

時間枠制約付き配送計画問題に対する 局所探索法の適用について

02602204 京都大学 *増田 友泰 MASUDA Tomoyasu
01704164 京都大学 柳浦 睦憲 YAGIURA Mutsunori
01001374 京都大学 茨木 俊秀 IBARAKI Toshihide

1 序論

時間枠制約付き配送計画問題 (Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, VRPSTW) は、代表的な組合せ最適化問題の一つで、NP 困難であることが知られており、近似解法が近年盛んに研究されている。本研究では、VRPSTW に対し、局所探索法に基づくアルゴリズムを提案する。このアルゴリズムには、与えられた時間枠に対する各客の最適なサービス開始時刻を求める動的計画法を組込んでいる。最後に、代表的なベンチマーク問題に対する計算実験を通して、提案手法の有効性を確認する。

2 問題定義

VRPSTW とは、容量・時間枠制約の下で、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ルート集合と、各客のサービス開始時刻を定める問題であって、目的関数には距離の総和の最小化を考えている。

本研究では、容量・時間枠制約の2つ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。すなわち、解 \mathbf{x} に対して、全ルートの距離の総和を $D(\mathbf{x})$ 、各客のサービス時刻に対するペナルティの総和を $T(\mathbf{x})$ 、容量超過量の総和を $Q(\mathbf{x})$ とすると、最小化すべき目的関数 $cost(\mathbf{x})$ は、

$$cost(\mathbf{x}) = D(\mathbf{x}) + T(\mathbf{x}) + \alpha Q(\mathbf{x})$$

となる。ただし α は容量制約違反のペナルティに対する正の重み係数である。

3 局所探索法

局所探索法は、適当な解から始め、現在の解 \mathbf{x} の近傍 $N(\mathbf{x})$ 内に \mathbf{x} よりも良い解 \mathbf{x}' があれば $\mathbf{x} := \mathbf{x}'$ とする操作を近傍内に改善解がなくなるまで反復する方法である。ここで、近傍 $N(\mathbf{x})$ は \mathbf{x} に多少の変形を加えることにより得られる解集合である。近傍には、これまで VRPSTW に対して提案されてきた様々な近傍の中から、クロス交換近傍、2-opt* 近傍、およびルート内挿入近傍の3つを選び、組合せて用いている。

4 最適サービス時刻の決定

近傍の探索において新しい解 \mathbf{x} を評価する際、各車両のルートが定まると、目的関数 $cost(\mathbf{x})$ における $D(\mathbf{x})$ と $Q(\mathbf{x})$ は容易に定まる。しかし、 $T(\mathbf{x})$ については、これを最小にするように各客のサービス開始時刻を決定しなければならない。本研究では、この問題が動的計画法を用いて効率よく解けることを示す。この方法は、各客のペナルティ関数が区分線型関数であれば、不連続や非凸であっても適用でき、客数を n 、各客のペナルティ関数の区分数の合計を δ とすると、計算時間は $O(n\delta)$ である。

表 1: 文献 [2] の手法と提案手法による最良解の平均の比較

問題タイプ	[2] の結果	提案手法	問題タイプ	[2] の結果	提案手法
r1*	1244.39	1267.45	r2	964.03	994.07
c1	828.31	828.31	c2	589.86	591.57
rc1*	1266.45	1421.47	rc2	1093.49	1133.18

* がつく問題タイプに対しては、時間枠制約を完全に満たす解が得られなかったため、車両が運行する全時間に対して最大で 1.8% 程度の制約違反を含む。

5 反復局所探索法

局所探索法を一回適用しただけでは、得られる解の精度が不十分である場合が多いので、メタ戦略の中から基本的なものとして、反復局所探索法 (iterated local search, ILS 法) を試みた。これは局所探索法を反復して用いる手法であるが、初期解の生成において、以前の解の情報を用い、良質な初期解の周囲を集中的に探索するという方法である。

6 計算実験

ILS 法の効果を計算実験により確認した。適用した問題例は、Solomon によるベンチマーク問題 (http://dmawww.epfl.ch/~rochat/rochat_data/solomon.html)[1] である。入手できる計算結果は、時間枠を絶対制約として扱うものに限定されているので、我々のアルゴリズムでは時間枠制約のペナルティを十分大きく定めて実験を行った。表 6 に提案手法と [2] の計算結果を示す。表の値は各問題タイプに対して 8 問から 12 問の D の平均をとった値である。なお、[2] の解法はタブーサーチを用いた近似解法である。[2] の計算結果と比較すると、計算時間はやや多く要するものの、掲載されているそれまでの最良解と比べて同程度の精度の解を多数得ることができた。特に、48 問中 3 問に対しては、最良値を更新することができた。本研究の手法が従来の手法と比較して時間枠制約の扱いにおいて汎用性があることを考慮すれば、十分意義のある成果といえる。

7 まとめ

本研究では、時間枠付き配送計画問題の解法の一つとして、各客の最適サービス時刻を決定する動的計画法を組み込んだ局所探索法を提案した。代表的なベンチマーク問題に対する計算実験の結果によれば、提案したアルゴリズムは、より汎用性があるにもかかわらず、限定された問題に対しても従来の方法に匹敵する性能を持つことが確認できた。

参考文献

- [1] M. M. Solomon, "The Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints," *Operations Research*, Vol.35, No.2, 254-265 (1987).
- [2] E. Taillard, P. Badeau, M. Gendreau, F. Guertin and J. Y. Potvin, "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows," *Transportation Science*, Vol.31, No.2, 170-186 (1997).