学位論文題名

A Study on Evolutionary Search for Dynamical Combinatorial Problems

(動的組合せ問題のための進化的探索法に関する研究)

学位論文内容の要旨

最適化問題とは制約条件のもとで評価関数を最小(最大)にする決定変数を求める問題である。組合せ最適化問題はその特殊な例で、決定変数が離散的なため組合せ的な性質をもつ問題領域である。この種の問題は経済、工業などさまざまな分野において見られ、その経済的効果が大きくことから非常に重要視されている問題でもあり、古くから多くの研究がなされてきた。この問題に対する古典的アプローチ法は、数理計画法に代表されるORの方法論であり、人間の持つ問題領域の知識を利用するAI的アプローチも知られていて、効果的な方法論もいくつか提案されている。

組合せ最適化問題は、理論的にはすべての可能解を列挙することによって解くことができるが、問題サイズが大きくなるにつれて可能解の個数が爆発的に増加するため、実際的にはこれは不可能である。このような困難さを避けるため、分岐限定法のような間接的列挙法が考案されている。同じ理由から、問題の構造を採り入れて準最適解を効率的に探索する問題領域固有の発見的解法も研究され多数提案されている。

しかし、提案されている方法の多くは離散的取扱いであるがゆえに、組合せ的爆発という根本的問題を残したままである。従来のアプローチ法の詳細なマップは第3章において示すが、そこで明らかにされるように、研究対象となる方法論の領域が大きく残されたままとなっている。そのような領域に上述の根本的問題の解決を発見することが本論の主要課題であり、さらにその具体的実現法を提案し、実験的実証法に基づいて方法論の有効性を明らかにすることを目的とする。

さて、本論で対象とする問題は、従来の組合せ問題の枠にとらわれることなく、より現実の応用においてみられる問題、すなわち問題設定が時変性を有する場合までを含めて方法論の構築を試みる。本論ではこのような問題を動的組合せ問題と呼ぶが、従来この種の問題に対するアプローチはほとんど知られていない。ここでは研究マップを明らかにすることにより、研究方針とアプローチ法を導いている。

アプローチ法の導出手続きは第3章において詳しく述べているが、要約するとアプローチ法の分類を行うために、問題空間表現と情報処理構造と呼ばれるクラスを定義し、従来法のマッピングの状態から研究対象領域の導出を行っている。

本論文で対象とする動的問題ではその時変性ゆえに、ソルバーに問題適応性が要求されそれゆえ進化的手法が有効と考えられる。第3章で示すマップより、この問題の解法には3つの可能性が残されていることがわかるが、ここではそれぞれ Hopfield ニューラルネットワーク、競争的共進化、寄生的共進化を用いて具体的に実現している。

ニューラルネットワーク、特に相互結合型ニューラルネットワークでは、ユニット間の結合

荷重は一種の相互作用を表している。この種のネットワークはユニットの状態と結合荷重を用いて定義されるネットワーク全体のエネルギーを最小化するように状態を変化させる性質がある。そこで、組合せ問題であっても問題例からユニット間の相互作用（結合荷重）を決定すれば、ニューラルネットワークの性質を利用してこれを解くことができる。すなわち、問題の解をネットワークのユニットの状態に写像し、これを用いて問題の評価関数をネットワークのエネルギー関数に写像する。動作後エネルギー的平衡状態に達したネットワークのユニットの状態を逆写像して問題の解を得る。

共進化とは、複数の種が互いに影響を及ぼし合いながら同時に進化していく過程を表す生物学的概念である。種間の相互作用にはいくつかの形式が知られているが、‘競争’とは相手の種の存在が互いに生残りの上での障害となるような場合で、食物や空間のように生存に必要な資源をめぐって種が互いに競い合うような状況である。ここでは、問題の解集団あるいは解探索のための戦略集団を種に見立て生物学的共進化における資源に相当するものを設定し、これらの間に共通資源の競合関係を設定することにより、計算モデルを構築している。

共進化の種間相互作用の別の形式である‘寄生’関係は一方の種が他を搾取するような関係で、一方が他の犠牲の上に生存する。ここではホストを問題の解とし、パラサイトをホストから資源に相当するものを奪うものとする。パラサイトの作用によりホストは獲得した資源を奪われていく。結果として、ホストはより少ない資源を用いる解となる。解の直接的な最適化を、パラサイトの働きかけによる解の改良に置き換えて扱うことができる。

本論文は、上記の課題に関して研究を行った結果について論述したものであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的と、本論文の構成と概要について述べている。

第2章では、組合せ問題そして本研究の対象である動的な組合せ問題について述べている。本論文ではこの種の問題としてスケジューリング問題を取り上げており、代表的な例とその解法を紹介している。さらに、本論文の主題に関わる動的なスケジューリング問題について述べている。

第3章では、対象とする問題へのアプローチ法に対して、問題空間表現と情報処理構造と呼ばれるクラスを定義することにより、従来法の分類を試みている。その結果明らかになった可能な研究対象領域に関して、動的組合せ問題への接近方法について述べている。ここでは、ニューラルネットワークモデル、競争的共進化モデルそして寄生的共進化モデルを用いる方法を提案しそれらの定式化を行っている。

第4章では、第3章で述べた方法論の具体的実現について述べ、それぞれにおいて対象とする問題についてふれている。Hopfield ニューラルネットワークを用いた方法では、活動中の工場にジョブが断続的に到着する動的ジョブショップ問題を扱っている。寄生的共進化による方法では、動的な問題を一連の静的な問題に展開して解くという考えに基づき、標準的なジョブショップ問題を対象としている。競争的共進化による方法では、複数プロジェクト型のジョブショップ問題を扱い、工場の資源の競合が生じるような条件設定をしている。これらの実現方法について計算機実験により定量的な評価を行い有効性を検証している。

第5章では、第4章の結果をもとにこれらの方法の特徴を述べ、問題点にも言及している。

第6章は、本研究の結論であり、得られた結果を総括している。

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

A Study on Evolutionary Search for Dynamical Combinatorial Problems

(動的組合せ問題のための進化的探索法に関する研究)

最適化問題とは制約条件のもとで目的関数を最小（あるいは最大）にする解を求める問題である。組合せ最適化問題はその一種であり、解が離散的なため組合せ的な性質をもつ問題領域である。この種の問題は経済、工業などさまざまな分野において見られその経済的効果が大きいことから非常に重要視されている問題でもあり、古くから多くの研究がなされてきた。この問題に対する古典的アプローチ法は、数理計画法に代表されるORの方法論であり、人間の持つ問題領域の知識を利用するAI的アプローチも知られていて、効果的な方法論もいくつか提案されている。

組合せ最適化問題は、理論的にはすべての可能解を列挙することによって解くことができるが、問題サイズが大きくなるにつれて可能解の個数が爆発的に増加するため、実際的にはこれは不可能である。これは組合せ的爆発と呼ばれる根本的問題であり、この存在が解法の設計を困難なものにしている。

ところで、現実の応用においてみられる組合せ問題には、問題設定そのものが時間とともに変化する性質をもつものも数多く存在している。このような時変性を有する組合せ問題は動的組合せ問題としてカテゴライズされ、有効なアプローチが存在しない状況にある。

本論文は、動的組合せ問題へのアプローチを試みた結果をまとめたものである。すなわち、3種類の解探索法を提案し、応用問題への適用を通して方法論の有用性と妥当性を検証している。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。

1. 現実の応用においてみられる組合せ問題には問題設定の時変性を有するものが存在することを示し、その特性を明らかにしていること。
2. 組合せ問題のうちスケジューリング問題を対象として、その解探索法を探索空間、探索戦略、対象問題という3つの指標にもとづいて分類することにより、新たな解法の研究対象領域を明らかにしていること。探索空間に関しては離散的／連続的、探索戦略に関しては固定的／可変的、対象問題に関しては静的／動的を基準として用いていること。
3. 動的な性質をもつスケジューリング問題への接近方法として、Hopfield ニューラルネットワークモデル、共進化モデル（寄生的、競争的）を用いる方法を提案しそれらの定式化を行っていること。Hopfield ニューラルネットワークモデルは連続的空間での固定的戦略による

探索を，寄生的共進化モデルは離散空間での可変的戦略による探索を，そして競争的共進化モデルは連続空間での可変的戦略による探索を実現するものとして提案していること。

4. 動的ジョブショップスケジューリング問題に対して Hopfield ニューラルネットワークを用いた解法を提案し，組合せ的な問題を連続的な空間で取り扱うことを可能にし，計算機実験において他手法との比較を行い，その結果から提案手法が，ディスパッチングルールに対しては解の質の点で，アニーリング法に対しては計算時間の点で優位にあることを示していること。
5. 動的ジョブショップスケジューリング問題を展開することにより生成される一連の問題に対して，寄生的共進化モデルを用いた解法を提案し，可変的戦略による解探索を可能にしており，計算機実験により提案手法の適用可能性を検証していること。
6. 複数プロジェクト型ジョブショップスケジューリング問題に関して，内在する動的な性質を明らかにし，この問題に対して競争的共進化の概念にもとづいた連続的なパラメータ空間内の進化的解探索法を提案し，計算機実験による評価を行い方法の有効性を検証していること。

これを要するに，著者は，動的な性質をもつスケジューリング問題を例に動的組合せ問題に対して適応的な解探索を可能とする方法論を展開し，実験的実証法によりその有用性を検証し，動的組合せ問題に対して新知見を得たものであり，生産工学，情報工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

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。