

機関番号：32641

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21810026

研究課題名（和文）大規模配送計画問題に対する高性能解法の研究

研究課題名（英文）Studies on efficient algorithms for large vehicle routing problems

研究代表者

橋本 英樹（HASHIMOTO HIDEKI）

中央大学 理工学部 助教

研究者番号：70548114

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、非常に実用性のある問題であるが、厳密な最適解を求めることは極めて困難であると考えられている。本研究では、大規模な問題例でも現実的な時間で高品質な解を求めることを目的として、問題例の縮約法を提案し、それを組込むことで広大な探索空間を効率的に探索する解法を開発した。

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. Although this problem has a wide range of applications, it is difficult to obtain an optimal solution. The objective of this research is to find a high quality solution in a reasonable time. We proposed a method of reducing an instance and an algorithm that searches the large solution space efficiently by incorporating it.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,080,000	324,000	1,404,000
2010年度	980,000	294,000	1,274,000
総計	2,060,000	618,000	2,678,000

研究分野：組合せ最適化

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、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（図1は車両数3の例）。各車両はデポと呼ばれる地点を出発し、いくつかの客を訪問し、デポに帰還しなければならない。制約条件として各車両の容量制約と時間枠制約があるものを特に

時間枠付き配送計画問題と呼ぶ。容量制約とは、客の要求量の総和が車両の容量を越えてはいけないというもので、時間枠制約とは、客が指定する時間枠内にサービスを開始しなければならないというものである。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幅広い応用を持つ。しかし、こ

の問題はNP困難であることが知られており、厳密な最適解を求めることは極めて困難であると考えられている。そのため、現実的な妥協策として種々の近似解法が提案されている。

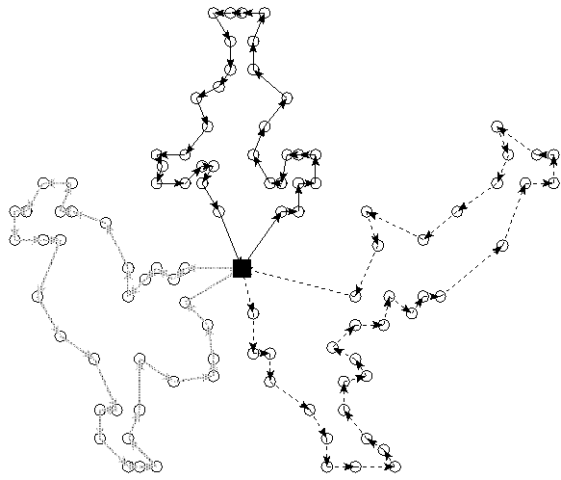


図1：車両数3の訪問順序の例

2. 研究の目的

配送計画問題は、1959年にDantzigとRamserによる論文が発表されて以来盛んに研究が行われている。特に、近年は、様々な発見的解法が提案されており、客数が100程度の問題例であれば、かなりの精度の解を求めることができるようになった。しかし、より大規模な問題例の解空間全体を効率良く探索するためには、何らかの方法で解空間を抽象化することで探索空間を縮小する必要がある。

一般に、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。例えば、配送計画問題の良い解同士では同じ順序で客を訪問している部分が多くみられることが実際に観測されている。このことは、大規模な問題例に対しても、このような解の同一構造の関係に着目することで探索空間を大幅に縮小し抽象度の高いレベルでの探索を組込むことで高品質な解を求めることができるという可能性を示唆している。

本研究では、これまでに我々の研究グループで開発してきた解法を発展させるとともに、大規模な問題例を扱うことを目的とした問題の縮約アプローチを開発する。そして、両者を組み合わせることで大規模な問題例に対しても高品質な解を求める解法を開発する。

3. 研究の方法

本研究は、時間枠つき配送計画問題を主な対象とする。時間枠つき配送計画問題には制約として容量制約と時間枠制約があるが、いずれの制約も、容量制約のみを課した問題は分割問題を、時間枠制約のみを課した問題はスケジューリング問題を特殊な場合として含むことから、一方の制約のみを課した問題に対する実行可能解の存在の判定がすでにNP完全である。そのため、探索を実行可能解に限定してしまう手法では、制約が厳しい場合には探索が効率よく行えないと考えられる。本研究では、この点を克服する方法の1つとして、これらの制約を考慮制約として扱い、制約の違反量に応じたペナルティを付加した目的関数を最小化するという方針をとる。

配送計画問題の解は、車両による客の訪問順序と各客でのサービス開始時刻により決定される。訪問順序の候補は膨大であるが、ひとたび訪問順序が定まると、あとは各客のサービス開始時刻を求めるスケジューリング問題として定式化することができ、制約の違反量を最小にする各客のサービス開始時刻は高速に求めることができる。そこで、本研究では、車両の訪問順序を探索の対象とした。

解の探索法については、局所探索法を基本ルーチンとして用いる。局所探索法とは、ある初期解から始めて、現在の解の近傍に改善解があれば移動する、という操作を反復する探索法である。局所探索法の設計において、解の近傍をどのように定義するかが重要である。本研究では、配送計画問題に対してよく用いられている代表的な近傍に2-opt*近傍、intra 交換近傍、cross 交換近傍を用いた。車両の訪問順序である解を一から評価するには、それに対応するサービス開始時刻のスケジューリング問題を解かねばならないので、それを計算するための時間がかかる。しかし、これらの近傍解は、それまでの探索において計算した情報をデータ構造として保存し、また近傍解の探索順序を工夫することで、それぞれ $O(1)$ 時間で評価することができる。

一般に、局所探索法のみでは精度の良い解を求めることは難しい。そこで、局所探索法などの近似解法を組合せるなどの方法により、多少時間をかけてもより精度の高い解を求めるメタ戦略が研究されている。我々の研究グループは、上述の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、メタ戦略と合わせることで、既存手法と比べて非常に良い結果を収めた。本研究では、その解法を発展させて、探索中に複数個の解からなる解集合を保持し、それらを用いて多

点探索を行う解法を提案する。探索中に解をひとつしか保持しないタイプの解法と比べて、多点探索タイプの解法は、探索空間全体を幅広く探索することが期待できる。また、それとは別に、大規模な問題例を効率よく解くことを目的として、探索過程で発見した良い解に多く見られる構造を縮約することで、より小さな問題例に変換して解く、というアプローチを試みる。本アプローチにおいては、どの部分をどのタイミングで縮約するかが重要であるが、これについては適宜計算実験を行い調査し検討を行う。

まず、問題例をそのサイズのまま解く多点探索法として、本研究ではパス再結合という探索法を用いる。パス再結合とは、探索中に見つけた良い解の集合を保持しておき、保持している解集合から2つの解を選択し、片方の解をもう片方の解へ徐々に変形させたとき、その過程で生成される解を探索の候補とするものである。これらの解は、元の2つの解の良い構造を継承する解であることが期待でき、それらに対して局所探索法を行うことで、より良い解を探索する。

問題例の縮約アプローチについては、解集合が与えられたとき、それらの解で共通している客の訪問順序に着目する。実際に、配送計画問題の良い解同士を比べると、ほぼ同じ訪問順序で客を巡回する部分が多数含まれることが多い。このような特徴を利用して問題サイズを縮小し探索の効率化を図る。また、本研究では、問題例を段階的に縮約し、各段階で探索を行う多段階縮約法を用いる。

4. 研究成果

本研究の成果を以下に挙げる。

(1) 多点探索解法

時間枠つき配送計画問題に対して多点探索タイプの解法を提案した。これは問題例をそのままのサイズで扱う解法である。時間枠つき配送計画問題のベンチマーク問題例として Gehring と Homberger のベンチマーク問題例がよく用いられる。これらの問題例の客数は 200 から 1000 で様々なタイプの問題例が用意されている。提案アルゴリズムをこれらのベンチマーク問題例に適用した計算実験において、既存の解法と同等もしくはそれ以上の性能を確認した。また、多くの問題例においてこれまでに知られている最良解を更新した。現在までに提案されている解法の中で最も性能の良い解法のひとつであるといえる。

(2) 問題例の縮約法

時間枠つき配送計画問題のよい解に現れる同一構造を縮約し、与えられた問題例をより

小さな問題例へ変換する手法を提案した。この変換法では、客の訪問順序の一部を固定し縮約することで、より小さい問題例へと変換する。縮約された部分はそれぞれ、新しい時間枠と要求量を持つひとつの客とみなすことができ、より少ない客数の時間枠つき配送計画問題の問題例となる。この変換法を用いて問題例を縮約することで、より小さな問題例で効率的に探索を行うことが可能となる。また、変換後の問題例も同じ時間枠つき配送計画問題の問題例であるため、(本研究で提案する解法に限らず) これまでに提案されている既存の解法を縮約後の問題例に適用することも可能である。

(3) 多段階縮約アプローチ

上述(2)の縮約法を組込んだ多段階縮約アプローチの枠組を開発した。本アプローチでは、探索中に得られた良い解集合に共通して現れる同一構造を縮約し探索を行う、という操作を反復する。それにより広大な探索空間全体を効率よく探索することが可能となる。探索中に得られた良い解の集合が与えられたとき、その共通する訪問順序を一度に縮約するのではなく、段階的に縮約していくことで、過度な縮約を避けることができる。本アプローチの探索部分のエンジンとして、(1)で挙げた多点探索タイプの解法を用いているが、基本的には、どのような時間枠つき配送計画問題の解法でも用いることができるため、その適用範囲は大きいと思われる。この解法を用いて計算実験を行った結果、(1)の解法を直接用いた場合と比べて、その縮約効果により、いくつかの問題例に対しては(1)よりもさらに良い解を求めることができた。

(4) グラフ分割問題への適用

同様の多段階縮約アプローチをグラフ分割問題に適用した。グラフ分割問題は、グラフの節点集合を容量が満たされるように部分集合に分割するときに、異なる部分集合をまたがる枝の数を最小化する問題である。時間枠つき配送計画問題においても客集合の(車両への)分割を行うという同じ問題構造があるため非常に関連のある問題で、またより単純な問題であるため、その探索効果を顕著に観測することができた。また、いくつかのベンチマーク問題例に対して最良解を更新することができた。

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 2 件)

- ① H. Hashimoto, M. Yagiura, S. Imahori, T. Ibaraki, Recent Progress of Local Search in Handling the Time Window Constraints of the Vehicle Routing Problem, 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research, 査読有, 8 巻, 2010, 221--238
- ② H. Hashimoto, Y. Ezaki, M. Yagiura, K. Nonobe, T. Ibaraki, A. Løkketangen, A Set Covering Approach for the Pickup and Delivery Problem with General Constraints on Each Route, Pacific Journal of Optimization, 査読有, 5 巻, 2009, 185--202

[学会発表] (計 2 件)

- ① 橋本英樹, 柳浦睦憲, 大規模な時間枠付き配送計画問題に対する効率的解法, スケジューリング学会, 2010年9月10日, 法政大学(東京都)
- ② H. Hashimoto, Y. Sonobe, M. Yagiura, A Multilevel Scheme with Adaptive Memory Strategy for Multiway Graph Partitioning, Learning and Intelligent Optimization Conference, 2010年1月21日, ヴェネチア(イタリア)

[その他]

ホームページ等

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 英樹 (HASHIMOTO HIDEKI)

中央大学・理工学部・助教

研究者番号: 70548114