

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2014

課題番号：22500007

研究課題名(和文) 離散列挙アルゴリズムの基礎研究

研究課題名(英文) Basic studies on discrete enumeration algorithms

研究代表者

牧野 和久 (Makino, Kazuhisa)

京都大学・数理解析研究所・准教授

研究者番号：60294162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年、情報科学分野ばかりでなく、様々な分野で列挙アルゴリズムが広く用いられており、その重要性が認識されている。本研究では、列挙アルゴリズムの基礎的な研究を行うと同時に、列挙アルゴリズムのアイデアやテクニックを用いることにより、最適化問題やオンライン問題の効率的なアルゴリズム開発を行った。とくに、オンラインバイバック問題などの競合比解析に成功した。

研究成果の概要(英文)：Recently, as well as the field of information science, enumeration algorithms are widely used in various fields, and their importance is recognized. In this study, we investigated basic properties on enumeration algorithms. In addition, we applied several ideas and techniques for enumeration algorithm to the other problem such as optimization and online problems. Especially we have analyzed competing ratio for online buyback problems.

研究分野：アルゴリズム

キーワード：列挙

1. 研究開始当初の背景

近年、情報科学の諸分野で「列挙アルゴリズム」が様々な場面で登場する。たとえば、データマイニングの分野では、相関ルールを効率的に列挙するという研究が行われている。この相関ルール列挙とは、例えば、スーパーマーケットにおいて、顧客の購買データベースから店にとって有益な『顧客の購買ルール』を(沢山)求めるという問題に相当する。有益な『顧客の購買ルール』生成は、スーパーマーケット経営の基本戦略にとって必要不可欠なものとされている。情報科学分野ばかりでなく、例えば、化学分野では、新しい高分子化合物などを作る際に、まず、構造的、幾何的な条件を満たす化合物をまず列挙し、その後列挙したものの中から実験などで目的の性質をもつ化合物を探す、という手法がよく用いられている。

国内・国外の研究動向：このような背景から高速な列挙アルゴリズムの開発は、非常に重要であり、意義深く、古くから盛んに研究が行われており、バックトラック法、逆探索法、単調システムの双対化法、主節列挙法などの列挙技法が開発されている。もっとも単純なバックトラック法は、その単純性から問題の構造の深い考察なしで適応できるため、広く用いられている。1996年に Avis, Fukuda が開発した逆探索法は、解空間を有向木で表現し高速化を図るものであり、その後の様々な研究により、線形計画問題の基底、マトロイドの基、グラフの全域木などの列挙問題へ適用されている。また、本研究代表者が培ってきた単調システムの双対化法や主節列挙法などさまざまな手法が開発されている現状にある。

2. 研究の目的

近年、情報科学分野ばかりでなく、工学、化学、医学など様々な分野で列挙アルゴリズムが広く用いられており、その重要性が認識されている。本研究では、この列挙アルゴリズムの基礎的な研究を行うことで、列挙アルゴリズム理論の構築を目指すとともに、実用的でかつ品質保証された高速な列挙アルゴリズムの開発を行うものである。また、列挙的なアイデアを高速な指数時間アルゴリズムやオンライン問題、ならびに、最適化に適用することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、これまでに開発されてきた列挙技法(バックトラック法、逆探索法、単調システムの双対化法、主節列挙法など)の

改良あるいは拡張の可能性を探るとともに、列挙問題に内在する離散構造の抽出・解析を行い、それを利用することで高速アルゴリズム技法の開発を試みる。計算論的に多項式時間で解くことができないとされる問題に対しては、1990年代にDowney, Fellowsによって考案されたパラメータ化計算量の概念を列挙分野に持ち込み、固定パラメータ効率性やカーネル化について考察し、アルゴリズム技法の開発を目指す。また、その逆に、列挙アイデアをパラメータ化計算量や指数時間アルゴリズム分野などへの適応可能性を考える。これら達成のために、計算機による大規模な実験を行い、構造抽出、また、アルゴリズム評価などを行う

4. 研究成果

本研究で得られた成果のうち代表的な成果のうちいくつかを説明する。

2, あるいは、3次元ユークリッド空間中に点集合が与えられているとき、原点を含む単体を効率するという、計算幾何学における基本的な問題が効率的に解くことができることを示した。(⑥)

効率的な列挙アルゴリズム開発のための手法をほかの問題に適用可能であることを示した。

論理積標準形として与えられるブール関数の解集合が連結であるかどうかを判定する問題を考察した。この問題は、PSPACS完全という計算量的にかなり困難な問題である。この連結性判定問題に対して入力が k -論理積標準形のときに $O((2-c)^n)$ 時間アルゴリズムを構成した。ここで、 c は k に依存する定数、 n は論理関数の次元を示す。(③)

また、計算機科学分野で最も重要な3-充足可能性問題(3-SAT)に対して、現在最速な指数時間アルゴリズムの開発に成功した。これは、解空間を効率的に列挙するというアイデアに基づいている。(⑩)

インターネットなどでのインターラクティブにリグレットを最小化しようというデータベース分野で研究されていた問題に対する実用的なアルゴリズムの構成に成功している。

(⑩)

また、オンライン問題の中で、特に、オンラインナップサックに関連する問題に対してキャンセルコストを考慮に入れたモデルを考察し、さまざま場合において最適な競合比を求め、またそれを達成するオンラインアルゴリズムを構成した。ここで競合比とは、オフラインの下での最適値とオンライン状況下

で達成できる目的関数値の比をいう。(⑨, ⑫, ⑬, ⑰, ⑱など)

それ以外にも, ネットワーク最適化における信頼度を考慮したサーバ配置問題, ゲーム理論における均衡解を求める問題, ロバスト最適化問題への応用など多くの知見を得ている.

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 18 件)

- ① Naonori Kakimura, Kazuhisa Makino: Robust Independence Systems. ICALP (1) 2011: 367-378. 10.1007/978-3-642-22006-7_31
- ② Endre Boros, Khaled M. Elbassioni, Mahmoud Fouz, Vladimir Gurvich, Kazuhisa Makino, Bodo Manthey: Stochastic Mean Payoff Games: Smoothed Analysis and Approximation Schemes. ICALP (1) 2011: 147-158. 10.1007/978-3-642-22006-7_13
- ③ Kazuhisa Makino, Suguru Tamaki, Masaki Yamamoto: An exact algorithm for the Boolean connectivity problem for k-CNF. Theor. Comput. Sci. 412(35): 4613-4618 (2011). 10.1016/j.tcs.2011.04.041
- ④ Hovhannes A. Harutyunyan, Arthur L. Liestman, Kazuhisa Makino, Thomas C. Shermer: Nonadaptive broadcasting in trees. Networks 57(2): 157-168 (2011). 10.1002/net.20396
- ⑤ Khaled M. Elbassioni, Kazuhisa Makino, Imran Rauf: On the readability of monotone Boolean formulae. J. Comb. Optim. 22(3): 293-304 (2011). 10.1007/s10878-009-9283-0
- ⑥ Khaled M. Elbassioni, Amr Elmasry, Kazuhisa Makino: Finding Simplices containing the Origin in Two and Three Dimensions. Int. J. Comput. Geometry Appl. 21(5): 495-506 (2011). 10.1142/S0218195911003779
- ⑦ Endre Boros, Vladimir Gurvich, Kazuhisa Makino, Wei Shao: Nash-solvable two-person symmetric cycle game forms. Discrete Applied Mathematics 159(15): 1461-1487 (2011). 10.1016/j.dam.2011.05.011
- ⑧ Endre Boros, Yves Crama, Peter L. Hammer, Toshihide Ibaraki, Alexander Kogan, Kazuhisa Makino: Logical analysis of data: classification with justification. Annals OR 188(1): 33-61 (2011). 10.1007/s10479-011-0916-1
- ⑨ Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino: Online Knapsack Problem with Removal Cost. COCOON 2012: 61-73. 10.1007/978-3-642-32241-9_6
- ⑩ Danupon Nanongkai, Ashwin Lall, Atish Das Sarma, Kazuhisa Makino: Interactive regret minimization. SIGMOD Conference 2012: 109-120. 10.1145/2213836.2213850
- ⑪ Kazuhisa Makino: Source Location Problems with Flow Requirements. ICNC 2012: 404-406. 10.1109/ICNC.2012.77
- ⑫ Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino: Randomized Algorithms for Removable Online Knapsack Problems. FAW-AAIM 2013: 60-71. 10.1007/978-3-642-38756-2_9
- ⑬ Yasushi Kawase, Xin Han, Kazuhisa Makino: Unit Cost Buyback Problem. ISAAC 2013: 435-445. 10.1007/978-3-642-45030-3_41
- ⑭ Naonori Kakimura, Kazuhisa Makino: Robust Independence Systems. SIAM J. Discrete Math. 27(3): 1257-1273 (2013). 10.1137/120899480
- ⑮ Ryo Fujita, Yusuke Kobayashi, Kazuhisa Makino: Robust Matchings and Matroid Intersections. SIAM J. Discrete Math. 27(3): 1234-1256 (2013). 10.1137/100808800
- ⑯ Kazuhisa Makino, Suguru Tamaki, Masaki Yamamoto: Derandomizing the HSSW Algorithm for 3-SAT. Algorithmica 67(2): 112-124 (2013). 10.1007/s00453-012-9741-4
- ⑰ Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino: Online Unweighted Knapsack Problem with Removal Cost. Algorithmica 70(1): 76-91 (2014). 10.1007/s00453-013-9822-z
- ⑱ Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino, He Guo: Online removable knapsack problem under convex function. Theor. Comput. Sci. 540: 62-69 (2014). 10.1016/j.tcs.2013.09.013

[学会発表] (計 3 件)

- ① Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino キャンセルコスト付きオンライン重みなしナップサック問題, 2013年電子情報通信学会 総合大会, 2013年03月19日~2013年03月22日, 岐阜大学.
- ② Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino キャンセルコスト付きオンラインナップサック問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 秋季研究発表会, 2012年09月12日~2012年09月13日, 名古屋.
- ③ Xin Han, Yasushi Kawase, Kazuhisa Makino キャンセルコスト付きオンラインナップサック問題, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「最適化の理論と応

用」研究部会, 2012年06月30日~2012
年07月01日, 筑波大学.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧野和久 (MAKINO Kazuhisa)
京都大学・数理解析研究所・准教授
研究者番号: 60294162