

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：82657

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800048

研究課題名(和文)分散/制約最適化問題に基づく提携構造形成問題の解法

研究課題名(英文)Algorithm for Distributed Constraint Optimization based Coalition Structure Generation

研究代表者

沖本 天太 (Okimoto, Tenda)

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構(新領域融合研究センター及びライフサイ・新領域融合研究センター)・特任助教

研究者番号：10632432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円、(間接経費) 330,000円

研究成果の概要(和文)：協力ゲーム理論は利己的に行動するエージェント間で拘束力のある合意が可能な場合のエージェントの振る舞いに関する理論である。本研究では、提携構造、提携内の利得の配分、提携内での行動の最適化という独立した問題を同時解決するアルゴリズムの開発を最終目標とし、その基礎技術となる多目的分散制約最適化理論を用いて、従来独立に考えられてきた異なる問題を同時に解決できるアルゴリズムの開発・実装を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, as an initial step toward developing an algorithm that solves (i) coalition structure generation, (ii) division of profit among coalitions, and (iii) optimal actions of agents in coalitions, simultaneously. Using the multi-objective distributed constraint optimization techniques, we developed several algorithms for solving these problems that are considered independently, and also some empirical results are provided.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：人間情報学・知能情報学

キーワード：マルチエージェントシステム 分散制約最適化問題 協力ゲーム 提携構造形成問題 アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

(1) 協力ゲーム理論は利己的に行動する主体(エージェント)間で拘束力のある合意が可能な場合のエージェントの振る舞いに関する理論であり、(i)複数のエージェントがどのような協力関係(提携)を形成するかという問題(提携構造形成問題)と、(ii)提携によって得られた利益(利得)をどのように分配するかという問題(提携型ゲームの解概念)を対象とするフォン・ノイマン以来の伝統ある研究分野である。従来、協力ゲーム理論は議会における政党の影響力の分析や公共施設の費用分担問題などに応用されていたが、ネットワークの発展により適用分野が拡大している。

(2) 従来研究では、(i)提携構造形成、(ii)提携内の利得の配分、(iii)提携内での行動の最適化は独立な問題として、逐次的に解決され得るものと考えられてきた。しかし、(i)-(iii)の問題は相互依存しており、例えば、(iii)を解けなければ、提携の利得が分からないため、(i)、(ii)を解くことは不可能となる。よって、これらの3つの問題を同時に解決する方法が必要となる。近年、分散制約最適化問題に基づく提携構造形成問題を解く、すなわち、(i)と(iii)を同時解決する手法が提案された。しかしながら、この手法は膨大な計算量を必要とし、実際の事例への応用が困難である。

2. 研究の目的

本研究では、従来の協力ゲーム理論において、独立に考えられてきた3つの問題(i)提携構造形成、(ii)提携内の利得の配分、(iii)提携内での行動の最適化を同時解決するアルゴリズムの開発を目標とした。協力ゲーム理論は利己的に行動する主体(エージェント)間で拘束力のある合意が可能な場合のエージェントの振る舞いに関する理論であり、ネットワークの発展により適用分野が拡大している。これら3つの各問題は密に関連しているにも関わらず、問題毎に求解するアルゴリズムしか存在しておらず、非効率的であり、大規模

な問題に対応できなかった。そこで、本研究では、効率的に、これらの問題を同時解決するアルゴリズムの開発を最終目的とした。

3. 研究の方法

(1) 分散/制約最適化問題に基づく提携構造形成問題において、提携構造形成と提携内での行動の最適化を効率的に同時解決する集中型アルゴリズムの開発・実装を行う。さらに、複数の評価基準を同時に考慮した多目的(分散)制約最適化アルゴリズムの開発を行う。

(2) 集中型アルゴリズムを分散型へ拡張する。

(3) 提携構造形成、提携内での行動の最適化に加え、提携内での利得配分を同時解決するアルゴリズムを開発する。具体的には、(1)及び(2)により得られた多目的分散制約最適化アルゴリズムの効率化を行い、既存のアルゴリズムとの比較評価を行う。この技術により、従来独立に考えられてきた異なる問題を同時に解決できるアルゴリズムを開発する。

4. 研究成果

(1) 初年度の主な研究成果として、高速なハイブリッド型の分散制約最適化アルゴリズムの開発を挙げる。当初の研究目標は、集中型/分散型の制約最適化問題に基づく提携構造形成問題を効率的に同時解決するアルゴリズムの開発・実装を挙げていた。提携構造形成問題は分散制約最適化問題として定式化でき、初年度は、その第一歩となる効率的な分散制約最適化アルゴリズムの開発を行った。分散制約最適化問題では、擬似木に基づく探索型の厳密なアルゴリズム(最適解を保証するアルゴリズム)の開発が重要である。これらのアルゴリズムにおけるメモリ使用量は、変数の数に対して多項式のオーダーで抑えられるが、最適解を求めるのに多くの時間を要するという問題点がある。そのため、分散制約最適化問題では、どのようにして、擬似木に基づく探索型の厳密なアルゴリズムの実行時間を短縮するかが重要な課題となっている。本研究

では、探索型の代表的な厳密なアルゴリズムと非厳密な近似アルゴリズムを組合せたハイブリッド型のアルゴリズムを提案し、本アルゴリズムが既存の state-of-the-artな探索型の厳密なアルゴリズムと比べ、より高速に求解可能であることを実験的に示した。

(2)本研究では、提携構造、提携内の利得の配分、提携内での行動の最適化という独立した問題を同時解決するアルゴリズムの開発を最終目標としており、平成25年度は、その基礎技術となる多目的分散制約最適化アルゴリズムの開発・実装を主に行った。実世界に存在する様々な最適化問題では、異なる評価基準、例えば、最適な提携構造、利得の配分、提携内での行動を同時に考慮する場合が存在する。多目的分散制約最適化問題とは、複数の評価基準が存在する分散制約最適化問題である。提携構造形成問題は分散制約最適化問題として定式化が可能であり、平成25年度は、この問題を多目的へと拡張した問題のモデル化及び、この問題を解くアルゴリズムの開発・実装を行った。従来の単一の分散制約最適化問題と違い、多目的分散制約最適化問題では、一般には、複数の異なる目的関数間にトレードオフの関係があるため、すべての目的関数を同時に最適化するような解は存在しない。そのため、多目的分散制約最適化問題では、パレート最適性の概念を用いて最適解が特徴付けられる。本研究では、世界に先駆け、複数のアルゴリズムの開発を行った。例えば、すべてのパレート最適解を求解する厳密なアルゴリズム、パレートフロント(パレート最適化によって得られる利得ベクトルの集合)の部分集合を求解する非厳密なアルゴリズム、そしてパレートフロントの近似値を求解する近似アルゴリズム、厳密なアルゴリズムと近似アルゴリズムをハイブリッドしたアルゴリズムを開発し、その有効性を示した。多目的分散制約最適化問題に関する既存研究は少なく、本研究がこの分野に与える影響は大きい

と考える。また、本研究で得られた基礎技術は本研究課題の最終目標に貢献するものである。本応募研究の成果に関して、申請者は平成24年度10月に、IEEE Computer Society Japan Chapter JAWS Young Researcher Award受賞し、翌年9月には、第12回合同エージェントワークショップ&シンポジウム2013(JAWS2013)にて優秀論文賞を受賞した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Alexandre Medi, Tenda Okimoto, Katsumi Inoue, A Two-phase Complete Algorithm for Multi-objective Distributed Constraint Optimization, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, 2014, (採録決定).
- ② 沖本 天太, 櫻井 祐子, 横尾 真, 井上 克巳, 多目的分散制約最適化問題における厳密/非厳密解法の提案, 電子通信学会論文, 査読有, 2013, Vol. J96-D No. 12 pp. 2929-2938, <<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009685311>>
- ③ 沖本 天太, 山本 将, 櫻井 祐子, 横尾 真, 井上 克巳, 分散制約最適化問題: 擬似木に基づくハイブリッド型の解法の提案, 電子通信学会論文, 査読有, 2013, Vol. J96-D No. 12 pp. 2960-2969, <<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009685310>>
- ④ 沖本 天太, ジョ ヨンジョン, 岩崎 敦, 横尾 真, 多目的制約最適化問題における対話型解法の提案, 人工知能学会論文誌, 査読有, 2013, 28(1) pp. 57-66, <http://researchmap.jp/?action=cv_download_main&upload_id=38596>
- ⑤ Tenda Okimoto, Yongjoon Joe, Atsushi Iwasaki, Toshihiro Matsui, Katsutoshi Hirayama, Makoto Yokoo, Interactive Algorithm for Multi-objective Constraint Optimization. 査読有, 2012, In Proceedings of the 18th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, pp. 561-576, <http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-33558-7_41#page-1>

[学会発表] (計 6 件)

- ① Maxime Clement, Lp-norm Based Algorithm for Multi-Objective Distributed Constraint Optimization, The 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent

- Systems, 2014/5/7, (Paris/France)
- ② Tony Ribeiro , Modeling and Algorithm for Dynamic Multi-Objective Weighted Constraint Satisfaction Problem, The 6th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, 2014/2/7, (Angers/France)
 - ③ Tenda Okimoto, AOF-technique based algorithm for Dynamic Multi-Objective Distributed Constraint Optimization, The 7th Multi-Disciplinary International Workshop on Artificial Intelligence, 2013/12/11, (Krabi/Thailand)
 - ④ 沖本 天太, 多目的制約最適化問題：ユーザとの対話型解法の提案, 第11回情報科学技術フォーラム, 2012/9/6, 東京
 - ⑤ 沖本 天太, BnB-ADOPT-p: 分散制約最適化問題におけるハイブリッド型の解法の提案, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム, 2012/10/26, 静岡
 - ⑥ 沖本 天太, 多目的分散制約最適化問題における厳密/非厳密解法の提案, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム, 2012/10/26, 静岡

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沖本 天太 (Okimoto Tenda)

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 (新領域融合研究センター)・新領域融合研究センター・特任助教

研究者番号：10632432