1M-4

巡回セールスマン問題における粒子群最適化と 2-opt 法を組み合わせた最短経路探索法

伊藤　甫[†]　　藤井　昭宏[‡]　　田中　輝雄[‡]

工学院大学 大学院 工学研究科 情報学専攻[†]　工学院大学 情報学部[‡]

1. はじめに

粒子群最適化(Particle Swarm Optimization: PSO)は，大域的探索に優れた進化的アルゴリズムの一つである[1]．本研究では，局所探索法に対する PSO の大域的探索能力の利用可能性について検討する．対象問題として，巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem：TSP)を扱う．TSP とは，セールスマンが複数の都市を一度ずつ訪問し出発点に戻る最短経路を求める問題である．この問題は規模(都市数)が大きくなるにつれ探索経路が指数関数的に増大し，厳密解を求めることが困難になることで知られている[2]．TSP の解法の一つに 2-opt 法があるが，しばしば局所解に陥る[3]．本研究では，TSP 向けに修正された PSO[4]を改良し，2-opt 法と組み合わせることによる解の精度向上を目的とする．

2. 粒子群最適化

2.1. 粒子群最適化

粒子群最適化(以下 PSO)とは，James Kennedy および Russell Eberhart らによって 1995 年に開発された最適化問題を解くための手法である[1]．これは，鳥や魚の群れなど，生物の集団の行動を模したもので，1 匹がよい位置を発見すると他の個体はそれに倣う．PSO では，”位置”と”速度”の 2 つの情報を持った粒子の群れが多次元空間を飛び回り，最良な位置を探す．粒子の位置は適応度関数によって評価され，その情報をもとに，よりよい位置に向かい位置と速度を調整する．これを繰り返すことにより，最適解を探っていく．

2.2. TSP への適用

PSO は連続値最適化問題を解くアルゴリズムであるため，そのままの形では組み合わせ最適化問題に適用できないが，2003 年に Kang-Ping Wang らによって TSP 向け PSO アルゴリズムが提案された[4]．これは，PSO における粒子の位置を巡回路(以下 S)とし，次に入れ替えの命令である Swap Operator(以下 SO)やその集合である Swap Sequence(以下 SS)を定義し，これを速度とすることで，PSO を TSP の解法として扱えるようにしたものである．

2.3. TSP への適用の改良

本研究では上記の手法[4]を改良したものを使用している．改良版では，2 つの巡回路の減算において計算の冗長性を削減し，計算時間を約半減させている．例えば巡回路 A，B から SS=A-B を演算する場合，以前の手法では A の n 番目の都市が B の何番目にあるかを探索しなければならない．改良版では，まず A→(1,2,3,…,N)となるような変換パターンを作り，これを B に適用する．そして B+SS=(1,2,3,…,N)となるような SS を求める．この場合，各 SO の左辺は B の順番番号，右辺はその都市番号となるため，上記の探索を省略することができる．

さらに，粒子の速度および位置の更新式を図 1 のように定めた．

$$V_i^{t+1} = wV_i^t \oplus c_1(P_i^t - X_i^t) \oplus c_2(P_g^t - X_i^t)$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1}$$

i :粒子番号　t :反復　V :速度(SS)

X :位置(S)　P_i :自己最良位置(S)　P_g :全体最良位置(S)

$\oplus$:結合　w, c_1, c_2 :パラメータ

図 1 PSO における速度および位置の更新式

3. 2-opt 法

2-opt 法は，TSP における局所探索法である[3]．巡回路の中から 2 都市間を結ぶ路を 2 つ選び，巡回路長が短くなるように入れ替える．これを入れ替えができなくなるまで繰り返す．

Hybrid particle swarm optimization with 2-opt for traveling salesman problem

Hajime Ito[†] Akihiro Fujii[‡] and Teruo Tanaka[‡]

[†]Major in Informatics, Kogakuin University

[‡]Faculty of Infomatics , Kogakuin University

Copyright ©2013 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

4. 提案手法

本研究では，PSO の各反復において，各粒子に対し 2-opt 法を実行する手法を提案する．この手法を以下では 2opt-PSO とし，処理手順を図 2 に示す．

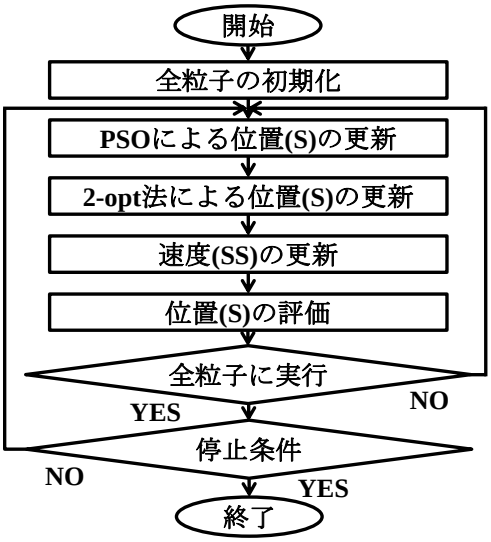

図 2 2opt-PSO のフローチャート

5. 評価

提案手法である 2opt-PSO と 2-opt 法のみの手法を比較する．同等の比較とするために，2-opt 法のみの手法は，各反復で粒子数分のランダムな巡回路を作り，それぞれに 2-opt 法を実施し，そのなかでの最適解とした．粒子数は 256，反復数は 300 とする．

TSP の問題は TSPLIB[5]から選択した．各問題に対しそれぞれの手法を 10 回ずつ実行し，それぞれの結果の誤差率の平均値を表 1 に示す．表 1 から，提案手法により 500 都市程度までは誤差率を 1%以下に抑えることができることがわかる．また，3000 都市程度でも 2%台に抑えることができた．

表 1 最適解との誤差率の比較

問題	都市数	2-opt法 誤差率(%)(a)	2opt-PSO 誤差率(%)(b)	改善率(%) (a-b)
kroA100	100	0.0	0.0	0.0
d198	198	1.2	0.1	1.1
tsp225	225	3.6	0.5	3.1
pcb442	442	5.8	0.8	5.0
att532	532	5.3	0.6	4.7
pcb1173	1173	9.2	1.6	7.6
pr2392	2392	10.6	2.0	8.6
pia3056	3056	11.9	2.2	9.7

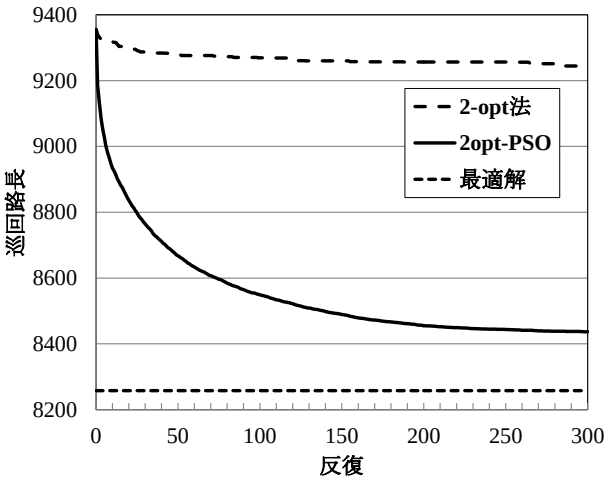

図 3 pia3056 の収束の様子

また，問題 pia3056 に対する各手法の収束の様子を図 3 に示す．図 3 から，2-opt 法に PSO を組み込むことで，収束がよくなることを確認できる．これは，2-opt 法のみの場合，初期巡回路をランダムに変えるだけでは一定の段階で局所解に陥るが，PSO により巡回路を更新することで局所解を回避できるためである．

6. まとめ

2-opt 法に粒子群最適化を組み合わせることにより，2-opt 法の解の精度を最大約 9.7%向上させた．これは，2-opt 法の局所解に陥ってしまうという弱点を，大域的探索に優れた粒子群最適化が補ったためと考えられる．また，提案手法は数百，数千都市の規模の問題に対しても有効であることも確認できた．この結果をもとに，本手法の TSP 以外の問題への適用も検討したい．

参考文献

[1] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle Swarm Optimization, IEEE International Conference on Neural Networks, Vol.4, pp.1942-1948, 1995.

[2] 山本芳嗣，久保幹雄，巡回セールスマン問題への招待，朝倉書店，1997.

[3] G. A. Croes, A Method for Solving Traveling Salesman Problems, Operations Research, Vol.6, No.6, pp.791-812, 1958.

[4] K. P. Wang, L. Huang, C. G. Zhou and W. Pang, Particle Swarm Optimization for Traveling Salesman Problem, International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol.3, pp.1583-1585, 2003.

[5] TSPLIB:http://www.iwr.uni-heidelberg.de /groups/comopt/software/TSPLIB95/.

Copyright ©2013 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.