

ハブ・スポーク配送計画問題に対する反復局所探索法

	名古屋大学	*瀧本修斗	TAKIMOTO Shuto
05000596	名古屋大学	高田陽介	TAKADA Yosuke
	株式会社デンソー	岩田麻希	IWATA Asaki
	株式会社デンソー	高橋輝	TAKAHASHI Akira
01014283	株式会社豊田中央研究所	今井純志	IMAI Junji
	株式会社豊田中央研究所	早川敬一郎	HAYAKAWA Keiichiro
05000218	名古屋大学	胡艶楠	HU Yannan
01207453	南山大学	佐々木美裕	SASAKI Mihiro
01014626	名古屋大学	小野廣隆	ONO Hiroataka
01704163	名古屋大学	柳浦睦憲	YAGIURA Mutsunori

1 はじめに

ハブ・スポーク配送計画問題は、車両が直接訪問することのできる点（訪問点）の集合と、いずれかの訪問点からの往復移動によってのみ訪問できる点（被覆点）の集合が与えられたとき、デポを出発していくつかの訪問点を訪問し、再びデポに戻ってくるような巡回路の組と、各被覆点をどの訪問点から訪れるかを定め、それらの総コストを最小化する問題である。すべての被覆点を訪れなければならないが、訪問点には未訪問のものがある場合も良い。総コストは、巡回路の訪問点間の移動コスト、および訪問点と被覆点間の移動コストの和である。

既存研究として、各被覆点をどの訪問点から訪れるかや訪問点と被覆点間の移動コストを考慮せず、各被覆点に対してその点に訪問可能な訪問点の少なくとも一つを訪問しなければならないという制約を考えた被覆制約付き配送計画問題がある。この問題に対しては局所探索法タイプの解法として反復局所探索法が Takada ら [3] によって提案されており、精度の高い解が得られている。

本研究では、ハブ・スポーク配送計画問題に対する反復局所探索法を提案する。提案手法では 1-del/1-ins と VRP-OPT という二種類の操作に基づく局所探索法を用いており、1-del/1-ins を効率的に実現する手法を組み込んでいる。計算実験により 1-del/1-ins を効率的に実現する手法が有効であることを確認した。

2 問題

ハブ・スポーク配送計画問題の定義を与える。まず、 $n_v + 1$ 個の訪問点の集合 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_{n_v}\}$ と n_w 個の被覆点の集合 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{n_w}\}$ 、および枝集合 $E_1 = V \times V$ と $E_2 \subseteq V \times W$ からなる無向グラフ $G = (V \cup W, E_1 \cup E_2)$ を定義する。 G の各枝には移動コストが与えられ、 E_1 上のコストは三角不等式を満たすものとする。各被覆点 w_j は $(v_i, w_j) \in E_2$ を満たす訪問点 v_i のいずれかからの往復移動によってのみ訪問することができ、便宜上これを v_i が w_j を被覆する、あるいは w_j を v_i に割り当てるといふ。どの被覆点もいずれか一つの訪問点に割り当てられなければならない。各巡回路の始点と終点はデポと呼ばれる訪問点 (v_0) である。

各被覆点 w_j には要求量 a_j が与えられており、各巡回路に含まれる訪問点に割り当てられた被覆点の要求量の総和が各車両の容量 p を超えてはならない。この問題の目的は、 V 上の高々 m 個の巡回路と巡回路上の訪問点への被覆点の割当を定め、その総移動コストを最小化することである。

3 提案手法

ハブ・スポーク配送計画問題に対する反復局所探索法を提案する。容量制約を守った上で、全ての被覆点を訪問するような m 個の巡回路の組を見つける問題は NP 困難である [1]。そこで提案手法では、訪問点に割り当てられない被覆点が存在する解も探索の対象とし、そのような被覆点に対するペナルティーを目的関数に加味したものを局所探索の評価関数としている。また、各被覆点のペナルティー重みを探索の進行とともに適応的に変更する機能を組み込んでいる。

まず、ランダムに選んだ訪問点 1 点のみからなる巡回路を m 個用意する。その後、各被覆点 w_j に対して、巡回路に含まれる訪問点の中に w_j に割り当てられるものがあれば、その中で割当コストが最も小さいものに割り当てる操作を、ランダムな順に行う。こうしてできた解を初期解とする。

初期解を生成したのち、1-del/1-ins により巡回路および被覆点の割当を改善していく。1-del/1-ins では探索中に実行可能解へ移動するたびに VRP-OPT を適用して巡回路を改善する。VRP-OPT とは、配送計画問題において巡回路を改善するためによく使われる三つの近傍操作 2-opt, 2-opt*, relocate からなる局所探索である [2]。局所探索によって解の改善が得られなくなったら、前回の解（前回のキックの直前に得られた局所最適解）、現在の解、および暫定解の三つの中で（最新のペナルティー重みを用いた評価関数の下で）最も良い解に対してキックと呼ばれる摂動を与え、得られた解を初期解として再び局所探索を行う。キックは、訪問している訪問点と未訪問の訪問点を選んでそれらをランダムに入れ替える操作を数回行うことによって実現している。こうして探索を反復し、その中で得られた最小コストの実行可能解を出力する。

表 1 1-del/1-ins の高速化手法の効果を調べる計算結果

問題例	高速化あり		高速化無し	
	最良値	局所探索回数	最良値	局所探索回数
A1-225-260	828.6	3832	936.4	214
A2-225-260	882.8	2710	962.8	223
A3-225-260	887.2	2405	893.6	212
A4-225-260	795.6	2828	821.2	207
A5-225-260	845.2	2620	871.2	205
A6-225-260	837	3541	841	231

3.1 1-del/1-ins

1-del/1-ins 近傍による局所探索法を紹介する。1-del/1-ins は現在の解から訪問点の一つ除去する 1-del, 現在の解に訪問点の一つ追加する 1-ins, これら二つを同時に行う 1-del-ins の三つの近傍操作からなる。1-del では削除した訪問点に割り当てられていた被覆点の再割当を行う。1-ins では, 他の訪問点に割り当てられていた被覆点を挿入した訪問点に割り当てる方が良い場合は割当を変更するという操作を行う。1-del-ins ではまず訪問点の削除後に 1-del と同様の操作で削除した点に割り当てられていた被覆点の再割当を行い, 次に訪問点の挿入後に 1-ins と同様の操作で挿入した訪問点への再割当を行う。

3.2 1-del/1-ins の高速化

本問題に対する 1-del/1-ins の高速化手法を提案する。1-del を行った際, 削除された訪問点に割り当てられた被覆点を再割当する必要がある。この再割当の問題は代表的な NP 困難問題として知られている一般化割当問題となり, 良質の解を得るのに時間がかかってしまう。そのため, 再割当後のコストの削減量の見積もりを計算し, それが小さいものに対してのみ再割当を試みるという手法をとる。見積もり量には, 訪問点と被覆点間のコストの変化量とその訪問点に割り当てられていた被覆点のペナルティー重みの総和の和を採用した。この見積もり量と再割当後のコストの変化量の間には高い相関があることを計算実験によって確認している。1-ins では改善の必要条件を満たすものに限って挿入を試す手法を採用しており, そのような候補を効率的に生成するため, 訪問点と被覆点間のコストに基づく近傍リストを用いている。1-del-ins は 1-del でも 1-ins でも改善がそれ以上起こらない時のみ行う。このような状況で削除と挿入を同時に行うことで改善が起こる場合に満たすべき条件を全て挙げ, そのいずれかを満たすような挿入と削除の組合せのみを探索することで調べる近傍解の候補を削減している。

4 計算実験

4.1 実験環境

実験に用いるプログラムを C++ を用いて実装し, 計算実験には 2.2 GHz Intel Core i7, 8.00 GB 1600 MHz DDR3 を搭載した計算機を使用した。

4.2 高速化手法の有無

高速化手法の効果を計算実験をによって比較した。使用した問題例はランダムに生成したものである。容量制

約を個数制約として一つの巡回路で最大 40 個の被覆点を訪問できるものとした。1-del/1-ins の繰り返し回数の上限を 200, 終了条件を 1500 秒として実験を行った。

表 1 に実験結果を示す。表中の問題例の列の X-Y-Z の X は問題例のラベル, Y は訪問点数, Z は被覆点数を表している。最良値は探索中に得られた最小コストを表し, 局所探索回数は局所最適解に至った回数を表している。すべての結果において高速化手法を用いた方が局所探索の回数が多く, また得られた最良値も良いことがわかる。この実験により高速化手法が有効であることが確認できた。

5 まとめ

本研究ではハブ・スポーク配送計画問題を考え, 1-del/1-ins を用いた反復局所探索法を提案した。また, 1-del/1-ins の高速化手法を提案し, 計算実験により高速化手法が有効であることを示した。

参考文献

- [1] M. R. Garey and D. S. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*, Freeman, 1979.
- [2] Y. Takada, Y. Hu, H. Hashimoto, and M. Yagiura, An iterated local search algorithm for the multi-vehicle covering tour problem, *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Singapore, December 6–9, 2015.
- [3] Y. Takada, Y. Takeuchi, Y. Hu, H. Hashimoto, and M. Yagiura, An adaptive local search algorithm for the multi-vehicle covering tour problem, *Proceedings of 12th Metaheuristics International Conference*, pages 380–382, Barcelona, Spain, July 4–7, 2017.