

並列分散遺伝的アルゴリズムにおける 多層リング型トポロジの探索性についての考察

菊池 雅彦[†], 小嶋 和徳^{††}, 伊藤 慶明^{††}, 石亀 昌明^{††}

[†] 岩手県立大学ソフトウェア情報学研究科 ^{††} 岩手県立大学ソフトウェア情報学部

並列分散遺伝的アルゴリズムにおいてトポロジは移民戦略に関係し、探索性にも影響を与える。トポロジによって効率的な移民を行うことができれば、探索性を高める事にも繋がる。本研究では新たなトポロジとして局所探索と大域探索の両面を考慮する事で探索性を高めた多層リング型トポロジを提案する。多層リング型トポロジはリング型トポロジを幾つか外側を囲むように重ねた構造のトポロジであり、外円では大域探索を、内円では局所探索を行うことを目的とする。巡回セールスパーソン問題の30都市に適用し、従来トポロジと比較した結果、移民内容やパラメータを調整することで従来トポロジよりも良い探索性を得ることができ、その有効性を示した。

Consideration of Search Performance of Multi Layer Ring Topology on Pallarel Distributed Genetic Algorithm

Masahiko KIKUCHI[†] Kazunori KOJIMA^{††} Yoshiaki ITO^{††} Masaaki ISHIGAME^{††}

[†] Graduate School of Software and Informaiton Science, Iwate Prefectural University

^{††} Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

In PDGA, topology is one of the migration strategy, and affects the search performance. If efficient topology will be developed, the search performance will be improved. This paper proposes Multi Layer Ring(MLR) topology that improves the search performance by considering both of local and global search. MLR consists of some layer of ring topology. outer layer works as the global search layer and inner layer works as the local search layer. We applied TSP with 30 cities and showed the efficiency of MLR, which search performance was better than current topologies by coordinating parameters and migration strategy.

1 はじめに

遺伝的アルゴリズム¹⁾ (Genetic Algorithm : GA) は生命の進化を工学的にモデル化した最適化アルゴリズムで、複雑、多様な問題に対応可能である。GAには適用問題の解などを染色体として表し直接探索に使用できる事や、多点探索である事などの利点がある。その一方で、膨大な計算量による処理負荷の増大、早期収束による局所解への停滞、パラメータ設定が与える影響の大きさ等といった問題を抱えている。これらの問題を解決する方法の一つとして、並列分散遺伝的アルゴリズム²⁾ (Pallarel Distributed Genetic Algorithm : PDGA) が存在する。PDGAでは個体の集団を部分集団に分け処理を分割すると共に、各部分集団が個体を保持する事で個体の多様性を保つ事ができ、早期収束の防止に繋がる。更にPDGAでは部分集団間で移民操作を行うことで、次世代以降の

解探索を有利に進める事ができ、探索性能の向上を図る事もできる。この際の移民操作に関し、移民経路構造を表すトポロジに注目すると、移民経路が多ければ移民量や移民先が増え、移民の効果を高める事ができるが、一方で通信量が増加し移民コストが増加したり、同様の個体ばかりが移民される事で集団の多様性も失われてしまう。これらの点から、移民経路を始めとする移民戦略の重要性は大きなものといえる³⁾。しかし、トポロジやその差異について考察した研究は少なく、また効率的な移民を行うことのできるトポロジの研究なども見られない。そこで本研究では、GAの並列分散処理においてトポロジに着目し、効率的な移民を行うことのできるトポロジとして多層リング型トポロジ (Multi Layer Ring : MLR) を提案する。その上で代表的なトポロジとの比較を行い、その有効性について検討する。

2 並列分散遺伝的アルゴリズム

GAは多点探索であることから集団内の各個体に適合度の評価が必要となる。そのため一点探索の手法に比べて計算コストが高い。PDGAはこの問題を解決する手法の1つとして考案された手法である。集団を複数の部分集団に分割し、それぞれ別々のプロセッサで遺伝的操作を繰り返しつつ、部分集団間で移民と呼ばれる個体の交換を行う。PDGAは部分集団の個体数が少ないために早期収束に陥りやすいが、移民操作を加えることで他の部分集団から個体を受け取り、この問題点を解消している。この移民操作において、移民をどの段階で行うかを表す移民タイミングや、どのような移民を行うかという移民内容が移民の効果を左右し、PDGAの探索性に影響を及ぼす。

2.1 トポロジ

移民操作を行うために、どの部分集団からどの部分集団に移民を行うかを定める必要があり、その部分集団間の接続構造をトポロジと呼ぶ。トポロジは移民の行き先を決めるだけでなく、移民の頻度がどの程度になるかも左右する。部分集団当たりの接続経路が多ければ移民を送りやすく、また受け取りやすい。多くの移民を受け取れば、それだけ移民の効果も現れ性能の向上に繋がる。しかし、逆に移民経路が多くなれば通信量も増える為、移民のコストが増大する。また、PDGAにおいて移民操作は部分集団同士で個体をやり取りすることで早期収束を防いだり、優良な個体を受け取る事でより良い個体を生み出す働きを果たしている。しかし、移民操作をやみくもに行えば移民する個体は似た個体ばかりとなり、多様性を欠いてしまう。このため、PDGAにおいてのトポロジの重要性は大きいと言える。

代表的なトポロジとして接続経路が少ない順にリング、メッシュ、トーラスなどがある。接続経路が少ないリングのようなトポロジはその分通信量や移民量は少なくなり、適合度は低くなる。一方で接続経路の多いトーラスは通信量も多くなり、適合度も上昇しやすい特徴がある。ただし経路が多い事が集団の収束にも繋がると言える。本研究ではこれらのトポロジを比較対象として用いる他、最も基本的な構造のトポロジであるリングを重ね合わせた多層型のトポロジについて提案、考察していく。

3 多層リング型トポロジ

本研究では大域探索と局所探索を両立させる事を目的とした多層リング型トポロジ (MLR) を提案する。これは Fig 1 のようにリング型トポロジを何層かに分け、中心の部分集団を囲むように部分集団を配置したものである。

まず各層毎に移民を行う事で層毎の多様性を維持し、層の外側と内側では一方向の移民を行う。これによって、外円では多様性を維持することで大域的な探索を担当する。一方で、層の内側に向けて高適合度個体が集まるように移民を行い、集めた高適合度個体同士で交叉や突然変異を実行して更なる優良解を求める。このように、内円では高適合度個体を集中する事で局所的な探索を担当させ、外円の探索と合わせ、より精度の高い探索を行う事を目的とする。

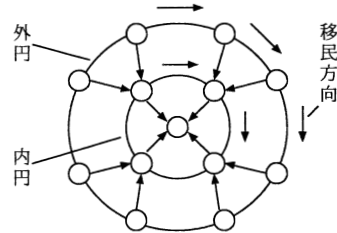


Fig. 1 多層リング型トポロジ (MLR)

4 実験

4.1 予備実験

4.1.1 予備実験概要

まず予備実験として、同一条件での単純比較を行う。提案したMLRを始めとし、リング、メッシュ、トーラス各トポロジの非同期PDGAを比較した。島の数は一律36とし、円状に配置、接続したものをリング (ring)、6×6の正方形格子状に配置したものをメッシュ (mesh)、メッシュを更に末端同士を接続したものをトーラス (torus)、内側から1:5:10:20と配置し、各層でリングを形成したものをMLRとしてそれぞれ比較を行った。メッシュ、トーラスは各島で双方向の移民を行い、リング、MLRでは隣の島、および内側の層の島へと一方通行の移民を行う。

UNIX ワークステーション Sun Microsystems Sun Blade 150 36台を実験環境とし、TSP30都市問題に適用し、比較を行った。適合度は最短経路長を各個体の経路長で割った値で表し、この関数

の最大評価値は 1.0 である。

同一条件として部分集団サイズ 8, 終了世代 100,000 でそれぞれ 20 回の試行とし, 選択はトーナメント選択, 交叉率 60%, 突然変異率 3% とし, 移民タイミングとしてはエリート個体の更新時に移民を行うエリート更新時移民³⁾を用いた。

4.1.2 予備実験結果

1 回の実験での最良の適合度を求め, それぞれの試行回平均値をとった。試行回の最大 (Maximum), 平均 (Average), 最小 (Minimum) の結果をそれぞれ以下の Fig 2 に示す。

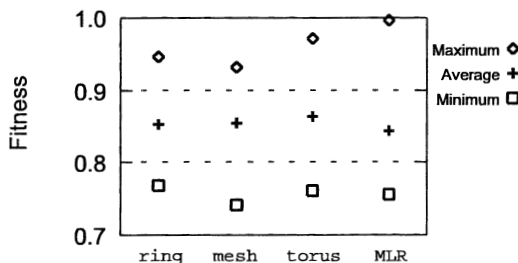


Fig. 2 予備実験:適合度比較

この Fig 2 で平均について見るとリング, メッシュ, トーラスという順に適合度が上昇している。これらは島当りの接続経路が増す事で移民量が多くなり, 移民の効果が表れた結果であると考えられる。一方で MLR は他のトポロジと比較して, 十分に探索が行えていない。各層ごとに一方向の移民を行っていることで, 移民が他のトポロジほど集団全体に速やかに行き渡らない差が現れたのだと思われる。ここでの実験条件では個体の集中による局所探索と, 多層化による大域探索の両立が上手く機能していないと言える。

4.2 比較実験

4.2.1 比較実験概要

予備実験の条件では MLR の探索特徴は発揮されなかった。そこで, 移民戦略の変更を行い, MLR が探索特徴を発揮できる移民内容やパラメータの変更を行い, 比較する。

まず, 集団サイズが小さいと途中で進化が止まってしまうため, 従来トポロジを含む全トポロジにおいて交叉, 突然変異率を上昇させる。

さらに MLR には, 外円での大域探索と内円での局所探索を行う MLR の特徴がよりはっきりと表れる事を狙い, 外円では交叉率が高く, 突然変

異率を低く設定し, 内円では逆に交叉率が低く, 突然変異率を高く設定する。

次に MLR の移民の効果を高めるべく, 移民内容の変更を行う。層の内側へと送る移民はエリート移民のままに, リング部分の隣の島へと送る移民の内容をランダム移民にと変更する。これにより, リング上の各島毎に異なる高適合度個体を保持しつつ, 中央への高適合度個体の集中を狙う。

最後に, 各島の探索特徴が明確になる事を狙い, MLR の選択法を変更する。内側 (1-6) の島はトーナメント選択のままに, 外側 (7-36) の島はルーレット選択に変更する。

以上を除く実験条件は予備実験のままに, 適用問題や世代交代数の変更は行わず, 20 回の試行を行った結果を Fig 3 に示す。

4.2.2 比較実験結果

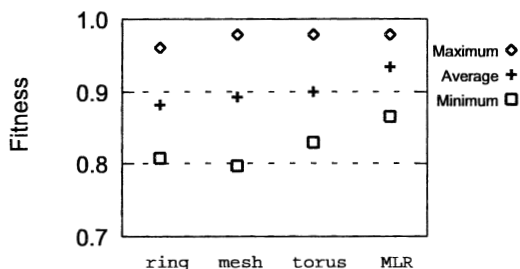


Fig. 3 比較実験:適合度比較

Fig 3 を見ると, まず全体的に適合度が上昇し, 予備実験よりもそれぞれ探索が進んだことが言え, リング, メッシュ, トーラスの関係も同様の結果となっている。それらと比較し MLR は高い適合度を示し, 更に探索が進んだ結果となった。実験条件の変更がそれぞれのトポロジの探索性を高めた上で, MLR はその中で最も有利に働いた結果だと考えられる。

しかし, 今回の実験条件変更の中で, 今回の結果に繋がったのが交叉率と突然変異率の上昇, 移民内容の変更, 選択法の変更のうち, どの点なのかについては不明である。そこで, 各条件の変更がどのような影響を与えているのかを確認するための検証実験を行う。

4.3 検証実験

4.3.1 検証実験概要

比較実験において導入した 3 つの実験条件変更が, それぞれどのような影響を与えているのかを

確認するため、各条件を個々に導入した6つの条件を用意し、それぞれを比較する。

適用問題や世代交代数などはこれまでと同様、3つの実験条件変更の導入に関しては、Table 1にまとめた。この内、MLRは実験条件変更を行っていない、予備実験の条件のままであり、MLR+は実験条件を3つ全てを導入した場合である。

Table 1 検証実験:実験条件の変更内容

変更点	交叉率 突然変異率	移民内容	選択法
MLR			
MLR1	○		
MLR2		○	
MLR3			○
MLR4	○	○	
MLR5	○		○
MLR6		○	○
MLR+	○	○	○

4.3.2 検証実験結果

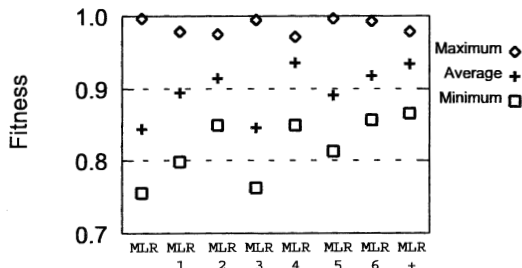


Fig. 4 検証実験:適合度比較

それぞれの実験条件を導入し比較を行った Fig 4の結果から、3つの条件をそれぞれ単体で導入した場合、最も効果が高いのは移民内容の変更 (MLR2) であり、それに交叉・突然変異率の変更 (MLR1) が続いた。これは移民内容の変更により、MLRの特徴である内円の局所探索と外円の全域探索を行う為に適切な個体が行き渡った結果と考えられる。同時に、交叉・突然変異率の変更は内円での交叉、外円での突然変異を高める事で同様の特徴を満たす事に繋がったと思われる。一方で、選択法の変更 (MLR3) はあまり影響を及ぼしておらず、導入前の予備実験の結果 (MLR) と大差ない事が判る。これは部分集団サイズが小さい為にどちらの方法

を用いても高い適合度の個体が選択されやすくなり、選択法の変更 (MLR3) の影響が現れなかったのではないかと考えられる。

また、3つの条件を組み合わせた場合では、交叉・突然変異率の変更と移民内容の変更を同時に行った場合 (MLR4) が最も良い結果を示し、移民内容の変更と選択法の変更 (MLR6) がそれに続いた。特に前者は比較実験の結果である3つの条件全てを導入した結果 (MLR+) にも匹敵する値を示した。

この事から、移民内容の変更と交叉・突然変異率の変更はそれぞれ単独の導入でも探索性の向上が見られるが、両方を組み合わせることで更に効果を発揮する事が判る。

以上の事から、MLRは移民法などの変更でその探索性を引き出すことのできる特徴を備えていると言える。

5 まとめ

本研究ではPDGAのトポロジ構造に着目する事で、全域探索と局所探索の両立を目的とするMLRを提案し、他の代表的なトポロジとの比較を行った。その結果、MLRは探索特徴が表れていない状態では有効な探索が行えなかったが、突然変異率の変更や移民法の変更などによって、探索性が向上する事が判った。このように、構造の特徴を引き出す条件を設定することで良い探索性を得ることができた。

今後の課題としては、他の問題を対象にした際のMLRの有効性の検証や今回の変更以外のMLRの特徴を活かせる手法の調査が挙げられる。

参考文献

- 1) 坂和正敏 田中雅博: 遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店 (1995).
- 2) E.Cantú-Paz: Efficient And Accurate Parallel Genetic Algorithms, *Kluwer Academic Publishers*, (2000).
- 3) 菊池雅彦 他: エリート更新時移民による非同期分散遺伝的アルゴリズム, 電気関係学会東北支部連合大会, 1E12, pp.169, 2006.
- 4) 菊池雅彦 他: 並列分散GAにおける多層型トポロジに関する考察, 情報処理学会第70回全国大会予稿集第2分冊, 6T-1, pp.87-88, 2008.