

アントコロニー最適化法を用いた解探索能力向上に関する研究

北見工業大学 ○松木祐樹, 渡辺美知子

要 旨

組合せ最適化問題は、ナップサック問題やトラック配送計画問題など数多くの問題が存在し、組合せ数が多くなると数式で解くことが困難な問題である。本研究では、巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem, TSP) にアントコロニー最適化法 (Ant Colony Optimization, ACO) を適用する。本稿では、ACO における解探索能力向上のために一つの手法を提案し、その数値シミュレーション実験を行い有効性を確認する。

1. はじめに

組み合わせ最適化問題には数多くの問題が存在し、これらは解の組み合わせ数が増えると計算量が増大し、問題を解くことが困難となる。その解法には、メタヒューリスティックなアルゴリズムを用いることが一般的であるが、その解のほとんどは早期に近似解に収束し最適解に至らないことが多い。解の収束を防止し最適解の発生率を高めるには、探索範囲の多様性の維持が必要であると考えられる。本研究では、組み合わせ最適化問題の一つである TSP に ACO を適用し、提案手法が解探索効率に及ぼす効果を考察する。

2. アントコロニー最適化法 (ACO)

蟻が巣から餌の探索へ行く場合、中継地点 (以下、都市とする) に足跡フェロモン (以下、フェロモンとする) を付加しながら歩き回る性質を持っている。また、蟻はフェロモンを発見するとそれに引き寄せられる性質を持つ。そのため、餌までの経路が完成するとその経路付近で最短経路を探索し、別経路を探索していた蟻がこれに引き寄せられて新たな経路を作成する。そして、全移動経路からはフェロモンが少しずつ蒸発していく。これを繰り返していくと、餌から巣までの経路が短いほどフェロモン残留量が多くなり、最短経路が選ばれやすくなる。ACO とは、このような蟻の群行動を模倣したメタヒューリスティックな最適化アルゴリズムであり、その基本的なアルゴリズムを以下に示す。

[アルゴリズム]

1. 蟻の移動経路とフェロモン情報の初期化をする
2. 全ての蟻に対して、移動可能都市を選択する
3. 全ての蟻に対して、選択した都市へ移動する
4. 現在留まっている都市に対して、フェロモンを散布する
5. 全都市からフェロモンが蒸発する
6. 全ステップ数を満たすまで 2~5 を繰り返し、満たせば今までの解を出力、描画する

2.1 都市選択, フェロモン散布, 蒸発

蟻の集団の中の一匹 (蟻 k) が巡回路を作成することを考える。現在をステップ t とし、蟻 k は都市 i から都市 j へ移動しようとしている。このとき蟻 k が移動可能な都市

の集合を Ω で表し、その都市数を m とする。ここで、 Ω に属する都市 j に対して以下のような選択確率を計算する。

$$S_{ij}^k(t) = \frac{P_{ij}(t)}{\sum_{m \in \Omega} (P_{im}(t))} \quad (1)$$

ここで $P_{ij}(t)$ は、ステップ t 時点での都市 j に蓄積されたフェロモン量の合計、 $P_{im}(t)$ はステップ t 時点での移動可能都市 Ω に蓄積されたフェロモン量の合計を表し、 $P_{ij}(t)$ が多い都市ほど選択される確率が高くなる。初期の蟻が移動する際のみフェロモンが存在しないため、この場合はランダムで経路を選択する。これらを考慮して Ω の全ての都市に対して上記の評価値を計算し、得られた確率に応じて蟻 k の移動都市 j が決まる。各蟻に対して以上の操作を行い、ステップ t における各巡回路 $T_k(t)$ を作成して、移動を行う。

移動後は、フェロモン散布を行う。蟻 k が作成した巡回路を $T_k(t)$ とし、その長さを $L_k(t)$ としたとき、蟻 k は各経路に対して以下の式で分泌するフェロモン $\Delta P_{ij}^k(t)$ を決定する。

$$\Delta P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{C}{L_k(t)} & \text{if } ((i, j) \in T_k(t)) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

ここで C は正の定数であり、都市数に応じて変更する。この値により次ステップ ($t+1$) のフェロモン量 $P_{ij}(t+1)$ は、以下の式で更新される。

$$P_{ij}(t+1) = (P_{ij}(t) - A) + \sum_{k=1}^n \Delta P_{ij}^k(t) \quad (3)$$

ここで A は 1 ステップに蒸発するフェロモン量を表し、正の定数である。また、 n は蟻の最大数である。以上の式をアルゴリズムに従い、全ての蟻が定められたステップまで都市選択、移動、フェロモン散布を繰り返すことで最終解を得る。

3. 解の多様性

ACO では、ある解に対してその付近の解を模索し、更に良い評価値を導き出すことで解の正確性を向上させている。しかし、最適ではない解で収束し終了することがある。この解の多様性を維持するために、以下の手法を提案する。

3.1 蟻の死滅

蟻がフェロモンによって閉路を作ってしまったとき、その閉路に閉じ込められ、ほぼ脱出不可能となることがある(以下、渦巻き現象と呼ぶ)。これを阻止するために「特定ステップの移動で餌までたどり着けなかった場合、その蟻は餓死する。」という条件を新たに加え、蟻が餓死した場合は次のステップより新たな蟻を巣からスタートさせる。この方法とフェロモン蒸発の組み合わせによって、渦巻き現象による探索停止時間を軽減し、解探索回数が増えると考えられる。

4. 数値シミュレーション実験

図1は、都市の配置、蟻の巣、餌の位置を表す簡易モデルであり、各都市間の距離は1[m]とする。本実験では、各蟻が1ステップにつき上下左右の4都市から1都市を選択して移動し、全ての蟻が移動後、今留まっている都市にフェロモンを付加する。その後、全都市からフェロモンの蒸発を行い、次のステップよりフェロモン量が反映される。また、1ステップ前と移動予定都市が被った場合は、その都市を選択不能とする。選択可能都市がなくなった場合、フェロモンの帰路付加を行わずに巣へ帰り、次ステップより新たに探索をやり直す。蟻が餌を発見した場合は、ボーナスとして式(2)に従って計算されたフェロモン量を移動してきた全ての都市に付加し、経路長が短くなった場合は更に同量のフェロモンを追加する。

数値条件はステップ数を5000、蟻の数を100匹、フェロモン付加の定数Cを探索中なら200、餌発見時のみ10000とする。また、各都市が保存できるフェロモン量の上限を20000、蒸発の定数Aを40とする。蟻の死滅を行う場合は、巣を出発してから100ステップ以内に餌を発見できなかったら餓死するという条件を加える。死滅を行う場合と行わない場合の影響を比較するために、100匹の全ステップ終了後の各蟻の最短解を10回ずつ出力し、最短解の発生率で比較する。

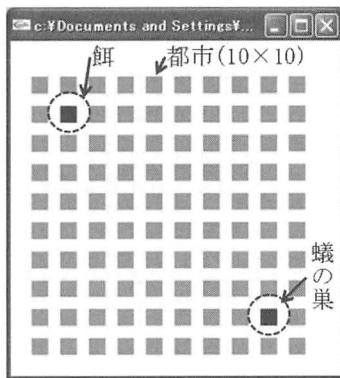


図1. ACOの簡易モデル

5. シミュレーション結果と考察

今回の最適解は、図2に示す経路1や経路2のような経路長が14[m]の解である。また、図3は100匹×10回の蟻の最短経路の発生率をまとめた棒グラフで、縦軸は最短解の発生率(各経路長の発生率/100匹×10回)、横軸

は各蟻が導き出した最短経路長を表している。図3からは、死滅無しの場合で最適解の発生率が最も低いことが分かる。しかし、死滅有りの条件を追加すると最適解の発生率が上がるだけでなく、経路長が短い順に解の発生率が上がっていることが分かる。従って、蟻の死滅は解探索能力向上に有効であるといえる。

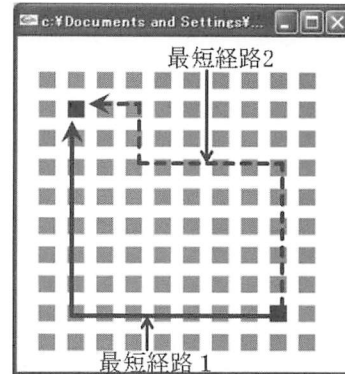


図2. ACOの最短経路

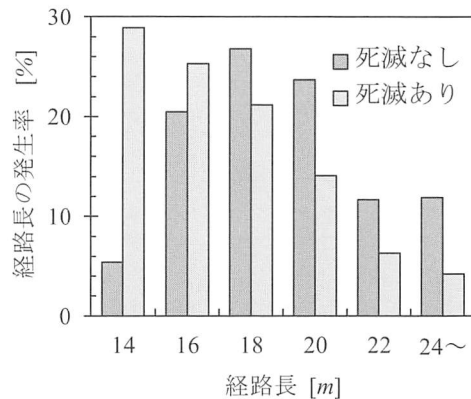


図3. 各蟻の最短経路長の発生率

6. おわりに

本研究では、ACOにおける解探索能力向上のために蟻の死滅を提案し、数値シミュレーション実験を行った。その結果、提案手法の有効性と多様性の重要性を確認できた。今後は、2種類の働く蟻(フェロモン重視とヒューリスティック情報重視)と働かない蟻といった計3種類の蟻がいる場合、どのような割合で存在すると、最適解探索効率が高くなるのかを検証する予定である。

参考文献

- 1) 小清水宏, 斎藤利通, 並列化ACOによる最適化問題へのアプローチ, 電子情報通信学会信学技法, NC2007-194, pp485-488, 2008
- 2) 亀田陽介, 狩野均, 局所最適解をフェロモンの初期配置に利用した案とコロニー最適化法によるTSPの解放, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2007
- 3) 久保正男, 嘉数侑昇, 蟻の餌争奪ゲームによるマルチエージェントシステムの協調動作評価, 情報処理学会論文誌, Vol.35, pp1555-1566, 1994