

# 学位論文要旨

学位論文題目 マルチプロセッサスケジューリング問題におけるタスクグラフの  
ブロック化に関する研究

申請者氏名 陳 霖

マルチプロセッサによる分散処理は、システムの実行時間を短縮する有効な手段の一つであり、計算機システムにとどまらず、車両制御システムを含むさまざまなシステムにも利用されている。現在、マルチコアプロセッサを含め、マルチプロセッサシステム用の並列プログラミングは難易度が高く、所望の性能を得るために長期間の並列チューニングが必要であることが知られており、並列ソフトウェア生産性向上が大きな課題となっている。

マルチプロセッサシステムにおいて、その処理能力を最大限に引き出すためには、プログラムの実行に関する最適なスケジュールが必要であり、そのスケジュールを導き出すスケジューリング手法が重要となる。一般的にマルチプロセッサスケジューリング問題は、プログラムを表すタスクグラフとプロセッサ数が与えられた場合に、タスクグラフの実行時間が最小となるように、プロセッサに割り当てられるタスクの実行順序を決定することである。しかしながら、この問題は極めて難しく、以下の特別な2つの場合を除いて、NP-困難である。

- (1) タスクグラフのすべてのタスクが同じ実行時間を持つ根付き有向グラフであり、プロセッサの数は任意であるがその処理能力は同じである場合。
- (2) タスクグラフのすべてのタスクが同じ実行時間を持ち、プロセッサの数は2である場合。

このような状況の下では、プログラムの実行時間が最小にならなくとも、最適に近い、つまり準最適なスケジュールを求める手法が必要となる。これに関しては、これまでもさまざまな手法が考えられているが、本研究の主要な動機は通信時間の増加を伴わずタスクグラフにブロック化することにより、スケジュール結果を短縮することである。ブロック化とは、ある条件を満たした複数のノードを1つのブロック(新たなノード)に結合することである。ブロック化することによって、これらのノードを実行する際にノード間の通信を行う必要がなくなる。新たなノードの実行時間はブロックに含まれるすべてのノードの実行時間の総和である。なお、これらのノードを1つのブロックに結合しない場合はノード間の通信時間が必要である。

本研究では、プロセッサ間のデータの通信に時間的コストを要するものとし、通信時間の増加を伴わず、スケジュールをより短くするようなブロック化法と再ブロック化法を提案することを目的としている。

本論文は以下のように第1章から第6章まで構成される。

第1章では研究背景と研究目的を述べている。マルチプロセッサによる分散処理は、システムの実行時間を短縮するための有効な手段であり、様々な分野で利用されている。マルチプロセッサシステムを最大限に活用するために、プログラムの実行に関する最適なスケジューリング方法の開発が必要である。この研究はプログラムの実行時間をより短くするためのブロック化手法の提案を目的としている。

第2章では、通信時間を要するマルチプロセッサシステムのモデルを定義し、対象のタスクグラフが有向閉路のない DAG であり、各ノード間に先行制約があることを説明している。さらに、タスクグラフにおけるブロックの概念を定義している。

第3章と第4章では、それぞれブロック化法と再ブロック化法を提案している。ブロック化法は、4種類の親子ノード集合のいずれかをもつ連結部分グラフを一つにする基本ブロック化法と4つの構造パターンのいずれかをもつ連結部分グラフを一つにする追加ブロック化法からなっている。ブロック化法では、基本ブロック化法を先に適用し、次に追加

ロック化法を適用するように実行している。再ブロック化法は、スケジューリングの結果に基づいて行う。まず、ノードの実行に関する最早と最遅の開始時刻を用いた LST-EST スケジューリング法を提案し、このスケジューリングの実行結果に基づいて、一つのプロセッサで実行可能な連結部分グラフを一つにする。

第 5 章では、提案したブロック化法と再ブロック化法を評価するためのシミュレーション方法およびその実験結果について述べている。実験用のタスクグラフは MATLAB を用いて作成した自動車制御用の Simulink モデルから抽出して利用している。提案したブロック化法と再ブロック化法を適用した結果、通信時間が 50%以上短縮されたことを確認しており、提案手法が自動車制御用システムの実行に有効であることを明らかにしている。

第 6 章では、まずこの論文で提案されたブロック化法と再ブロック化法、また実用システムに対する提案方法の有効性についてまとめている。次に、本研究で得られる成果に基づいてエネルギー伝送を含む社会システムにおける諸問題を解決することについて言及している。最後に、今後の研究課題を示している。

## 学位論文審査の概要と結果

報告番号	東アジア博 甲 第 88号	氏 名	陳 霖
論文題目	マルチプロセッサスケジューリング問題におけるタスクグラフのブロック化に関する研究		
<p><b>(論文審査概要)</b></p> <p>本論文は、マルチプロセッサシステムにおけるプログラムの実行時間を短縮するために、同一プロセッサで実行する部分プログラムを見つけるブロック化の手法を提案したものであり、6章の構成になっている。</p> <p>第1章では研究背景と研究目的を述べている。マルチプロセッサによる分散処理はシステムの実行時間を短縮するための有効な手段であり、様々な分野で利用されている。マルチプロセッサシステムを最大限に活用するために、プログラムの実行に関する最適あるいは準最適なスケジューリング方法の開発が必要である。この研究はプログラムの実行時間をより短くするためのブロック化手法の提案を目的としている。</p> <p>第2章では通信時間を要するマルチプロセッサシステムのモデルを定義し、プログラムのグラフモデルであるタスクグラフを定義した上、各ノード間に先行制約があることを説明している。さらにタスクグラフにおけるブロックの概念を定義している。</p> <p>第3章と第4章では、それぞれブロック化法と再ブロック化法を提案している。ブロック化法は、4種類の親子ノード集合のいずれかをもつ連結部分グラフを一つにする基本ブロック化法と4つの構造パターンのもつ連結部分グラフを一つにする追加ブロック化法からなっている。ブロック化法では、基本ブロック化法を先に適用し、次に追加ブロック化法を適用するように実行している。再ブロック化法は、スケジューリングの結果に基づいて行う。まず、ノードの実行に関する最早と最遅の開始時刻を用いたLST-ESTスケジューリング法を提案し、このスケジューリングの実行結果に基づいて、一つのプロセッサで実行可能な連結部分グラフを一つにする。</p> <p>第5章では、提案したブロック化法と再ブロック化法を評価するためのシミュレーション方法およびその実験結果について述べている。実験用のタスクグラフはMATLABを用いて作成した自動車制御用のSimulinkモデルから抽出して利用している。提案したブロック化法と再ブロック化法を適用した結果、通信時間が50%以上短縮されたことを確認しており、提案手法が自動車制御用システムの実行に有効であることを明らかにしている。</p> <p>第6章では、まずこの論文で提案されたブロック化法と再ブロック化法、また実用システムに対する提案方法の有効性についてまとめている。次に、本研究で得られた成果の応用として、エネルギー伝送を含む社会システムにおける問題解決の可能性について言及している。最後に今後の研究課題を示している。</p> <p>以上の論文の内容から、審査委員会は以下のように判断した。</p> <p>1. 創造性について</p> <p>提案手法は基本ブロック化法と追加ブロック化法と再ブロック化法からなっており、グラフの構造のみならず実行時間や通信時間も考慮に入れて考案している。特に、再ブロック化法は先行研究に見られないことで、創造性において優れている。</p>			

## 2. 論理性について

本論文で得られた結果はすべて定義から論理的に導かれており、重要な補題や定理は厳密に証明されている。また、提案手法に用いるアルゴリズムは補題や定理に基づいて設計されていることから、論文全体として論理性において優れている。

## 3. 厳格性について

マルチプロセッサシステムを開発する現場において度重なる調査をしてきており、本論文で解決すべき課題が明確になっている。また、関連の先行研究を十分に調査していることから、厳格性において十分に達成できている。

## 4. 発展性について

本論文で提案されたブロック化手法はマルチプロセッサシステムにおけるプログラムの実行時間を短縮できるだけでなく、エネルギー伝送を含む社会システムの諸問題の解決にも応用可能である。このことから、発展性において十分に達成できている。

以上のように、創造性と論理性は「優れている」、厳格性と発展性は「達成できている」との評価であることから、全体評価としては「達成できている」と判断した。よって、審査委員会は論文審査結果を合と判定した。

論文審査結果

合・否

審査委員 主査 (氏名)

葛崎 偉

(氏名)

成島 敬

(氏名)

福田 隆真

(氏名)

山日 真悟

(氏名)