

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330088

研究課題名(和文) GPGPUプログラミング容易化のためのMapReduceアルゴリズム処理系の開発

研究課題名(英文) Developing a Map-Reduce Algorithm Translator to Ease GPGPU Programming

研究代表者

藤本 典幸 (Noriyuki, Fujimoto)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90294165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：並列処理やGPGPUに関する知識が無い一般的なプログラマでもGPUの高性能を容易に利用可能とするために、逐次C言語で記述されたMapReduceプログラムを効率の良いGPGPUプログラムに自動変換するコンパイラを開発することを目的に、逐次C言語でMapReduceプログラムを記述するための簡潔で使いやすいMapReduce APIの設計と、設計したAPIに基づいた次のコンパイラの試作を行った：(1)逐次C言語用コンパイラ、(2)OpenMP用コンパイラ、(3)単一GPU用コンパイラ、(4)複数GPU用コンパイラ

研究成果の概要(英文)：For common programmers unfamiliar with parallel processing and GPGPU to easily utilize the high performance of GPUs, we designed concise and convenient MapReduce API which enables us to write MapReduce programs in serial C language. Moreover, based on the MapReduce API, we developed prototype compilers: (1) a compiler for serial C language, (2) a compiler for OpenMP, (3) a compiler for a single GPU, (4) a compiler for multiple GPUs in a PC.

研究分野：情報科学

キーワード：超高速情報処理 並列処理 GPGPU MapReduce

## 1. 研究開始当初の背景

様々な応用分野で GPGPU による計算の高速化の成功事例が報告されている。しかし、高速な GPGPU を実現するためには、GPU の持つ多数のプロセッサ・コアや階層的なメモリシステム、スレッドのスケジューリング機構などの性能特性を熟知した上で、データ構造とアルゴリズムを工夫することが必須であり、GPU プログラミングは並列プログラミングの専門家以外には非常に難しいものとなっている。

一方で、ネットワークで接続された多数の PC あるいはコモディティ・サーバを並列計算機として用いるクラスタ計算機上で大規模なデータ処理を行うためのプログラミング・モデルとして、MapReduce が Google により提案されている。ここで MapReduce モデルで表現されたプログラム( MapReduce プログラム) 自体はごく普通の逐次プログラムとみなせることに注意されたい。

MapReduce は、元々は大規模データの簡単かつ効率の良い並列処理を目的として生まれた実践的な技術であるが、その成功を受けて、MapReduce モデルで表現できる計算の計算能力を計算モデル的に明らかにしようとする理論的な研究の流れが最近現れている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、並列処理や GPGPU に関する知識が無い一般的なプログラムでも GPU の高性能を容易に利用可能とするために、逐次 C 言語で記述された MapReduce プログラムを効率の良い GPGPU プログラムに自動変換するコンパイラを開発することである。

## 3. 研究の方法

研究目的の達成のために、(1)逐次 C 言語による MapReduce プログラム記述のための API の設計、(2)(1)で設計した API を用いて記述された MapReduce プログラムをそのまま逐次 C プログラムとして実行するためのライブラリの開発、(3) MapReduce プログラムを

ソースプログラムの修正無しにそのままマルチコア CPU 上で並列実行するためのライブラリの開発、をまず行い、いくつかのアプリケーションを用いて評価実験を行いつつ、GPGPU に関するこれまでの研究経験を活かしてこれらを徐々に発展させる形で、(4)単一 GPU 用コンパイラの開発、(5)単一 PC 上の複数 GPU 用コンパイラの開発、(6)GPU クラスタ用コンパイラの開発、を行う。

## 4. 研究成果

- (1) 逐次 C 言語で MapReduce プログラムを記述するための簡潔で使いやすい MapReduce API の設計を行った。
- (2) 設計した API に基づいた次のコンパイラの試作を行った。
  - 逐次 C 言語用コンパイラ
  - OpenMP 用コンパイラ
  - 単一 GPU 用コンパイラ
  - 複数 GPU 用コンパイラ

## 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 17 件)

- ( 査読有 ) N. Fujimoto, A Pseudo-Polynomial Time Algorithm for Solving the Knapsack Problem in Polynomial Space, Lecture Notes in Computer Science, Vol.10043, pp.624-638, Springer (2016)
- ( 査読有 ) M. Hussain, H. Hattori, and N. Fujimoto, A CUDA Implementation of the Standard Particle Swarm Optimization, 18th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC2016), pp.219-226, IEEE CPS (2016)
- ( 査読無 ) 小林寛之, 藤本典幸, トーラスに規則的に辺を追加した直径および平均パス長最小のグラフ, 信学技報, Vol.116, No.177, pp.287-292, 電子情報通信学会 (2016)
- ( 査読無 ) 服部大士, 藤本典幸, 入力サイズより出力サイズが十分小さい場合

- の GEMM 演算の GPU 上での実装, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), Vol.2016-HPC-155, No.41, pp.1-7 (2016)
5. (査読有) 藤本典幸, GPU を用いた超並列高速計算入門 III: 高水準 GPU プログラミング, システム / 制御 / 情報, Vol.60, No.6, pp.250-257, システム制御情報学会 (2016)
  6. (査読有) 藤本典幸, GPU を用いた超並列高速計算入門 II: 低水準 GPU プログラミング, システム / 制御 / 情報, Vol.60, No.4, pp.166-173, システム制御情報学会 (2016)
  7. (査読有) 藤本典幸, GPU を用いた超並列高速計算入門 I: GPU ハードウェアの概要, システム / 制御 / 情報, Vol.60, No.2, pp.79-85, システム制御情報学会 (2016)
  8. (査読有) S. Tsutsui and N. Fujimoto, A Comparative Study for Efficient Synchronization of Parallel ACO on Multi-core Processors in Solving QAPs, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), pp.1118-1125 (2015)
  9. (査読有) S. Tsutsui and N. Fujimoto, A Comparative Study of Synchronization of Parallel ACO on Multi-core Processor, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) Companion Material Proceedings, pp.777-778, ACM Press (2015)
  10. (査読有) K. Kawanami and N. Fujimoto, A GPU Implementation of a Bit-Parallel Algorithm for Computing the Longest Common Subsequence, 情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用, Vo.7, No.2, pp36-44 (2014)
  11. (査読有) N. Fujimoto and S. Tsutsui, Parallelizing Solution Construction in ACO for GPUs, Lecture Notes in Computer Science, Vol.8667, pp.288-289, Springer (2014)
  12. (査読有) M. Sato, S. Tsutsui, N. Fujimoto, Y. Sato and M. Namiki, First Results of Performance Comparisons on Many-Core Processors in Solving QAP with ACO: Kepler GPU Versus Xeon PHI, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), pp.1477-1478 ACM Press (2014)
  13. (査読有) K. Kitano and N. Fujimoto, Multiple Precision Integer Multiplication on GPUs, International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA), Vol.2, pp.236-242 (2014)
  14. (査読無) 浦部峻紀, 藤本典幸, GPU によるナップサック問題に対する高速近似解法の試み, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol.2015, No.1, p.11 (2014)
  15. (査読無) 奥田徹, 藤本典幸, ストリームクラスタリングアルゴリズムの GPU を用いた高速化, 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), Vol. 2014-HPC-146, No.10, pp.1-6 (2014)
  16. (査読無) 野里幸平, 藤本典幸, MapReduce アルゴリズムから CUDA プログラムへの変換系の試作, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, Vol.2014, No.1, p.63 (2014)
  17. (査読無) 北野晃司, 藤本典幸, 素因数分解アルゴリズム k-スキップ法の提案

とその評価, 2014 年暗号と情報セキュリティシンポジウム (SCIS2014) 論文集, 8 pages (2014)

〔学会発表〕(計 11 件)

1. N. Fujimoto, A Pseudo-Polynomial Time Algorithm for Solving the Knapsack Problem in Polynomial Space, The 10th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCOA), 2016 年 12 月 16 日 ~ 12 月 18 日, 香港
2. M. Hussain, H. Hattori, and N. Fujimoto, A CUDA Implementation of the Standard Particle Swarm Optimization, 18th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC), 2016 年 9 月 24 日 ~ 9 月 27 日, ルーマニア・ティミショアラ
3. 小林寛之, 藤本典幸, トーラスに規則的に辺を追加した直径および平均パス長最小のグラフ, 2016 年並列/分散/協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ(SWoPP), 2016 年 8 月 8 日 ~ 8 月 10 日, 長野県松本市
4. 服部大士, 藤本典幸, 入力サイズより出力サイズが十分小さい場合の GEMM 演算の GPU 上での実装, 2016 年並列/分散/協調処理に関する『松本』サマー・ワークショップ(SWoPP), 2016 年 8 月 8 日 ~ 8 月 10 日, 長野県松本市
5. S. Tsutsui and N. Fujimoto, A Comparative Study for Efficient Synchronization of Parallel ACO on Multi-core Processors in Solving QAPs, IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 2015 年 12 月 8 日 ~ 12 月 10 日, 南アフリカ・ケープタウン
6. S. Tsutsui and N. Fujimoto, A Comparative Study of Synchronization of Parallel ACO on Multi-core Processor, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), 2015 年 7 月 11 日 ~ 7 月 15 日, スペイン・マドリッド
7. 浦部峻紀, 藤本典幸, GPU によるナップサック問題に対する高速近似解法の試み, 電子情報通信学会総合大会, 2015 年 3 月 10 日 ~ 3 月 13 日, 滋賀県草津市
8. N. Fujimoto and S. Tsutsui, Parallelizing Solution Construction in ACO for GPUs, 9th International Conference on Swarm Intelligence (ANTS), 2014 年 9 月 10 日 ~ 9 月 12 日, ベルギー・ブリュッセル
9. M. Sato, S. Tsutsui, N. Fujimoto, Y. Sato and M. Namiki, First Results of Performance Comparisons on Many-Core Processors in Solving QAP with ACO: Kepler GPU Versus Xeon PHI, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), 2014 年 7 月 12 日 ~ 7 月 16 日, カナダ・バンクーバー
10. K. Kitano and N. Fujimoto, Multiple Precision Integer Multiplication on GPUs, International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA), 2014 年 7 月 21 日 ~ 7 月 24 日, 米国・ラスベガス
11. 奥田徹, 藤本典幸, ストリームクラスタリングアルゴリズムの GPU を用いた高速化, 情報処理学会第 146 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2014 年 10 月 2 日 ~ 10 月 3 日, 沖縄県那覇市

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 典幸 (FUJIMOTO, Noriyuki)

大阪府立大学・理学系研究科・教授

研究者番号：90294165

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )