

氏 名	森 直 樹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1821 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科電気工学専攻
学位論文題目	熱力学的遺伝アルゴリズムによる適応的問題解決手法に関する研究

(主査)

論文調査委員 教授 上田 皖亮 教授 茨木 俊秀 教授 奥村 浩士

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は生物進化に着想を得た計算手法である遺伝アルゴリズムについて、その選択演算に改良を加えた熱力学的遺伝アルゴリズムを新たに提案し、同手法による工学的な問題解決に関する研究を述べたものである。

全体は 8 章に分けて構成されている。

第 1 章では研究の背景として生物の進化を模した計算手法である遺伝アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以下 GA) について簡単に紹介し、また計算機を利用した問題解決とそれに GA を用いることの得失を論じることで本論文の位置づけを行ったのち、各章で扱う内容を説明している。

第 2 章では、問題の解を生物の個体と見立て、個体群を用いた多点探索を行うという GA の基本的な概念を紹介した後、その代表的な実装である単純遺伝アルゴリズム (Simple Genetic Algorithm, 以下 SGA) について、その構成を述べている。さらに、GA の挙動を個体群の収束の観点から整理し、その問題点として十分な探索を行う前に個体群が収束してしまい探索が停滞する「初期収束」という現象について述べ、その対策として提案されている従来手法を概観するとともに、従来手法の問題点について言及している。

第 3 章では工学的な問題解決において計算機による支援が求められる問題として、組合せ最適化問題、多目的最適化問題、動的環境下での適応の問題を取り上げ、これらの問題の解法として GA 以外の手法について概説し、GA の適用可能性を論じるとともに、多目的最適化問題と動的環境下での適応の問題においては、GA における多様性維持が初期収束の回避のためだけではなく本質的に重要であることを示している。

第 4 章では本論文の主たる提案である熱力学的遺伝アルゴリズム (Thermodynamical Genetic Algorithm, 以下 TDGA) について紹介している。まず、TDGA が着想を得ている熱平衡系について、そこでの自由エネルギー最小化原理について述べ、これに目的関数の最適化と個体群の多様性維持の均衡の実現という GA の観点からの解釈を与えている。次に、個体群のエントロピーを評価し、自由エネルギーを最小化するように個体群を選択することにより多様性の維持と目的関数の最適化を両立させる TDGA の構成指針を述べた後、アルゴリズムを具体化している。ここでエントロピーの評価手法について、通常、可能な種の数 that 個体群中で扱える個体数に比べ圧倒的に多いという問題を取り扱うため、従来の種に基準を置いたエントロピーではなく遺伝子座ごとに評価を行う近似エントロピーを提案している。さらに TDGA の計算量を評価するとともに、エントロピーの近似計算がもたらす問題点とその対策を論じている。

第 5 章では TDGA の組合せ最適化問題への応用手法を述べるとともに、NP-困難に属する典型的な組合せ問題の一つであるナップサック問題への適用例を中心に TDGA の動作について計算機実験を行い、従来手法である SGA に比べ、TDGA がより優れた探索能力を持つことを示し、さらに計算過程の分析から、TDGA の有利さが多様性維持に優れていることによるものであることを示している。ついで、TDGA が SGA よりも可調整パラメータの変化による性能の影響が小さく安定した手法であることを示し、TDGA の可調整パラメータである温度をアニーリングすることによって、より高い性能が得られるこ

とを確認している。

第6章ではTDGAにより多目的最適化問題のPareto最適解を一括して求める方法としてTDGAとParetoランキング法を組合せた手法を提案し、TDGAの可調整パラメータである温度の理論的な評価を行ない、その値が優れたパラメータの決定指針となることを示している。そして、得られた解集合の評価指標として被覆率、求解率を提案し、計算機実験を通じて適応度のシェアリングを用いる従来手法と同等以上の探索性能を持つだけでなく、提案手法がパラメータ調整が容易である点で有利であることを示している。

第7章ではTDGAを環境変動に追従する適応問題に応用する手法について述べている。まず、動的環境の捉え方について考察し、環境変化を大きく再帰的な変化と非再帰的な変化に分けてGAの適用を考えると有効であることを指摘し、従来手法がこの視点から再帰的な環境における「記憶型アプローチ」と非再帰的な環境における「探索型アプローチ」に分類できることを示している。さらに再帰的な環境変化に対する「記憶型アプローチ」によるTDGAとして、過去の適応結果を記憶として保持し、それを想起して適応を効率化する記憶機構を導入したTDGA (MBTDGA) を、また再帰性を前提とできない環境変化に対する「探索型アプローチ」によるTDGAとしてエントロピーを観測し、これを一定に保つように温度をフィードバック制御することにより、恒常的な探索能力を維持する温度をフィードバック制御する機構を有したTDGA (FTDGA) をそれぞれ提案し、計算機実験によりその有効性を示している。

第8章では本論文で得られた結果を取りまとめ、今後の研究の発展方向について展望している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は生物進化に着想を得た計算手法である遺伝アルゴリズムについて、その選択演算に改良を加えた熱力学的遺伝アルゴリズムを新たに提案し、同手法による工学的な問題解決に関する研究を述べたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 遺伝アルゴリズムにおける問題点として解空間を十分に探索する前に個体群が収束する初期収束の問題を取り上げ、その対策として個体群の多様性をエントロピーとして評価し、自由エネルギーが最小になるように個体群を選択する熱力学的遺伝アルゴリズム (Thermodynamical Genetic Algorithm, 以下TDGA) を提案した。
2. TDGAを組合せ最適化問題に適用する手法を提案し、計算機実験によりTDGAが従来手法である単純遺伝アルゴリズムよりも優れた探索性能を持つ事を示した。また、TDGAの基本的戦略である温度に応じた適切な多様性維持が実現されていることをエントロピー変化を調べることにより確認し、温度のアニーリングを行うことにより、より高い探索性能が得られることを示した。
3. TDGAにより多目的最適化問題のPareto最適解を一括して求める手法を提案し、計算機実験によりTDGAが従来の適応度のシェアリングを用いた遺伝アルゴリズムと同等以上の探索性能を持ち、またパラメータの調整の容易さにおいて従来手法よりも有利であることを示した。
4. GAによる動的環境での適応について考察し、対象とする環境の再帰性の有無によってGAによる手法が「記憶型アプローチ」と「探索型アプローチ」の2種類に分けることができることを示した。動的環境での適用を前提としたTDGAとして、環境変動の再帰性を利用して、過去の適応結果の記憶を活用する「記憶型アプローチ」によるMBTDGAと、再帰性を前提とできない場合に個体群のエントロピーを一定に保つように温度をフィードバック制御することにより恒常的な探索を実現する「探索型アプローチ」によるFTDGAの2種類の手法を提案し、計算機実験によりその有効性を示した。

以上要するに、本論文は遺伝アルゴリズムにおける初期収束問題の解消方策として熱力学的遺伝アルゴリズムという手法を提案し、同手法が組合せ最適化、多目的最適化、動的環境への適応といった広い範囲の問題に効果的に適用できるという点で工学的問題解決手法としての有効性を示したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年2月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。