



# HOKKAIDO UNIVERSITY

|                  |                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title            | 局所クラスタリング組織化法のVehicle Routing Problemへの適用とその有効性の検証                                |
| Author(s)        | 坂本, 延寛; 鈴木, 育男; 山本, 雅人 他                                                          |
| Citation         | 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2009, 539-540                                                |
| Issue Date       | 2009-02-25                                                                        |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/51198">https://hdl.handle.net/2115/51198</a> |
| Type             | journal article                                                                   |
| File Information | H04_539540.pdf                                                                    |



# 局所クラスタリング組織化法の Vehicle Routing Problem への適用とその有効性の検証

北海道大学 ○坂本 延寛, 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志  
北見工業大学 渡辺 美知子

Applying Local Clustering Optimization to Vehicle Routing Problem and its Verification by Numerical Experiments

Hokkaido University Nobuhiro SAKAMOTO, Ikuo SUZUKI, Masahito YAMAMOTO, Masashi FURUKAWA  
Kitami Institute of Technology Michiko WATANABE

In many situations, there arise a Vehicle Routing Problem (VRP), which explores the optimum routes for  $m$ -vehicles under some criteria and constraints. This study proposes how to apply "Local Clustering Organization" (LCO) to VRP. It is proved that LCO brings a good solution by comparing it with other solution methods in numerical experiments.

## 1. はじめに

配送計画問題 (Vehicle Routing Problem, VRP) は NP 困難な問題として知られる組合せ最適化問題のひとつであり, 配送拠点に待機する複数台の車両によって, 顧客の需要を配送する最適経路を求める問題として定義される. 従来, VRP の解法としては分岐限定法, 整数計画法, 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA), 焼きなまし法 (Simulated Annealing, SA), タブサーチ (Tabu Search, TS) などが知られているが, 分岐限定法, 整数計画法は問題の規模が大きいと計算量が膨大となり, 実用的な計算時間内で満足な解を得ることは難しい. また, GA, SA, TS は近似解を高速に求める実用的方法としてこの近年注目を浴びているが, それぞれ計算速度や一般的問題への適応性などの問題がある. そこで, TSP に対する有効性が示されている局所クラスタリング組織化法<sup>1)</sup>(Local Clustering Organization, LCO) を VRP へ適用する手法を提案し, その有効性を数値計算実験で検証する.

## 2. 配送計画問題 (VRP)

VRP とは, 配送拠点から複数台の車両によって配送先の顧客に商品等を配送する最適経路を求める問題である. VRP を店舗への配送, 新聞・郵便の配達, ごみの収集, 航空機の航路設定等の, 広範囲な分野に応用するために目的や制約条件を考慮した数多くの問題が提案されている. そこで本研究では, VRP の中で車両の積載量の上限を考慮した問題である Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) を扱う. CVRP の基本的な条件は次の 4 つで表される.

1. 各車両の配送コストの総和を最小化する
2. 各車両の配送は配送拠点から始まり, 配送拠点で終わる
3. 各顧客は一台の車両で一度のみ配送が行われる
4. どの車両の積載量も上限を超えない

この条件を元に CVRP は以下の様に定式化される. その際, 式中で用いられる記号は表 1 に示される.

$$\min_{x_{kij}} \sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{kij} \quad (1)$$

Table 1 CVRP parameter

|           |                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $n$       | the number of customers                                                             |
| $m$       | the number of vehicles                                                              |
| $Q$       | the vehicle capacity                                                                |
| $i, j$    | customer number<br>(0 is depot, other is customer)                                  |
| $k$       | vehicle number                                                                      |
| $q_i$     | the demand of customer $i$                                                          |
| $c_{ij}$  | the cost(distance, travel time) between customer $i, j$                             |
| $x_{kij}$ | if vehicle $k$ visit customer $j$ from $i$ then $x_{kij} = 1$<br>else $x_{kij} = 0$ |
| $y_{ki}$  | the number of times that vehicle $k$ visit customer $i$                             |

subject to

$$y_{k0} = 2 \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ki} = 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{kij} = y_{kj} \quad \forall j \in \{0, 1, \dots, n\} \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{kij} = y_{ki} \quad \forall i \in \{0, 1, \dots, n\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n y_{ki} q_i \leq Q \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, m\} \quad (6)$$

ここで, 式 (1) は条件 1 に対応し, 式 (2), (3), (4), (5) は条件 2, 3 に, 式 (6) は条件 4 にそれぞれ対応している.

## 3. 局所クラスタリング組織化法 (LCO)

LCO は, リカッチ型学習式に基づき局所的最適化をランダムに繰り返すことによって大域的最適化を実現する手法である. この際, 局所的最適化はクラスタリングにより行われる. 以下に  $n$  都市の TSP に対する LCO の基本アルゴリズムを示す.

1.  $n$  個の都市をランダムに一周する経路を生成する.
2. ランダムに都市  $c$  を選択し, 近傍範囲  $r$  を設定する.
3. 都市  $c$  の両近傍  $c-r$  から  $c+r$  までの経路をクラスタリングにより最適化する.
4. 終了条件を満たせば終了. それ以外は 2. へ戻る.

ここで, 3. におけるクラスタリング手法には, 交換法 (SEM), 逆位交換法 (IEM) および平滑法 (SM) がある.

## 4. LCO の VRP への適用

VRP を LCO に適用する方法を以下に示す.

### 4.1 解表現

まず, 解表現として一次元の数値配列を採用する. この配列は配送拠点を示す 0 が  $m$  個と, 各顧客を示す数値  $1, 2, \dots, n$

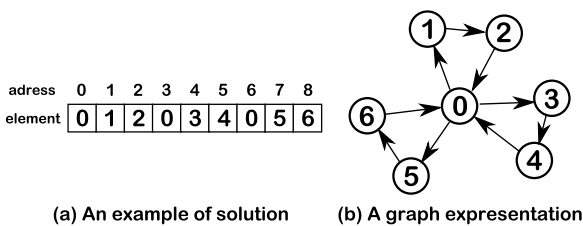


Fig. 1 Decoding a VRP solution

Table 2 Characteristic of test problems

| Problem number | number of customers | vehicle capacity | capacity ratio |
|----------------|---------------------|------------------|----------------|
| C1             | 50                  | 160              | 0.97           |
| C2             | 75                  | 140              | 0.97           |
| C3             | 100                 | 200              | 0.91           |
| C4             | 150                 | 200              | 0.93           |
| C5             | 199                 | 100              | 0.98           |

の  $n$  個から成る, 要素数  $m + n$  の配列である. この配列上ではある配送拠点から次の配送拠点までが車両一台の経路を表す. また, 最適化により配列上で配送拠点が隣り合う場合, その間の経路のコストは 0 なので, 結果として車両数が減少したと考えることが可能である. 図 1 に  $m = 3, n = 6$  の解の例を示す.

4.2 初期車両数

VRP において  $c_{ij} < c_{i0} + c_{0j} (\forall i, j \in \{1, 2, \dots, m\})$  が成り立つ場合, 車両数が少ないほうが配送コストの小さい解が得られる. しかし, 制約を満たす最低限必要な車両数の正確な値を求めるためには, 各顧客の需要量と車両の積載量上限に基づくビンパッキング問題を解く必要がある. そこで, ビンパッキング問題を解く代わりに, 初期解においてある程度多い車両数を使用し, 最適化によって車両数を減少させることを行う. ただし, 初期車両数を多くすると解表現の要素数が多くなり計算時間が増大してしまうので初期車両数は総需要量を積載量の上限で割った値の 2 倍とする.

4.3 アルゴリズム

LCO を VRP に適用したアルゴリズムを以下に示す.

- ランダムな初期解を作成する.
- ランダムに都市を選択し, その近傍内をクラスタリングする. その際,  $\sum_{i=0}^n y_{ki} q_i$  を評価関数として用い, これが減少する場合に解を更新する
- 式 (6) を満たすならば次に進み, そうでなければ 2. へ戻る
- ランダムに都市を選択し, その近傍内をクラスタリングする. その際,  $\sum_{k=1}^m \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{kij}$  を評価関数として用い, 式 (6) を満たす範囲内で, これが減少する場合に解を更新する
- 解が一定回数改善されないならば終了, そうでなければ 4. へ戻る

また, 近傍値は,  $0 < r < 0.8n$  を満たす乱数をクラスタリング一回毎に生成して決定する. 各クラスタリング手法も一回毎にランダムに選択し, SEM, IEM, SM の選択割合を 0.4, 0.4, 0.2 とする.

5. 数値計算実験

VRP に対する LCO の有効性を検証するために数値計算実験を行なった. 実験には, 文献<sup>2)</sup>で用いられた問題の内, 表 2 に示す 5 種類を使用し, 問題毎に LCO の試行を 100 回行い, その最良解と平均値を結果として用いる. 比較対象には, GA<sup>3)</sup>, SA<sup>4)</sup>, TS<sup>4)</sup> を用いる.

Table 3 Computational result for LCO

| Problem | average | optimum ratio | best    | optimum ratio |
|---------|---------|---------------|---------|---------------|
| C1      | 610.86  | 1.164         | 543.79  | 1.036         |
| C2      | 919.15  | 1.100         | 882.71  | 1.056         |
| C3      | 905.47  | 1.096         | 859.97  | 1.040         |
| C4      | 1154.18 | 1.122         | 1093.96 | 1.063         |
| C5      | 1457.98 | 1.129         | 1399.18 | 1.083         |

Table 4 Comparison of LCO with published results

| Problem | LCO   | GA    | SA    | TS    |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| C1      | 1.164 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| C2      | 1.056 | 1.004 | 1.003 | 1.010 |
| C3      | 1.040 | 1.004 | 1.003 | 1.010 |
| C4      | 1.063 | 1.006 | 1.028 | 1.015 |
| C5      | 1.083 | 1.028 | 1.065 | 1.033 |

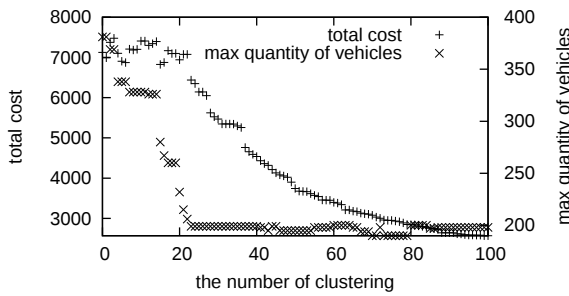


Fig. 2 relation the number of clustering, total cost and max quantity

5.1 結果

LCO による配送コストの平均値, 最良解とその解精度を表 2 に, GA, SA 及び TS との最良解の比較を表 3 に示す. 今回, LCO では最適解が得られず, 平均解精度は 1.096 から 1.164 となった. 他の解法では最適解が得られているので, それに比べると悪い結果となった. また, 一台の車両に割りられる需要量の積載量上限に対する割合が 1 に近いほど, 解精度が悪くなるという関係が得られた. これは, 需要量の制限が厳しいほど探索が難しくなるためと考えられ, 解精度を向上させるためにはその点も考慮したアルゴリズム, クラスタリング手法, 解表現の改良が必要である. また, クラスタリング回数 0 回から 100 回までの配送コストと積載量の最大値の変化を図 2 に示す. この図では, 20 回程度のクラスタリングで制約条件が満たされ, その後のクラスタリングで配送コストが減少していく様子が見られる.

6. おわりに

本研究では, LCO を VRP に適用する手法を提案し, 数値計算実験によりその有効性を示した. しかし, GA, SA, TS と比べて解精度が悪く, 特に積載量についての制約が厳しいほど解精度が悪くなる結果が得られた. 今後の課題のとしてアルゴリズム, クラスタリング手法, 解表現の改良, 改善による解精度の向上とが挙げられる. さらに, LCO と他の解法との計算時間の比較を行う.

参 考 文 献

1) 古川 正志, 渡辺 美知子, 松村 有祐: 局所クラスタリング組織化法による TSP の解法, 日本機械学会論文集 (C 編) 71 巻 771 号, (2005) 3189-3195.  
2) N.Christofides, A.Mingozzi, P.Toth and C.Sandi (eds): "Combinatorial optimization", John Wiley, Chichester 1979.  
3) Barrie M. Baker, M.A. Ayechev: A genetic algorithm for the vehicle routing problem, Computer & Operations Research 30, (2003) 787-800.  
4) Ibrahim Hassan Osman: Metastrategy simulated anealing and tabu search algorithm for the vehicle routing problem, Annals of Operation Research 41, (1993) 421-451.