

MAX-MIN アントシステムにおけるフェロモン更新法の改良

1 序論

アントコロニー最適化法 (ACO) は、蟻の採餌行動を模倣した組み合わせ最適化アルゴリズムである。ACO では、経路に対してフェロモンと呼ばれる重みを与え、次世代に有効な経路情報を伝達する。代表的な ACO として MAX-MIN Ant System (MMAS) が挙げられる [1]。MMAS では、各世代で作成される巡回路のうち最も短い巡回路にのみフェロモンを付加する。しかし、この手法では、各世代で 1 つの経路にしかフェロモンを付加しないため、フェロモンを付加した経路への探索が集中してしまう傾向がある。

本論文では、フェロモンの更新に各世代における優良解を多数用いることで、従来の MMAS より性能を向上させる手法を提案し、巡回セールスマン問題 (TSP) のベンチマーク問題を対象に検証実験を行う。

2 巡回セールスマン問題

巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem, TSP) [3] は、 n 個の都市集合 $V = \{1, 2, \dots, n\}$ と、 V に含まれる 2 つの都市 $i, j (i, j \in V, i \neq j)$ 間の距離 $d(i, j)$ が与えられているとき、すべての都市を一度ずつ訪問した後に最初の都市に戻ってくる巡回路の組み合わせのうち、総移動距離が最小になる巡回路を求める問題である。

3 アントコロニー最適化法

アントコロニー最適化法 (Ant Colony Optimization, ACO) は、経路に対してフェロモンと呼ばれる重みを与え、次世代に有効な経路情報を伝達することで組み合わせ最適化問題の解の探索を行うヒューリスティック解法である。TSP を対象とした ACO アルゴリズムである、アントシステム (Ant System, AS) のアルゴリズムを以下に示す。

- 手順 1 全ての経路のフェロモンを定数 τ_0 で初期化する。
- 手順 2 全ての蟻エージェントをランダムに選択した都市に配置する。
- 手順 3 各エージェントは、巡回路が完成するまで確率的に逐次、都市を選択する。都市を探索するエージェント k が都市 i から都市 j へ移動する確率は、式 (1) の $p_{ij}^{(k)}$ で表される。

$$p_{ij}^{(k)} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in \Omega(k)} [\tau_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} \quad (1)$$

ここで、 $\Omega(k)$ はエージェント k がまだ訪れていない未訪問の都市集合、 τ_{ij} は都市 i, j 間に蓄積されているフェロモン量、 η_{ij} は都市 i, j 間のヒューリスティック

な情報であり、TSP では、ユークリッド距離の逆数 $1/d_{ij}$ を用いる

- また、 $\alpha, \beta (\alpha \geq 0, \beta \geq 0)$ は τ, η のどちらに重みをつけるかのパラメータである
- 手順 4 エージェントが作成した巡回路と巡回路長に基づき、フェロモン情報を更新する。フェロモン情報の更新は、式 (2)、式 (3) に従って行われる。

$$\Delta\tau_{ij}^{(k)} \leftarrow \begin{cases} Q/L_k & (i, j) \in T_k \text{ のとき} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (2)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^N \Delta\tau_{ij}^{(k)} \quad (3)$$

Q は正の定数、 T_k はエージェント k が作成した巡回路に含まれる経路集合を表し、 L_k はその巡回路長を表す。また、 $\rho (0 < \rho < 1)$ はフェロモンの蒸発量のパラメータ、 N はエージェントの数を表している。

- 手順 5 手順 2, 3, 4 を 1 世代とし、終了条件を満たすまで繰り返す
- 手順 6 得られた最良解を出力する

3.1 MAX-MIN アントシステム

MAX-MIN アントシステム (MAX-MIN Ant System, MMAS) は、文献 [1] で示された手法である。MMAS では、式 (4)、式 (5) に基づき、各世代で作成される巡回路のうち、最短の巡回路に含まれる経路にのみフェロモンの付加を行う。

$$\Delta\tau_{ij}^{(\text{best})} \leftarrow \begin{cases} Q/L_{\text{best}} & (i, j) \in T_{\text{best}} \text{ のとき} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (4)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^{(\text{best})} \quad (5)$$

ここで、 T_{best} は、アルゴリズムの各世代において作成された最良の巡回路であり、 L_{best} はその巡回路長を表す。また、MMAS では式 (6)-(9) に基づき、フェロモンの上下限の閾値を設けることで、フェロモンの値が一定の範囲に収まるように調節する。

$$\tau_{ij} \leftarrow \max(\tau_{ij}, \tau_{\min}) \quad (6)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow \min(\tau_{ij}, \tau_{\max}) \quad (7)$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\rho \times f(s_{\text{best}})} \quad (8)$$

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}(1 - \sqrt[n]{0.05})}{(\frac{n}{2} - 1) \sqrt[n]{0.05}} \quad (9)$$

τ_{\max} はフェロモンの最大値、 τ_{\min} はフェロモンの最小値を表す。また、 s_{best} はその時点での最短巡回路長である。

4 提案手法

提案手法では、1世代で作成される巡回路のうち、巡回路長の短い経路 M 個に対してフェロモンの付加を行う。これにより、ある一定数の優良な経路に対して多くフェロモンを付加し、従来のMMASより優良な経路を広域的に探索することで、性能を向上させることができると考えられる。

4.1 提案手法におけるフェロモンの更新

提案手法では、式(10)、式(11)に基づいて、1世代で作成される巡回路長の短い M 個の巡回路、 $T_{best_1}, T_{best_2}, \dots, T_{best_M}$ にフェロモンの付加を行う。

$$\Delta\tau_{ij}^{(best_m)} \leftarrow \begin{cases} Q/L_{best_m} & (i,j) \in T_{best_m} \text{ のとき} \\ 0 & \text{その他} \end{cases} \quad (10)$$

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{m=1}^M \Delta\tau_{ij}^{(best_m)} \quad (11)$$

ここで、 T_{best_m} は、アルゴリズムの各世代において作成された巡回路長の短い、上位 m 番目の巡回路であり、 L_{best_m} はその巡回路長を表す。また、式(11)における ρ ($0 < \rho < 1$) は、フェロモンの蒸発率を表すパラメータであり、 M は、フェロモンの更新に用いる巡回路長の短い経路の個数を表すパラメータである。

4.2 検証実験

MMASと提案手法の比較を行うにあたり、 M の値を決定するために、TSPLIB [2] に公開されている、ベンチマーク問題 kroA100, kroB100 を対象に、 $M = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ についてそれぞれ実験を行う。その他のパラメータには、 $\alpha = 1.0, \beta = 5.0, \rho = 0.5$ を用いる。世代数 1000 で測定を行い、試行回数 20 回における最小値、平均値を表 1 に示す。

表 1: M の値と巡回路長の関係

M	kroA100(21282)		kroB100(22141)	
	平均	分散	平均	分散
1	21340.9	62.05	22296.7	58.55
2	21342.5	41.30	22295.5	35.48
3	21338.5	37.11	22291.3	43.58
4	21331.1	37.51	22288.1	47.21
5	21356.4	44.41	22293.3	29.97
6	21360.6	39.15	22304.6	44.34
7	21359.5	44.65	22300.0	31.79

表 1 より $M = 4$ のとき良い結果が出力されている。また、 M の値を大きくしすぎると、優良ではない経路のフェロモンまでも増幅し、解が収束しないため、良い結果が得られなかったことがわかる。

4.3 MMAS との比較

ベンチマーク問題 eil51, eil76, kroA200, lin318, pr439 を対象に、従来のMMASと提案手法の比較を行った。世代数 1000 で測定を行い、試行回数 20 回における平均値、分散値を表 2 に示す。

図 1 は kroA100 に対して、提案手法と MMAS の 1 世代で作成される巡回路数のうち、異なる巡

表 2: 従来法と提案手法の比較

		kroA200	lin318	pr439
MMAS	最小	29504	46024	108793
	平均	29608.1	43156.8	109041.3
	分散	82.84	126.53	231.63
提案手法	最小	29425	42546	108638
	平均	29509.4	42733.1	108816.4
	分散	74.05	154.84	158.94

回路を作成した回数の推移を表したものである。図の実線が提案手法、破線がMMASを表している。この図から、提案手法はMMASより広域的に探索できていることがわかる。により異なる巡回路長を作成した回数の推移を、破線がMMASにより異なる巡回路長を作成した回数の推移を表している。

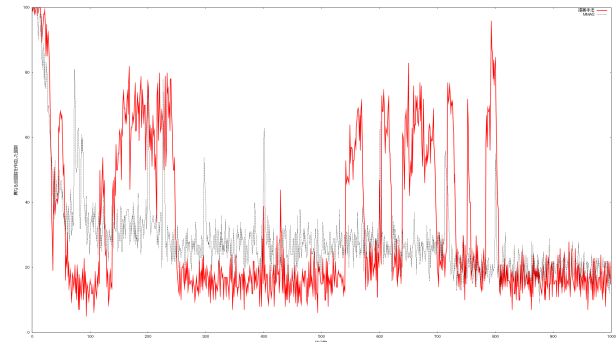


図 1: kroA100 における異なる巡回路を作成した回数の推移

5 考察

比較検証により、従来のMMASでは探索が分散した後、数世代で探索が集中していたことがわかる。それに対し、提案手法では、新に発見された最短経路のフェロモン情報を基に、上位4個の経路に対してフェロモンの付加を行うことで、探索の集中化を遅らせ、数十世代をかけて再び探索が集中していることがわかる。提案手法では、探索を分散させることで複数の優良な経路の探索を行うことができ、結果として従来のMMASより短い巡回路を発見できた。

参考文献

- [1] Stützle T. and Hoos H. : “The *MAX-MIN* ant system and local search for travelling salesman problems,” Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation and Evolutionary Programming Conference, pp.309-314, 1997.
- [2] TSPLIB, <http://comopt.i.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/> (最終閲覧日 2014/2/1)
- [3] Lawler E. L., J. K. Rinnooy, Kan A. H. G. and Shmoys D. B. : “The Travelling Salesman Problem,” 1985.