

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500285

研究課題名(和文)進化計算の高速化を実現するGPGPU基盤ソフトウェアの開発

研究課題名(英文)A GPGPU Framework for High Performance Evolutionary Computation

研究代表者

藤本 典幸 (FUJIMOTO, Noriyuki)

大阪府立大学・理学(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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：様々な選択肢の中から最もよいものを見つける問題を組み合わせ最適化問題と言う。組み合わせ最適化問題を解くための有望な手法のひとつに生物の進化から着想を得た進化計算がある。本研究では、進化計算により様々な組み合わせ最適化問題をパソコンに標準搭載されているGPUという電子部品を用いて高速に解く手法について研究を行った。その結果、2次割当問題、巡回セールスマン問題などの問題に対してCPUの1コアに比べて最大101倍の高速化を実現した。

研究成果の概要(英文)：A combinatorial optimization problem is a problem to find the best one of various choices. One of promising methods to solve combinatorial optimization problems is evolutionary computation, which was inspired by biological evolution. In this study, how GPUs can accelerate evolutionary computation has been studied. A GPU is an electronic part equipped with common PCs. Consequently, a maximum of 101 times speedup was achieved for problems such as the quadratic assignment problem, the traveling salesman problem, and so on.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：アルゴリズム 超高速情報処理 ソフトコンピューティング 並列処理 GPGPU

1. 研究開始当初の背景

進化計算(evolutionary computation)は**生物の進化過程をヒントとした計算モデル全般**を指し、遺伝アルゴリズム (genetic algorithm, GA)、アントコロニー最適化、分布推定アルゴリズムなどを含む [棟朝 2008]。進化計算モデルは広範囲の問題に対して適用可能で、構造最適化、回路設計などの各種設計問題、スケジューリング、巡回セールスマン問題、2次割当て問題などの組み合わせ最適化問題、自動プログラミング、機械学習などに用いられてきた。我が国でも最近、人工知能学会進化計算フロンティア研究会および進化計算学会が立ち上がり、**進化計算の研究はますます盛んになっている**。

進化計算は広範囲の問題に対して有効な手法であるが、しばしば計算時間が膨大になることが欠点である。そのため PC クラスタやグリッドコンピューティングなどの並列計算環境を用いた進化計算の高速化に関する研究が盛んである。

一方で、ごく最近、パソコン (PC) の画面表示機能を担当する部品であるビデオカードに搭載されている GPU (Graphics Processing Unit) がプログラミング可能になり、画像処理だけでなく一般的な計算プログラムも実行可能となった。GPU を用いた汎用計算は GPGPU (General Purpose computation on GPU) と呼ばれる。GPGPU 用途で最も普及している CUDA **対応 GPU** の場合、最新の GPU は 480 個のコアを搭載したメニイ・コア・プロセッサであり、最大でおよそ 2 万 3 千スレッドを同時実行可能な並列計算環境を数万円程度の低コストで提供し、そのピーク性能は整数演算・(単精度)浮動小数点演算とも 1 秒間に 1 兆 (1 テラ) 回以上である。このため **GPU は価格性能比が非常によい魅力的な計算プラットフォームとして現在注目され**ており、様々な問題へ GPU を適用する **GPGPU に関する研究がここ数年盛んである** (GPGPU 研究事例へのリンク集 http://www.nvidia.com/object/cuda_apps_flash_new.html# 参照)。これらの研究報告では、数値計算や画像処理、各種シミュレーションなどの問題に対しては、CPU の 1 コアに比べて 100 倍 ~ 300 倍程度の速度向上が多数報告されている。

しかし進化計算については、GPU の単純適用が可能な遺伝的プログラミング

(genetic programming, GP) の分野では GPU の利用が比較的早く始まっている (例えば Banzhaf ら 2008, Langdon ら 2008, Robilliard ら 2008 など既存研究が比較的多数存在) が、**進化計算の主たる手法である遺伝アルゴリズムの分野については GPU を単純に適用することが難しいため GPU の利用報告は世界で十例程度**しかない。また、これらの既存研究では、達成されている速度向上率 (GPU を用いることにより、CPU のみ用いるプログラムに比べて、計算が何倍速くなったかを表す比率) も低い。**このように進化計算を GPU で高速に実行するための一般的手法や方法論はまだ存在せず、各研究者が手探りで個々の対象問題の高速化にチャレンジしているのが現状である**。

これに対して応募者は、施設配置問題などに応用できる重要な組み合わせ最適化問題である 2 次割当て問題を解く遺伝アルゴリズムの GPU 向け並列化を 2009 年 7 月に行い、当時最速の PC 用 CPU であった Intel Core i7 965 に対して 4.8 倍から 23.9 倍の高速化に成功した。また、盛んに研究されている組み合わせ最適化問題である巡回セールスマン問題を解く遺伝アルゴリズムの GPU 向け並列化を 2010 年 8 月に行い、3GHz Intel Core2 Duo に対して 19.5 倍から 41.9 倍の高速化に成功した。本研究では、これらの研究業績での経験をさらに発展させ一般化することにより、研究目的を達成する。

2. 研究の目的

進化計算を GPU 上で効率よく実行するための **一般的手法・方法論**を明らかにし、**開発した手法を様々な応用問題に容易に適用可能にする再利用性の高いソフトウェア・ライブラリを開発**する。

3. 研究の方法

進化計算は、個体の集団に対して操作を繰り返して解を探索するアルゴリズムの総称であり、遺伝アルゴリズムなど、いくつかの手法がある。**平成 23 年度**は、これまでの研究実績を発展させることにより、進化計算の中でも主たる手法である遺伝アル

ゴリズムを対象に，効率のよい GPU 向け並列化の一般的手法の開発を行う．**平成 24 年度以降**は，平成 23 年度の経験を活かして，遺伝アルゴリズム以外の有望な進化計算手法であるアントコロニー最適化と分布推定アルゴリズムを対象に効率のよい GPU 向け並列化の一般的手法の開発を行う．

なお研究の遂行にあたっては，遺伝アルゴリズムなどの進化計算全般に多数の研究実績を上げている連携研究者に適宜アドバイスを受ける．

4．研究成果

最適割当問題の中で最も困難な問題の一つである 2 次割当問題の高速解法に GPU を適用する方法の研究を進めた．2 次割当問題は，巡回セールスマン問題と同様，組み合わせ最適化問題の解法におけるベンチマーク問題として用いられるとともに，病院の部署の最適配置問題や工場の最適立地計画問題など実問題への多くの応用があり，その高速解法は有用な意味を持つ．この解法においては，進化計算と局所探索とを組み合わせることが有効であることが知られている．今年度は ACO(Ant Colony Optimization)に局所探索(2-opt, タブー探索)を組み合わせ GPU で高速に解く方法を研究した．ここでは特に GPU のマルチスレッド方式である SIMT(Single Instruction, Multiple Thread)を考慮した方式を提案した．成果に関しては国際会議 CEC2011, GECCO2011 で報告した．

さらに ACO を複数の GPU を用いて並列高速化する方法を研究した．またヒストグラムを用いた EDA(The estimation of distribution algorithms)を GPU に実装する方法を研究した．成果に関しては国際会議 CEC2012 で報告した．

さらに，よい局所探索手法が知られていない組み合わせ最適化問題を対象に，遺伝アルゴリズムをメタヒューリスティックとして使用する場合を想定して，遺伝的操作自体を効率よく並列化する手法について研究を行った．その結果，GPU を用いて巡回セールスマン問題を CPU の 1 コアに比べて最大 101 倍の高速化を実現した．成果に関しては国際会議 CEC2013 で報告した．

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 14 件)

1. 査読有, Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, A Preliminary Study of

Crowding with Biased Crossover, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) (Companion), pp.1753-1754, 2013

2. 査読有, Noriyuki Fujimoto, Shigeyoshi Tsutsui, Parallelizing a Genetic Operator for GPUs, IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.1271-1277, 2013

3. 査読有, 河南克也, 藤本典幸, Red Black 法を適用した HSMAC 法による流体解析の GPU を用いた並列化, 計算工学講演会論文集, Vol.18, pp.1-4, 2013

4. 査読無, 河南克也, 藤本典幸, Highly Simplified MAC 法の GPU を用いた高速化, 電子情報通信学会 2013 年総合大会講演論文集, p.11, 2013

5. 査読有, Hironori Fujii, Noriyuki Fujimoto, GPU Acceleration of BCP Procedure for SAT Algorithms, International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, Vol.II, pp.764-770, 2012

6. 査読有, Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, On the Effect of Using Multiple GPUs in Solving QAPs with CUDA, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), pp.629-630, 2012

7. 査読有, Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, Implementation of Histogram Based Sampling Algorithm within an EDA Scheme with CUDA, IEEE World Congress on Computational Intelligence, pp.1-8, 2012

8. 査読有, 北野晃司, 藤本典幸, GPU による多倍長整数乗算の高速化手法の提案とその評価, 第 10 回先進的計算基盤システムシンポジウム(SACSIS)論文集, pp.185-192, 2012

9. 査読有, 田中慶悟, 藤本典幸, GPU を用いた N-Queens 問題の求解, ゲームプログラミングワークショップ 2011 論文集, pp.76-83, 2011

10. 査読有, Noriyuki Fujimoto, Economical Two-Fold Working Precision Matrix Multiplication on

Consumer-Level CUDA GPUs, International Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing Workshops (SBAC-PADW), pp.1-6, 2011

11. 査読有, Takesuke Uenishi, Tomoharu Nakasima, Noriyuki Fujimoto, Parallel Fuzzy Rule Generation Using GPGPU, Artificial Life and Robotics, Vol.16, pp.214-218, 2011
12. 査読有, Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, ACO with Tabu Search on a GPU for Solving QAPs using Move-Cost Adjusted Thread Assignment, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), pp.1547-1554, 2011
13. 査読有, Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, Fast QAP Solving by ACO with 2-opt Local Search on a GPU, IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.812-819, 2011
14. 査読有, 河南克也, 藤本典幸, GPU を使用したビット並列アルゴリズムに基づく最長共通部分列の導出, 第9回先進的計算基盤システムシンポジウム (SACIS) 論文集, pp.1-8, 2011

〔学会発表〕(計 12 件)

1. Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, A Preliminary Study of Crowding with Biased Crossover, Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO), 2013 年 7 月 6 日 ~ 7 月 10 日, アムステルダム, オランダ
2. Noriyuki Fujimoto, Shigeyoshi Tsutsui, Parallelizing a Genetic Operator for GPUs, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2013 年 6 月 20 日 ~ 6 月 23 日, カンクン, メキシコ
3. 河南克也, 藤本典幸, Red Black 法を適用した HSMAC 法による流体解析の GPU を用いた並列化, 計算工学講演会, 2013 年 6 月 19 日 ~ 6 月 21 日, 東京
4. 河南克也, 藤本典幸, Highly Simplified MAC 法の GPU を用いた高速化, 電子情

報通信学会 2013 年総合大会, 2013 年 3 月 19 日 ~ 3 月 22 日, 岐阜

5. Hironori Fujii, Noriyuki Fujimoto, GPU Acceleration of BCP Procedure for SAT Algorithms, International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 2012 年 7 月 16 日 ~ 7 月 19 日, ラスベガス, USA
6. Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, On the Effect of Using Multiple GPUs in Solving QAPs with CUDA, Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2012 年 7 月 7 日 ~ 7 月 11 日, フィラデルフィア, USA
7. Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, Implementation of Histogram Based Sampling Algorithm within an EDA Scheme with CUDA, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2012 年 6 月 10 日 ~ 6 月 15 日, ブリスベン, オーストラリア
8. 北野晃司, 藤本典幸, GPU による多倍長整数乗算の高速化手法の提案とその評価, 2012 年 5 月 16 日 ~ 5 月 18 日, 神戸
9. 萩野谷一二, 田中慶悟, 藤本典幸, 対称解の特性を用いた N-Queens 問題の求解と GPU による高速化, 第 27 回ゲーム情報学研究会, 2012 年 3 月 2 日, 東京
10. 藤井宏憲, 藤本典幸, SAT アルゴリズムにおける BCP 処理の GPU を用いた並列化, 第 189 回 ARC・第 132 回 HPC 合同研究発表会(HOKKE-19), 2011 年 11 月 29 日, 北海道
11. 藤本典幸, HOG 特徴量を用いた動画からの人検出の GPU による高速化, GTC Workshop Japan 2011, 2011 年 7 月 22 日, 東京
12. 藤本典幸, 最長共通部分列を求めるビット並列アルゴリズムの CUDA による高速化, GTC Workshop Japan 2011, 2011 年 7 月 22 日, 東京

〔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・大学院理学系研究科・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

筒井 茂義 (TSUTSUI, Shigeyoshi)

阪南大学・経営情報学部・教授

研究者番号：90188590