent-based Complex Automated Negotiations (ACAN2013), Minnesota (U.S.), 2013.5.6.

Katsuhide Fujita, "Finding linkage between sustainability science and technologies based on citation network analysis." In the Proceedings of IEEE International Conference on Service Oriented Computing & Applications (SOCA 2012), Taipei (Taiwan), 2012.12.17.

Katsuhide Fujita, Yuya Kajikawa, Junichiro Mori, Ichiro Sakata, "Detecting Research Fronts using Citation Network Analysis," INFORMS Annual Meeting 2012, Phenix (U.S.), 2012.10.15.

Katsuhide Fujita, Yuya Kajikawa, Junichiro Mori, Ichiro Sakata, "Detecting Research Fronts Using Different Types of Combinational Citation," 17th International Conference on Science and Technology Indicators (STI 2012), Montreal (Canada), 2012.9.6.

Katsuhide Fujita, Masanori Akiyama, Keunsik Park, Etsuko Yamaguchi (Nakagami), Hiroyuki Furukawa, and Ichiro Sakata, "Detecting Effective Categories of Medical Incident Reports for Patient Safety Management" 2012 Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Vancouver (Canada), 2012.8.1.

Katsuhide Fujita, Yuya Kajikawa, Junichiro Mori, Ichiro Sakata, "Detecting Research Fronts Using Different Types of Weighted Citation Networks", 2012 Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Vancouver (Canada), 2012.7.30.

Frontier in Agent-based Complex Automated Negotiation, 2015, 150 (pp.59-72, pp.137-142)

(その他)

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~katfujii/>

<http://katfujii.lab.tuat.ac.jp>

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

(図書) (計1件)

Katsuhide Fujita, Takayuki Ito, Minjie Zhang, Valentin Robu, Springer, Next