

Flow Shop Scheduling Using Genetic Algorithms and Vibrating Potential Method

(遺伝的アルゴリズムと振動ポテンシャル法による
フローショップスケジューリング)

学位論文内容の要旨

本論文では、代表的な組み合わせ最適化問題の1つであるフローショップスケジューリング問題を取り上げ、遺伝的アルゴリズムと振動ポテンシャル法による解法についての研究を行っている。

組み合わせ最適化問題は、計算機による問題解決を行う際に頻繁に現れる問題である。従来の代表的な組み合わせ探索方法では、要素が増えると組み合わせ数が指数関数的に増大するという組み合わせ爆発を生じ、膨大な計算時間が必要となる。このような組み合わせ最適化問題はNP困難問題と呼ばれ、効率的なアルゴリズムの開発は重要な課題の一つとして認識されている。

スケジューリング問題はNP困難問題の代表的な例であり、工場での機械と仕事の割り当て問題や、計算機のオペレーティングシステムの資源割り当て問題のように実際に多くの工学的問題に応用されている。スケジューリング問題は、仕事の順序に関する制約の少ないジョブショップスケジューリング問題と、逆に制約の多いフローショップスケジューリング問題に分けられる。この制約の取り扱いをアルゴリズムを実際の問題に実装する際に問題となる。本論文では、フローショップスケジューリング問題をより制約が多いゆえにより実際的な問題と位置づけ、フローショップスケジューリング問題を通じて組み合わせ最適化問題全般に関する議論を行っている。

本論文では、上述のNP困難問題において組み合わせ爆発が生じる理由を、従来解法の表現形式に起因するものと位置づけている。すなわち、与えられた問題を離散型の解空間に表現し、その解空間の中で探索を行う。スケジュール問題の解空間は一般に非常に複雑な形状をしており、従来型のアルゴリズムでは局所解に収束してしまうか、あるいは本質的には最適解を求めるためには逐次的に解空間をすべて探索する必要があることになる。したがって、効率的なアルゴリズムには新しい原理に基づく手法が必要不可欠である。そこで、本論文では以下の2つの手法によりこの問題にアプローチしている。第1の手法は、解空間の大局的な情報を何らかの手法により取得し、それを利用して解探索を行うものである。具体的には、遺伝的アルゴリズムを用いてこれを議論し考察している。第2の手法では、組み合わせ爆発はその離散的な表現形式に起因するものとしてこれをとらえ、振動ポテンシャル法と呼ばれる新しい連続的な解表現形式と解探索機構を内包するアルゴリズムを提案し、多様な数字実験を通じてその有効性を検証している。

遺伝的アルゴリズムは、生物の進化の模倣した探索アルゴリズムであり、ストリングと呼ばれ

る離散的な解表現および解空間での多点同時探索と解探索の方向をフィットネスと呼ばれる評価値を用いて制御することにより、準最適解を短時間で発見することが可能なアルゴリズムである。本論文では、この遺伝的アルゴリズムを用いてフローショップスケジューリング問題にける解探索過程について考察を行っている。具体的には、離散的な解表現形式が解探索に与える影響や問題の複雑さの解探索の困難性への影響について考察を行い、その結果として離散的な解表現形式の限界を示している。

以上の議論の結果として、離散的ではない新しい解空間の表現方法が必要なことが明らかになり、本論文では連続的な解空間の表現を試みることにより、問題の解決を図っている。具体的には、場の計算モデルを基本原理に持つ振動ポテンシャル法を提案している。これは、仕事や機械といった従来のスケジューリング法では単なる記号、あるいは離散空間上の点と表現されていたものを、連続空間上での大きさや位置、速度、ポテンシャルエネルギーを持つユニットと呼ばれる人工的な物体として表現し、それらのユニット間での物理モデルを模した局所的な相互作用により解探索を行う手法である。各ユニットは、ポテンシャルエネルギーを振動させることにより場を通じて他のユニットと情報交換を行う。その結果として、与えられた問題は物理系として表現され、各ユニットが独立して動作することにより分散処理が可能となる。さらに、制約条件は系に働く力やエネルギーとして自然に表現され、解探索過程は大域的なエネルギーの最小化として実現される。この枠組みのもとで組み合わせ最適化問題を表現し直すことにより、その要素数に比例した計算機メモリ資源と計算量のみが必要であり、組み合わせ爆発に対する解決方法を示している。

本論文は5章から構成される。第1章では、組み合わせ最適化問題としてのスケジューリング問題を、制約や問題の時間変化の観点から分類している。また、従来の代表的な組み合わせ最適化アルゴリズムを紹介しそれらの問題点について議論し、効率的なアルゴリズムの必要性について考察を行っている。

第2章では、遺伝的アルゴリズムによるフローショップスケジューリング問題の解法を示し、考察を行っている。具体的には、遺伝的アルゴリズムの説明から始まり、様々な遺伝的アルゴリズムのフローショップスケジューリング問題への適応法とその問題点について議論している。さらに、遺伝的アルゴリズムの解探索過程について理論的な解析を行っている。結論として、離散的な解探索方法の限界をメモリ資源のサイズと計算量に関して分析している。

第3章では、前章での議論に基づいて新しい連続的な表現形式を内包する振動ポテンシャル法を提案している。まず、与えられて問題を場とユニットとして形式的に表現する方法を提案している。次に振動ポテンシャルに基づくユニットの相互作用に関して定式化を行い、探索過程の力学モデルを導出している。さらに数理的な解析を行い、最適解が大域的な最小エネルギー状態で表現されることを示している。しかし、実際のアルゴリズムの動作は分散的に処理が行われるため大域的な評価が使えない。そのため局所的な相互作用エネルギーの観測に基づく大域的な状態の推定法について議論し、その結果としてエントロピを観測し制御することにより解探索の様相をコントロールすることが可能になることを示している。最後に、計算機のメモリ資源と計算量に関する考察を行っている。

第4章では、前章で提案した振動ポテンシャル法の有効性を確認するために計算機実験を行い、有効性を検証している。

第5章では、本論文の結論を述べ、工学的重要性を明らかにしている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嘉数侑昇
副査	教授	大内 東
副査	教授	宮本衛市
副査	教授	和田充雄
副査	助教授	横井浩史

学位論文題名

Flow Shop Scheduling Using Genetic Algorithms and Vibrating Potential Method

(遺伝的アルゴリズムと振動ポテンシャル法による
フローショップスケジューリング)

フローショップスケジューリング問題は代表的な組合せ最適化問題の一つであり、ある作業行程が与えられたときに納期遅れといった目的関数を最小化するように作業を機械に割り当てる問題であり、生産の現場でしばしば現れる重要な問題である。本論文ではこのフローショップスケジューリング問題を様々な制約条件が与えられうる側面より組合せ最適化問題の一般化と位置づけ、この問題を通じて組合せ最適化問題全般に関する議論を行っている。

組合せ最適化問題は、計算機による問題解決を行う際に頻繁に現れる問題である。従来の代表的な組合せ探索方法では、要素が増えると組合せ数が指数関数的に増大するという組み合わせ爆発を生じ、膨大な計算時間が必要となる。このような組合せ最適化問題は NP 困難問題と呼ばれ、効率的なアルゴリズムの開発は重要な課題の一つとして認識されている。

本論文では、上述の NP 困難問題において組合せ爆発が生じる理由を、従来解法の表現形式に起因するものと位置づけている。すなわち、与えられた問題を離散型の解空間に表現し、その解空間の中で探索を行う。スケジュール問題の解空間は一般に非常に複雑な形状をしており、従来型のアルゴリズムでは局所解に収束してしまうか、あるいは本質的には最適解を求めるためには逐次的に解空間をすべて探索する必要があることになる。したがって、効率的なアルゴリズムには新しい原理に基づく手法が必要不可欠である。そこで、本論文では以下の 2 つの手法によりこの問題にアプローチしている。第 1 の手法は、解空間の大局的な情報を何らかの手法により取得し、それを利用して解探索を行うものである。具体的には、遺伝的アルゴリズムを用いてこれを議論し考察している。第 2 の手法では、組合せ爆発はその離散的な表現形式に起因するものとしてこれをとらえ、振動ポテンシャル法と呼ばれる新しい連続的な解表現形式と解探索機構を内包するアルゴリズムを提案し、多様な数字実験を通じてその有効性を検証している。

その主要な成果は以下のようにまとめられる。

1. 組合せ最適化問題としてのスケジューリング問題を、制約条件と問題の時間変化の観点から

分類と考察を行い、この問題に対する従来の代表的な組合せ最適化アルゴリズムについて、計算の複雑性、計算に必要な資源、得られる解の性質の観点から議論を行い、新しい解表現と解探索過程の必要性について議論を行ったこと。

2. 前項を受けて、離散的な解表現と進化的な解探索過程を持つ遺伝的アルゴリズムによる組合せ最適化問題の解法を示し、その探索過程について理論的考察を行っていること。さらに、計算機実験により解が得られるまでの計算量と得られた解に関して考察を行い、新しい研究領域である連続的な解表現と解探索過程の必要性が示されたこと。

3. 連続的な場とユニット間の相互作用による解探索が可能である振動ポテンシャル法を提案したこと。具体的には、与えられた問題を場とユニットにより表現する方法、振動ポテンシャルに基づくユニットの相互作用に関する定式化と探索過程の力学モデルの導出、系の力学的状態を観測し制御することにより解探索の様相を制御することが可能になることを示したこと。

4. 振動ポテンシャル法に関して、系のパラメータが解探索に与える影響について理論的考察及び計算機実験による数値的解析を行い、任意の組合せ最適化問題に対して効率的に探索を行うパラメータの設計法を示したこと。

これを要するに、本論文はフローショップスケジューリング問題に対して遺伝的アルゴリズムと振動ポテンシャル法による解法を示し、提案した手法の計算機実験による検証を通じて、組合せ問題に対して新しい知見を得ており、生産工学及び情報工学の進歩に寄与するところ大である。よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。