

氏名	こじま かずのり		
授与学位	小嶋和徳 博士(工学)		
学位授与年月日	平成20年3月25日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電気・通信工学専攻		
学位論文題目	局所と大域の探索を考慮した遺伝的アルゴリズムの収束制御に関する研究		
指導教員	東北大学教授 牧野 正三		
論文審査委員	主査	東北大学教授 牧野 正三	東北大学教授 阿曾 弘具
		東北大学教授 川又 政征	

論文内容要旨

コンピュータの計算能力の向上にともない、機械設計、回路設計、スケジューリング、輸送の経路決定、ロボットの行動制御など、これまで人間の手で行われてきた作業をコンピュータにより自動的に適切な解を求められるようにすることが強く求められてきている。これらの問題は、問題の規模が大きくなると適切な解を得るために非常に多くの時間が必要となる。このような問題に対しては、従来厳密な最適解ではなく準最適解を求める手法が研究されてきており、その中の1つの手法として遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm)が存在する。

遺伝的アルゴリズムは、自然進化のもつ特徴をコンピュータ上のアルゴリズムとして実現した人工進化システムである。対象となる問題の複数の解候補をコンピュータ上の仮想生物集団としてとらえ、これらに対し生物の進化機構のように自然淘汰(選択)、交配交叉(交叉)、突然変異を繰り返すことにより、その問題の解としてよりふさわしいものに進化していく。遺伝的アルゴリズムは、枠組みのみを示す単純な手法でありながら、実用的な時間で準最適解を求めることができる手法であることから、これまで多くの問題に適用されてきた。しかし近年、適用される問題が大型化、複雑化の傾向がある中、従来の手法では良質な解を得られにくいという点が問題となってきた。

本研究では、遺伝的アルゴリズムにおいて、より少ない集団サイズでの探索性能の向上を図ることを第一の目的とし、そのためのアプローチとして独自の選択手法である SRG (Some survival, Random competition and new Generation)選択法, HRG (Higher individuals selection, Random competition and new Generation)選択法および適応型 HRG 選択法を提案し、その効果について検討する研究を行った。また並列分散遺伝的アルゴリズムにおいて、効率の良い移民を行うことを第二の目的とし、そのアプローチとして非同期的にかつ効率的に移民を行う手法であるエリート移民法の提案、および大規模な問題にも有効なトポロジとして階層サーバ・クライアント型トポロジを考案し、その効果について検討する研究を行った。

第 1 章では、まず上述のような背景に加え、遺伝的アルゴリズムおよび並列分散遺伝的アルゴリズムの概要を示した。次に、従来の代表的な選択手法であるルーレット選択法、期待値選択法、ランキング選択法、トーナメント選択法の概要を述べ、ルーレット選択法および期待値選択法は良質の解を得るためには多くの個体数を世代更新が必要となること、ランキング選択法及びトーナメント選択法は集団が一様化しやすく局所的最適解にとらわれやすいことを指摘した。また並列分散遺伝的アルゴリズムにおける従来の代表的な移民手法である同期モデル、Random-Exchange、Sigma-Exchangeの概要を述べ、同期モデルおよびRandom-Exchangeでは移民効率が良くないこと、Sigma-Exchange は実装及びパラメータ設定が困難であることを指摘した。そのうえで本研究の目的および本論文の構成について示した。

第 2 章では、GA において探索性能に大きく影響する選択法に注目し、集団の多様性の維持に注目した独自手法であるSRG選択法の提案を行った。SRG選択法は、一定割合の個体をそのまま選択する手法、一定割合の個体を新しく生成する手法、そしてランダムにかつ重複を許さず選択するという手法を組み合わせた手法である。このSRG選択法に対し、Sine×Hamming関数、De Jongの関数F1、De Jongの関数F5、ハノイの塔問題、および巡回セールスマン問題(TSP)を対象とし、従来法であるルーレット選択法、Adaptive GA、Sharing FunctionとSRG選択法の比較を行った。その結果、ルーレット選択法では40～60%程度の最適解到達率であったこと、またAdaptive GAやSharing Functionでは問題によって善し悪しが確認されたことに対し、SRG選択法では全ての問題で90%以上の最適解到達率であり、探索性能が向上していることが確認できた。また、集団の多様性に関しても従来法と比較して維持できていることが確認できた。

SRG選択法では、パラメータとして上位の個体をどれくらい残すかを示すエリート選択率、および下位の個体のどれくらいを新しく作成しなおすかを示す新生成率、という2つのパラメータが存在する。これらのパラメータについて値と探索性能との関係を調査した結果、問題の性質に左右されず、いずれの問題においてもエリート選択率は10～30%程度の値が、また新生成率は10～40%程度の値が良いことが確認できた。

第 3 章では、第 2 章で提案したSRG選択法を改良したHRG選択法を提案した。SRG選択法は上位の個体をそのまま残しているため、上位の個体同士の情報交換は行われず局所的な探索が不得意であるという問題を残す。それに対しHRG選択法は上位の個体をトーナメント選択法により選択するように変更した手法で、これにより集団の多様性の維持に併せて局所的探索も行うことが可能であるという特徴を持っている。ここでは、第 2 章で適用した問題のうち、単峰性の関数と多峰性の関数に注目し、単峰性の関数としてDe Jongの関数F1を、また多峰性の関数としてSine×Hamming関数とDe Jongの関数F5を使用して比較を行った。その結果、SRG選択法よりもさらに3～6%程度の最適解到達率の改善されたこと、また集団の多様性が維持できているこ

とが確認できた。しかし、HRG 選択法で使用するパラメータである、上位の個体を集団内のどれくらいの個体を対象とするかを示す上位選択対象率、上位の個体をどれくらい選択するかを示す上位選択率、および下位の個体のどれくらいを新しく作成しなおすかを示す新生成率についてそれらの値と探索性能との関係を調査した結果、新生成率については SRG 選択法と同様に 10~40%程度の値が良いことが確認されたが、上位選択対象率および上位選択率ではその傾向が異なることが確認された。具体的には、上位選択対象率は単峰性ではその値が小さい方が良く、逆に多峰性では大きい方が良く、上位選択率は単峰性では値が大きい方がよく、多峰性では小さい方が良くという結果が得られ、問題の性質に合わせてパラメータの調整が必要であることが確認された。

この点に関し、さらにパラメータを適応的に変化させる適応型 HRG 選択法の提案を行った。この手法は、単峰性では集団が収束しやすく、逆に多峰性では集団が収束しにくいことを利用した手法で、平均適合度と最大適合度を利用してそれぞれのパラメータを調整する手法である。同様の実験を行ったところ、その結果からパラメータを調整すること無しに HRG 選択法と同程度の探索性能を得ることが確認でき、適応型 HRG 選択法の有効性が確認された。

第 4 章では、並列分散遺伝的アルゴリズムにおける移民手法に注目し、エリート移民法の提案を行った。エリート移民法は、部分集団のエリートの更新状況に応じて通信を行う手法である。具体的には、部分集団のエリートが更新された場合その情報をエリートサーバに送信し、逆にエリートが一定期間更新されない場合エリートサーバが管理している他の部分集団のエリート情報を受け取ることで移民を行う手法である。エリート移民法の評価のため、標準的な関数問題やコンテストに使用された関数問題など 8 種類の関数問題に対して従来手法である同期リング、Random-Exchange、Sigma-Exchange とエリート移民法の比較を行った。その結果、従来手法と同程度の探索性能を、おおよそ 1~2 桁少ない通信量で得られることが確認できた。

第 5 章では、並列分散遺伝的アルゴリズムにおいてさらに大規模な問題への対応を考慮し、階層サーバ・クライアント型トポロジの考案を行った。エリート移民法はサーバ・クライアント型トポロジにより実現されていたが、階層サーバ・クライアント型トポロジではそれを拡張し、階層構造となる。つまり、複数のサーバ・クライアント型トポロジが存在し、それらを管理する上位のマスタサーバが存在する構造となる。サーバ・クライアント型トポロジでは部分集団クライアント数が多くなるとエリートサーバにかかる通信負荷が大きくなり、ボトルネックとなる事が問題点として挙げられるが、複数のサーバ・クライアント型トポロジに処理を分散しそれらを管理するマスタサーバを置くことで、通信負荷も分散できる。階層サーバ・クライアント型トポロジに関し、まず比較的小規模な TSP である 30 都市と 100 都市の問題に適用し、サーバ・クライアント型トポロジとの比較を行った結果、構造およびパラメー

タの調整によりサーバ・クライアント型トポロジと同程度の探索性能が得ることができた。また、例えば 1 つのエリートサーバが管理する部分集団クライアントの数半分になればその通信負荷も半分となるなど、エリートサーバの負荷が分散できていることが確認できた。

次に、大規模な問題として TSP の 2392 都市に適用し、他のトポロジと合わせて比較を行った結果、同期リング型トポロジでは最大適合度が 0.6 程度であったのに対し、サーバ・クライアント型トポロジおよび階層サーバ・クライアント型トポロジでは最大適合度が 0.8 以上と高い探索性能を得ることができる事を確認できた。また、サーバ・クライアント型トポロジでは通信集中により移民に多くの時間が必要であるのに対し、階層サーバ・クライアント型トポロジでは移民時間が 1 時間以上も短縮させることができ、その有効性が示された。

さらに、より実用的な問題として画像高解像度化問題に適用し、比較を行った結果、同期リング型トポロジでは最大適合度が 0.97 程度であったのに対し、サーバ・クライアント型トポロジ及び階層サーバ・クライアント型トポロジでは最大適合度が 0.98 程度と高い適合度を得ることができたこと、また階層サーバ・クライアント型トポロジでは移民時間に関して 2~3 時間短縮させることができたことで、ここでもその有効性を示すことができた。

以上のように本研究では、SRG 選択法、HRG 選択法および適応型 HRG 選択法を提案することにより、従来法に比べ探索性能の面でも多様性の面でも良い結果を得ることができ、遺伝的アルゴリズムの探索性能の向上に貢献することができた。また、並列分散遺伝的アルゴリズムの移民手法に関してエリート移民法を提案することにより通信量を削減させることができたこと、階層サーバ・クライアント型トポロジを取り入れることで特に大規模な問題における通信時間を大幅に減少させることができ、高速化の面でも貢献することができた。

論文審査結果の要旨

遺伝的アルゴリズムは、最適解を求めるのが困難な組み合わせ最適化問題やNP困難な問題において、実用的な時間で準最適解を求める有力な方法の一つである。遺伝的アルゴリズムは幅広い分野でその有効性が示されているが、最適なパラメータの設定法や大規模な問題への適用方法には多くの未解決な問題が残されている。

著者は、代表的な単峰性や多峰性の問題を対象にして、遺伝的アルゴリズムで特に重要な個体の選択方法と、大規模な問題へ並列分散的に遺伝的アルゴリズムを適用する際に問題となる集団間での個体の移民方法および効率よく解を求めるためのシステム構成法について研究を行った。本論文はこれらの成果を取りまとめたもので全文6章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、遺伝的アルゴリズムの探索性能に大きく影響する選択方法に注目し、大域探索に配慮したSRG(Some survival, Random competition and new Generation)選択法を提案している。代表的ないくつかの問題に対してSRG選択法を適用して従来方法と比較した結果、全ての問題で探索性能が向上しており、有効な方法であることを確認している。

第3章では、SRG選択法の問題点を改善した方法を提案している。SRG選択法は上位の個体同士の情報交換を行わないため、局所探索に問題を残した。これを解決するため、局所探索に強いトーナメント選択法を併用したHRG(Higher individuals selection, Random competition and new Generation)選択法を提案している。比較実験の結果、SRG選択法より良い結果を得たが、問題の性質に合わせてパラメータの調整を手動で行う必要があった。そこで問題の性質にあわせてパラメータを適応的に変化させる適応型HRG選択法を提案している。実験の結果、対象の問題によらず、自動的にパラメータが設定でき、手動で最適化したHRG選択法と同等の結果を得た。適応型HRG選択法は、実用的に価値の高い方法と評価できる。

第4章では、大規模問題を対象とする並列分散遺伝的アルゴリズムにおける移民方法に注目し、大域探索に配慮したエリート移民法を提案している。部分集団のエリートが更新された場合その情報をエリートサーバに送信し、逆にある部分集団のエリートが一定期間更新されない場合、エリートサーバが管理している他の部分集団のエリート情報をその部分集団に送信することで移民を行う方法である。代表的な問題に対して従来方法とエリート移民法の比較を行った結果、従来方法と同程度の探索性能をより少ない通信量で得られることを確認している。

第5章では、さらに大規模な問題への並列分散遺伝的アルゴリズムの適用を考慮し、階層サーバ・クライアント型システムを提案している。このシステムは、複数のサーバ・クライアント型システムと、さらにこれらを管理するマスタサーバを置く階層構造になっている。このシステムを使用することにより、特に大規模な問題では移民時間をかなり削減でき、かつ高い探索性能が得られることを確認している。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、遺伝的アルゴリズムで重要な選択方法について、有効かつ実用的な選択法を提案して探索性能を向上させ、さらに大規模問題を対象とする並列分散遺伝的アルゴリズムに関しても効率的な移民方法や高速化のためのシステム構成法を提案したものであり、電気通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。