

Java マルチスレッドによる枝組立交叉 (EAX) の並列処理実現方式の検討 ～ 巡回セールスマン問題 (TSP) を解く GA の並列処理 ～

元田 剛 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) とは、セールスマンが n 箇所の都市を全て一回ずつ訪問し、出発都市に戻る時、最も短くなる経路を求める代表的な組合せ最適化問題である。TSP の最適解の近似を効率的に得る手法として遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) が有効であることが知られている。GA の探索性能は、遺伝的操作である交叉機能に依存するため、TSP に対して多くの交叉が提案されている。その中でも枝組立交叉 (EAX: Edge Assembly Crossover) は、探索率、探索時間の両面において優秀である [1], [2]。EAX とは、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方式である。これまでの我々の実験では、集団サイズを大きく設定すれば、最適解を 100% 探索できることがわかっている。しかし集団サイズを増加させると計算量が増加してしまう。このため、集団を複数のコンピュータ (スレッドのこと) に分割し、分割した単位で並列処理する手法が解の探索時間短縮を図るために必要と考える [3]。

本研究では、Java マルチスレッドを利用し、マルチプロセッサ上で遺伝子交叉処理 (EAX) を並列化させる方法を検討する。TSP のベンチマークテストデータ (TSPLIB) を用いた性能評価、性能改善結果を報告する。

2. EAX 並列処理方式

EAX の並列処理では集団を複数のプロセッサに分散し処理時間の短縮を図る。TSP データの規模や複雑さが大きくなった場合、並列処理により解探索効率は向上するものの、局所最適解に陥る場合がある。局所最適解に陥らないためには集団の多様性を確保しつつ解を収束させる必要がある。本検討では、移民方式ならびにその階層化によりそれを実現することとした。

2.1 移民方式

解探索効率化のため、個体群を部分集合に分割し分割した単位で個体群を並列に処理する。分割した個体群の集合と処理を島と呼ぶ。各島で生成管理する個体群の多様性を確保するため、生成した個体群を島間で移動させる以下の二方式を検討した。

<方式 1> 島間結婚方式 (図 1)

島内の個体を自分の島の個体または他の島の個体と遺伝子交

叉させ次世代の個体を生成する。当移民方式は直接的な移民ではなく間接的な移民である。点線は個体群の結婚関係を示す。丸は島 (Island) を示す。

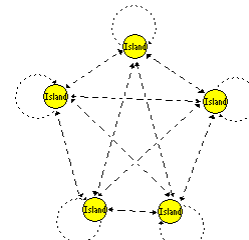


図 1. 島間結婚方式

<方式 2> 島間での優れた子孫の入れ替え方式 (島モデル) (図 2)

島内の個体間で遺伝子交叉を行い次世代の個体を生成する。各島で生成した個体のうち経路長の短い優れた個体群を島間で移動する。実線は優れた個体群の移動を示す。点線は個体群の結婚関係を示す。

2.2 Family 構成方式

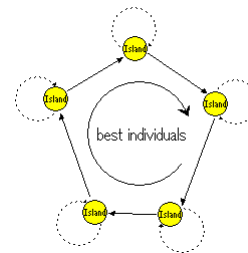


図 2. 島間での優れた子孫の入れ替え方式

各 Family 系列の結果生成した個体群の中から優れた個体を併合したり移民したりすることにより集団の多様性を確保する。

Family 構成方式 (図 3、4)

(1) 第一階層・初期データが異なる最適解探索プロセスとそれに使用した資源を Family と呼ぶ。Family 毎に最適解の近似解 (暫定解) を求める。本検討では、各 Family を疎結合マルチプロセッサ上の Java マルチスレッド SPMD 並列処理プログラムで実現した。当並列処理プログラムは EAX を各スレッドで並列処理させる。

(2) 第 i 階層 ($i \geq 2$) ・第 $i-1$ 階層の各 Family 系列の結果生成した個体群を併合することにより集団の多様性を確保する。その際、解探索効率を向上させるため優秀な個体群を選択し、併合したり移民したりする。これ等のファイルを入力として EAX 並列処理プログラムを再走行させる。優秀な個体群を併合する方式を Family 併合方式 (図 3)、優秀な個体群を移民する方式を Family 間移民方式 (図 4) と呼ぶ。

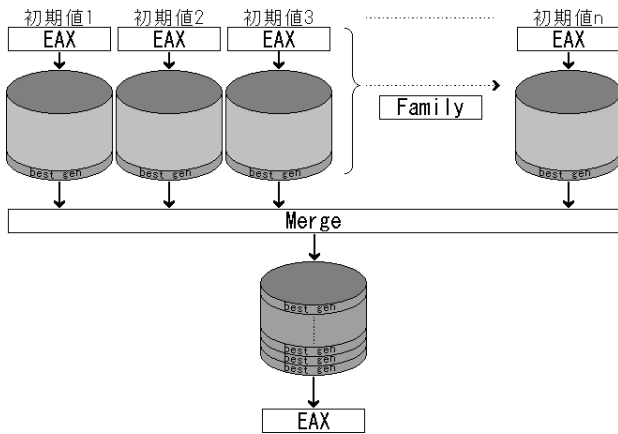


図3. Family 併合方式

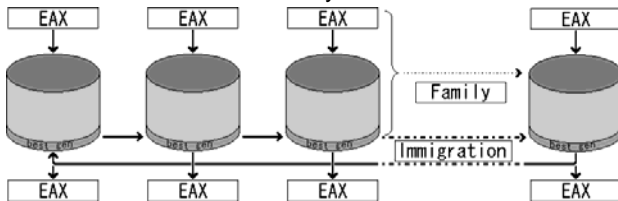


図4. Family 間移民方式

3. 実験

3.1 テストデータ

783 都市問題、rat783, TSPLIB に登録されている最短経路長は 8806.

3.2 テスト環境

Windows7, Dell PrecisionT5500, Intel(R) Xeon (R) CPU E5645, 2.40GHz 2.39GHz, 8.0 GB RAM, 6 コア 12 スレッドマシン

3.3 島間結婚方式×Family 併合方式の測定結果

(1) 測定条件

(a) 第1段の測定パラメータ

seed-id を 1 から 15 まで変化させた 15 回の Family 構成で島間での結婚方式の実験を行った。集団サイズ=300。スレッド数=12。分割集団サイズ=25。その他の EAX の主な起動パラメータは NCROSS=0, 2-opt, 3-opt 法なし。親の選択方法は family 毎に「親 A は全ての現世代の親、親 B は family をまたがってランダムに選択する」である。

(b) 第2段の測定パラメータ

第一段の結果の統合ファイルを入力とし、乱数種の異なる独立な試験を 15 回行った。統合ファイルの集団サイズ=2131、スレッド数=86、分割集団サイズ=25。上記以外は第1段と同じ走行パラメータである。(Family 間併合方式)

(2) 測定結果 (表1)

表1に実行結果を示す。表1では、(第1段 phase1)では全 family 内における最短経路長(minimum best length) (必ずしも TSPLIB 最短経路長ではない)、family 毎に見つけた最短経路長の平均値(mean best length)、最短経路探索時間の平均値(comp. time (sec.))、最短時間探索世代番号の平均値(best gen.)、全 family 内のジョブ開始(div. (start))終了(div. of all ind. (end))時の集団多様性の平均値、第二段階に引き渡される最良個体群のみの多様性(div. of sup. ind. (end))、TSPLIB 最短経路長探索数(cumulative number of optimal)を示している。多

様性(diversity)は、「1-最短経路長/平均経路長」で測定した。この表から、Family 系列毎の最終世代で EAX が生成した次善解の diversity の平均値はそれ等を混在させることにより、0.0122 から 0.0218 に向上したことが読み取れる。

表1 rat783 による並列 EAX

(島間結婚方式×Family 併合方式)の実験結果

phase	minimum best length	mean best length	comp time (sec.)	best gen	div. (start)	div. of all ind. (end)	div. of sup. ind. (end)	cumulative number of optimal
1	8828	8864	4399	196	0.0466	0.0120	0.0000	0/15
2	8806	8806	5525	49	0.0218	0.0126		15/15

3.4 島間結婚方式×Family 間移民方式

(1) 測定パラメータ

(a) 第1段・・・「島間結婚方式」

seed-id を 1 から 15 まで変化させた 15 個の Family 系列で実験を行った。各系列での測定パラメータは、島間結婚方式×Family 併合方式の第1段の測定パラメータと同じである。

(b) 第2段

Family 系列毎に生成した個体群のうち優秀な個体群を各系列間で移民する。その後、第1段と同じパラメータで EAX を再走行させる。(Family 間移民方式)

(c) 最適解が見つかるまで(b)を繰り返す。

(2) 測定結果 (表2)

第1~17 段(各種 phase)の Family 移民では最適解探索率は 60%=9/15、最適解探索平均計算時間は 32580 秒であった。

表2 rat783 による並列 EAX

(島間結婚方式×Family 間移民方式)の実験結果

phase	minimum best length	mean best length	comp time (sec.)	best gen	div. (start)	div. (end)	the number of families	pop size	cumulative number of optimal
1	8831	8865	3112	148	0.0466	0.0196	15	300	0/15
2	8817	8841	4157	139	0.0098	0.0155	15	366	0/15
3	8809	8827	5254	188	0.0137	0.0117	15	337	0/15
4	8806	8819	6827	153	0.0144	0.0087	15	671	1/15
5	8806	8815	162	11	0.0119	0.0065	14	241	3/15
6	8806	8812	58	6	0.0134	0.0109	12	205	6/15
7	8806	8813	5	1	0.0022	0.0014	9	203	7/15
8	8812	8813	758	32	0.0077	0.0076	8	264	7/15
9	8810	8812	2762	82	0.0045	0.0155	8	480	7/15
10	8809	8812	1367	52	0.0163	0.016	8	280	7/15
11	8808	8811	5105	132	0.0144	0.0176	8	502	7/15
12	8807	8810	20	1	0.0104	0.0168	8	320	7/15
13	8807	8809	527	19	0.0105	0.0137	8	265	7/15
14	8807	8808	11	1	0.0114	0.0108	8	239	7/15
15	8806	8807	2444	86	0.0214	0.0184	8	326	8/15
16	8807	8807	2	0	0.0087	0.0105	7	164	8/15
17	8806	8807	9	1	0.0301	0.0138	7	133	9/15

4. まとめ

rat783 の実験の結果、島間結婚方式×Family 併合方式で 100%、島間結婚方式×Family 間移民方式で 60%の最短経路長(=8806)を探索できた。Family 間移民方式の詳細評価、実験空間拡張を今後の課題とする。なお、島間での優れた子孫の入れ替え方式×Family 併合方式で 60%(9/15)、島間での優れた子孫の入れ替え方式×Family 間移民方式で 60%(9/15)探索できている。

参考文献

[1] 永田裕一, 小林重信: 巡回セールスマン問題に対する交叉: 枝組み立て交叉の提案と評価, 人工知能学会, Vol.15 No.5, 1998 年, pp. 848~859.
 [2] R. Takahashi: A Hybrid Method of Genetic Algorithms and Ant Colony Optimization to Solve the Traveling Salesman Problem, Proceedings of ICMLA2009, IEEE computer society, pp.81~88.
 [3] E. Cantu-Paz: Efficient and Accurate Parallel Genetic Algorithm, Kluwer Academic Publishers, 2001.