

他個体を参照した進化的計算による巡回セールスマン問題の解法

佐藤 豊浩†

穴田 一‡

東京都市大学大学院工学研究科†

東京都市大学知識工学部‡

1. 研究背景

巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem, TSP) は、配送計画や基板穿孔などの現実問題に直結しているが、厳密解を現実的な時間内に総当たりで求めることが困難な問題である。そのため、近似解を高精度かつ高速に求める方法が研究されている。進化的計算 (Evolutionary Computation, EC) は、生物学的進化から着想を得た操作を用いる近似解法の枠組みの一つである。EC の考えを基に構築された既存手法には、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, GA) [1], アントコロニー最適化 (Ant Colony Optimization, ACO) [2] など存在するが、自然界の生物の仕組みに囚われた問題点が存在する。

本研究では、EC の考えを基に新たなアルゴリズム、参照進化 (Referential Evolution, RE) を構築した。提案手法では、乱数への依存を抑えた突然変異、個体数を任意に変更出来る交叉、探索集団の多様性を考慮した更新を既存の操作に代わり導入した。そして、TSP のベンチマーク問題 [3] を用いた比較実験により有効性を確認した。

2. 提案手法

2.1 既存手法の問題点

EC の考えを基に構築された既存手法には、自然界の生物の仕組みを基にしているが故に改良可能な問題点が存在する。まず、GA の交叉のような操作は、自然界の生物の親子関係を基にしているため、親として扱う個体数を2個体に固定している。次に、GA の突然変異のような操作は、乱数に強く依存し、総当たりと同様の無駄な探索が多くなる。加えて、親の選択や個体の更新のような操作は、評価値のみによる選択圧が掛かるため、探索集団が即座に局所解に収束してしまう。

2.2 参照進化 (RE)

RE は、既存の突然変異に代わり、問題特有の情報を表す個体の表現型を利用して、探索集団が持ち合わせない新規要素を含む要素集合を探索集団より生成する。そして、既存の交叉に代わり、各個体は複数の他個体やこの要素集合を参照し、新たな個体に進化する。そのため、突然変異は乱数への依存が抑えられ、交叉は親として扱う個体数を任意に変更できる拡張性を有した新たな操作となっている。また、更新の際に評価が悪くなる場合でも新規要素を発見できたならば改悪を許容することで、探索集団の多様化を図っている。加えて、進化する自個体の要素を優先して引き継ぐことで、各個体を中心とした近傍探索を行う。そうすることで、探索集団の分散した初期配置を活用し、解空間を多様に探索する。

RE を TSP に適応させる場合、問題特有の情報である座標空間上の巡回経路を利用し、探索集団が持ち合わせない経路の発見を行い、要素集合として部分経路集合を生成する。そして、進化する自個体は「他個体の巡回経路」やこの「部分経路集合」を参照し、新たな個体に進化する。

2.3 RE の手順

RE は以下の 2.3.1, 2.3.2 の後 2.3.3~2.3.9 を繰り返すことにより探索を行う。

2.3.1 初期探索集団の生成

巡回経路を表す個体をランダムに m 個体 ($X^k, k = 1, \dots, m$) 生成する。 X_{ij}^k は X^k が都市 i と都市 j 間の経路 ij を通るか否かを表し、通る場合 1 とする。ここで、 i と j は都市番号 ($i, j = 1, \dots, n$), n は都市数である。

2.3.2 評価

各個体を巡回経路の経路長により評価する。

2.3.3 終了判定

ステップが上限に達した際、探索集団から評価が最も良い個体を選び、解として出力してアルゴリズムを終了する。

2.3.4 選択個体 X^s の選択

個体群から無作為に選択個体 X^s を選ぶ。

2.3.5 部分経路集合 V の生成

X^s と探索集団内の他個体 X^r の巡回経路を利用して、互いの経路間を座標空間上で探索し、発見した経路より部分経路集合 V を生成する。こ

A Novel Evolutionary Algorithm for solving the Traveling Salesman Problem.

† Toyohiro Sato, School of Engineering, Tokyo City University Graduate Division.

‡ Hajime Anada, Faculty of Knowledge Engineering, Tokyo City University.

のとき、経路を方向ベクトルとして扱い、共通した都市を始点とする方向ベクトルから合成ベクトルを求める。合成ベクトルは、「始点」と「互いの個体の方向ベクトルの終点を結ぶ経路を一定の比率で内分する点」を結ぶベクトルとなる。そして、合成ベクトルと最も類似した経路を記録する。この操作を全ての都市から行い、記録した経路より V が生成される。

2.3.6 相違個体 X^d の選択

探索集団から X^s と経路の重複が最も少ない相違個体 X^d を選ぶ。

2.3.7 進化個体 E の構築

X^s, V, X^d の経路を次式より重ね合わせ、経路集合 G を生成する。

$$G_{ij} = X_{ij}^s + \alpha V_{ij} + \beta X_{ij}^d \quad (1)$$

ここで、 α, β は進化個体 E の構築における V, X^d の経路の優先度合いを表すパラメータである。そして、 G に含まれる経路から E を構築する。初めに無作為に都市 i を選び、次に G に含まれる経路 ij を次式での選択確率により選択する。

$$p_{ij} = \frac{G_{ij}/d_{ij}^\gamma}{\sum_{h=1}^n (G_{ih}/d_{ih}^\gamma)} \quad (2)$$

ここで、 d_{ij} は経路 ij の経路長、 γ は経路長の影響度合いを表すパラメータである。再び無作為に都市 i を選び直し、経路の選択を繰り返すことで E を構築する。また、 G に含まれる経路から選択不能な場合、例外処理として一時的に TSP の制約条件を満たす全ての経路の選択確率を次式より定義し、 G に含まれない経路を選択する。

$$p_{ij} = \frac{1/d_{ij}^\gamma}{\sum_{h=1}^n (1/d_{ih}^\gamma)} \quad (3)$$

2.3.8 修正操作

構築した経路に対して 2opt 法による修正操作を行う。2opt 法は、巡回経路内の任意の 2 本の経路の入れ替えを繰り返すことで、より短い巡回経路を構築する操作である。

2.3.9 更新

次式に従い個体の更新を行い、2.3.3 へ戻る。

$$\begin{cases} X^s & \text{if } L^s * \min \left\{ 1 + \frac{n - \text{dup}}{n} * \text{imp}, \text{lim} \right\} \leq L^E \\ E & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 L^s, L^E は X^s, E の経路長、 dup は E と探索集団の経路の重複数である。 imp は新規経路の影響度合い、 lim は改悪を許容する倍率を表すパラメータである。

3. 評価実験

TSPLIB [3] に掲載されているベンチマーク問題 (eil51, st70, kroA100) を用いて、既存手法である GA の交叉方法に枝交換交叉を用いた手法 [1] と ACO の一種である MAX-MIN Ant System に記憶領域を導入した手法 [2] と比較実験

を行い、提案手法の有用性を確認した。その結果、全ての問題において提案手法は既存手法よりも高精度な解が求まることが確認された。これは、提案手法が探索集団の多様性を維持しつつ探索を進行することで、局所解に囚われなかったからであると考えられる。

加えて、様々な問題に対する提案手法の性能を確認した。この実験結果を表 1 に示す。表 1 の opt は厳密解到達回数 / 試行回数、error rate は最良解の平均値が厳密解から離れている割合である。この結果より、様々な問題においても高精度な解が求められることを確認した。

表 1: ベンチマーク問題に対する性能

問題	opt	error rate (%)
eil51	50 / 50	0.0000
st70	50 / 50	0.0000
kroA100	50 / 50	0.0000
kroA150	50 / 50	0.0000
kroA200	50 / 50	0.0000
pr226	50 / 50	0.0000
pr264	50 / 50	0.0000
a280	50 / 50	0.0000
lin318	50 / 50	0.0000
pr439	50 / 50	0.0000
rat575	3 / 10	0.0103
rat783	10 / 10	0.0000

4. おわりに

本研究では、EC の考えを基に TSP の近似解を高精度かつ高速に求める新たなアルゴリズム、RE を構築した。そして、TSP の解が既存手法よりも高精度に求まることが確認した。しかし、提案手法は複数の他個体や要素集合を参照して扱うことが出来る拡張性を有するため、参照する対象について検討余地がある。また、提案手法は TSP 以外の最適化問題に対しても一部の操作を置き換えることで適用出来るため、その有効性を確認したいと考えている。

参考文献

- [1] 前川景示, 玉置久, 喜多一, 西川禎一, "遺伝アルゴリズムによる巡回セールスマン問題の一解法," 計測自動制御学会論文集, vol.31, no.5, 1995.
- [2] 磯崎敬志, 穴田一, "記憶した最適解を参照する MAX-MIN Ant System による巡回セールスマン問題の解法," 電子情報通信学会論文誌, vol.J100-D, no.7, pp.1-9, 2017.
- [3] TSPLIB, <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>