

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330281

研究課題名(和文) 超大規模な配置決定問題に対する革新的アルゴリズムの開発

研究課題名(英文) Development of an Innovative Algorithm for Huge Scale Placement Problems

研究代表者

外山 史 (TOYAMA, FUBITO)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60323317

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、従来取り扱うことのできなかつた、超大規模配置決定問題に対する革新的アルゴリズムについての検討を行った。これまでに配置決定問題に対する多くのメタ戦略アルゴリズムが提案されているが、本研究で対象とするような超対規模な問題への適用例はほとんどない。本研究では、超大規模問題に特化したアルゴリズムを提案し、超大規模な2次割り当て問題に対して従来手法との比較を行い、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)：In this study, we proposed a new algorithm for huge scale placement problems. Many metaheuristics have been proposed for placement problems. But these metaheuristics have been only applied to small scale placement problems. In our research, a new metaheuristic algorithm specialized for huge scale placement problem was proposed. In our experiments, the computational results showed that the proposed method outperformed previous methods for huge scale quadratic assignment problems.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：メタ戦略 組合せ最適化

## 1. 研究開始当初の背景

配置決定問題は、2次割当問題などの代表的な組合せ最適化問題に見られるように、重要で基本的な問題である。更に、スケジューリング、LSI設計、施設配置、物流の配送計画、マイクロレイのレイアウト、DNA配置決定、ネットワーク配置の最適化など、社会に現れる実用上重要な問題が多数存在する。これら配置決定問題の多くは、取り扱う問題の規模が大きい場合に厳密な最適解を求めることが極めて困難であるNP困難な問題として、計算の複雑さの理論により明らかにされてきた。このようなNP困難な問題に対して、現実的な時間内にできるだけよい近似解を求めることを目的とした、遺伝的アルゴリズム、アニーリング法、タブー探索法などに代表されるメタ戦略を用いた手法が数多く提案されている。一方、近年、計算機性能の進化やインターネットの発展など、情報技術の急速な発展や、経済のグローバル化に伴い、配置決定問題における実用上重要な問題はますます大規模化・複雑化してきている。このような大規模化する問題に対応するために、様々なメタ戦略アルゴリズムが提案されている。しかし、大規模配置決定問題に対する従来手法のほとんどが、従来扱われてきた問題サイズ(要素数)の数倍程度の大きさしか扱っておらず、数十倍から数百倍ものサイズを取り扱っている研究はほとんどない。その理由として、問題サイズが数十倍になると解空間が莫大となってしまう、シンプルな局所探索ですら局所解を見つけることができないため、局所探索の繰り返しや多点探索をベースとしている遺伝的アルゴリズムのようなメタ戦略を用いた手法は一切通用しなくなってしまうためである。したがって、従来にはない新しい枠組みでのアルゴリズム開発が不可欠となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、1.で述べた背景の下、超大規模かつ複雑な配置決定問題に対する、新しいアルゴリズムの開発を行い、様々な実用上重要な応用問題へ適用することを目的とする。我々はこれまでに、2010-2012年度若手研究(B)において、大規模な配置決定問題に対するメタ戦略アルゴリズムを開発し、その有効性を示している。本研究では、これまでの研究で得られた知見をベースに、超大規模問題に適したアルゴリズムの開発を行う。本研究で対象とする配置決定問題は、2次割当問題(Quadratic Assignment Problem, QAP)とした。QAPは、配置決定問題における代表的な組合せ最適化問題の一つであり、施設配置問題やVLSIのセル配置問題など、応用範囲の広い問題として知られている。QAPとは、2つの $n \times n$ 正方行列 $A = [a_{ij}]$ と $B = [b_{kl}]$ が与えられたとき、式(1)に示す目的関数の値(評価値)を最小にする解順列を求める問題である。ただし、解順列は $n$ 個の整数

$\{1, \dots, n\}$ からなる。

$$F(\pi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} b_{\pi(i)\pi(j)} \quad (1)$$

ここで、行列Aはフロー行列、行列Bは距離行列と呼ばれる。また、QAPの問題のサイズは $n$ によって表される。QAPのベンチマーク問題はQAPLIBで公開されており、多くの論文では、このベンチマーク問題を用いて手法の性能を評価している。QAPLIBで提供されているQAPベンチマーク問題のうち、サイズが最大のものはtai256cで、 $n=256$ である。本研究ではこれらのサイズを超える非常に大規模な問題として、 $n=1000$ から $n=5000$ のランダムな問題を作成し、これらの問題に対する提案手法の有効性の検討を行う。

## 3. 研究の方法

我々のこれまでの研究では、QAPに対する頑健な手法として知られる、TaillardによるRobust Tabu Search (RoTS)を適用する処理と差分リストの構成処理を同時に行い、解探索を進めることで、超大規模問題に対応したアルゴリズム開発を行っている。ここで、差分リストとは現在解とその2つの要素を交換して得られる解(2-opt近傍解)との評価値の差をリスト化したものである。超大規模な問題では、この差分リストの作成に非常に多くの時間を要するため、差分リストを作成しながら解探索を行う手法を提案している。しかし、この手法では、差分リスト作成中の探索において、リストに登録した際の近傍解にしか遷移しないため、登録済みの差分評価値を有効活用できていない。そこで、本研究では差分リスト作成中の探索において、動的に変化する近傍である可変部分近傍を定義し、最良移動戦略を用いることで効率的な解探索を実現する。可変部分近傍とは、差分リスト作成中の不完全な2-opt近傍を差分リスト完成後の完全な2-opt近傍の部分集合として定義し、このサイズ(要素数)を差分リストの完成度に応じて動的に変化させるものである。差分リスト完成時には、可変部分近傍のサイズは完全な2-opt近傍と同じになる。解探索において、解を遷移させるために差分リストの更新処理を行う必要があり、この処理が計算コストを増大させる原因となる。しかし、差分リストの更新処理は登録されている要素数が少ないほど低い計算コストでの実行が可能のため、差分リスト作成の序盤ほど頻りに解の遷移を行い、終盤になるにつれて抑制することで、差分リスト作成の処理全体での計算コストを削減できる。可変部分近傍は、この解を遷移させる頻度を調整させるために導入している。

提案手法の処理の流れを図1に示す。図1において、差分リストが完成しているかどうかの分岐後、左側の処理が差分リストの構成ステップであり、右側の処理がRoTS適用のステップである。差分リスト完成前は左側の

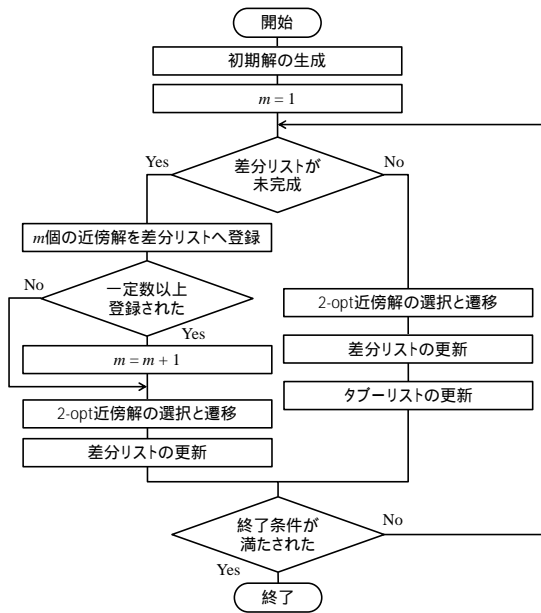


図1 提案手法の処理の流れ

処理を、差分リストが完成すると右側の処理を探索の終了条件が満たされるまで繰り返す。

#### 4. 研究成果

超大規模な QAP における提案手法の有効性を確認するため実験を行った。実験に用いた問題は  $n=1000$  から  $n=5000$  までのサイズの異なる 5 種類とした。フロー行列、距離行列は、対角成分が 0 となる対称行列とし、各要素の値が 0 から 31 となるようにランダムに割り当てることによって作成した。比較手法は、Taillard による RoTS および即時移動戦略を用いた 2-opt 局所探索(2-opt-F)、我々が開発してきた手法(以下従来手法とする)とした。2-opt-F は、差分リストを作成しないシンプルな手法であり、近傍解をランダムに選択し、現在の解を改善する解なら遷移を行う動作を繰り返す手法である。それぞれの問題で、初期解は  $n$  個の整数  $\{1, 2, \dots, n\}$  をランダムに並べた順列とした。試行回数はすべての問題に対して 10 回ずつとし、試行ごとの終了条件は  $n/2000$  時間 (1.8n 秒) が経過するまでとした。実験に使用した計算機はすべて同じである (CPU: Intel (R) Xeon (R) E5-2660 2:20 GHz, メモリ: 192 GB)。また、プログラムはすべて C++ 言語で記述し、コンパイラは gcc4.8.5 を使い、-O3 オプションを付与して実行ファイルを生成した。

提案手法と他手法の解の評価値を比較した結果を表 1 に示す。表 1 において、 $n$  は問題サイズであり、評価値は値が小さいほど優良な解であることを示す。最良評価値は各問題のすべての試行において、評価値が最良であったものである。また、評価値の差は各手法の評価値の平均から最良評価値を引いた差を表しており、0 に近いほど優良な結果が得られていることを示す。5 題ある問題のすべてにおいて、提案手法が最も優良な結果と

表 1 他手法との比較結果

n	最良評価値	評価値の差			
		RoTS	2-opt-F	従来手法	提案手法
1000	48351870	$179 \times 10^3$	$1985 \times 10^3$	$219 \times 10^3$	$165 \times 10^3$
2000	208147658	$287 \times 10^3$	$4547 \times 10^3$	$1947 \times 10^3$	$265 \times 10^3$
3000	484594524	$988 \times 10^3$	$7733 \times 10^3$	$3184 \times 10^3$	$401 \times 10^3$
4000	880298800	$2537 \times 10^3$	$9779 \times 10^3$	$2537 \times 10^3$	$276 \times 10^3$
5000	1394598400	$8324 \times 10^3$	$12070 \times 10^3$	$3537 \times 10^3$	$486 \times 10^3$

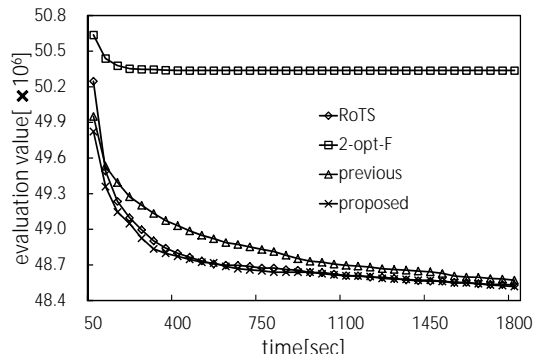


図2  $n=1000$  における最良解の推移

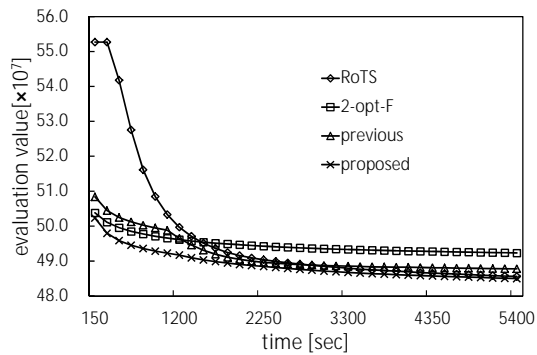


図3  $n=3000$  における最良解の推移

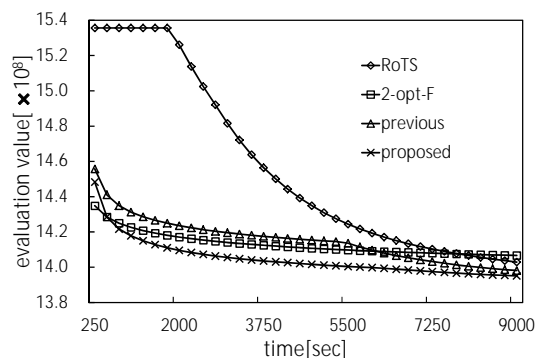


図4  $n=5000$  における最良解の推移

なっている。

次に  $n=1000$ ,  $n=3000$ ,  $n=5000$  の問題における、各手法の処理時間に対する最良解の評価値の推移を調べた結果を図 2 から図 4 に示す。グラフは、横軸が探索の経過時間、縦軸が横軸に示される時間までに得られた最良解の評価値を示している。グラフより、提案手法と RoTS、従来手法では、問題サイズが大きな問題ほど評価値に差が表れているのが確認できる。また、図 4 のグラフより従来手

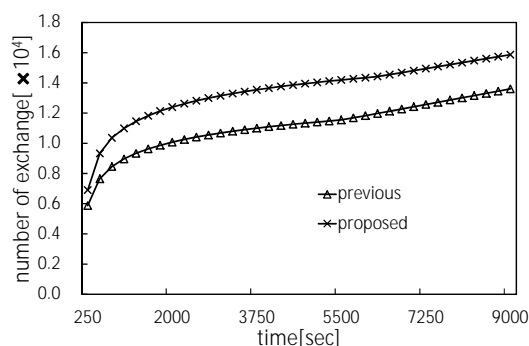


図5 n=5000における解の遷移回数の推移

法では差分リストが完成した(5500sec)直後から評価値が急激に改善されているが、これは従来手法の差分リスト構成中の探索における解の遷移条件が即時移動戦略の2-opt局所探索と似ているためだと考えられる。リスト完成後にRoTSと同様の処理に切り替わり、この時点で最良移動戦略を用いた2-opt局所探索が可能となることから、リスト作成中の探索において十分な探索が行えていないと考えられる。一方で、提案手法では差分リスト完成の前後において評価値の急激な変化は見られない。これは、可変部分近傍を用いることで、リスト作成中の探索においても最良移動戦略を用いた2-opt局所探索を使用することができることが要因であると考えられる。

次に、問題サイズ n=5000 の問題における解の遷移回数を調べた結果を図5に示す。値は10回行った試行の平均値である。グラフの横軸は探索の経過時間、縦軸は横軸に示される時間までの遷移回数の累計を示す。図5より、探索開始時には頻りに遷移を行い、差分リストが完成するにしたがってその頻度が下がっていることが確認できる。また、提案手法は従来手法よりも多くの解の遷移を行っていることがわかる。これによって、従来よりも、より良い解が得られていると考えられる。

以上の結果より、超大規模サイズのQAPのすべての問題に対して、提案手法が最も良い結果が得られたことから、提案手法の有効性が確認された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Yuki Endo, Fubito Toyama, Chikafumi Chiba, Hiroshi Mori and Kenji Shoji, "Memory Efficient de novo Assembly Algorithm using Disk Streaming of K-mers", Proceedings of the 9th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC 2016), 査読有, Vol.3, pp.266-271, 2016, DOI: 10.5220/0005798302660271  
Yuki Endo, Fubito Toyama, Chikafumi

Chiba, Hiroshi Mori and Kenji Shoji, "A Memory Efficient Short Read De Novo Assembly Algorithm", IPSJ Transactions on Bioinformatics, 査読有, Vol.8, pp.2-8, 2015.

DOI: 10.2197/ipsjtbio.8.2.

Yuki Endo, Fubito Toyama, Chikafumi Chiba, Hiroshi Mori and Kenji Shoji, "De Novo Short Read Assembly Algorithm with Low Memory Usage", Proceedings of the International Conference on Bioinformatics Models, Methods and Algorithms, 査読有, pp.215-220, 2014.

DOI: 10.5220/0004881002150220.

〔学会発表〕(計6件)

町井孝充, 外山史, 森博志, 東海林健二, "Brick Partitioning と初期閾値推定を用いた高速プレートマッチング", 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア, 2016年3月3日, 金沢工業大学(石川県野々市市).

町井孝充, 外山史, 森博志, 東海林健二, "適応的領域分割を用いた多段階 Winner Update Algorithm による高速プレートマッチング", 第18回画像の認識・理解シンポジウム, 2015年7月30日, ホテル阪急エキスポパーク(大阪府吹田市).

鎌田拓也, 外山史, 森博志, 東海林健二, "ジグソーパズル組み立てにおける L\*a\*b\* 色空間を用いたピース間評価値の検討", 第18回画像の認識・理解シンポジウム, 2015年7月29日, ホテル阪急エキスポパーク(大阪府吹田市).

遠藤友基, 外山史, 千葉親文, 森博志, 東海林健二, "メモリ効率の良い de novo アセンブリアルゴリズム", 第41回バイオ情報学研究会, 2015年3月20日, 北海道大学(北海道札幌市).

佐藤文也, 外山史, 森博志, 東海林健二, "大規模な2次割当問題に対する近傍探索の高速化", 第8回進化計算シンポジウム2014年12月20日, 安芸グランドホテル(広島県廿日市市).

鈴木浩史, 外山史, 森博志, 東海林健二, "大規模な最大多様性問題に対する反復タブー探索法", 第6回進化計算学会研究会, 2014年3月7日, 電気通信大学(東京).

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

外山 史 (TOYAMA Fubito)

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 60323317