

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2009 ～ 2011  
 課題番号：21500039  
 研究課題名（和文）異種マルチコアプロセッサの効率的な実行を実現するタスク内記憶領域管理機構  
 研究課題名（英文）A memory management method in task for heterogeneous multicore processors to realize efficient execution  
 研究代表者  
 小出 洋（KOIDE HIROSHI）  
 九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授  
 研究者番号：90333517

## 研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、時間を要するアプリケーションを高速かつ効率的に実行できるようにすることを目的として、ヘテロジニアスマルチコアプロセッサの潜在的な能力を引き出せるようにすることである。そのために SIMD 並列化のためのタスク内記憶領域管理機構を提案・実装し、実際的な応用プログラムである LSI テスト計算を実行して、提案手法の評価を行った。提案手法による SIMD 並列化により一定規模以上の LSI テスト計算で 2 倍以上の高速化が可能であることを示した。

## 研究成果の概要（英文）：

This study proposes a new memory management method in tasks for SIMD parallelization in order to derive the practical capability of heterogeneous multicore processors and to make applications that take long time execution time fast. We implement the method and evaluate it by using a practical application, a LSI test code. We have finished a basic implementation and evaluations of the proposed method. We show the proposed method executes the applied LSI test code having large test data with twice the speed of the original code.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：並列処理・分散処理，記憶管理，ハイパフォーマンス・コンピューティング，タスクスケジューリング，マルチコア

## 1. 研究開始当初の背景

ヘテロジニアスマルチコアプロセッサは、異種のアーキテクチャを統合したプロセッサで並列処理性能が良い。現在代表的なヘテロジニアスマルチコアプロセッサのひとつに Cell/B.E. があるが、これは汎用プロセッサである PPE 1 個と SIMD 並列処理を行うことができる高性能な SPE 8 個を統合し、それらのプロセッサを高性能な DMA 転送機能で結びつけている (図 1)。

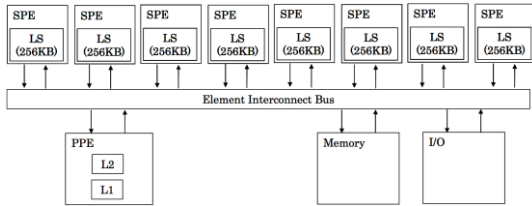


図 1. Cell/B.E. の概要

研究計画を建てた 2008 年当時から現在までの間にも、GPGPU による演算アクセラレータの普及やプロセッサのメニーコア化、ヘテロジニアス化が進んでいる。ヘテロジニアスマルチコア上で動作するアプリケーションの効率化を目的するミドルウェア技術の研究開発は、他の多くの関連研究に波及する重要な基本技術である。

過去 10 年ほど前には高性能計算をもっとも要する計算は、計算時間の短縮と大容量の記憶領域の取得を必要とする科学技術計算が主であったが、現在では高性能な計算機が普及したことにより様々な応用 (例えば、LSI のテスト計算、顔認識、ロボットビジョン、車載処理等) への期待が高まり、そのため多様な要求 (例えば、マルチメディア処理、ストリーミング処理、リアルタイム処理、低消費電力等) に応えた上で効率の良い処理を行う必要がでてきた。現在、この多様な要求に応えるために様々な粒度における並列分散処理の効率化をはかる研究が行われている (図 2)。

命令ステージや命令群といった細粒度の研究では、コンパイル時の静的なアプローチが対象となる SIMD 最適化に関する研究が盛んに行われている。例えば国内では COINS コンパイラフレームワーク、国外では IBM 等が Cell/B.E. 向けに SIMD 最適化を含む高性能なコンパイラを開発している。

一方、これよりも粒度が大きい粗粒度タスクに対し率的に資源割当てを行うタスクスケジューリングに関する研究も

Workshop on Scheduling and Resource Management for Parallel and Distributed Systems 等の専門の国際会議が継続的に開かれる等盛んに研究が行われている。研究代表者も古くは 1999 年に異機種種の並列計算機

クラスタで互いに依存関係のあるタスクから構成される実際的な応用プログラムを効率的にスケジューリングする手法について国際会議で発表しており、その後も現在に至るまで継続的に研究や対外発表を行っている。

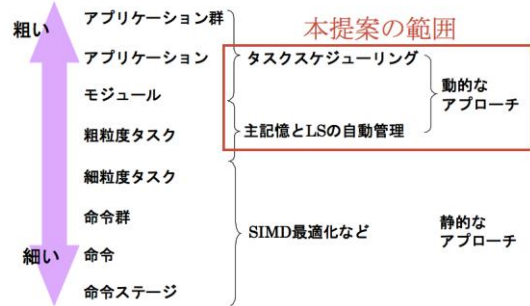


図 2. 様々な粒度の並列分散処理の効率化

## 2. 研究の目的

本研究は計算時間を要するアプリケーションを高速かつ効率的に動かすことを目的としている。そのために、ヘテロジニアスマルチコアプロセッサの優れた性能を引き出す記憶領域管理機構を開発し、実際的な応用プログラムを用いて評価する。本研究の対象とする応用プログラムは粒度の粗い場合に相当し、コンパイル時の静的な処理ばかりでは無く、動的なスケジューリングを行う必要があり、本研究計画ではそれに注目しているが、コンパイラが生成するオブジェクトコードの実行環境として、細粒度の SIMD 並列化を十分に意識する必要があった。

## 3. 研究の方法

本研究提案では、研究開始時点で安価で入手のし易さ、ソフトウェア開発環境の整備状況から、Cell/B.E. のクラスタをターゲットに提案手法を実装した上で、GP-GPU 等の他のアーキテクチャも視野に置いて研究開発を行うこととした。

Cell/B.E. のアーキテクチャにおける既知の問題として、SPE は高速な作業用メモリである Local Store (LS) を備えることで高速なプログラムの実行を実現しているが、特殊なプログラミングスタイルを必須とし、サイズが 256KB と小さく主記憶とデータ交換しながら利用する必要があり、一般的な利用者にとりハードルが高い。効率的なタスクスケジューリングを行う前段階として先ずこの問題を解決する。

ループやサブルーチン等ある程度まとまった処理単位であるひとつの粗粒度タスク内で主記憶と LS のデータ交換を自動化することにより、資源割当てやスケジューリングをし易くするタスク内記憶管理機構を提案し、

実装し、実際のアプリケーションを用いて評価までを行う。

#### 4. 研究成果

研究期間内にタスク内記憶管理手法の基本的な実装および評価を行った。実際的なアプリケーションを用いて評価を行うために、評価用アプリケーションとして、LSI のテスト計算を選定し、実際に LSI 設計が専門の研究者の協力を得て、彼らが利用している既存アプリケーションのコードを解析した。解析の結果、既存コードそのままでは SIMD 並列化による効率的な実行が困難であったので、入力データを含めたコード全体を実行前に自動的に並列分散プログラムに変換して SIMD 並列実行できるようにする手法を考案し、その有効性と独自性を示して特許出願を行った。さらにタスクに対し SIMD 並列化とその試験実装を行い、タスクの SIMD 並列実行とタスク間通信のオーバーラップが可能であり、効率的な実行が可能であることを示した。最終的に規模の大きい LSI のテスト計算では、既存コードの 2 倍程度高速に実行できるようになった (図 3)。なお、図 3 における List A から E の論理素子数は、順にそれぞれ 134, 685, 876, 874, 3650 である。

さらに LSI のテスト計算の依存関係を考慮した上で各タスクの割当てを行い、効率良く実行するためのヒューリスティックな手法を備えたタスクスケジューリング手法を検討した。その結果、使用する並列分散環境に異なるタイプのプロセッサが含まれている場合に、それらの特徴とアプリケーションの特徴を考慮してタスク割当てを行い、計算時間を短くできる新しいタスクスケジューリングに関する着想を得た。

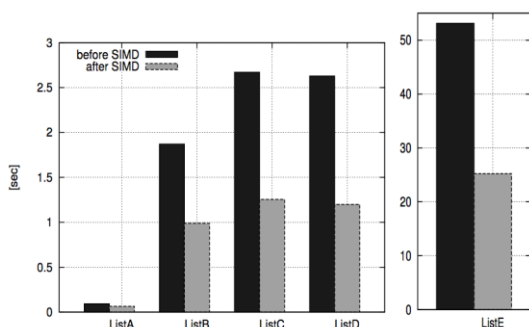


図 3. LSI テストコードの実行時間

#### 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)

- ① Uratani, Y., Koide, H., Cavendish, D. and Oie, Y. : Distributed XML Processing Over Various Topologies: Characterizing XML Document Processing Efficiency, In Proc. WEBIST (Revised Selected Papers), 査読有, Lecture Notes in Business Information Processing (NIBIP), Springer-Verlag, Vol. 101, pp.57-71, (December. 2011).
- ② Cavendish, D., Oie, Y., Koide, H. and Gerla, M.: A Mean Value Analysis approach to transaction performance evaluation of multi-server systems, Concurrency and Computation: Practice and Experience, 査読有, Vol. 2010, No. 22, pp. 1267-1285 (2010).

[学会発表] (計 10 件)

- ① 永田卓也, 光来健一: SPE Observer: Cell/B.E.の SPE を用いた OS 監視システム, 第 120 回 OS 研究会, 査読無, 東京都 (2012 年 2 月 28 日) 東京都.
- ② Nakamizo, Y., Koide, H., Yoshinaga, K., Cavendish, D. and Oie, Y. : MVA modeling of Multi-core Server Distributed Systems, Proc. 2011 3rd International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2011), 査読有, 4th International Workshop on Information Network Design (WIND) 2011, Fukuoka, Japan (Nov. 30 2011-Dec. 2 2011) .
- ③ Uratani, Y., Koide, H., Cavendish, D. and Oie, Y. : Characterizing Distributed XML Processing -- Moving XML Processing from Servers to Networking Nodes, Proc. 7th International Conference on Web Information Systems and Technologies, 査

- 読有, Noordwijkerhout, Netherlands (May 8 2011).
- ④ 西ノ原亮司, 松浪拓海, 小出洋: 大規模集積回路の論理シミュレーションのSIMD 並列化手法の提案, 情報処理学会第 52 回プログラミング・シンポジウム予稿集, **査読無**, 神奈川県 (2011 年 1 月 7 日).
- ⑤ Yoshinaga, K., Washizu, S., Uratani, Y., Koide, H., Cavendish, D. and Oie, Y.: Characterizing Transaction with Data Transfer on Multi-Server Systems, Proc. 2010 2nd International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2010), pp. 404-408, 3rd International Workshop on Information Network Design (WIND) 2010, **査読有**, Thessaloniki, Greece (November 26 2010).
- ⑥ 浦谷芳幸, キャベンディッシュ ジルセウ, 小出洋: 中継計算機で行うストリーミングデータ処理の特性, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2010-102 pp. 81-86, **査読無**, 奨励講演, 京都府(2010 年 11 月 19 日).
- ⑦ 永田卓也, 光来健一: Cell/B.E. の SPE 上で動作する安全な OS 監視システム, 日本ソフトウェア科学会第 27 回大会, **査読無**, 東京都(2010 年 9 月 13 日).
- ⑧ D. Cavendish, Y.Oie, H. Koide and M. Gerla: Characterizing Transaction on Multi-Server Systems, Proc. 2009 International Conference on Intelligent Network and Collaborative Systems (INCoS2009), pp. 357-359, **査読有**, 2nd International Workshop on Information Network Design (WIND) 2009, Barcelona, Spain (November 4-6,2009).

- ⑨ 浦谷芳幸, 小出洋: 中継計算機でストリーミングデータ処理を行う並列アプリケーションの実装と評価, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2009-100, **査読無**, 熊本県(2009 年 10 月 8 日).
- ⑩ Cavendish, D., Oie, Y., Koide, H. and Gerla, M.: A Mean Value Analysis Approach to Transaction Performance Evaluation on Multi-Server Systems, 2009 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2009), pp.50-55, 1st IEEE Workshop on Performance evaluation of communication in distributed systems and Web based service architectures, **査読有**, Sousse, Tunisia (July 5, 2009).

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 論理計算システム, 生成装置, 生成方法及びプログラム  
 発明者: 小出 洋  
 権利者: 小出 洋, 九州工業大学  
 種類: 特許  
 番号: 特願 20011-000243  
 出願年月日: 2011 年 1 月 4 日  
 国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ  
<http://www.klab.ai.kyutech.ac.jp/~koide/Site/Publication.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小出 洋 (KOIDE HIROSHI)  
 九州工業大学・情報工学研究院・准教授  
 研究者番号: 90333517

(2) 研究分担者

光来 健一 (KOURAI KENICHI)  
 九州工業大学・情報工学研究院・准教授  
 研究者番号: 60372463