

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710175

研究課題名(和文) 配送計画問題に対する数理計画的アプローチによる効率的解法の開発

研究課題名(英文) Research on efficient algorithms based on the mathematical programming technique for the vehicle routing problems

研究代表者

橋本 英樹 (Hashimoto, Hideki)

名古屋大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：70548114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：配送計画問題は、様々な制約条件の下で、複数の車両を用いて全ての客をちょうど一回ずつ訪問するような経路の中で、コストが最小のものを求める問題である。この問題に有効な解法の一つに、現在の解の近傍に良い解があれば移動する、という走査を反復することで解を改善してゆく局所探索法がある。また、局所探索法などを基本ルーチンとして用い、多少時間はかかっても、より精度の高い解を求める枠組みはメタ戦略とよばれる。本研究では、従来の局所探索法やメタ戦略に数理計画的な手法を組み合わせることで高性能な解法を開発した。

研究成果の概要(英文)：The vehicle routing problem is the problem of minimizing the total cost of a number of vehicles, under various constraints, where every customer must be visited exactly once by a vehicle. One of the effective algorithms for the problem is a local search. It starts from an initial solution and repeats replacing the solution with a better solution in its neighborhood. Metaheuristic algorithms based on local search have been studied. In this research, we proposed efficient algorithms by combining local search and metaheuristics with mathematical programming technique.

研究分野：組合せ最適化

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：組合せ最適化 メタ戦略 配送計画問題

1. 研究開始当初の背景

配送計画問題は、様々な制約条件の下で、複数の車両を用いて全ての客をちょうど1回ずつ訪問するような経路の中で、コストが最小のものを求める問題である。これは、代表的な組合せ最適化問題の一つであり、また非常に実用性のある問題で、郵便・新聞配達、廃棄物収集、石油運搬や機械スケジューリングなどの応用を持つ。

一般に、配送計画問題を含み NP 困難な問題では、与えられる問題例に対して厳密な最適解を求めることは現実的に極めて困難であると考えられている。そのような問題に対する現実的妥協策として近似解法がある。基本的でかつ有効な近似解法の一つに局所探索法と呼ばれるものがある。これは、現在の解の近傍に良い解があれば移動する、という操作を反復することで解を改善してゆく手法である。また、これらの近似解法を組合せるなどの方法により、多少時間はかかっても、より精度の高い解を求める枠組はメタ戦略とよばれる。さらに、2006 年頃から、数理計画法を用いたアプローチにより効率的に高品質な解を求めるメタ戦略の枠組みが注目を集めている。それらは、mathematics と heuristics を合わせて matheuristic と呼ばれている。その一例として、ある解の近傍で改善解を探す問題を整数計画問題として定式化し汎用ソルバで求解するという操作を近傍探索と捉えた局所探索法が挙げられる。これは、近年の計算機の計算速度の向上、及び整数計画ソルバ(cplex, gurobi, scip など)の性能向上が背景にある。

2. 研究の目的

配送計画問題に対してこれまでに提案されている代表的な解法は、ほぼすべて局所探索法を基本ルーチンとして探索を行うタイプのメタ戦略アルゴリズムである。よく用いられる近傍は、少数の客の車両への割当てや訪問順序を変更する操作で得られる解集合を近傍とするものである。そのような比較的小さいサイズの近傍でかつ効率よく解を評価できる近傍をいくつか組合せて用いた局所探索法を設計し、単純なメタ戦略と合わせることで、既存手法と比べて良い結果が得られることが報告されている。現在、最も性能の高い解法は Nagata ら(2010) によるものである。この解法は、探索中に得られた良い解の集合を保持し、その中の2つの解を戦略的に組合せて新たに解をひとつ生成し、それを局所探索法で改善する、という操作を反復する解法である。メタ戦略の設計において、proximate optimality principle (よい解同士は似通った構造を持っている) という概念が知られている。この解法はこの性質をうまく捉えた解法といえる。

本研究の目的は、これらの従来の局所探索法やメタ戦略に数理計画的な手法を組合せることで高性能な matheuristic を開発する

ことである。

3. 研究の方法

(1) 局所探索法の高性能化

まず、解法の基本ルーチンとなる局所探索法の性能の向上を図った。現在の解の近傍内で改善解を探索する近傍探索問題を数理計画問題としてモデル化した。近傍探索問題のモデル化および解法の開発においては、整数計画問題として定式化することから始めた。配送計画問題は整数計画問題として定式化できるため、解空間に制約を加えた近傍探索問題もほぼすべての場合、定式化可能である。整数計画問題として定式化することで汎用解法を用いて最適解を得ることができるので、その解の精度については(計算に時間はかかるが)容易に知ることができる。

(2) 多点探索法の設計

複数の解を保持し、それらを組合せるなどして探索を進める手法は多点探索法と呼ばれる。本研究では、この解集合から新しい解を生成する問題を数理的にモデル化しそれを解いて得られる解を局所探索法で改善するという操作を反復する手法の開発を行った。

4. 研究成果

本研究の成果を以下に挙げる。

(1) 近傍探索問題

局所探索法での近傍探索をひとつの最適化として捉え、近傍探索問題としてモデル化した。これを整数計画問題として定式化し、汎用ソルバで解くことで、局所最適解の精度や近傍の構造を解析した。この結果、これまでに得られた最良解が近傍探索問題に対して多くの場合、最適解であったことを実験的に示した。さらに、最良解と真の最適解との構造の違いを解析した。そして、従来の局所探索法でよく用いられていた近傍を拡張した新たな近傍を考え、それに対して効率的な探索法を提案した。これにより、局所探索法により得られる解の精度を向上させることができる。

(2) 多点探索法

本研究では、2つの解から新しい解を生成する場合について検討した。与えられる2つの解で共通している客の訪問順序を固定しそれ以外の部分を決定するという最適化問題を整数計画問題として定式化した。また、別のモデルとして、2つの解に対して距離を定義し、各解からある程度の距離にある改善解を求める問題としての定式化も行った。そしてこれらを用いた多点探索法を提案した。

(3) 効率的局所探索法フレームワーク

配送計画問題には、時間枠付き配送計画問題や集配計画問題などのように、異なる制約

をもつ様々なタイプの問題がある。その多くのタイプの配送計画問題に適用可能な汎用的で効率的な局所探索法の枠組みを構築した。この枠組みでは、車両の訪問順序が与えられたとき、その訪問順序の評価値を計算する方法として(i)先頭から順番に計算する方法、(ii)後尾から順番に計算する方法、そして、(iii)上記の2つを組み合わせることで計算する方法の3つの計算法が与えられたと仮定している。この3つの計算法は配送計画問題のモデルごとに用意する必要があるが、配送計画問題自体に対して解法を開発するよりは遥かに容易に開発することができる。この局所探索法を用いれば、(i)(ii)(iii)の計算時間が $O(T)$ であるとき、近傍解の評価値をひとつあたり $O(T)$ 時間で計算することができる。

(4) 配置問題

近年では、配送計画問題の制約条件として、車両内での荷物の配置を考慮した複雑なモデルについても研究が行われている。本研究では、2次元の長方形領域に与えられたレクトリニア図形の集合を効率よく配置するレクトリニア図形配置問題を考えた。ここで、レクトリニア多角形とは、垂直もしくは水平線分で描かれる多角形であり、一般の図形を近似的に表現することができる。長方形配置問題に対する代表的な構築型解法として、Bottom-left 法と Best-fit 法がある。本研究では、これらの解法をレクトリニア多角形配置問題へと拡張し、データ構造を工夫することで非常に高速に配置を求める手法を開発した。

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 6件)

橋本英樹, 野々部宏司, ``入門タブー探索,'`オペレーションズ・リサーチ, 58(2013), 703-707 (査読無)

真野洋平, 橋本英樹, 柳浦睦憲, ``学生実験のスケジューリングシステムの構築,'`オペレーションズ・リサーチ, 58(2013)524-532 (査読無)

H. Hashimoto, M. Yagiura, S. Imahori and T. Ibaraki, ``Recent Progress of Local Search in Handling the Time Window Constraints of the Vehicle Routing Problem,'` Annals of Operations Research, (reprint version), 204, (April 2013)171-187 (査読有)

H. Hashimoto, T. Sugiyama, Y. Tanaka, M. Yagiura, ``A Local Search Algorithm to Find a Scheduling Table for Real-Time Systems,'` Journal of Advanced Mechanical Design, Systems,

and Manufacturing, 6(2012)741-751 (査読有)

S. Imahori, Y. Miyamoto, H. Hashimoto, Y. Kobayashi, M. Sasaki, M. Yagiura, ``The Complexity of the Node Capacitated In-Tree Packing Problem,'` Networks, 59(2012)13-21 (査読有)

H. Hashimoto, S. Boussier, M. Vasquez, C. Wilbaut, ``A GRASP Based Approach for Technicians and Interventions Scheduling for Telecommunications,'` Annals of Operations Research, 183(2011)143-161 (査読有)

[学会発表](計 20件)

橋本英樹, ``時間枠付き配送計画問題に対する発見的解法,'`日本OR学会中部支部研究会, 金沢学院大学, 2013年12月1日.

深津翔, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲, ``ビットマップ表現された図形の詰込み問題に対する構築型解法,'`スケジューリング学会シンポジウム, 南山大学, 2013年9月21, 22日, pp.101-106.

Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, M. Yagiura, ``Efficient Construction Heuristic Algorithms for the Rectilinear Block Packing Problem,'` International Symposium on Scheduling, July18-20, 2013 (Tokyo, Japan), pp.80-85

Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura, ``Construction Heuristic Algorithm for the Rectilinear Block Packing Problem,'` 電子情報通信学会2013年総合大会, 岐阜大学, 2013年3月19-22日. 浜岡博, 田中勇真, 橋本英樹, 柳浦睦憲, ``組込みシステムにおけるスケジューリング問題に対するメタ戦略アルゴリズム,'`愛知OR研究交流会, 名古屋, 2013年3月13日.

深津翔, 胡艶楠, 橋本英樹, 柳浦睦憲, ``ビットマップ表現された図形の詰込み問題に対する発見的解法,'`OR学会中部支部研究発表会, 名古屋, 2013年3月9日

小嶋拓哉, 胡艶楠, 橋本英樹, 白木孝, 安藤友人, 柳浦睦憲, ``航空乗務員スケジューリング問題に対する集合被覆アプローチ,'`OR学会中部支部研究発表会, 名古屋, 2013年3月9日

橋本英樹, ``配送計画問題に対する発見的解法,'`資源利用の最適化, 成蹊大学, 2012年12月4日

Y. Hu, H. Hashimoto, S. Imahori, M. Yagiura, ``A New Construction Heuristic Algorithm for the Rectilinear Block Packing Problem: A

Bridge between the Best-Fit and Bottom-Left Algorithms,' ' The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, December 10-13, 2012, (HongKong), pp.182-186

胡艶楠, 橋本英樹, 今堀慎治, 柳浦睦憲, ``レクトリニア多角形配置問題に対する高速な構築型解法,' '第 141 回アルゴリズム研究会プログラム, 北海道大学, 2012 年 10 月 4 日, 2012-AL-141, pp.1-6.

Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura, ``レクトリニア多角形配置問題に対する構築型解法,' 'スケジューリング学会シンポジウム, 成蹊大学, 2012 年 9 月 29, 30 日.

Said Hanafi, 橋本英樹, 野々部宏司, Michel Vasquez, Yannick Vimont, 柳浦睦憲, ``機械再割当て問題に対する近似解法 ROADEF/EUROChallenge2012 に参加して ' 'スケジューリング学会シンポジウム, 成蹊大学, 2012 年 9 月 29, 30 日

H. Hashimoto, ``An efficient local search framework for vehicle routing problems,' ' Research seminar of The Planning, Optimization and Decision Support Group, Molde University College, Norway, September 14, 2012. 野々部宏司, 橋本英樹, 梅谷俊治, 柳浦睦憲, ``最適化アルゴリズムを実装する際の留意について 組合せ最適化問題に対するメタヒューリスティクスの場合を中心として ' ', 日本 OR 学会 2012 秋季大会, ウィンク愛知, 2012 年 9 月 12, 13 日, pp.140-141.

Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura, ``A New Construction Heuristic Algorithm for Rectilinear Block Packing,' '日本 OR 学会 2012 秋季大会, ウィンク愛知, 2012 年 9 月 12, 13 日, pp.48-49.

Said Hanafi, Hideki Hashimoto, Koji Nonobe, Michel Vasquez, Yannick Vimont, Mutsunori Yagiura, ``Hybrid Method for Machine Reassignment Problem,' ' The 25th European Conference on Operational Research, July 10, 2012

Yannan Hu, Hideki Hashimoto, Shinji Imahori, Mutsunori Yagiura, ``Heuristic Algorithms for Rectilinear Block Packing,' '冬の LA, RIMS, 2012 年 1 月 30 日, 1799, pp.153-156.

橋本英樹, ``配送計画問題に対する局所探索アプローチ,' '国際シンポジウム「ロジスティクス数理の理論と実践」,

東京海洋大学, pp45-48, 2011 年 11 月 29-30 日.

J. Itoyanagi, H. Hashimoto, M. Yagiura, ``A local search algorithm with large neighborhoods for the maximum weighted independent set problem,' ' The Ninth Metaheuristics International Conference, Udine, Italy, July 25-28, 2011.

T. Sugiyama, Y. Tanaka, H. Hashimoto, M. Yagiura, ``An algorithm to find a scheduling table for embedded systems,' ' International Symposium on Scheduling, July 2-4, 2011 (Osaka, Japan), pp.149-154

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.al.cm.is.nagoya-u.ac.jp/~hasimoto>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本英樹 (HASHIMOTOHIDEKI)

名古屋大学・情報科学研究科・助教

研究者番号 : 70548114