

## 学位論文の要旨

氏名

森山賀文

学位論文題目

最適化問題における免疫アルゴリズムの研究

本論文は、最適化問題における免疫アルゴリズム (Immune Algorithm: IA) の研究に関する結果をまとめたものである。

最適化問題とは、数多くの解候補の中から最適な解を求める問題であるが、問題の規模によっては現実的な時間内に厳密な解を求めることが困難となる場合がある。このような厳密な解を求めることが現実的に困難になるとき、準最適解を可能な限り高速に求める近似解法が用いられる。その一つとして遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) が知られているが、進化の過程において探索を停滞させる過剰な収束を生じる場合がある。それに対して、生体の免疫システムを模倣したIAは、多様性のある抗体産生機構と過剰に増殖した類似抗体の産生を抑制する自己調節機構により過剰な収束の回避し、大局的最適解を含む複数の局所的最適解を探索できる。

本研究では、IAを用いて対象画像内からテンプレート画像と一致性の高い部分画像を複数探索する実験とその考察を行った。

まず、従来のGAの骨組みに免疫システムのアルゴリズムを一部導入した免疫システム型遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm with Immune System: GAIS) に類似した個体の過剰な増殖を抑える抑制機構を導入し、対象画像内から目的とする複数の部分画像を探索する実験を行った。

次に、探索空間と同じ整数型で抗体の遺伝子をコーディングし、複数種類のテンプレ

レート画像を同時に探索するための遺伝子を新たに組み込んだIAを用いて書架画像中の巻号情報を探索する実験を行った。

さらに、TSP に対してその有効性が確認されている螺旋交叉法をジョブショップスケジューリング問題 (Job-shop Scheduling Problem: JSP) に適用し、IA における螺旋交叉法が TSP に特化したものになっていないという実証実験を行う。

最後に、これらのIAを実装する場合、選択や交叉、突然変異などの遺伝的操作に関する知識や免疫システムに関する知識が必要であり、それらをシミュレートするための煩雑なコーディング作業をプログラム開発者が行う必要がある。そこで、IAを実装する際のコーディングの煩雑さを軽減し、免疫システムに関する知識を有しない一般ユーザでもIAを容易に適用できる環境構築を目的としたIAのためのImmune言語を提案し、その効果を検証した。

第1章は序論である。この章では本論文で述べる研究の背景と目的を述べた。また、本論文の構成についてもこの章で述べた。

第2章では、GAIS や IA の基礎となる GA と免疫システムについて説明し、従来の GAIS, IA について述べた。

第3章では、従来の GAIS に免疫システムの抑制機構と優れた個体近傍の局所探索を導入した抑制機構を有する GAIS について説明し、その有効性を明らかにするために行った実験およびその結果について述べた。実験結果より、抑制機構により長い世代進化を続けても唯一の大局的最適解に収束することなく、また局所探索を行うことでより早く複数の局所的最適解を得ることができた。

第4章では、実際に探索を行う空間と同じ位相構造を持つ遺伝子型でコーディングし、また複数種類のテンプレート画像を識別するための遺伝子を新たに組み込んだIAについて述べた。提案手法は、探索空間と遺伝子型の空間を一致させ、遺伝子のコー

ディング方法に則した交叉を適用することで、従来手法と比較して効率的に解を探索することができた。また、複数種類のテンプレート画像を同時に探索することで、従来手法と比較して探索効率が向上することが分かった。

第5章では、IAにおける干渉交叉法とその螺旋交叉的解釈について述べ、JSPへの適用実験を通してIAにおける螺旋交叉法の探索性能を評価した。実験結果より、螺旋交叉を組み込んだIAは、最適解発見率および平均総所要時間の観点で、古典的交叉のみの場合に比べて優れていることが分かった。

第6章では、IAの実装する際のコーディングの煩雑さを軽減することを目的としたImmune言語を提案し、その仕様とコーディング事例について述べ、アンケートによる主観評価を交えてImmune言語の有効性について述べた。実験結果より、Immune言語を用いることでプログラム開発者によるコーディングのステップ数、ファイルサイズ共に大幅に削減でき、IAの開発効率を向上することができた。

第8章は、結論である。本論文で得た知見をまとめ、さらなる研究への指針を提起した。

以上を総じて、IAの最適化問題における複数解探索の高速化、高性能化に寄与できたものとする。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第275号	氏名	森山 賀文
審査委員	主査	中山 茂	
	副査	村島 定行	森 邦彦
<p>学位論文題目 最適化問題における免疫アルゴリズムの研究 (Studies on Immune Algorithms in Optimization Problems)</p> <p>審査要旨</p> <p>提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は、最適化問題における免疫アルゴリズムの研究に関する結果をまとめたものである。最適化問題は、数多くの組合せの中から最適な解を求める問題であるが、問題の規模によっては現実的な時間内に厳密な解を求めることが困難となる場合があり、最適解や準最適解を可能な限り高速に求める近似解法が用いられる。その一つとして、生体の免疫システムを模倣した免疫アルゴリズムは、多様性のある抗体産生機構と過剰に増殖した類似抗体の産生を抑制する自己調節機構により過剰な収束の回避し、大局的最適解を含む複数の局所的最適解を探索できることが知られている。そこで、本論文は、つぎのような全文7章より構成されている。</p> <p>第1章は序論である。</p> <p>第2章では、遺伝的アルゴリズムと免疫システムについて説明し、従来の免疫システム型遺伝的アルゴリズムGAIS、免疫アルゴリズムIAについて述べた。</p> <p>第3章では、従来のバイナリ型遺伝的アルゴリズムの骨組みに免疫システムのアルゴリズムを一部導入したGAISに類似した個体の過剰な増殖を抑える抑制機構を導入し、対象画像内から目的とする複数の部分画像を探索する実験を行った。実験結果より、抑制機構により長い世代進化を続けても唯一の大局的最適解に収束することなく、また局所探索を行うことでより早く複数の局所的最適解を得ることができた。</p> <p>第4章では、探索空間と同じ整数型で抗体の遺伝子をコーディングし、複数種類のテンプレート画像を同時に探索するための遺伝子を新たに組み込んだ免疫アルゴリズムを用いて、書架画像中の巻号情報を探索する実験を行った。従来手法と比較して効率的に解を探索することができた。また、複数種類のテンプレート画像を同時に探索することで、従来手法と比較して探索効率が向上することが分かった。</p> <p>第5章では、免疫アルゴリズムに螺旋交叉法を導入し、ジョブショップスケジューリング問題に適用し、実験結果より、螺旋交叉を組込んだIAは、最適解発見率および平均総所要時間の観点で、古典的交叉のみの場合に比べて優れていることが分かった。</p> <p>第6章では、IAの実装する際のコーディングの煩雑さを軽減することを目的としたImmune言語を開発し、その仕様とコーディング事例について述べ、アンケートによる評価実験を行い、Immune言語の有効性について述べた。評価結果より、Immune言語を用いることでプログラム開発者によるコーディングのステップ数、ファイルサイズ共に大幅に削減でき、IAの開発効率を向上することができた。</p> <p>第7章は結論で、本論文で得た知見をまとめ、さらなる研究への指針を提起した。</p> <p>このような様々な方法により開発した免疫アルゴリズムは、確率的探索アルゴリズムとして有用であり、多くの有益な知見を与えていると考える。今後の免疫アルゴリズムの最適化問題における複数解探索の高速化、高性能化に寄与できたものとする。</p> <p>よって、審査委員会は学位（博士）の学位論文として合格と判定する。</p>			

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第275号	氏名	森山 賀文
審査委員	主査	中山 茂	
	副査	村島 定行	森 邦彦

主査及び副査2名で構成される審査委員会は、平成20年1月25日に学位申請者「森山 賀文」に対して、論文の内容について説明を求めた。これに引き続き、参加者を含めて質疑応答を行うとともに、関連事項について諮問を行った結果、いずれに対しても満足すべき回答が得られた。

主な質疑応答は、以下の通りであった。

質問1: Immune言語の開発者が定義すべき親和度メソッドや類似度メソッドについて、カタログ化されたものがあるか? 親和度メソッドや類似度メソッドの設計に多くの労力が必要となる。この部分の軽減にはなっていないのではないか?

回答1: カタログ化したものはない。それらのメソッドは対象とする問題によって異なるため開発者自身が設計する必要がある。現在のImmune言語はそれらの実装の負荷を軽減することはできない。今後、いくつかの親和度メソッドや類似度メソッドを予め準備しておき、それらの中から設計者が選択できるようにする必要があると考えられる。

質問2: Immune言語を一つの問題、例えばナップザック問題に固定した場合はどうなるか?

回答2: 問題が固定された場合、ある程度、親和度メソッド等を決定できるためそれらのメソッドを設計する必要はなくなる。

質問3: プログラム実行中に変更できるのか?

回答3: はい。プログラム実行中に変更できる。今後、IAの閾値等もGUI上で変更できるように改良することでそれらのパラメータ調節も容易になると考えられる。

質問4: 交叉した直後に突然変異すると優れた解が壊されてしまう可能性があるため、交叉と突然変異の間に個体の評価を入れた方がよいという考え方もあるが、どう考えるか?

回答4: 突然変異は局所的最適解への収束を回避するための手法であり、生物の進化に着想を得た遺伝的アルゴリズム (GA) の性質上、交叉と突然変異の間に個体の評価するのは自然ではないと考えられるため、今回行った実験では採用していない。

質問5: ジョブショップスケジューリング問題の最適解 (巡回路長が930の解) の組合せは1種類だけなのか?

回答5: 1種類だけではなく複数種類の最適解が存在する。

質問6: 複数の最適解を探索しているのか?

回答6: 今回は最適解を発見できたかどうかだけ評価しており、複数の最適解を発見できたかどうかについては評価していないため分からない。

質問7: 博士論文の付録についている分散IAとはどのようなものか?

回答7: GAで用いられている分散GAと呼ばれる島モデルの分散化をI回答に適用した結果、従来の単一IAよりよい結果が得られた。

質問8: 分散化することで母集団が多様化したということか?

回答8: 母集団が多様化も解探索率向上の要因であると考えられるが、IAは、GAとは異なり、もともと母集団の多様性を維持する機構を有しており、サブ母集団数を増やし過ぎると最適解付近の十分な探索が行われないまま記憶細胞に分化するため、解探索率が悪くなる場合があった。

など約24の質問に対して的確に答えた。

以上の結果を受け、上記審査委員会は全員一致で、学位申請者は、大学院博士後期課程の修了者としての学力ならびに見識を十分に有するものと判断し、博士 (工学) の学位を与えるに足る資格を持つと認めた。