

アントシステムアルゴリズムの TSP への試作と改善の試み

01107771 小樽商科大学 加地太一 KAJI Taichi

1. はじめに

巡回セールスマン問題(TSP)に対して Dorigo⁽¹⁾はアントシステムアルゴリズムを提案した。そのアルゴリズムはアントのコロニーでの動きにアナロジーを持つことを特色としている。すなわち、ある時点でアントが異なる経路を選択しフェロモンを付着しながら進行する。多数のアントによってこの行動が取られるとき、短い距離の経路では単位時間あたり進行するアントの数が多いため、より強くフェロモンが付着される。この結果、フェロモンの強い経路を選択し短い経路へのアントの行進が完成する。このようにふるまうアントを自律的かつ協調的に活動するエージェントと考えアルゴリズムを構成している。また、このアルゴリズムによる結果では Simulated Annealing より効果的であったとの報告が記されている。このアルゴリズムの構成は単純でありさらなる改善の余地が残されているものと考えられる。そこで今回、このアルゴリズムに対して試作を行い改善等について考察する。

2. アントシステムアルゴリズム

TSP 問題はグラフ $G(V,E)$ に対して、 n 個の都市(頂点)をおのおの一回訪問する最小の距離となる巡回路を発見する問題である。ここで、 V は n 個の都市を表す頂点集合、および E は各都市の経路を表す辺集合とし、各辺には距離が割り当てられる。

TSP に対してアントを m 個用意することにより、時間 t においてすべての頂点に存在するアントの総和は m となる。各アントは以下の性質を持つ単純なエージェントである。

- アントは、2 頂点間の距離とその辺に対する現時点での重要度から導出された関数に従って確率的に次に進む都市を選択する。
- すでに訪れた都市を選択しない(巡回路が完成するまで)。
- 選択した経路にフェロモン情報を付加する。

$\tau_{ij}(t)$ は時間 t における辺 (i,j) の重要度を示すフェロモン情報とする。時間 t において各アントは次の都市に進み、その時間は $t+1$ とする。したがって、巡回路を完成し、アントシステムアルゴリズムにおける反復 l では $t=nl$ となる。各時点 t において、各辺のフェロモン情報の更新を以下のように行う。

$$\tau_{ij}(t) = \rho \tau_{ij}(t+n) + \Delta \tau_{ij} \quad (1)$$

ρ は $1 - \rho$ が反復時点においてフェロモンが蒸発す

る割合を示すパラメータである。また

$$\Delta \tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (2)$$

となる。

$\Delta \tau_{ij}^k$ (時間 t から $t+n$ の一反復における) は

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } k \text{ 番目のアントの巡回路が辺 } (i,j) \text{ を} \\ & \text{使用する。} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

であり、一反復の過程での k 番目のアントエージェントに関する辺 (i,j) の重要性の指標である。ここで、 Q は定数(パラメータ)であり、 L_k は k 番目のアントの巡回路の長さである。また、 $\tau_{ij}(0)$ には小さな正の値である c を与えておく。

各アントが t から $t+n$ における巡回路生成の段階で、すでに訪れた都市を選択しないようにするために、一度訪れた都市が認識できるように通常禁止リスト $tabu^k$ (アント k が訪れた都市の集合) を設ける。ここで作成した禁止リストは各アントが頂点の要素に対応した一次元配列を持ち、配列の添字に都市番号を対応させる方式を取る。一度訪れた都市に対応する要素に **flag** を立てることによって、その都市を選択することを禁止する。この判定処理は $O(1)$ で可能になる。一反復終了後、すなわち巡回路の完成後配列要素は初期化することによりすべての都市を選択可能に復帰する。

以下に各アントエージェントが次に進む都市を確率的に選択するための推移確率の定義式を示す。ここで用いる値として先に求めた各辺のフェロモン情報 $\tau_{ij}(t)$ は大域の見地から辺 (i,j) を選択する可能性を高める。また、 η_{ij} は $1/d_{ij}$ であり、辺 (i,j) が短ければ大きな値を表す欲張りの指標である。

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k \in \{V - tabu^k\}} [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta} & \text{if } j \in \{V - tabu^k\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

α と β は $\tau_{ij}(t)$ と η_{ij} の重みを決定するパラメータ

である。すなわち、大域的な指標と欲張りの指標のどちらかに重きを置くことにより、次の都市の選択の決定に反映させる。

以上で示したように、都市間の大域的見地からの好ましさ、および欲張りの見地からの都市間距離の短さによって確率的に都市を選択し巡回路を形成し完成後、大域的な指標を示すフェロモン情報を更新し同様な処理を繰り返すのがアントシステムアルゴリズムである。以下にその全体概要を述べる。

アントシステムアルゴリズム

1. 初期化

タイムカウンター t を0とする。 m 個のアントをランダムに各都市(出発点)に配置する。すべての辺 (i,j) に対して $\tau_{ij}(t)=c$ とする。

2. 各アント k 各々に対して(4)式の確率 $p_{ij}^k(t)$ によって現時点で訪問していない都市の中から次に進む都市 j を選択し移動する。すべての都市を訪問し終わるまでステップ2を繰り返す。

3. 各アント k に対して L_k を求め現段階での最良な巡回路の更新を行い、(3)式の $\Delta\tau_{ij}^k$ を計算する。 $t=t+n$ とし、(1)式の各辺のフェロモン情報を更新する。また、 tabu^k を初期化し各都市を選択可能にもどす。

4. 終了判定基準が成立しなければ、ステップ2へ戻る

3. 改善への試み

以上に示したアントシステムアルゴリズムは大域的情報と欲張りの情報の異なる情報を総合しより質の高い解への探索を行っている。ここで示されたアルゴリズムのフレームは単純であり、さらなる改善の可能性が多く含まれている。以下に改善の試みの考えを述べる。

● 推移確率 $p_{ij}^k(t)$ の修正

1. 混合戦略の導入

アントシステムアルゴリズムではパラメータ α 、 β により大域的と欲張りの制御の重みをコントロールしその推移確率を決定している。この制御過程において大域的選択と欲張りの選択の確率的振り分けによる混合戦略の導入を試みる。

2. 推移確率の決定において大域的と欲張りの2つの指標によって一つの指標を求めている。ここで、多目的計画法における各種の目標点の計算における考えを導入し合理的な一つの指標を考察する。

● 第3のフェロモン情報の導入

アントシステムアルゴリズムで用いられているフェロモン情報 $\tau_{ij}(t)$ はある時点においての

最良解への指標となる正の情報である。これに対して第3のフェロモン情報としてタブー効果を持たせる負の情報、あるいは問題依存型の情報など考慮する。

● メタ戦略ハイブリッド型アントシステムアルゴリズム

時間 $t+n$ の段階で完成した巡回路の集団に対して、遺伝アルゴリズムあるいは Simulated Annealing を適用し解の改善を行い、その上でフェロモン情報を形成する。

4. アントシステムアルゴリズムの他問題への適用

アントシステムアルゴリズムの他の問題への適用としてジョブショップ問題、2次割り当て問題などへの適用が報告^{(1),(2)}されている。これらの問題は TSP と同様に順列の組合せの中で最良な値を求める問題に帰着することができその上でアントシステムアルゴリズムを適用することが可能である(したがって、非順列型の組合せ問題では適用は困難であり、考え方の飛躍が必要である)。したがって、TSP より複雑度が高い Vehicle Routing Problem に対しては、ある時点でデポに戻る制約を加えることによりアントシステムアルゴリズムの適用は可能である。このような複雑度が高くなることによるアントシステムアルゴリズムの特性は興味深い。

5. おわりに

アントシステムアルゴリズムは単純な構成の上で有効な結果をもたらすアルゴリズムである。このアルゴリズムに対していくつかの改善案を示し、問題の拡張を考察した。これらの考察の有効性については当日発表を予定する。また、このアルゴリズムは順列型組合せ問題への適用は容易であるが、非順列型組合せ問題ではさらなる飛躍が必要となる。今後、非順列型組合せ問題である分割問題などへの適用を試みたい。

参考文献

- (1) Dorigo M., Maniezzo V. and Colnari A. : "The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B, Vol.26, No.1, pp.1-26(1996).
- (2) Kawamura H., Yamamoto M., Mitamura T., Suzuki K. and Ohuchi A. "Cooperative Search Based on Pheromone Communication for Vehicle Routing Problems", IEICE Trans. (to appear).