

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330296

研究課題名(和文)GPUによる並列進化計算の汎用フレームワークの構築に関する研究

研究課題名(英文)On the framework for parallel evolutionary computation on GPUs

研究代表者

筒井 茂義 (Tsutsui, Shigeyoshi)

大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・客員研究員

研究者番号：90188590

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：パソコンの画面表示機能を担当するGPU(Graphics Processing Unit)は、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り、様々な科学技術計算へGPUを適用するGPGPU(General Purpose computation on GPU)に関する研究がここ数年盛んになってきた。遺伝的アルゴリズム(GA)に代表される進化計算は、個体レベル、集団レベルなどでの処理の並列性が高く、並列計算に適した計算手法である。本研究では、GPUによる並列進化計算の構築の容易化を実現するための計算効率の高いフレームワークを構築した。

研究成果の概要(英文)：Recent GPUs (Graphics Processing Units) can be applied to a general computation program and research on GPGPU (General Purpose computation on GPU) which applies GPU to various scientific computation has become popular. Evolutionary computation represented by genetic algorithm (GA) has high parallelism of processing at individual level, population level, etc, and is a suitable for parallel execution. In this research, we developed an efficient framework for the construction of parallel evolutionary computation by GPU.

研究分野：情報科学

キーワード：GPU GPGPU 並列進化計算 組合せ最適化問題 ローカルサーチ タブーサーチ

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、パソコン(PC)の画面表示機能を担当する 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 は価格性能比が非常によく、様々な科学技術計算へ GPU を適用する GPGPU (General Purpose computation on GPU) に関する研究がここ数年盛んになってきた。遺伝的アルゴリズム (GA) に代表される進化計算は、個体 (Individual) レベル、集団 (Population) レベルなどでの処理の並列性が高く、並列計算に適した計算手法である。したがって、GPU を用いて進化計算を高速に実行する研究は比較的早く行われ、近年多くの国内外の学会や学術雑誌での論文発表も盛んになってきた。

(2) GPU では、同じ命令からなる処理を「スレッド」として多数生成され、それらが SIMD (Single Instruction, Multiple Data) 風に並列実行される。GPU ベンダーの NVIDIA 社はそれを Single Instruction, Multiple Thread: SIMT と呼んでいる。SIMT では、マルチコア CPU (MIMD, Multiple Instruction) を用いる並列進化計算のように複数のスレッドを独立したプログラムとして柔軟に実行することができない。このため、並列計算に向いている進化計算といえども GPU の超並列性を効率的に実現するには、問題に応じて進化計算のモデル構築や実装法に多くの工夫が必要となる。

2. 研究の目的

(1) GPU による SIMT の課題の一つに「分岐による遅延」の問題がある。進化計算のコードには多くの分岐命令が存在するが、一例として、図 1 に示すような分岐のあるコードからなるスレッドが並列に実行される場合を考える。データに依存してスレッド i は左側のルートに、スレッド j は右側のルートに分岐する場合を考えると、全体の処理時間は記号の右に示すように、2 つの分岐処理を逐次実行したのと同じ時間を要する。多くの GPGPU では、NVIDIA 社の GPU を使い、CUDA (Compute Unified Device Architecture) と呼ばれる C 言語の統合開発環境が用いられるが、CUDA では 32 スレッド単位 (ウォープ, warp と呼ばれる) にこのような処理の遅延が発生する。

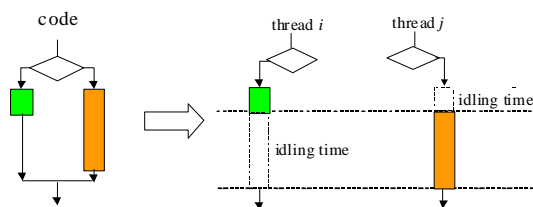


図 1 分岐による処理の遅延の一例

(2) 本研究では、前記の「分岐による遅延」を汎用的に解決する計算効率の高いフレームワークを構築することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 進化計算が適用される問題は大きく次の 2 つのクラスに分類できる。個体の評価に多大な時間を要する問題 (実数値 GA などの適用分野では、一個体の評価に数時間の計算が必要な場合がある)。進化計算自体に時間がかかる問題 (割当て問題やスケジューリング問題などで、ローカルサーチを含めて進化計算自体に大きな時間を要する)。クラスの 2 つの問題では、進化計算自体の高速化は重要とならない。本研究課題ではクラスの 2 の問題を対象としている。主に解が順列で表現される問題が中心となる。

(2) 進化計算には、各種の方法があるが、個体集団を用いて多点探索を行うという点で基本的な仕組みは同じである。そこで本研究では、進化計算の一モデルのアントコロニー最適化法 (Ant Colony Optimization, ACO) にローカルサーチとしてタブーサーチ (Tabu Search, TS) を組合わせて、組合せ最適化問題の代表例である 2 次割当て問題 (Quadratic Assignment Problem, QAP) を GPU で解く方法で研究を行った。

4. 研究成果

(1) 進化計算の実応用では、ローカルサーチを併用するのが一般的である。組合せ最適化問題のローカルサーチとしては、順列表現における 2 つの位置の値を交換しながら解を改善するという 2-opt や、一度交換したペアの再度の交換を無駄に繰り返さないようにするタブーサーチ (TS) が使われる。これらのローカルサーチでは、膨大な数の近傍解のテスト計算が必要となるので、その計算の効率的な並列化が重要である。解候補の表現が順列で表される問題において、問題サイズを n とすると、図 2 に示すように、ある解 ϕ の近傍解の数は $n(n-1)/2$ である。図 3 の例では $n=11$ であり、近傍解の数は 55 である。同図で、解 ϕ がローカルサーチの繰返しにおいて順列表現の 5 と 8 の位置の値を入替えて得られた解であるとすると、 ϕ の近傍解の計算は、白い四角の黒字の番号の近傍解は計算量が $O(1)$ で、黒い四角の白地の番号の近傍解は計算量が $O(n)$ で行える (引用文献)。この規則性を利用して、各近傍解のテスト計算において、同一ウォープ内では分岐が発生しないように各スレッド番号を割当てる方法である手法として MATA (Move-Cost Adjusted Thread Assignment) と呼ぶ手法を開発し、その有効性を確認した。先に述べた QAP を ACO で解く問題では、同じ GPU を用いた場合 MATA を適用することで更に 5 倍程度高速化が図られることを確認した。

(2) MATA は QAP の規則性を利用して、各近傍解のテスト計算において、同一ウォープ内では分岐が発生しないように各スレッド番号を割当てて方法である。しかし、必ずしもこのような規則性が得られない問題も存在する。そのような場合には図 3 に示すように各問題に対して「Mapper」を構築する方法を提案している。Mapper は各ローカルサーチの繰返しごとに分岐条件を判定し、ルックアップテーブルを動的に生成する。各近傍のテスト計算を行うスレッドは、このルックアップテーブルに基づいて生成し、同一ウォープ内での分岐をなくする。なお、同図は、近傍計算が白い四角と黒い四角で示した 2 つに分岐する場合の例である。

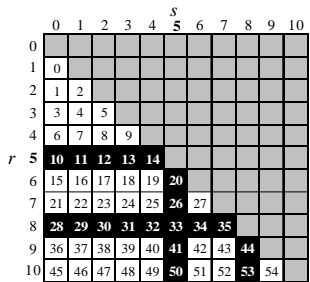


図 2 QAP の近傍の計算量の規則性

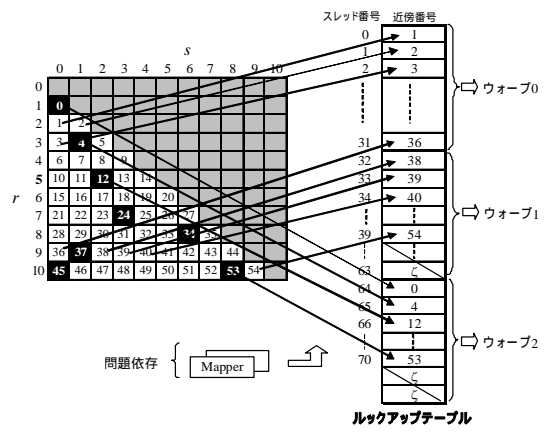


図 3 Mapper 方式

< 引用文献 >

(Taillard, È.: Comparison of iterative searches for the quadratic assignment problem, Location Science 3(2), 87-105, 1995).

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 12 件)

筒井 茂義, GPU を用いた超並列高速計算入門 - V - 進化計算への適用, システム/制御/情報 (システム制御情報学会誌), Vol. 60, No. 10, 2016, pp. 443-450, 査

読 無 , DOI: 10.11509/isciesci.60.10_443.

Shigeyoshi Tsutsui and Noriyuki Fujimoto, A Comparative Study for Efficient Synchronization of Parallel ACO on Multi-core Processors in Solving QAPs, in Proc. Of the IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, 2015, pp. 1118-1125, 査読有, DOI 10.1109/SSCI.2015.160.

Shigeyoshi Tsutsui and Noriyuki Fujimoto, A Comparative Study of Synchronization of Parallel ACO on Multi-core Processor, in Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2015, Companion Material Proceedings, pp. 777-778, 査読有, DOI 10.1145/2739482.2764895.

Shigeyoshi Tsutsui, The Introduction of Asymmetry on Traditional 2-Parent Crossover Operators for Crowding and Its Effects, in Proc of the Simulated Evolution and Learning (SEAL), 2014, Vol. LNCS 8886, pp. 70-81, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg, Springer-Verlag, 査読有, DOI: 10.1007/978-3-319-13563-2_7.

Noriyuki Fujimoto and Shigeyoshi Tsutsui, Parallelizing Solution Construction in ACO for GPUs, in Proc. of the 9th International Conference, ANTS 2014, Vol. LNCS 8667, pp. 288-289, Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg, Springer-Verlag, 査読有.

Thomas Weise, Raymond Chiong, Jorg Lassig, Ke Tang, Shigeyoshi Tsutsui, Wenxiang Chen, Zbigniew Michalewicz and Xin Yao, Benchmarking Optimization Algorithms: An Open Source Framework for the Traveling Salesman Problem, IEEE Computational Intelligence Magazine, Vol. 9, No. 3, pp. 40-52, 2014, 査読有, DOI: 10.1109/MCI.2014.2326101.

筒井 茂義, 生物進化に学ぶ知的情報処理, 経営と情報の深化と融合, 第 5 章, pp. 71-84, 2014, 税務経理協会, 査読無.

Mikiko Sato, Shigeyoshi Tsutsui, Noriyuki Fujimoto, Yuji Sato and Mitaro Namiki, First results of

performance comparisons on many-core processors in solving QAP with ACO: Kepler GPU versus xeon PHI, in Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2014 (Companion), pp. 1477-1478, ACM, 査読無, DOI: 10.1145/2598394.2602274.

Shigeyoshi Tsutsui and Noriyuki Fujimoto, ACO with Tabu Search on GPUs for Fast Solution of the QAP, in Massively Parallel Evolutionary Computation on GPGPUs, S. Tsutsui and P. Collet (Eds), Natural Computing Series, pp. 179-202, 2013, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 査読有, DOI: 10.1007/978-3-642-37959-8_9.

Shigeyoshi Tsutsui and Noriyuki Fujimoto, An Analytical Study of Parallel GA with Independent Runs on GPUs, in Massively Parallel Evolutionary Computation on GPGPUs, S. Tsutsui and P. Collet (Eds), Natural Computing Series, pp. 105-120, 2013, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 査読有, DOI: 10.1007/978-3-642-37959-8_6.

Shigeyoshi Tsutsui, A preliminary study of crowding with biased crossover, in Proc of the Genetic and Evolutionary Computation Conference 2013 (Companion), pp. 1753-1754, 2013, 査読無, DOI: 10.1145/2464576.2480774.

Noriyuki Fujimoto and Shigeyoshi Tsutsui, Parallelizing a genetic operator for GPUs, in Proc of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 1271-1277, 2013 査読有, DOI: 10.1109/CEC.2013.6557711.

[学会発表](計 1 件)

Shigeyoshi Tsutsui and Noriyuki Fujimoto, Fast QAP Solver with ACO and Taboo Search on Multiple GPUs with the Move-Cost Adjusted Thread Assignment, GPUs for GEC Competition at GECCO 2013, Vrije University of Amsterdam, Amsterdam, 2013年7月9日, 優勝.

[図書](計 1 件)

Shigeyoshi Tsutsui and Pierre Collet (共編), Massively Parallel Evolutionary Computation on GPGPUs, Natural Computing Series, Springer, 総頁数: 453, Berlin/Heidelberg/New York, 2013 DOI: 10.1007/978-3-642-37959-8.

[その他]
ホームページ等
<http://www.hannan-u.ac.jp/~tsutsui/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

筒井茂義 (TSUTSUI, Shigeyoshi)
大阪府立大学・理学(系)研究科(院)・
客員研究員
研究者番号: 90188590