

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19813

研究課題名（和文）多項式階層を登る：2P完全問題への挑戦

研究課題名（英文）Challenge to Sigma-2P complete problems: moving up in the polynomial hierarchy

研究代表者

横尾 真 (Yokoo, Makoto)

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：20380678

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：2P完全と呼ばれる、多項式階層において困難さのレベルがNP完全問題よりも一段階上のクラスの問題の解法の検討を行った。具体的には重み付き部分最大Satisfiability Problemと呼ばれる典型的なNP完全問題を解く際に、敵対者が存在して解の一部を改竄する可能性を考慮し、改竄の影響を最小化する解を求める問題が2P完全となることを示し、この問題を解く厳密アルゴリズムを提案した。研究内容に関しては人工知能分野の難関国際会議で発表を行い、関連シンポジウムで奨励賞を受賞している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

特筆すべき点として、2P完全と呼ばれる、多項式階層において困難さのレベルがNP完全問題よりも一段階上のクラスの問題に関して、近年発展が著しいSATソルバーと呼ばれる効率的な重み付き部分最大SAT問題を解くプログラムをサブルーチンとして用いて、現実的な時間内で最適解を得るアルゴリズムを開発したことがある。このような問題は、敵対者が存在する状況で、敵対者の妨害に対して頑健な解を求めるということに対応し、敵対者が存在するクリーク分割問題等、数多くの応用事例に適用可能である。

研究成果の概要（英文）：In this project, we examine algorithms for solving sigma-2P-complete problems, which belongs to a class of problems that is one step higher than NP-complete problems in polynomial hierarchy. More specifically, we prove that a problem for minimizing the effect of adversarial attacks, when an adversary can modify a part of solutions of a weighted partial Max satisfiability problem, is sigma-2P-complete. Furthermore, we develop an exact algorithm for solving it. This result is published in Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI-2022) as a full paper. Furthermore, we present this work at Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization 2022 Winter Symposium (SMASH22), which is awarded as one of best papers.

研究分野：マルチエージェントシステム

キーワード：2P完全問題 MaxSAT robust solution

1. 研究開始当初の背景

人工知能の研究において、NP 完全と呼ばれる、指数的な可能性の中から望ましい性質を満たす解を試行錯誤的に探索する問題が中心的な役割を果たしている。理論的には効率的な厳密解法は存在しないことが予想されているが、いくつかの問題 (充足可能性問題, 混合整数計画問題等) で大規模な応用事例に対応可能な効率的なプログラム/ソルバーが得られている。

計算複雑性理論において、様々な計算量クラスを定義するために、多項式階層と呼ばれる概念が提案されている^[1]。これは、あるクラスに属する任意の計算問題を定数時間で解くことができるオラクルが与えられたと仮定して、クラス NP と同様な手法で計算量クラスを定義するものである。本計画が対象とするのは、多項式階層を用いて定義された、 Σ_2^P 完全と呼ばれるクラスの計算問題である。クラス Σ_2^P とは、(NP 完全な問題も含む) 任意のクラス NP 問題を定数時間で解くオラクルが存在すると仮定した場合に、解の候補が正しい解かどうかの判定が、多項式時間で可能な問題のクラスである。また、クラス Σ_2^P 完全とは、クラス Σ_2^P 中で、最も難しい問題の集合である。直感的には、 Σ_2^P 完全問題は、指数個の NP 完全問題を解くことによって初めて解が得られる、NP 完全問題よりも格段に難しい問題となる。

2. 研究の目的

本研究では Σ_2^P 完全問題の高速解法の開発を行うことを目標とする。より正確には、答えが yes/no に限定される決定問題を最適化問題に変換する。例えば、和が目標値 α に厳密に等しい部分集合を求めるのではなく、和が目標値 α となるべく近い部分集合を求めることを目的とする最適化問題を定義し、このような最適化問題に対する厳密解法を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、ゲーム理論での知見、特に均衡を求めるための各種の計算技術をヒントとしてアルゴリズムを構成する。具体的には、例えば、攻撃側と防御側で、交互に相手の行動/戦略を固定して最適反応を求めるという処理を繰り返すことにより、近似解を段階的に改善していく方法

を提案する．最適反応を求める際に，近年の進展が著しい，NP 完全問題を解くための各種ソルバーを部品／サブルーチンとして用いる．

4. 研究成果

本研究では重み付き部分最大 Satisfiability Problem (Weighted Partial MaxSAT) と呼ばれる典型的な NP 完全問題（最適化問題としては NP 困難問題）を解く際に，敵対者が存在して解の一部を改竄する可能性を考慮し，改竄の影響を最小化する解を求める問題 (Robust Weighted Partial MaxSAT) が Σ_2^P 完全となることを証明し，この問題を解く厳密アルゴリズムを提案した．具体的には，近年発展が著しい SAT ソルバーと呼ばれる効率的な重み付き部分最大 SAT 問題を解くプログラムをサブルーチンとして用いて，最適解の上界値と下界値を段階的に狭めていくことで最適解を得るアルゴリズムを開発した．本解法の特徴は，防御側の視点での最適化問題と，攻撃側／敵対者側の視点での最適化問題を交互に解くことである．また，クリーク分割問題 (Clique Partition Problem, CPP) と呼ばれる汎用的な問題において，敵対者が存在する Robust CPP が，Robust Weighted Partial MaxSAT として定式化可能であることを示した．この結果は人工知能分野の難関国際会議である Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI-2022) でフルペーパーとして採録されている．また，Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization 2022 Winter Symposium (SMASH22) で発表を行い，奨励賞を受賞している．

本研究の特筆すべき点として，多項式階層において困難さのレベルが NP 完全問題よりも一段階上のクラスの問題に関して，近年発展が著しい SAT ソルバーと呼ばれる効率的な重み付き部分最大 SAT 問題を解くプログラムをサブルーチンとして用いて，現実的な時間内で最適解を得るアルゴリズムを開発したことがある．このような問題は，敵対者が存在する状況で，敵対者の妨害に対して頑健な解を求めるということに対応し，敵対者が存在するクリーク分割問題等，数多くの応用事例に適用可能である

[1] L. J. Stockmeyer, “The polynomial-time hierarchy”, Theoretical Computer Science, 3:1–22, 1976.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sugahara Tomoya, Yamashita Kaito, Barrot Nathanael, Koshimura Miyuki, Yokoo Makoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Robust Weighted Partial Maximum Satisfiability Problem: Challenge to 2P-Complete Problem	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 17-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-20862-1_2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山下魁人, 菅原知也, 越村三幸, 横尾真
2. 発表標題 敵対者が存在する重み付き MaxSAT の定式化と厳密アルゴリズムの提案
3. 学会等名 Symposium on Multi Agent Systems for Harmonization 2022 Winter Symposium (SMASH22)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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
研究協力者	越村 三幸 (Koshimura Miyuki)		

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
---------	---------