

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20240002

研究課題名（和文） GPGPUの並列プログラミングモデルの研究

研究課題名（英文） Research on parallel programming model for GPGPU

研究代表者

萩原 兼一 (HAGIHARA KENICHI)

大阪大学 大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：00133140

研究成果の概要（和文）：コンピュータの画面描画用部品である GPU(Graphics Processing Unit)を描画以外の汎用計算に用いて高速処理すること（GPGPU: General Purpose computing on GPU）に関して研究した。GPU プログラムは、GPU のアーキテクチャを有効利用しなければ効率のよいものとはならないが、その有効利用方法は解明されていない。本研究では、高速化するための工夫点が異なるいくつかの応用問題をさまざまな手法を用いて GPU で高速化し、その手法を分析および一般化することにより、効率のよい GPGPU プログラムの開発指針を明確にした。

研究成果の概要（英文）：We researched on an acceleration of general purpose computing on graphics processing unit (GPGPU). GPGPU is a technique that applies graphics hardware to general computation. Developing efficient GPU programs requires skills in utilizing this architecture, however their design strategy is not investigated yet. In this research, we have analyzed and generalized design guidelines for developing efficient GPGPU programs by experiencing acceleration of various applications on the GPU

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2009年度	15,700,000	4,710,000	20,410,000
2010年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
年度			
年度			
総計	30,200,000	9,060,000	39,260,000

研究分野：並列処理

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：アルゴリズム、ハイパフォーマンスコンピューティング、GPGPU、CUDA

1. 研究開始当初の背景

GPGPU(General Purpose computing on GPU)はHPC分野で非常に期待されているが、そのプログラミングに関しては手探り状態である。その具体的内容を以下に記載する。

2004年8月にロサンゼルスでGPGPUに関する世界最初の研究会議GP2が開催され、「GPGPUは重要であるがまだ時期尚早」と評された。その頃から本研究代表者のグループでは、GPGPUの可能性を確信し、研究を

開始した。また、それ以前から、当研究グループでは、社会的に重要性の高い医用画像処理をPCクラスタを用いた並列処理で高速化する研究を行ってきた。そのうち2次元/3次元剛体位置合わせに関しては、GPU装備の1台のPCで数十台のPCクラスタでの処理に匹敵する能力があることを示した。2005年のSIGGRAPHではGPGPUのためのセッショントラックが新設され、実用的な報告もされているが、CPU単独での計算時間より遅く

なったという事例もある。

GPGPU プログラミングでは、アプリケーションを処理するには直接関係のないにもかかわらず、グラフィクス・プログラミングをオーバーライドして模倣する処理に関する素養が必要である。たとえば、行列乗算 $C=A \times B$ をするためには、行列データ B と C をグラフィクスにおけるテクスチャとし、行列積 C を描画する 2次元画面とし、 C の各要素（描画面の各画素に対応する）の計算処理を画素値の計算（テクスチャマッピング）として記述することになる。また、その記述には、CPU 側では OpenGL あるいは DirectX、GPU 側では Cg, HLSL, GLSL などのシェーダプログラミング言語を駆使する必要がある。このように、一般の科学分野のプログラマには元祖 GPGPU プログラミングは敷居が高く、手の出しにくいものである。

これを軽減するために、CUDA が 2006 年 11 月上旬に発表された。CUDA は、GPU を汎用並列処理プロセッサとして CPU のコプロセッサ的に活用するためのハードウェアとソフトウェアの仕組みの統合環境名である。そのプログラム言語（以降では単に CUDA と呼ぶ）は、NVIDIA 社が C 言語をマルチスレッドプログラミング形式の並列処理用に拡張した言語である。この言語の登場により一般の科学者にとって GPGPU への敷居が低くなった。はやくも、2006 年 11 月中旬開催の SC06 (HPC 分野で最も大きな会議) では、CUDA に関するチュートリアルがあり、多くの聴衆を集めていた。そして、この 1 年間（～2007 年 10 月）は CUDA 実装による GPGPU の発表が多い。

しかし、グラフィクスの素養は必要なくなったものの、CUDA で効率のよい GPGPU プログラムを作成するには、異質の難しさがあることがわかってきた。よい性能を出すには、どのデータをどのタイミングで Shared Memory に移動させるか、スレッド数をいくつにするかなどが重要となるが、その制御が難しい。たとえば、当研究グループでは、コーンビーム CT 装置のメーカーと共同でボリューム再構成処理を研究し、CPU では 100 秒かかる処理を元祖 GPGPU 実装で 10 秒に高速化し、製品化に貢献できた。これを CUDA で実装した場合は 20 秒と遅くなる。一方、モルフォロジ演算の処理に関しては CUDA 実装の方がより速くなる。

このように元祖 GPGPU プログラミングでも CUDA プログラミングでも、アプリケーションをどのようにプログラム化すれば効率のよい GPGPU プログラムとなるかに関して、まったく手探り状態である。GPGPU は、制約があるもののかなり広い範囲のアプリケーションを数十倍から数百倍高速化できることは確かなので、そのプログラミングを

科学的に行うための理論（以降では GPGPU 計算モデルと呼ぶ）を確立することが重要となる。

2. 研究の目的

GPGPU の GP は、汎用 (General Purpose) ではあるが、CPU のような汎用性とは異なり、GPU は広範囲の用途に対して一律な性能を出すことができない。また、いままで CPU 用に開発されてきたアルゴリズムを単に GPU に適用しても一般には高速化できない。したがって、アルゴリズムの性能を議論するためにいままで考案されてきた計算モデルは使えず、GPU アルゴリズムのための計算モデルを開発することが重要である。

また、元祖 GPGPU のアーキテクチャでは、MIMD (Multiple-Instruction Multiple-Data) 型プロセッサ群と SIMD (Single-Instruction Multiple-Data) 型プロセッサ群がパイプライン接続される形態でグラフィクス処理されている。すなわち、MIMD、SIMD、パイプラインの 3 種類の並列処理機構をもつ複雑な並列プロセッサである。したがって、GPU 計算モデルは、いままでの並列計算モデルとは異なる複合並列計算モデルとなる。一方、CUDA プログラムのアーキテクチャでは、データスレッドが SPMD (Single Program Multiple Data) 型に実行され、まったく異なるものとなる。

GPU を用いた並列計算環境は、1 台の PC に 1 台の GPU が装備されての GPU 内の並列計算、1 台の PC に複数の GPU を装備しての並列計算、GPU 装備の PC からなるクラスター (GPU クラスター) およびグリッド (GPU グリッド) による並列計算にまで、多様な形態で発展すると確信している。

そこで、本研究では、GPGPU プログラムの性能等を評価するために、各種 GPGPU プログラムを解析し、次の計算モデルを確立することを目的とする。

- I. 元祖 GPU プログラムと CUDA プログラムの計算モデルを構築する。
- II. 複数台の GPU をコプロセッサとする場合の並列計算モデルを構築する。
- III. GPU クラスターおよび GPU グリッドの並列計算モデルを構築する。

3. 研究の方法

本研究目的は GPGPU 計算モデルを構築することである。そのためには、効率のよいプログラムから悪いプログラムまで、様々な元祖 GPGPU プログラムおよび CUDA プログラムの実行状況を分析することが基本となる。計算時間に大きく影響するところに着目し、性能モデルなどの GPGPU モデルを確立する。

元祖 GPGPU プログラムと CUDA プログラムは、どちらも効率のよい実装にするには、か

なりの試行錯誤を行うことになる。したがって、いくつもの実装版を作成することになるため、プログラム作成に時間がかかる。これらの何種類もの実装の実行状況を比較分析することになる。

1台のGPUでの実装の次に、平成20年度後半から平成21、22年度にかけては、複数台のGPUでの実装を対象として同様のことを行う。具体的には、1台のPCが複数台のGPUを制御する場合、GPU装備のPCを高速ネットワークスイッチで結合したPCクラスタの場合、および企業内LANやインターネットで結合したグリッドの場合の3種類の並列処理環境で実装する。PCクラスタの場合はPCのOSとしてLinuxが、グリッドの場合はWindows稼働していると想定し、実行状況を観測・分析し、多くの実行時間を消費している部分に着目してGPGPU並列計算モデルを確立する。

4. 研究成果

(1) どのような工夫をすれば効率のよいCUDAプログラムを設計できるかを解明し、OpenGL/CgプログラムとCUDAプログラムのどちらが効率のよいGPUプログラムとなるかを比較した。応用問題は、a) イメージング分野のコーンビーム再構成、b) バイオ情報分野の塩基配列探索、c) グラフ理論の全点対最短経路長探索、d) シミュレーションで多用される畳み込み処理とした。

① a) に関しては、既に市販装置に採用されている研究代表者らのグループが開発したOpenGL/Cgプログラムと比較した結果、部分的にはOpenGL/Cgプログラムが性能のよいところもあるが、全体としてCUDAプログラムの方が効率が良いことがわかった。b) に関しても同様である。

② b)～d) は、入力データの一部のみ異なる同一処理を多数実行する必要があり、GPUでそのような処理を同時に実行することにより全体のスループットを向上させる方法に関する知見を得た。

③ a)～d) に関して、小容量の共有メモリの有効利用の方法、それと関連したスレッド数の選択方法、スレッドに割り当てる計算タスクの粒度などに関して有用な知見を得た。

④ SIMDとして動作しているプロセッサが、GPUのメモリを整然と連続領域をアクセスするコアレスニング参照は、データアクセスの性能を上げることが知られているが、d)ではそのために入力データをシャフルする方法の効果を確認した。

(2) 処理すべきデータがすべてGPUのメモリVRAMに格納可能な場合は、GPUプログラムは実装しやすい。一方、格納できない場合は、データを分割して処理し、各実行結果を融合することになる。実用上大きなデータ処理の需要は高く、一般的なPCクラスタではよく

研究されているが、マルチGPU処理の場合はまだよく解明されていない。それを解明するために、複数GPUを用いて応用問題を解き、GPUコンピューティングにおける性能問題に関して研究した。応用問題は、a) コーンビーム再構成、b) 高速フーリエ変換、c) アミノ酸配列データベース検索、d) 行列積とした。

① 1台のPCに4台のGPUをコプロセッサ接続する構成が、現在よく用いられている。a) およびb) に関しては、ほぼ4倍弱の良好な台数効果のGPUプログラムが開発でき、実装上の有益な知見を得た。

② CPU～GPU間のデータ転送を効率的に行うことが、性能のよいGPUプログラムを開発する上で重要である。このデータ転送をマルチGPU環境で効率的に行う方法の開発と、それを支援するミドルウェアを開発した。

③ 多数のGPUを用いるGPUグリッド環境が有望である。PCグリッドのようにスクリーンセーバが起動するときに応用プログラムを実行させる方法を用いるとGPUでの処理時間がPCと比べて短時間なのでGPUグリッドの場合は無駄が多くなる。この無駄を少なくする方法とそれを実行するツールを作成した。その方法で、上記c)とd)を実行し、その有効性を確認した。

④ 単体GPUでe) PET再構成、f) 全点対最短経路長、g) 全変動最小化を高速化した。

(3) GPUが不得意とするアプリケーションに着目し、その性能を最大化するための設計を明らかにした。そのような性質を持つアプリケーションとして、a) 大規模な高速フーリエ変換、b) ニューラルネットワークを取り上げた。また、GPUが得意とするアプリケーションに対しても、その性能を自動最適化するための手法を開発した。応用問題は、c) ステンシル計算、d) グラフ理論の全点対最短経路長探索とした。

① 高速フーリエ変換をGPU上で高速化する研究は国内外で活発になされているが、VRAM容量を超えるような大規模なものに対しては、その設計指針が明らかでない。CPU～GPU間のデータ転送量を削減するために、CPU上で前処理を施すとともに、その前処理としてGPUが不得意なものを選択することにより、性能改善を果たした。さらに、CPU上の計算、データ転送、GPU上の計算をオーバーラップすることにより高速化を果たした。

② b) に関しては、ニューラルネットワークモデルにおいて、スレッドへの計算の割り当てを工夫することにより、秒間30フレームの手書き文字認識を可能とした。

③ c) に関しては、ステンシル計算がメモリ集中型であることに着目し、その実効メモリ帯域幅を最大化するようなスレッドの構成を特定できる手法を明らかにした。これによ

りスレッドブロックの大きさや形状に関してよい実行パラメータを探索する手間を省くことができる。

④ GPUは新旧世代間の技術革新が大きい。したがって、新しい世代のGPUが発表されるたびにアプリケーションの最適化を繰り返しているのが現状である。その最適化作業を自動処理するための手法を開発した。全点对最短経路長探索の性能ボトルネックが実行命令数にあることに着目して、実行形式ファイルを基に命令数を予測することにより、5%程度の性能改善を果たした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計15件)

- ① Fumihiko Ino, Akihiro Ogita, Kentaro Oita, Kenichi Hagihara, Cooperative Multitasking for GPU-Accelerated Grid Systems, Concurrency and Computation: Practice and Experience, 23, (2011)、有
- ② Tomohiro Okuyama, Fumihiko Ino, Kenichi Hagihara, A Task Parallel Algorithm for Finding All-Pairs Shortest Paths Using the GPU. Int' l J. High Performance Computing and Networking, 6, (2011)、有
- ③ 池田孝利、宮本弘之、伊野文彦、萩原兼二、手書き文字認識向けニューラルネットワークモデルのGPUによる高速化。情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム、4、pp. 88-99、(2011)、有
- ④ 松田俊広、伊野文彦、萩原兼一、GPUによる高速な全変動最小化、電子情報通信学会論文誌、J94-D、pp. 852-861、(2011)、有
- ⑤ 片山大河、伊野文彦、萩原兼一、GPUによるOSEM再構成の高速化および精度評価、電子情報通信学会論文誌、J93-D、pp. 1958-1968、(2010)、有
- ⑥ Yuma Munekawa, Fumihiko Ino, Kenichi Hagihara, Accelerating Smith-Waterman Algorithm for Biological Database Search on CUDA-Compatible GPUs, IEICE Trans. Information and Systems, E93-D、pp. 1479-1488、(2010)、有
- ⑦ 奥山倫弘、伊野文彦、萩原兼一、GPU上での高速なブロック化フロイド・ワーシャル法、情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム、3、pp. 57-66、(2010)、有
- ⑧ Shinta Nakagawa, Fumihiko Ino, Kenichi Hagihara, A Middleware for Efficient Stream Processing in CUDA, Computer Science - Research and Development, 25, pp. 41-49、(2010)、有
- ⑨ Yusuke Okitsu, Fumihiko Ino, Kenichi Hagihara, High-Throughput Cone Beam Reconstruction Using CUDA Compatible GPUs, Parallel Computing, 36、pp. 129-141、(2010)、有
- ⑩ Eric Martin Heien, David P. Anderson, Kenichi Hagihara, Computing Low Latency Batches with Unreliable Workers in Volunteer Computing Environments, J. Grid Computing, 7、pp. 501-518、(2009)、有
- ⑪ Fumihiko Ino, Yuki Kotani, Yuma Munekawa, Kenichi Hagihara, Harnessing the Power of Idle GPUs for Acceleration of Biological Sequence Alignment, Parallel Processing Letters, 19、pp. 513-533、(2009)、有
- ⑫ Eric Heien, Yoshiyuki Asai, Taishin Nomura, Kenichi Hagihara, Optimization Techniques for Parallel Biophysical Simulations Generated by insilicoIDE, 情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム、2、pp. 131-143、(2009)、有
- ⑬ Yuki Kotani, Fumihiko Ino, Kenichi Hagihara, A Resource Selection System for Cycle Stealing in GPU Grids, J. Grid Computing, 6、pp. 399-416、(2008)、有
- ⑭ 吉田征司、伊野文彦、西野和義、萩原兼二、GPUによる高速なコーンビーム再構成：円軌道装置のためのRGBAデータへの詰め込み、情報処理学会論文誌：コンピューティングシステム、1、pp. 41-53、(2008)、有
- ⑮ Daisuke Nagayasu, Fumihiko Ino, Kenichi Hagihara, A Decompression Pipeline for Accelerating Out-of-Core Volume Rendering of Time-Varying Data, Computers and Graphics, 32、pp. 350-362、(2008)、有

[学会発表] (計50件)

- ① 伊野文彦、CUDAによる動的計画法の高速化、神戸大学第3回シミュレーションスクール、2011年3月3日、神戸大学
- ② Tomohiro Okuyama, Auto Tuned Floyd-Warshall Algorithm on the GPU, Work in Progress Session held in connection with the 19th Euromicro Int' l Conf. Parallel, Distributed and Network-Based Computing, 2011年2月11日、Grecian Bay Hotel (Ayia Napa, Cyprus)
- ③ Masaya Motokubota, Accelerating Parameter-Sweep Applications Using CUDA, 19th Euromicro Int' l Conf. Parallel, Distributed and Network-Based Computing, 2011年2月9日、Grecian Bay Hotel (Ayia Napa, Cyprus)

- ④ 山田真義、時系列ボリュームレンダリングの描画速度を調節するための非可逆圧縮手法、情報処理学会第142回グラフィクスとCAD研究会、2011年2月8日、慶応義塾大学
- ⑤ 山中翔、CUDAによる高速なBurrows-Wheeler変換の検討、第11回ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2011年1月18日、産業技術総合研究所
- ⑥ 岡田啓佑、GPU上でストリーム処理を高速化するための性能モデルの検討、平成22年度情報処理学会関西支部支部大会、2010年9月22日、大阪大学
- ⑦ Hirofumi Kondo、A Multi-GPU Spectrometer System for Real-time Wide Bandwidth Radio Signal Analysis、8th Int'l Sympo. Parallel and Distributed Processing with Applications、2010年9月9日、National Taiwan Univ. Science and Technology (Taipei, Taiwan)
- ⑧ 中川進太、複数のCUDA互換GPUによるストリーム処理のためのミドルウェア、情報処理学会第126回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、2010年8月4日、金沢市文化ホール
- ⑨ 神田裕士、CUDAカーネルの性能を解析するための実行履歴生成ツール、情報処理学会第126回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、2010年8月4日、金沢市文化ホール
- ⑩ Fumihiko Ino、Accelerating Iterative Stencil Computations on the GPU、6th Int'l Workshop on Parallel Matrix Algorithms and Applications、2010年7月1日、Univ. Basel (Basel, Switzerland)
- ⑪ Fumihiko Ino、Cooperative Multitasking for GPU-Accelerated Grid Systems、1st Frontiers of GPU, Multi and Many-Core System Workshop、2010年5月18日、The Langham Hotel (Melbourne, Australia)
- ⑫ Fumihiko Ino、Out-of-Core Cone Beam Reconstruction Using Multiple GPUs、7th IEEE Int'l Sympo. Biomedical Imaging、2010年4月16日、Concert and congress centre de Doelen (Rotterdam, The Netherlands)
- ⑬ 興津佑輔、GPUを用いた逐次近似法によるコーンビーム再構成の高速化、電子情報通信学会2010総合大会、2010年3月19日、東北大学
- ⑭ 萩原兼一、GPUによる医用画像処理の高速化について、応用物理学会情報フォトンクス研究グループ第2回GPUフォトンクス研究会、2010年3月9日、大阪大学
- ⑮ 片山大河、GPUによるOSEM再構成の高速化および精度評価、電子情報通信学会医用画像研究会、2010年1月18日、ぶんかテンプス館
- ⑯ 奥山倫弘、GPU上での高速なブロック化フロイド・ワーシャル法、第10回ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2010年1月14日、工学院大学
- ⑰ 松田俊広、GPUによる高速な全変動最小化、第10回ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2010年1月14日、工学院大学
- ⑱ 老田健太郎、文書作成および科学計算を両立するGPU向け協調マルチタスキングの検討、第10回ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2010年1月14日、工学院大学
- ⑲ 神田裕士、CUDAカーネルを時系列解析するための実行ログ生成ツールの検討、第10回ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、2010年1月14日、工学院大学
- ⑳ Fumihiko Ino、Cooperative Multitasking for GPU-Accelerated Grid Systems、22nd Int'l Conf. High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis、2009年11月17日、Oregon Convention Center (Portland, OR, USA)
- ㉑ 萩原兼一、GPUコンピューティングにおける高速化ー医用画像処理を例としてー、精密工学会画像応用技術専門委員会研究会報告、2009年11月13日、東京電機大学
- ㉒ 宗川裕馬、GPUクラスタによる高速なアミノ酸配列データベース検索、情報処理学会第121回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、2009年8月5日、フォレスト仙台
- ㉓ 興津佑輔、GPUを用いたアウトオブコアなコーンビーム再構成の高速化、情報処理学会第121回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、2009年8月5日、フォレスト仙台
- ㉔ 中川進太、CUDAプログラムにおいてストリーム処理を支援するミドルウェア、情報処理学会第121回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、2009年8月5日、フォレスト仙台
- ㉕ Toshihiro Matsuda、Real-Time Total Variation Minimization Using the GPU、Computer Assisted Radiology and Surgery: 23rd Int'l Congress and Exhibition、2009年6月27日、Estrel Hotel Berlin (Berlin, Germany)
- ㉖ 本窪田昌也、CUDAによるパラメータ・スイープアプリケーションの高速化、情報処理学会第120回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、2009年6月12日、宇宙航

空研究開発機構

- ⑳ Eric M. Heien, PyMW - a Python Module for Parallel Master Worker Computing, 3rd Workshop on Desktop Grids and Volunteer Computing Systems, 2009年5月29日、Aurelia Convention Center & Expo. (Rome, Italy)
- ㉑ Fumihiko Ino, Harnessing the Power of Idle GPUs for Acceleration of Biological Sequence Alignment, 2nd Workshop on Large-Scale Parallel Processing, 2009年5月29日、Aurelia Convention Center & Expo. (Rome, Italy)
- ㉒ 中川進太, CUDAプログラムにおいてストリーム処理を支援するミドルウェアの検討, 第7回先進的計算基盤システムシンポジウム, 2009年5月28日、広島国際会議場
- ㉓ Eric M. Heien, PyMW - a Python Module for Parallel Master Worker Computing, 1st Int' l Conf. Parallel, Distributed and Grid Computing for Engineering, 2009年4月7日、Univ. Pécs (Pécs, Hungary)
- ㉔ 松田俊広, GPUによるTotal Variation Minimization法の高速化, 電子情報通信学会2009総合大会, 2009年3月18日、愛媛大学
- ㉕ Fumihiko Ino, RGBA Packing for Fast Cone Beam Reconstruction on the GPU, SPIE Medical Imaging, 2009年2月11日、Disney Colorado Springs Resort (Orlando, FL, USA)
- ㉖ 荻田章博, GPUグリッドにおいて描画および科学計算を並行処理するための制御手法, 情報処理学会第110回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2009-OS-110, 2009年1月29日、蒲郡情報ネットワークセンター
- ㉗ 本窪田昌也, CUDAによるパラメータスイープアプリケーションの高速化の検討, 第9回ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 2009年1月22日、東京大学
- ㉘ Yusuke Okitsu, Fast Cone Beam Reconstruction Using the CUDA-enabled GPU, 15th Int' l Conf. High Performance Computing, 2008年12月18日、Taj Residency (Bangalore, India)
- ㉙ Tomohiro Okuyama, A Task Parallel Algorithm for Computing the Costs of All-Pairs Shortest Paths on the CUDA-compatible GPU, 6th Int' l Sympo. Parallel and Distributed Processing with Applications, 2008年12月12日、Mercury Sydney Hotel (Sydney, Australia)
- ㉚ 荻田章博, GPU上の複数アプリケーション実行時におけるフレームレートを維持する手法の検討, 平成20年度情報処理学会関西支部支部大会, 2008年10月24日、京都リサーチパーク

- ㉛ 奥山倫弘, CUDAを用いたフロイド-ワーシャル法の高速化, 平成20年度情報処理学会関西支部支部大会, 2008年10月24日、京都リサーチパーク
- ㉜ 萩原兼一, GPGPUによる医用画像処理について, 第9回並列生物情報処理イニシアティブシンポジウム, 2008年10月16日、SGIホール
- ㉝ Yuma Munekawa, Design and Implementation of the Smith-Waterman Algorithm on the CUDA-Compatible GPU, 8th IEEE Int' l Conf. Bioinformatics and Bioengineering, 2008年10月8日、Royal Olympic (Athens, Greece)
- ㉞ 大久保宏樹, GPU向け汎用計算環境CUDAを用いたk-means法の高速化, 第6回先進的計算基盤システムシンポジウム, 2008年6月12日、つくば国際会議場

[その他]

ホームページ等

<http://www-hagi.ist.osaka-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

萩原 兼一 (HAGIHARA KENICHI)
大阪大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：00133140

(2) 研究分担者

伊野 文彦 (INO FUMIHIKO)
大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：90346172

置田 真生 (OKITA MASAO)
大阪大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：50563988
(H21 から分担者として参画)