

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 中村 友哉

修士（工学）中村友哉提出の論文は、「並列計算を利用した大規模スケジューリング問題の高速解法に関する研究」と題し、7章と附録からなっている。

スケジューリング問題はNP困難問題の一つとして知られており、現在でもオペレーションズリサーチ(OR)や計算量理論、人工知能といった分野において盛んに研究が行われている。NP困難問題は問題のサイズとともに探索空間が組み合わせ爆発を起こすために、真の最適解を導出することは特殊な場合を除いて不可能である。そのため、近年では真の最適解の代わりに「最適にできるだけ近い解（準最適解）」を「実用的な時間範囲内で求める」ことが要請されるようになってきている。実際、工作機械の作業を日々スケジュールしなくてはならない組立工場、タスクの遅れなどで乗員のタスクを急遽再計画しなくてはならない宇宙ステーションなどでは、準最適な解をいかに迅速に作成できるかが究めて重要な鍵となっている。しかし、従来においては、ディスパッチングルール等を使ったメタヒューリスティクスの探索法は解の質が問題であり、整数計画問題等として解くOR的手法は計算時間の点で問題があるなど、上記の要求に応えられるスケジューリング手法がなかったのが現状である。

そこで本論文では、解の最適性を陽に扱える理論的アプローチを採用すると同時に、その解法を並列計算化することにより、解の準最適性を満足しながら計算時間を画期的に短縮できる方法を提案するものである。理論的スケジューリングアルゴリズムとして「ラグランジュ分解調整法（LDC法）」と呼ばれる手法を採用している。このLDC法は、大規模な問題を多数の規模の小さな子問題に分割し、各「子問題」を独立に解くことができるという特徴を有するため、並列計算を適用するにあたって非常に都合のよい手法と言える。本論文では子問題への分割手法、子問題の並列計算法、その結果の統合法を工夫することにより、あるタイプの大規模スケジューリング問題の求解時間が大きく短縮できることを理論的に示している。

並列計算の適用の仕方においても、実際の工場等への適用性を考慮に入れた上で、アルゴリズムレベルの並列化（システム並列化）のみならず、処理レベルの並列化（ロジック並列化）にまで踏み込み、LDC法の処理の主要部分のFPGAへのハードウェアロジック化を試みることで、高い並列度で大幅な時間短縮が実現できることを実験も交えて示した。これにより、システム並列化のみでは実現できない高速処理性能を、非常に低コストに獲得することができ、スケジューリング問題を扱う各分野の現場への普及が期待される。

第1章は序論であり、スケジューリング問題の現在の状況を明らかにするとともに、並列計算による高速化という視点を導入する意義を説明し、研究の目的を明確化している。

第2章では大規模スケジューリング問題の解法として提案されている各種手法を概観し、これらの解法のメリット・デメリット、および技術的課題を明らかにしている。その中でスケジューリング問題の解法としての理論的アプローチの位置付けを示し、その有用性を説いている。

第3章では本論文で利用するLDC法について詳述している。本手法の適用制限と利用効果について説明した後、定式化を行い解法の流れを示している。また、後半ではLDC法の構造的な特徴から計算量・計算時間についての議論を行い、並列計算による高速化に適した手法であることを示すと同時に、大規模スケジューリング問題への新しい適用方針を提案している。

第4章では、第3章で示したLDC法を実際のスケジューリング問題のいくつかに適用するこ

とで、その有用性と計算時間短縮の可能性を示している。まず、LDC法の提唱者らも適用したジョブショップ問題に適用して改めてその性能を確認した後、新しいアプリケーションとして、独自に定義した宇宙ステーションにおけるタスクスケジューリング問題、地上局ネットワークによる衛星運用スケジューリング問題についても適用を試みている。その際、第3章で示した適用方針に従うことで、十分実用的な準最適解が短時間に得られることを示している。また、特に宇宙ステーションにおけるタスクスケジューリング問題を例に、単純なスケジューリング生成手法である欲張り法、および商用の最適化エンジンを用いた最適解法との比較により、本手法の解の品質および計算時間に関する優れた特徴を改めて示している。

第5章ではまず並列計算の定義を行い、システム並列化およびロジック並列化という2通りの考え方があることを示している。その上でそれぞれの並列化手法の特徴を明らかにし、その導入によりどの程度の処理高速化が見込まれるかを第4章で扱ったアプリケーションごとに推算している。また、問題のサイズや制約条件の強さなどが変化した場合の処理高速化性能への影響についても調べている。

第6章では、FPGAを使ってロジック並列化の効果を調べる実験を行い、その成果も踏まえて計算時間短縮の効果を検証している。具体的には、重力多体問題のシミュレーション用に設計され成功を収めた並列型専用計算機GRAPEの利用を想定し、高速化能力について詳細に推算している。

第7章は結論であり、スケジューリング問題の高速解法について本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題および展望を述べている。

附録では、ラグランジュ双対問題に対する標準的なアプローチである劣勾配法について詳細に述べ、劣勾配法以外に提案されている手法についても紹介している。また、第4章の地上局ネットワークによる衛星運用スケジューリング問題の計算例で用いた衛星・地上局のデータ等を掲載している。

以上要するに、本論文は、地上局運用問題、宇宙ステーションの人員計画問題などの大規模スケジューリング問題を、解の最適性を陽に扱える理論的アプローチを用いて解くにあたり、従来課題とされていた大きな計算時間を解決する手段として並列計算化手法を提案し、またその際、ハードウェアロジックの実装による超並列化を実現することによって計算時間を大幅に圧縮できることを示したものであり、情報処理工学、宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。