

Voronoi 手法による巡回セールスマン問題 (TSP) の解法の性能改善

木村 翼 高橋 良英

八戸工業大学大学院 電子電気情報工学専攻

1. はじめに

巡回セールスマン問題 (TSP: Traveling Salesman Problem) の解法として Voronoi 手法が着目を浴びている。Voronoi 手法とは、巡回路を構成する都市のボロノイ分割を遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) の遺伝子交叉に応用した手法である。ここでは、両親の有効な枝情報をボロノイ分割した単位で子供に引き継ぐ。そしてボロノイ分割した領域境界の都市をその間の距離が最短になるようにつなぎあわせ、更に経路長の短い子供を生成する。Seo と Moon が提案した Voronoi 分割を応用した GA[1]は、突然変異手段としてダブルブリッジ、ローカルサーチとして Lin-Kernighan 法を使用したハイブリッド手法である。本検討では初期ツアー生成や突然変異手段とし蟻の餌採取活動を模したアントコロニー最適化法 ACO, ローカルサーチとして親 A と親 B の同数の枝を交換し新たな巡回路を生成する枝組み立て交叉 (EAX: Edge Assembly Crossover) を使用した [2], [3]Voronoi based 遺伝的アルゴリズムの有効性を検証する。

2. 巡回セールスマン問題 (TSP)

すべての都市を1回ずつ巡回し、出発した都市に戻ってくる経路のうち、巡回の所要距離が最小となる経路を求める問題を TSP という。TSP は、都市数 N が大きくなると、その解を求めるのに、コンピュータを使っても、計算時間が膨大になってしまう NP 困難なクラスに属する問題であることが知られている。

3. 検討の位置づけ

これまで TSP を GAs 手法で解く場合に生ずる局所最適解からの脱出方法として ACO 突然変異方式による EAX 手法を検討しその有効性を示した[3]。ACO 突然変異方式のみでは EAX が最適解を探索できない場合がある。本検討では、EAX が探索する解空間の多様性を広げるため、ACO による突然変異結果と、Voronoi 手法で探索した結果を混在させ、それを入力して EAX に最適解を探索させるハイブリッド手法を検討することにした。

4. Voronoi 手法の現状調査

4. 1 Voronoi based 遺伝的アルゴリズムの概要

(ステップ 1)ボロノイ領域の決定・ n 個の都市の各々が、任意に選んだ k 個の母点の何れの母点に近いかという考え方で n 個の都市を k 個の領域に分別する。

(ステップ 2)両親 A, B の巡回路についてどの都市がどのボロノイ領域に属しているかを決定 (ボロノイ領域への巡回路の写像)。

(ステップ 3)各ボロノイ領域について両親 A, B のいずれの巡回路

情報を有効にするかを確率的に決定する。

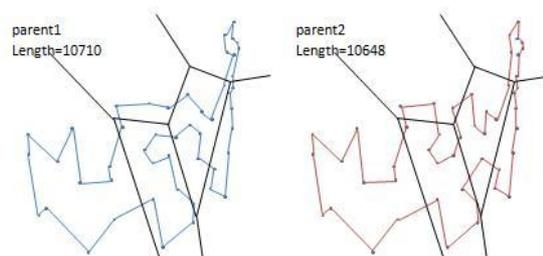


図1. 両親A, 両親Bの経路のボロノイ領域への写像 (att48)

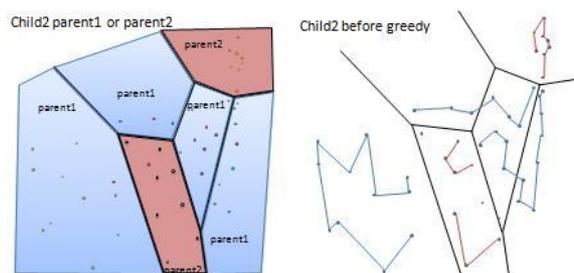


図2. 各ボロノイ領域について両親A, 両親Bの何れを有効にするかの確率的決定とこの決定に基づく子供の部分巡回路決定

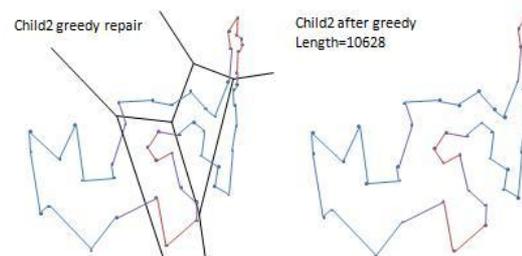


図3. Greedy-Repair による巡回路を再構成

(ステップ 4)その決定に基づき、ボロノイ領域の境界にまたがる領域の枝を除いて親 A または親 B の部分巡回路を子供の部分巡回路として決定する。

(ステップ 5) Voronoi 領域境界の枝については、最も近い枝に現在の枝をつなぐという Greedy-Repair 手法で、(ステップ 4)で得た部分巡回路をつなぎ合わせ全体の巡回路を再構成する。

表1 ACO→Voronoi→EAX と他の遺伝子交叉オペレータ間の評価 (d198:最適経路長=15780 (TSPLIB))

Operators	① Best length	② Ave. length	③ No. of optimal trials	④ Relative error	⑤ Best Computational Time (sec.)	⑥ Ave. Computational Time (sec.)
Voronoi	15,960	16,125	0	0.02186	4,735	4,735
ACO	16,604	17,144	0	0.08646	2,558	2,558
EAX	15,780	15,781	12/15	0.00007	492	565
ACO→EAX	15,780	15,781	13/15	0.00005	436	499
ACO→Voronoi→EAX	15,780	15,782	13/15	0.00010	4,087	4,422
ACO→Voronoi→C.L.K.	15,837	15,928	0	0.00937	5,781	5,781

4. 2 att48の事例によるアルゴリズムの説明

図1から図4はVoronoi based 遺伝的アルゴリズムの各ステップ処理を、48都市問題att48を例題にして示した図である。

(ステップ 1,2) 図1: ボロノイ領域の決定と両親 A, 両親 B の経路情報のボロノイ領域への写像・・・図1左は経路長 10,710 を持った両親 A の巡回路, 図1右は経路長 10,648 を持った両親 B の巡回路でありそれを6つのボロノイ領域に写像した図。

(ステップ 3,4) 図2左にて各ボロノイ領域について両親 A, 両親 B の何れを有効にするか確率的に決定。この決定に基づき、ボロノイ領域の境界にまたがる枝を除いて親 A または親 B の部分巡回路を子供の部分巡回路として決定した結果が図2右。

(ステップ5) 図3: Greedy-Repair による巡回路を再構成・・・図2の子供の部分巡回路を Greedy Repair 法で結びつけることによって見つけた最短巡回路長 10,628 の経路を図3は示している。

5. Voronoi ベース拡張遺伝子交叉オペレータ交代法 (ACO→Voronoi→EAX) のアルゴリズム

以下の手続きにより局所最適解に陥ることなくかつ最適解への収束速度を向上させた解探索が可能となる。

- (1) ACO が生成した解を Voronoi が引き継ぎ暫定解を見つける。
- (2) 見つけた暫定解と ACO が生成した多様な解とを混在させそれを入力して EAX に最適解を探索させる。
- (3) EAX で解が探索できない場合は EAX が探索した解に ACO で突然変異をかける。
- (4) ACO で突然変異をさせた解を入力として Voronoi 手法で解の仮収束を図る。
- (5) (3) で突然変異をかけた解と(4)で Voronoi が仮収束させた解を混在させた解を入力として EAX に再収束させる。(3)から(5)を EAX が最適解を見つけるまで繰り返す。

6. 実験

- (1) 調査空間・・・d198, TSPLIB に登録された最適経路長=15,780。
- (2) 比較対象遺伝子交叉オペレータ

Voronoi 単独, ACO 単独, EAX 単独と, ハイブリッド手法 ACO→EAX, ACO→Voronoi→EAX, ACO→Voronoi→C.L.K. という6つの遺伝子交叉交代オペレータ [2] について、それぞれが探索した最短距離と最短距離を探索するのに要したコンピュータ時間を調査することとした。C.L.K. (Chained Lin Kernighan) では突然変異手段としてダブルブリッジ, ローカルサーチとして Lin-Kernighan 法を用いたローカルサーチ手法である。ACO→Voronoi→C.L.K. は Seo と Moon が提案した手法と同等な手法である。

- (3) プログラム走行パラメータ

① 遺伝的アルゴリズム (Voronoi・EAX)・・・

Pop_size (集団サイズ) =100, pc (遺伝子交叉確率) =0.8

② ACO・フェロモン更新サイクル=100

(4) 調査結果

d198 を用いた Voronoi の性能実験結果を表1に示す。

表1は15回の独立した実験の結果であり、①探索した最適経路長, ②平均経路長, ③最適解探索回数, ④相対誤差 (= (平均経路長-TSPLIB で登録されている探索最適経路長) / TSPLIB で登録されている探索最適経路長), 最適解探索時間の⑤最小値と⑥平均値を示している。

この表で以下が読み取れる。(1)Voronoi, ACO 単独では15,960, 16,604の局所最適解しか見つからないこと, (2)EAX 単独で12/15最適解を見つけられること, (3)ACO→EAX が最適解平均探索時間が499と最も短いこと, (4) ACO→Voronoi→EAX と ACO→EAX は同じ最適解探索率 13/15 などこと, ACO→Voronoi→C.L.K. では最適解を探索できていないこと, 平均探索時間は ACO→Voronoi→EAX は4,422であり, ACO→EAX の約10倍なこと。

7. まとめ

(1)att48 による現状調査により ACO, Voronoi, EAX は全て最適解 10,628 を探索することを確認した。最適解探索時間は小さい順番に EAX, Voronoi, ACO であった。各ハイブリッド手法 ACO→EAX, ACO→Voronoi→EAX, ACO→Voronoi→C.L.K. でもそれぞれ最適解を探索した。最適解探索時間もこの順番であった。

(2)d198 を用いてハイブリッド手法 ACO→Voronoi→EAX の有効性の実験を行った。この結果、本研究で提案したハイブリッド手法である ACO→Voronoi→EAX による探索法は Seo と Moon が提案しているハイブリッド手法である ACO→Voronoi→C.L.K. よりも、最適解探索率が向上すること (0%→87%=13/15) を実験で確認した。(3)rat575 を用いた実験ではハイブリッド手法 ACO→EAX で見つからなかった解をハイブリッド手法 ACO→Voronoi→EAX が見つけている。

参考文献

[1] Dong-II Seo and Byung-Ro Moon, Voronoi Quantized Crossover for Travelling Salesman Problem, Genetic and Evolutionary, Computation Conference, pp.544-552, 2002.
 [2] R.Takahashi, A Hybrid Method of Genetic and Ant Colony Optimization to Solve the Traveling Salesman Problem, Proceedings of ICMLA2009, IEEE computer society, pp.81~88.
 [3] 吉川克哉, 高橋良英, ACO 突然変異方式による枝組立交叉 (EAX) の性能改善～巡回セールスマン問題 (TSP) の解法～, 情報処理学会創立 50 周年記念 (第 72 回) 全国大会, 講演論文集, 6V-8, Vol. 2, pp.417-418.