

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 9 月 20 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730077

研究課題名(和文) 並列処理可能な計算資源の有効利用を目的とした資源割り当て手法の研究

研究課題名(英文) Computational Resource Assignment for Parallel Execution

## 研究代表者

金光 永煥 (Kanemitsu, Hidehiro)

早稲田大学・グローバルエデュケーションセンター・助教

研究者番号：60434362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、並列分散処理環境に投入されるジョブに対し、プロセッサへ割り当てるべき仕事量の下限値の算出手法、及び各タスクの割り当て手法、そして実行順を決定させる手法を開発した。不均一環境における従来のタスクスケジューリングでは、実際の各プロセッサの性能のばらつきが大きい場合、もしくは転送データ量の大きなジョブにおいては、適切な応答時間が得られず、各プロセッサを有効利用できないという問題があった。実験の結果、データ転送量の大きなジョブにおいては応答時間、及びEfficiency(プロセッサあたりの応答時間の短縮への貢献度)が特に改善されることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this research, I developed a method for processor utilization in a heterogeneous distributed system, which consists of : (i) derivation of the lower bound of the work load for each processor to be assigned for parallel execution, (ii) task assignment, (iii) task scheduling. Conventional task scheduling algorithms for heterogeneous systems have one serious drawback, i.e., they can not achieve a high degree of processor utilization because they assign an averaged scheduling priority for each task and then a good response time can not be obtained in a system having high heterogeneity. From experimental results by the simulation, it can be concluded that the proposed algorithm in this research outperforms other conventional task scheduling algorithms in terms of both the response time and efficiency.

研究分野：並列分散処理

キーワード：タスクスケジューリング タスククラスタリング 不均一分散環境

### 1. 研究開始当初の背景

分散環境においてジョブを並列実行するための適切なプロセッサ集合を決めるという問題は、従来手法では十分には解決されていない。この背景として、多種多様化している昨今の並列分散処理システムにおいては、条件・状況に応じて目的関数が多く存在することが挙げられる。本研究分野では、単一プロセッサの計算機による計算資源の有効利用が確立されているが、これは現在主流であるマルチコア化計算機、もしくは不均一プロセッサの集合においては、必ずしも計算機の数が増えられるとは限らない。従って、このような環境を考慮して仕事を割り当てることによって計算資源の有効利用させることは、システム全体の性能向上を達成できるという点において今後の並列分散処理における重要な課題の一つである。

### 2. 研究の目的

現在の計算機ネットワークでは、各計算機がマルチコア、もしくは処理性能や帯域幅が不均一であることが考えられる。このような場合において計算資源の有効利用のために各プロセッサに対して割り当てる仕事を理論的に決定できれば、現実的な環境において少ない計算資源数で高い速度向上を達成できるものと考えられる。本研究では、同時複数処理可能な不均一な計算機が分散された環境において、計算資源の有効利用を目的としたジョブ並列化手法に取り組む。

### 3. 研究の方法

本研究は、1. 各プロセッサに割り当てるべき処理単位の仕事量算出と、2. 各プロセッサへ割り当てる処理単位生成アルゴリズム開発という、2段階から構成される。これらは順序性があるため、1における結果を、学術雑誌及び学会発表を通じて社会へ発信する。次に2の研究では、処理単位生成アルゴリズムの設計を、計算量と実現可能性の観点から行う。さらに、シミュレーション環境の構築及び比較実験を行った後、本研究の成果を学術雑誌及び学会発表を通じて発信する。平成25年度では、

- (1) 先行研究の調査
  - (2) 各プロセッサに対する割り当て処理単位の大きさの下限值決定
- を行った。また、平成26年度では、
- (1) 割り当て処理単位の生成アルゴリズムの開発
  - (2) 優位性の評価と社会への発信を行った。

### 4. 研究成果

本研究による成果としては、主に以下の点が挙げられる。

(1) システムの不均一性に応じて各プロセッサへ割り当てる仕事量の下限値の導出方法を確立したこと

(2) 応答時間の上限値を小さくすることを目的としたタスク集約アルゴリズムの開発

(3) タスク集約アルゴリズムによって割り当てられたタスクをどのようにスケジュールすべきか(スケジューリング手法)を確立したこと。

(1) については、ジョブ内の各タスクの集約状況、及び未割り当てプロセッサの性能・帯域幅を考慮して次に割り当てるべきプロセッサが実行すべき仕事量の下限値を導出した。この下限値は、タスクの集約状況、及びシステム性能に関する関数であるため、必要なパラメータを入力すれば自動的に仕事量が得られるというものである。(2)については、(1)で得られた仕事量の下限値を満たすようにタスク同士を集約し、そしてWSLという応答時間の上限値を最小化するためのタスク集約アルゴリズムを開発した。WSLを最小化すれば実際の応答時間の上限値及び下限値も小さくなることは既に証明されており、本研究ではWSLを実際に小さくする手法を開発したということである。(3)では、実際の応答時間を最小化するため、各タスクの実行完了時刻が最小となるプロセッサへ割り当てる。これにより、適切なプロセッサ数で応答時間を最小化することが可能となった。

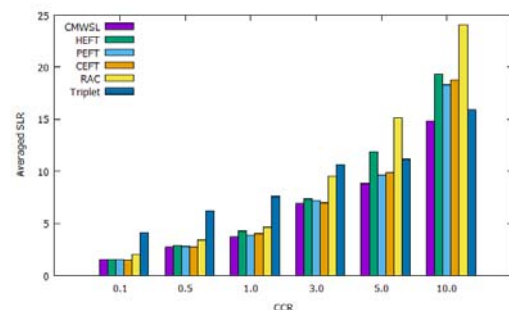


図1. ガウス消去法のタスクグラフにおけるSLR値の比較結果

図1に、行列サイズが50のガウス消去法のタスクグラフにおけるSLR (Schedule Length Ratio)の比較結果を示す。SLRが小さければ、応答時間が小さいことを意味する。CCRはデータサイズの平均値/タスクサイズの比率を表している。また、提案手法はCMWSLであり、HEFT、PEFT、CEFT、RAC、Tripletは既存のタスクスケジューリング手法である。この結果から、データサイズがタスクサイズよりも大きくなればなるほど、提案手法(CMWSL)によってより良い応答時間が得られていることがわかる。また、図2に、行列サイズが50のガウス消去法のタスクグラフにおけるEfficiency (1プロセッサあたりの応答時間短縮に対する貢献度)の比較結果を示す。こ

の図から、CCR の値が大きくなったとしても提案手法である CMWSL の Efficiency が他手法よりも大きいことがわかる。

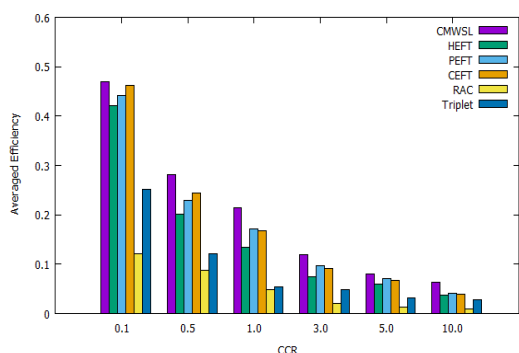


図 2. ガウス消去法のタスクグラフにおける Efficiency の比較結果

また、図 3、図 4 にそれぞれ高速フーリエ変換のタスクグラフにおける SLR 及び Efficiency の比較結果を示す。

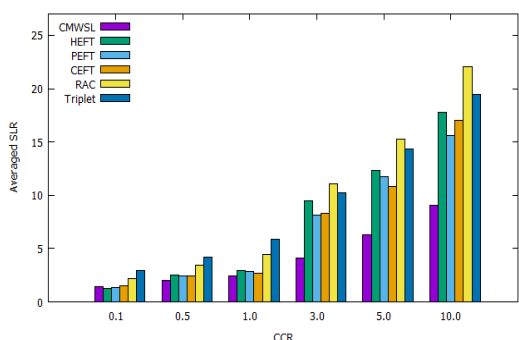


図 3. 高速フーリエ変換のタスクグラフにおける SLR 値の比較結果

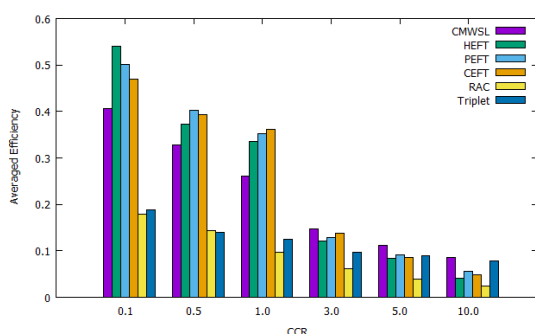


図 4. 高速フーリエ変換のタスクグラフにおける Efficiency の比較結果

これらの結果より、高速フーリエ変換においても提案手法のほうがプロセッサを有効利用しつつ、応答時間を小さくできることがわかった。

比較対象のうち、HEFT よりも PEFT 及び CEFT のほうが総じて応答時間が小さい。これは、PEFT、CEFT 双方が HEFT を元にして機能を拡張したアルゴリズムであるためである。しかしながら、これら 3 アルゴリズムではタスクのスケジューリング優先度に処理時間

及び通信時間の平均値を用いている。その結果、データサイズの大きなジョブ（タスクグラフ）では各タスクの実際の待ち時間と想定される待ち時間との差が顕著となり、結果として応答時間が小さくできないという問題がある。一方、CMWSL では、タスククラスタリングによって一旦、実際のプロセッサへタスクを割り当てることにより、実際の処理性能、通信帯域幅を考慮したスケジューリング優先度を各タスクに対して割り当てることが可能である。その結果、CCR の大きなジョブ（タスクグラフ）に対しても効果的な応答時間短縮が達成されている。一方、RAC アルゴリズムは全てのプロセッサの性能情報を用いて各プロセッサへの割り当てる仕事を決めている。その結果、本研究で想定しているような多くのプロセッサ環境においては必然的に実行プロセッサ数が膨大になってしまい、Efficiency が低下することがわかった。Triplet アルゴリズムはデータサイズと各プロセッサの通信性能のみを考慮してタスクを割り当てている。そのため、CCR が大きい場合は良い SLR 及び Efficiency を達成しているが、CCR が小さい場合はいずれも他手法よりも SLR が大きく、かつ Efficiency が小さいという結果が得られた。

以上から、本手法である CMWSL は、既存手法の問題点を解決するアルゴリズムであることが示された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- Hidehiro Kanemitsu and Masaki Hanada, "A Task Scheduling with Response Time Estimation for Efficient Processing in Heterogeneous Systems," Proceedings of 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2015), Feb, 2015.

- Hidehiro Kanemitsu, Masaki Hanada, "A Resource Information Propagation Scheme for Job Execution in a Peer-to-Peer Network," Proceedings of 2014 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2014), March 2014.

[学会発表] (計 2 件)

- Hidehiro Kanemitsu and Masaki Hanada, "A Task Scheduling with Response Time Estimation for Efficient Processing in Heterogeneous Systems," Proceedings of 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing

(NCSP 2015), Feb, 2015.

- Hidehiro Kanemitsu, Masaki Hanada, ``A Resource Information Propagation Scheme for Job Execution in a Peer-to-Peer Network,`` Proceedings of 2014 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2014), March 2014.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金光 永煥 (KANEMITSU, Hidehiro)

早稲田大学・グローバルエデュケーション  
センター・助教

研究者番号：60434362

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：