

論文要旨

論文題目

A Study on Parallel and Distributed Processing of Meta-Heuristics for Combinatorial Optimization

組合せ最適化問題はある組合せパターンの中から最適解を発見する問題であり、実用的な多くの問題でNP-困難な問題として知られている。NP-困難な問題を多項式時間内に解くような厳密解法を開発することは非現実的であるため、最適解ではなく、質の高い準最適解を多項式時間内に求める手法の開発が望まれている。

本論文は、近似解法として注目を集めるメタヒューリスティック手法を並列分散化することで、準最適解の発見速度の向上をはかり、更に処理の協調動作によってより質の高い近似解を発見することを目的とする。そこで新規アイデアを検討し、評価実験などを用いてそのアイデアを検証する。また、二つのメタヒューリスティック手法のハイブリッド化を考案し、組合せ最適化問題への適用実験と考察がなされている。

本論文は、六章より構成されており、以下に各章の概略を述べる。

第一章では、本研究の序論として研究の背景および目的を述べ、本研究のその研究分野における位置づけを行っている。

第二章では、本論文を理解する上で必要なことがらを前準備としてまとめる。まず、並列分散処理に対するハードウェアやソフトウェアについて簡潔にまとめる。また、本論文での評価実験で使用する組合せ最適化問題の0/1 マルチナップサック問題や巡回セールスマン問題、さらに本研究で並列化を提案するメタヒューリスティックの遺伝的アルゴリズムとタブー探索の詳細を述べる。

第三章では、ヒューリスティック手法の遺伝的アルゴリズムの並列分散化アプローチを取り上げる。ここでは、遺伝的アルゴリズムを並列処理するための疎結合マルチプロセッサシステムモデルから考え、そのシステムを構成するプロセッサエレメント (PE) やそれらを使用するアルゴリズム (PDGA) を提案する。PE を用いることでPE間の通信オーバーヘッドを減らすことができ、通信時間の向上を検討している。また評価実験においては、マルチプロセッサシステムのトポロジやPE通信データ (移住染色体) が、解に及ぼす影響を調べる。このことから、プロセッサ間の平均通信距離が大きくなるようなトポロジは他のトポロジと比べて良解が得られることがわかる。つまり、遺伝的アルゴリズムには解候補 (個体) の集合体 (母集団) で各個体が進化する特徴がある。隣接PEからの移住染色体によってその母集団が早期に未熟な個体によって占領されること (未熟な収束) が、その原因としてあげられる。そこで、本論文ではマルチプロセッサシステムにおいて未熟な収束が起きないように、階層型のConeトポロジを提案し、評価実験においてその効果を確認する。五章の最後には、Coneトポロジの特徴を代表的なトポロジへの応用し、そのアプローチの評価を行う。その結果、疎結合マルチプロセッサシステムにおけるPDGAには、階層型をなすようなデータ通信が重要であることがわかる。

第四章では、もう一つのヒューリスティック手法であるタブー探索の並列化を検討する。まず始めに、タブー探索のもつ問題依存性やそこで使用されるパラメータが導出解に与える依存性を前実験により調べる。このことから、パラメータとして与えられるタブー期間が導出解に対して大きな影響を与えていることがわかる。そこでタブー期間をコントロールすることでタブー探索のヒューリスティック性を高めることを提案し、評価実験からそのコントロールの有効性を示す。更に、そのコントロールのアイデアを並列化に応用することで、さらなるヒューリスティック性が得られる。このタブー探索の並列化のアプローチは、独立したタブー探索プロセスが、メッセージパッシングによって協調動作を行うことである。協調動作では、タブー期間、発見された解、タブーメモリなどを取り扱っている。その協調動作が、二つのヒューリスティック手法の性能を向上させることにつながる。協調過程で扱われるデータのタイプや協調対象の考察もなされている。

第五章では、先にあげた二つのヒューリスティック手法のハイブリッド化を考案する。このハイブリッド化は、遺伝的アルゴリズムのプロセスとタブー探索のプロセスを独立して実行させ、ある条件を満たしたときに、それらのプロセス間でメッセージパッシングによって協調動作を引き起こすものである。この二つのハイブリッドヒューリスティック手法をHybrid Parallel Meta-Heuristic (HPMH) とよび、評価実験を行った結果、両ヒューリスティック手法の特徴を活かして組合せ最適化問題の探索空間を効果的に探索していることが確認できる。

第六章では、本論文の総括を行い、本研究の課題を述べる。

氏名 松村隆



2001 年 2 月 20 日

琉球大学大学院
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 玉城 史朗
副査 氏名 高良 富夫
副査 氏名 仲尾 善勝
副査 氏名 名嘉村 盛和



学位(博士)論文審査及び最終試験の終了報告書

学位(博士)の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 総合知能工学専攻	氏名 松村 隆	学籍番号 988657F
指導教官名	玉城 史朗		
成績評価	学位論文 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	最終試験 <input checked="" type="radio"/> 合格 <input type="radio"/> 不合格	
論文題目	A Study on Parallel and Distributed Processing of Meta-Heuristics for Combinatorial Optimization		
<p>審査要旨 (2000 字以内)</p> <p>本研究では、メタヒューリスティック手法の一つである遺伝アルゴリズムとタブー探索の分散並列処理手法の提案や、複数のメタヒューリスティック手法のハイブリッド化の検討もなされている。</p> <p>提案する分散並列遺伝アルゴリズムは、各 PE ごとに母集団を割り当て、独自に遺伝アルゴリズムの操作を行う。特徴は隣接する PE 間で染色体の移住を採り入れているところである。また、通信プロセッサを導入することにより、各 PE 間でのデータ通信における待ち時間を低減している。提案手法は遺伝アルゴリズムが適用可能な問題に対して応用できる。</p> <p>提案手法を組合せ最適化問題の代表的な一例である 0/1 マルチナップサック問題に適用している。本研究ではマルチプロセッサシステム上で分散並列遺伝アルゴリズムを用いて得られる導出解の質に対して、マルチプロセッサシステムのトポロジ構造による影響を調べている。また、そのトポロジによる隣接する PE 間での移住する染色体の種類や移住方法についても調査されている。</p>			

次項 終

評価実験ではインターネットから入手できるベンチマーク問題を使って、疎結合マルチプロセッサシステムの代表的な3種類のトポロジに対して提案手法を適用し、リング型のトポロジが他のトポロジと比べて良質解の獲得を確認している。これを基に、本研究ではCone型トポロジを提案している。Cone型トポロジの特徴は、リング型トポロジを階層的に積み上げることで、広域探索をCone型トポロジの下位層で行い、そこで得られた下位を上位層へ移住させることで、上位層で局所的探索を可能としたことである。Cone型トポロジを使った評価実験により、提案手法へのCone型トポロジの有効性が示されている。本論文では、格子型のトポロジを隣接するPE間での染色体の移住を規制することで、仮想的な階層型トポロジを格子型トポロジ上に作り出す方法や、バス型のネットワーク上での提案手法の実装も検討されている。

もう一つヒューリスティック手法としてタブー探索を取り上げている。まず本研究では、これまでのタブー探索で使用されるメモリ構造に、先読みメモリーを新規に導入し、タブー探索の探索経路のコントロールに利用している。本研究では3種類のコントロール手法を提案しているが、先読みメモリーを使ったコントロールが他のコントロール手法や通常のアスピレーション規準を用いたタブー探索より良質解を獲得していることを示している。このコントロール手法はこれまでのタブー探索に組み込むことが可能である。

タブー探索の分散並列化では、複数台のプロセッサによる協調型分散並列タブー探索を提案している。提案手法は各プロセッサで独立にタブー探索を進めているプロセスが、ある条件を満たした際にそれまでの探索による情報を、交換し合う特徴を持っている。評価実験に組合せ最適化問題の巡回セールスマン問題を適用し、プロセッサ間で協調される情報の種類や協調する相手の選択方法の考察がなされている。

本研究におけるこれまでのメタヒューリスティック手法の分散並列化は、一つのヒューリスティック手法に対して考えられてきたが、さらに複数のメタヒューリスティック手法で同時に探索を行うハイブリッド手法を取り扱っている。ヒューリスティック手法はそれぞれが発見的知識として考えることができるので、その知識を集めて並列に探索を進めるのは非常に良いアイデアである。

本研究ではいかに既存のコンピュータ環境を利用して、その並列ハイブリッドメタヒューリスティックを実現するのかを述べている。つまり、既存のメッセージパッシングライブラリを用いて並列プログラムのメッセージパッシングを検証しているため、汎用並列計算機などの専用機を使わずに、PCレベルのクラスター型計算機を使った実装方法が紹介されている。これからの並列計算技術には、PCによるクラスター型の並列計算が注目を集めてくるので、このアプローチは非常に有効的なものと考えられる。

以上のように、本論文は博士の学位論文に値するとして合格と認める。また、最終試験の結果、上記のものは専門分野及び関連分野の十分な知識を有することが判明したので、学力確認も合格とする。