

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500015

研究課題名(和文) ネットワーク構造への変換に基づくアルゴリズム設計技術

研究課題名(英文) Algorithm design techniques based on transformation into network structure

研究代表者

永持 仁 (NAGAMOCHI, Hiroshi)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：70202231

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：主にグラフ構造を対象として離散最適化問題に対するアルゴリズムを設計する。最大独立点集合問題などNP-困難である幾つかの重要な問題に対して、近似アルゴリズムや厳密アルゴリズムの設計を行った。近似アルゴリズムについてはその近似性能を理論的に解析し、厳密アルゴリズムについては計算量の上界を理論的に解析した。とくに、厳密アルゴリズムの設計においては、シフトによる慣らし解析、カット点对に基づく分解、再帰方程式集合の最大根の導出法など新しいアルゴリズム設計技術を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Our aim is to design algorithms for discrete optimization problems with graph structure. We have obtained approximation algorithms and exact algorithms for several NP-hard but important problems such as the maximum independent set problem. We have theoretically analyzed the approximation ratios of our approximation algorithms and derived upper bounds on the time complexities of our exact algorithms. In particular, for designing exact algorithms, we have devised new design techniques such as amortization by shifts, decomposition by cut-pairs, and how to compute the largest root of a set of recursive equations.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：数理工学 計算機科学 グラフ理論 離散最適化 厳密解法 計算量解析 近似解法

1. 研究開始当初の背景

現代社会を動かしているアルゴリズムのうち、本研究では、情報工学的およびシステム工学的諸問題に対するものを取り扱う。スケジューリング、ネットワーキング、マイニング、ケモインフォマテクスなどに現れる多くの問題は、離散最適化問題として定式化できるものが少なくない。離散最適化問題への定式化によって、問題の持つ計算の複雑さの解明や、高度な数学的手続きの利用が行い易くなる。しかし、複雑な要求条件を含む現実問題を直接的に定式化した場合、NP 困難な問題（入力データ長の多項式的な計算時間で最適解が得られそうにない問題）のクラスに入るのはもちろんのこと、分枝限定法や整数計画法といった汎用的手法しか適用できそうにない状況に陥る。通常それらを単純に適用するだけでは、効率の良いアルゴリズムを得ることがほとんど期待できない。これまで、出力解の品質に理論保証があり、かつ効率がよいアルゴリズムを設計する努力の多くは、問題個別に注ぎ込まれてきた。ある問題を効率的に解くアルゴリズムは、その問題の固有の特徴を巧妙に活用するがゆえに、他の問題への転用が困難であったり、転用しても同程度の効率や品質を維持できなかったりする。

2. 研究の目的

本研究では、広範な現実問題が共有するグラフ構造やネットワーク構造を抽出し、それらの特性を定式化の段階で統一的に組み入れることを試みる。そして、アルゴリズムを問題個別に設計するのではなく、共有グラフ構造や共有ネットワーク構造を有する重要な問題に対するアルゴリズムを構築することによって、汎用性が高く、かつ、効率や品質にも理論保証が得られるようなアルゴリズム設計技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、広範な現実問題が共有するグラフ構造やネットワーク構造を抽出すること

によって、汎用性が高く、かつ、効率や品質にも理論保証が得られるようなアルゴリズム設計技術の確立を目指す。その目的を達成するために、以下の事項を検討していく。

(1) グラフアルゴリズムの更なる高性能化の可能性、(2) グラフアルゴリズムの分類法、(3) 応用問題に対する専用アルゴリズムの近似性能、(4) ネットワーク構造の抽出手法、(5) ネットワーク変換によるアルゴリズム設計、(6) ネットワーク変換によって設計したアルゴリズムの性能評価。

4. 研究成果

(1) スケジューリング問題に関する成果。京都工芸繊維大の軽野准教授とともに、プリント基盤の支持ピン位置のスケジューリング問題をグラフモデルでの最適化問題として定式化し、種々の定数倍近似アルゴリズムを構築した。また、いくつかの提案法については実験的な検証も行い、その実用的有効性を確かめた。提案のモデルは、配置決定とスケジュール選択を組み合わせた特徴を持つ。(2) グラフ描画に関する成果。

シドニー大学 Hong 教授と共に、描画の際の枝交差を最小にする問題に対する近似アルゴリズム、グラフの直線描画における凹角数を最小化する線形時間アルゴリズム、凸多面体の頂点・稜線のグラフ構造の特徴付け (Steinitz の定理) を非凸な多面体への拡張した理論などの成果を得ることができた。これらは情報の可視化技術の基礎を拡充する上で重要な成果である。

(3) 図形の充填問題に関する成果。

平面上で複数の矩形図形を矩形上容器に充填する問題に対する厳密アルゴリズムの性能を高める理論を提案した論文が出版された。論文中で実装したプログラムは現在世界最速の性能を発揮している。この他、平面図形の円被覆による近似問題に対してアルゴリズムを設計し、理論的な性能評価を行った。

(4) NP-困難なグラフ問題に対する厳密アルゴリズムの設計に関する成果 .

NP-困難な問題に対しては、近年、指数時間の計算量であっても、より高速な厳密アルゴリズムを設計する研究が実用面と基礎理論の両面から精力的に進められている。本研究においても、トラベリングセールスマン問題、独立点集合問題、支配枝集合問題、部分帰還枝問題、帰還点問題に対して、中国の電子科技大学の肖 鳴宇 助教授とともに、一般グラフの場合や次数制限グラフの場合において最速の多項式領域アルゴリズムを提案した。従来は、これらの問題に対する厳密アルゴリズムの計算量を縮めるために、分枝規則の複雑化が行われていたが、その結果、アルゴリズムが何万もの分枝規則の集まりになってしまうことがある。本研究ではグラフ構造に関する新しい概念を導入することで分枝規則を簡素化しつつ高性能なアルゴリズムを設計することができた。本研究を通じて、三つの新しいアルゴリズム設計手法を見出した。一つは、シフトと呼ぶ「ならし計算量」の技法であり、これにより分枝限定法で現れる漸化式の解析をより精密に行うことができる。二つ目は、組み合わせ的な数になる漸化式の本数を変数の個数程度に減らす漸化式生成法である。三つめは、カット点、カット点对に基づいたグラフの分解による指数時間アルゴリズムの高速化である。目指していた設計技術の発展に成功した。

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 20 件)

M. Xiao, H. Nagamochi :

Parameterized edge dominating set in graphs with degree bounded by 3, Theoretical Computer Science, 査読有、508: 2-15 (2013).

DOI: 10.1016/j.tcs.2012.08.015

M. Xiao, H. Nagamochi :

Exact algorithms for annotated edge dominating set in graphs with degree bounded by 3, 査読有、IEICE Transactions, Vol.E96-D No.3 pp.408-418, 2013.

DOI :10.1587/transinf.E96.D.408

A. Shurbevski, H. Nagamochi, Y. Karuno : Better Approximation Algorithms for Grasp-and- Delivery Robot Routing Problems, IEICE Transactions, 査読有、Vol.E96-D No.3 pp.450-456, 2013.

DOI :10.1587/transinf.E96.D.450

M. Xiao, T. Fukunaga, H. Nagamochi : FPTASs for trimming weighted trees, Theoretical Computer Science , 査読有、469: 105-118 (2013).

DOI: 10.1016/j.tcs.2012.09.024

M. Xiao, H. Nagamochi : Confining sets and avoiding bottleneck cases: A simple maximum independent set algorithm in degree-3 graphs, Theoretical Computer Science , 査読有、469: 92-104 (2013).

DOI: 10.1016/j.tcs.2012.09.022

S.-H. Hong, H. Nagamochi : Minimum cost star-shaped drawings of plane graphs with a fixed embedding and concave corner constraints, Theoretical Computer Science , 査読有、445, 36-51 (2012).

DOI: 10.1016/j.tcs.2012.05.011

Y. Arahori, T. Imamichi, H. Nagamochi : An exact strip packing algorithm based on canonical forms, Computers and Operations Research, 査読有、Volume 39, Issue 12, December 2012, Pages 2991-3011.

DOI: 10.1016/j.cor.2012.03.003

T. Imada, H. Nagamochi : Indexing all rooted subgraphs of a rooted graph, IEICE Transactions, 査読有、95-D(3): 712-721 (2012). DOI: 10.1587/transinf.E95.D.712

S.-H. Hong H. Nagamochi :

A linear-time algorithm for star-shaped drawings of planar graphs with the minimum number of concave corners, *Algorithmica*, 査読有、 62: 1122-1158 (2012).

DOI : 10.1007/s00453-011-9513-6

K. Okumoto, T. Fukunaga, H. Nagamochi

Divide-and-conquer algorithms for partitioning hypergraphs and submodular systems, *Algorithmica*, 査読有、 62:787-806 (2012).

DOI : 10.1007/s00453-010-9483-0

M. Xiao, H. Nagamochi

An FPT algorithm for edge subset feedback edge set, *Inf. Process. Lett.* 査読有、 vol. 112, no. 1-2, pp. 5-9 (2012).

DOI: 10.1016/j.ipl.2011.10.007

H. Aota, T. Fukunaga, H. Nagamochi

An approximation algorithm for locating maximal disks within convex polygons, *International Journal of Computational Geometry and Applications (IJCGA)* 査読有、 Volume: 21, Issue: 6 (2011) pp. 661-684.

DOI: 10.1142/S0218195911003858

Y. Karuno, S. Imahori, H. Nagamochi, X. Wang, *Kansei engineering, humans and computers: Efficient dynamic programming algorithms for combinatorial food packing problems*, *International Journal of Biometrics*, 査読有、 3/3 (2011) 228-245.

DOI 10.1504/IJBM.2011.040817

S. Karakawa, E. Morsy, H. Nagamochi

Minmax tree cover in the Euclidean space, *J. Graph Algorithms Appl.* 査読有、 15(3): 345-371 (2011). DOI: 10.7155/jgaa.00230

S.-H. Hong, H. Nagamochi Extending Steinitz's theorem to upward star-shaped polyhedra and spherical polyhedra, *Algorithmica*, 査読有、 61(4): 1022-1076 (2011). DOI:10.1007/s00453-011-9570-x

Y. Karuno, H. Nagamochi, A. Shurbevski

An approximation algorithm with factor two for a repetitive routing problem of grasp-and-delivery robots, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 査読有、 Vol.15 No.8, pp. 1103-1108, 2011.

URL:<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=JACII001500080018.xml>

K. Matsumoto, S. Umetani, H. Nagamochi

On the one-dimensional stock cutting problem in the paper tube industry, *Journal of Scheduling*, 査読有、 14(3): 281-290 (2011).

DOI:10.1007/s10951-010-0164-2

T. Ibaraki, T. Imamichi, Y. Koga, H. Nagamochi, K. Nonobe, M. Yagiura

Efficient branch-and-bound algorithms for weighted MAX-2-SAT, *Mathematical Programming A*, 査読有、 127, 2, 297-343 (2011). DOI : 10.1007/s10107-009-0285-6

E. Morsy, H. Nagamochi

Approximating capacitated tree-routings in networks, *Journal of Combinatorial Optimization*, 査読有、 21(2) (2011) 254-267. DOI : 10.1007/s10878-009-9238-5

H. Nagamochi

Cop-robber guarding game with cycle robber region, *Theoretical Computer Science*, 査読有、 412 (2011) 383-390.

DOI : 10.1007/978-3-642-02270-8_10

[学会発表](計 21 件)

Y Aleksandar Shurbevski and Hiroshi Nagamochi : Packing for robot motion planning , In 11th ESICUP Meeting, 20 March, 2014 China

M. Xiao, H. Nagamochi :

An exact algorithm for maximum independent set, The 24th International Symposium on

Algorithms and Computation, December 17, 2013, Hong Kong,

M. Xiao, H. Nagamochi : An improved exact algorithm for undirected feedback vertex set, The 7th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCO'A'13), December 12, 2013, in Chengdu, China,

A. Shurbevski, H. Nagamochi, Y. Karuno : The repetitive routing problem revisited: a new constant factor approximation algorithm for an asymmetric cost function case, the 11th International Conference on Electronics, Telecommunications, Automation, and Informatics - ETAI 2013, September 26, 2013, Ohrid, Macedonia

A. Shurbevski, N. Hirose, H. Nagamochi : Optimization techniques for robot path planning The 5th ICT Innovations Conference, 2013, September 12-15, Ohrid, Macedonia

M. Xiao, H. Nagamochi : An exact algorithm for maximum independent set in degree-5 graphs, The Seventh International Frontiers of Algorithmics Workshop, June 26-28, 2013, Dalian, China

M. Xiao, H. Nagamochi : An exact algorithm for TSP in degree-3 graphs via circuit procedure and amortization on connectivity structure, The 10th annual conference on Theory and Applications of Models of Computation, 20 May 2013, Hong Kong, China

H. Nagamochi Linear Layouts in Submodular Systems, the 23rd International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2012), December 21, 2012, Taiwan

M. Xiao, H. Nagamochi

An improved exact algorithm for TSP in degree-4 graphs, The 18th International Computing and Combinatorics Conference (COCOON'2012) August 20, 2012, Sydney, Australia,

K. Ibara, H. Nagamochi Characterizing mechanisms in obnoxious facility game, The 6th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCO'A'12), August 9, 2012, Banff, Canada

A. Shurbevski, H. Nagamochi, Y. Karuno Improved approximation ratio algorithms for grasp-and-delivery robot routing problems, The 15th Japan-Korea Joint Workshop on Algorithms and Computation, July 10, 2012, Tokyo, Japan,

M. Xiao, H. Nagamochi A refined exact algorithm for edge dominating set, 9th annual conference on Theory and Applications of Models of Computation (TAMC2012), 16-21 May 2012, Beijing, China

C. Zhang, H. Nagamochi The next-to-shortest path in undirected graphs with nonnegative weights, In Proc. Computing: The Australasian Theory Symposium (CATS 2012), 1 February, 2012, Melbourne, Australia.

A. Shurbevski, H. Nagamochi, Y. Karuno Heuristics for a repetitive routing problem of a single grasp-and-delivery robot with an asymmetric edge cost function, The 10th International Conference on Electronics, Telecommunications, Automation, and Informatics - ETAI 2011, September 16-20, 2011. Ohrid, Macedonia

M. Xiao, H. Nagamochi

Further improvement on maximum independent set in degree-4 graphs, The 5th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCOA'11), August 4, 2011, Zhangjiajie, China,

Y. Karuno, H. Nagamochi

Network transformation heuristics for multi-story storage rack problems, International Symposium on Scheduling 2011, July 2-4, 2011 Osaka,

A. Shurbevski, Y. Karuno, H. Nagamochi

Improved implementation of an approximation algorithm with factor two for a cyclic routing problem of grasp-and-delivery robots, International Symposium on Scheduling 2011, July 2-4, 2011 Osaka,

Y. Karuno, H. Nagamochi, A. Shurbevski
Approximating cyclic routing problems of grasp-and-delivery robots in production of printed circuit boards, International Symposium on Scheduling 2011, July 2-4, 2011 Osaka

T. Hasunuma, H. Nagamochi

Improved bounds for minimum fault-tolerant gossip graphs, 37th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, June 21, 2011, Czechoslovakia,

M. Xiao, H. Nagamochi

Parameterized edge dominating set in cubic graphs, the Fifth International Frontiers of Algorithmics Workshop and The Seventh International Conference on Algorithmic Aspects of Information and Management, May 30, 2011 China

① L. Zhao, P. Eumthurapojn, H. Nagamochi

A practical speed-up technique for A* algorithms, the 4th Annual Meeting of the Asian Association for Algorithms and Computation (AAAC 2011), April 16-17, 2011. Hsinchu, Taiwan,

〔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:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

URL: <http://www-or.amp.i.kyoto-u.ac.jp/members/nag/>

URL: <http://www-or.amp.i.kyoto-u.ac.jp/members/nag/index-e.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永持 仁 (NAGAMOCHI, Hiroshi)

京都大学・大学院情報学研究科・教授

研究者番号: 70202231

(2) 研究分担者

趙 亮 (ZHAO, Liang)

京都大学・大学院情報学研究科・講師

研究者番号: 90344902

(3) 研究分担者

福永拓郎 (FUKUNAGA, Takuro)

国立情報学研究所・ビッグデータ数理国際研究センター・准教授

研究者番号: 60452314

(4) 連携研究者

()

研究者番号: