

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00171

研究課題名(和文) 複素母関数の多倍長精度計算に基づく組み合わせ最適化新解法の並列化

研究課題名(英文) Parallelization of a new method to solve combinatorial optimization based on multiple precision computation of complex generating functions

研究代表者

藤本 典幸 (FUJIMOTO, Noriyuki)

大阪公立大学・大学院情報学研究科 ・教授

研究者番号：90294165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：組み合わせ最適化問題の部分和问题を対象に、最適解を擬似多項式時間および多項式空間で厳密に求める新しい手法(研究代表者が提案した逐次アルゴリズム)を年々コア数の増加により性能が向上しているマルチコアCPUや、現在注目されており将来も有望な並列計算プラットフォームであるGPUを用いて並列実行する実装を開発した。また複数GPUを用いた並列実装の開発を容易にするため、多倍長乗算を行列積に帰着して実行する実装を試作した。多倍長乗算を行列積へと帰着することにより、GPUベンダー等が提供する行列積の(複数GPU対応の)並列実装を利用して多倍長乗算を高速に並列実行できるようになる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者が2016年12月に発表した、NP困難な組み合わせ最適化問題の部分和问题とナップサック問題を対象に最適解を擬似多項式時間および多項式空間で厳密に求める新しい手法(逐次アルゴリズム)を、年々コア数の増加により性能が向上しているマルチコアCPUや、現在注目されており将来も有望な並列計算プラットフォームであるGPUを用いた並列処理により高速化することにより、部分和问题を現実的なメモリ消費量と許容できる計算時間で解けるようにしたこと。

研究成果の概要(英文)：We have developed a parallel implementation of a new method (sequential algorithm proposed by the applicant) for obtaining the optimal solution in pseudo-polynomial time and polynomial space for the subset sum problem of combinatorial optimization problems, using multi-core CPUs, whose performance has been improving with the increase in the number of cores, and GPUs, which are currently attracting attention and are promising parallel computing platforms for the future. In addition, to facilitate the development of parallel implementations using multiple GPUs, we have also developed a prototype implementation that performs multiple-precision multiplication by reducing it to a matrix product. By the reduction, it is possible to execute multiple-precision multiplication in parallel at high speed using a parallel implementation of the matrix product (for multiple GPUs) provided by a GPU vendor, etc.

研究分野：情報学

キーワード：高性能計算 組み合わせ最適化

## 1. 研究開始当初の背景

組み合わせ最適化問題の最適解(厳密解)を求める一般的な手法のひとつに動的計画法(DP)がある。DPは、分割統治法と同様に、問題を独立な部分問題に分割し、各部分問題を再帰的に解き、その後でそれらの解を組み合わせることで元の問題の解を得る。ただし、DPは、これらの部分問題が「部分問題の部分問題(部分部分問題)」を共有しているときに適用される手法である。部分部分問題を共有する問題を分割統治法で解くと、同じ部分部分問題を重複して何度も計算することになる。これに対してDPは各部分部分問題を1度だけ解き、その解を表に保存することで、部分部分問題の再計算を避ける。このようにDPは、重複した計算を省いて効率よく元の問題の最適解を求める。DPは最も卓越したアルゴリズム設計技術のひとつと考えられており、DPにより得られたアルゴリズム上の結果の多くは他の設計技術で得る方法が知られていない。

DPはNP困難なくつかの組み合わせ最適化問題に対して擬似多項式時間・擬似多項式空間のアルゴリズムを与える。例えばサブセットサム問題やナップサック問題に対して擬似多項式時間・擬似多項式空間のアルゴリズムを与えることがよく知られており、アルゴリズムの教科書の多くで解説されている。これらのアルゴリズムが知られていることから、サブセットサム問題やナップサック問題は比較的容易に解けるNP困難問題と言われている。擬似多項式時間と擬似多項式空間は、厳密に言えばそれぞれ入力データサイズの指数時間および指数空間であるが、これらのアルゴリズムを実際に実装して実行する場合、入力データサイズを大きくしていくと、実行時間が実用上耐え難い長さとなるよりもずっと前に、必要メモリ容量が計算機のメモリ容量を上回り実行不可能となることが多い。すなわち、サブセットサム問題やナップサック問題がDPにより容易に解けるのは、メモリ不足にならない問題インスタンスに限った話である。このメモリ不足という問題を解消するために、LokshtanovらはDPに基づいた擬似多項式時間・擬似多項式空間アルゴリズムの空間計算量を(時間計算量をあまり増やさずに)多項式空間に削減する手法Lを提案している。手法Lは、問題インスタンスに対応する母関数の係数を計算することにより、元の問題を解く。手法Lは離散フーリエ変換を用いてこの係数を計算する。

これに対して研究代表者は、手法Lとは異なる手法でNP困難な組み合わせ最適化問題に対して擬似多項式時間および多項式空間の厳密アルゴリズムを与える新しい手法をごく最近提案している。提案手法は母関数の係数を計算することにより元の問題の厳密解を求める点では手法Lと同じであるが、離散フーリエ変換を用いずに母関数の係数を計算する全く新しい手法を提案して用いている点が手法Lと異なる。提案手法は、求める係数を保存しながら母関数の項数を半減していく複素母関数列を動的に定義していき、最終的にそれらの複素関数値を計算することにより係数を求める。動的に定義される複素母関数は簡潔であるため、提案手法には離散フーリエ変換を用いる手法Lよりも簡潔で実装しやすいという利点がある。ただし、手法Lも提案手法も多倍長精度の浮動小数点演算を大量に実行する。多倍長精度の浮動小数点演算には、通常のプロセッサ(CPUの単一コア)を用いて実装すると、CPUのハードウェアで直接実行される単精度や倍精度の浮動小数点演算に比べて実行時間が長いという欠点がある。

一方で、最近のCPUは複数のコアを備えたマルチコア・プロセッサ化しており、例えばIntel社のサーバ向けCPUは最大22コアを備えている。さらに各コアはSIMD命令を備えており、単精度なら8演算、倍精度なら4演算を同時に実行可能である。また2006年11月に、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。最新のGPUは3584個の小プロセッサを搭載したメニイ・コア・プロセッサであり、最大でおよそ11万5千スレッドを同時実行可能な並列計算環境を十数万円程度の低コストで提供し、その単精度ピーク演算性能は10TFLOPS(テラ・フロップス)に近い。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(General Purpose computation on GPU)に関する研究がここ数年盛んである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が2016年12月に発表した、組み合わせ最適化問題の最適解を擬似多項式時間および多項式空間で厳密に求める新しい手法(逐次アルゴリズム)を、年々コア数の増加により性能が向上しているマルチコアCPUや、現在注目されており将来も有望な並列計算プラットフォームであるGPUを用いた並列処理により高速化することにより、様々な組み合わせ最適化問題を現実的なメモリ消費量と許容できる計算時間で解けるようにすることである。

## 3. 研究の方法

本研究の並列化の対象である逐次アルゴリズム(研究代表者が提案)は,多倍長精度の複素数の加減乗除算,平方根演算,(整数のべき指数による)べき乗演算を実行するので,演算間の並列性の利用に加えて,これらの多倍長精度演算の並列化を考える.最終目標はマルチコア CPU とマルチ GPU を備えた計算機において,その演算能力をフルに引き出すことであるが,その実現は容易ではないと考えられるため,マルチコア CPU のみの利用,単一 GPU の利用,複数 GPU の利用, CPU と複数 GPU の併用,と段階を踏んで開発を行う.

#### 4. 研究成果

平成 29 年度は,組み合わせ最適化問題の部分和问题とナップサック問題を対象に,研究代表者が提案した手法(逐次アルゴリズム)をマルチコア CPU の単一コアのみを利用して実行する実装を開発した.また,提案手法の実装に必要な多倍長演算の基本演算を単一 GPU 上で並列に実行するライブラリを開発した.平成 30 年度は,組み合わせ最適化問題の部分和问题とナップサック問題を対象に,昨年度に開発した提案手法の実装に必要な多倍長演算の基本演算を単一 GPU 上で並列に実行するライブラリを用いて,研究代表者が提案した手法(逐次アルゴリズム)を単一 GPU のみを利用して実行する実装を開発した.また,スレッドセーフなフリーの多倍長演算ライブラリである MPFR を OpenMP から用いることにより,マルチコア CPU の複数コアを用いた並列実装を開発した.令和元年度は,前年度に難航した複数 GPU を用いた並列実装の開発を容易にするため,多倍長乗算を行列積に帰着して実行する新しい実装を試作した.多倍長乗算を行列積へと帰着することにより, GPU ベンダー等が提供する行列積の(複数 GPU 対応の)並列実装を利用して多倍長乗算を高速に並列実行できるようになる.令和 2 年度は,前年度に試作した多倍長乗算を行列積に帰着して実行する新しい実装のプロファイリングを行い,実行のボトルネックとなっている部分を特定し,その高速化のための試行錯誤を行った.令和 3 年度は, GPU ベンダーが提供する行列積の(複数 GPU 対応の)並列ライブラリを利用して,前年度に開発した計算手法の実装を進めた.令和 4 年度は,前年度にコーディングした多倍長乗算を計算するプログラムの性能改善を行った.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 近藤伊士利, 藤本典幸	4. 巻 2023-HPC-188
2. 論文標題 整数行列積を用いた多倍長整数乗算のGPU並列化とその評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 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)	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noriyuki Fujimoto, Kouki Nanai	4. 巻 なし
2. 論文標題 Solving QUBO with GPU Parallel MOPSO	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO) Companion	6. 最初と最後の頁 1788-1794
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3449726.3463208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seiya Kozakai, Noriyuki Fujimoto, Koichi Wada	4. 巻 なし
2. 論文標題 Efficient GPU-Implementation for Integer Sorting Based on Histogram and Prefix-Sums	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 50th International Conference on Parallel Processing (ICPP)	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3472456.3472486	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 竹内 祐哉, 藤本 典幸	4. 巻 2022-HPC-183
2. 論文標題 全点対最短経路問題を解くSeidelのアルゴリズムのTensor Coreを用いたCUDA実装	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 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)	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hussain Md Maruf, Fujimoto Noriyuki	4. 巻 92
2. 論文標題 GPU-based parallel multi-objective particle swarm optimization for large swarms and high dimensional problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Parallel Computing	6. 最初と最後の頁 1~19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.parco.2019.102589	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 七井 香樹、藤本 典幸	4. 巻 14
2. 論文標題 小さい定数個の単精度行列への分割を用いた尾崎スキームによる倍精度行列乗算のゲーミング用GPU上での評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム (ACS)	6. 最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋 勝稔, 馬野 元秀, 藤本 典幸	4. 巻 31
2. 論文標題 階層的クラスタリングを用いた時系列データの分割	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 知能と情報	6. 最初と最後の頁 731-738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3156/jsoft.31.3_731	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Md Maruf Hussain, Noriyuki Fujimoto	4. 巻 92
2. 論文標題 GPU-based Parallel Multi-objective Particle Swarm Optimization for Large Swarms and High Dimensional Problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Parallel Computing	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.parco.2019.102589	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hussain Md. Maruf、Fujimoto Noriyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Parallel Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Large Swarm and High Dimensional Problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. the 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2018)	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CEC.2018.8477848	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊瀬顕史、高橋勝稔、馬野元秀、藤本典幸	4. 巻 -
2. 論文標題 階層的クラスタリングを用いた時系列データの分割手法のオンライン環境への適用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本知能情報ファジィ学会第34回ファジィシステムシンポジウム	6. 最初と最後の頁 565-570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noriyuki Fujimoto、Hiroyuki Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Some Torus-embedded Graphs with Regular Structure Have the Minimum Diameter and the Minimum Average Shortest Path Length	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. 2018 IEEE Region 10 Conference (IEEE TENCN 2018)	6. 最初と最後の頁 2264-2269
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TENCN.2018.8650461	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Katsutoshi Takahashi、Motohide Umano、Noriyuki Fujimoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Partition of Time Series Using Hierarchical Clustering	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS)	6. 最初と最後の頁 843-848
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hussain Md. Maruf, Fujimoto Noriyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of the Pseudorandom Number Generators on the Standard Particle Swarm Optimization on a GPU	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. the 2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI'18)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akifumi Ise, Motohide Umamo, Noriyuki Fujimoto	4. 巻 なし
2. 論文標題 Tuning of Fuzzy Rules with a Real-coded Genetic Algorithm in Car Racing Game	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 procs. of Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IFSA-SCIS.2017.8023267	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋勝稔, 馬野元秀, 藤吉誠, 藤本典幸	4. 巻 なし
2. 論文標題 階層的クラスタリングを用いた時系列データの分割: ヒープを用いた一括クラスタリング	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第33回ファジシステムシンポジウム (FSS2017) 講演論文集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋勝稔, 塩澤大輝, 馬野元秀, 藤本典幸, 藤吉誠	4. 巻 なし
2. 論文標題 忘却型ファジィ・ニューラルネットワークを用いた時系列データの異常検知	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第33回ファジシステムシンポジウム (FSS2017) 講演論文集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 二本松立朗,馬野元秀,藤本典幸	4. 巻 なし
2. 論文標題 実数値追跡問題における通信機能を持つエージェントの学習	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第33回ファジシステムシンポジウム (FSS2017) 講演論文集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田峻太,藤本典幸,澤田幸一郎,紫垣賢人,川口大輔	4. 巻 なし
2. 論文標題 多倍長演算ライブラリMPIR 互換のCUDA ライブラリの実装について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第13回情報科学ワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 川口大輔,藤田峻太,藤本典幸	4. 巻 なし
2. 論文標題 CUDAを用いた多倍長除算と多倍長平方根演算の実装について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第13回情報科学ワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 紫垣賢人,藤本典幸	4. 巻 なし
2. 論文標題 CUDAを用いた多倍長加減算の実装について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第13回情報科学ワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 澤田幸一郎, 藤本典幸, 和田幸一	4. 巻 なし
2. 論文標題 CUDAを用いた多倍長乗算の実装について	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第13回情報科学ワークショップ予稿集	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Md. Maruf Hussain, Noriyuki Fujimoto	4. 巻 なし
2. 論文標題 Parallel Multi-objective Particle Swarm Optimization for Large Swarm and High Dimensional Problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 procs. of the 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2018)	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 近藤伊士利, 藤本典幸
2. 発表標題 整数行列積を用いた多倍長整数乗算のGPU並列化とその評価
3. 学会等名 情報処理学会第188回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Noriyuki Fujimoto, Kouki Nanai
2. 発表標題 Solving QUBO with GPU Parallel MOPSO
3. 学会等名 ACM Workshop on Parallel and Distributed Evolutionary Inspired Methods (PDEIM) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiya Kozakai, Noriyuki Fujimoto, Koichi Wada
2. 発表標題 Efficient GPU-Implementation for Integer Sorting Based on Histogram and Prefix-Sums
3. 学会等名 the 50th International Conference on Parallel Processing (ICPP) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiya Kozakai, Noriyuki Fujimoto, Koichi Wada
2. 発表標題 Integer sortings algorithms suitable for GPU-implementation
3. 学会等名 第17回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 七井 香樹, 藤本 典幸
2. 発表標題 MOPSOを用いたQUBO解法のGPU実装の改善
3. 学会等名 進化計算シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内 祐哉, 藤本 典幸
2. 発表標題 全点対最短経路問題を解くSeidelのアルゴリズムのTensor Coreを用いたCUDA実装
3. 学会等名 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) 研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 七井 香樹、藤本 典幸
2. 発表標題 ゲーミングGPUの単精度演算器を用いた倍精度行列積の近似計算
3. 学会等名 第16回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小堺 海叶、藤本 典幸、和田幸一
2. 発表標題 ヒストグラムと接頭辞和計算に基づく整数ソータのためのGPUによる効率的な実装
3. 学会等名 第16回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiya Kozakai, Noriyuki Fujimoto, Koichi Wada
2. 発表標題 Efficient GPU-Implementation for Integer Sorting Based on Histogram and Prefix-Sums
3. 学会等名 情報処理学会ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) 研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hussain Md. Maruf, Fujimoto Noriyuki
2. 発表標題 Parallel Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Large Swarm and High Dimensional Problems
3. 学会等名 the 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊瀬顕史、高橋勝稔、馬野元秀、藤本典幸
2. 発表標題 階層的クラスタリングを用いた時系列データの分割手法のオンライン環境への適用
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会第34回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriyuki Fujimoto、Hiroyuki Kobayashi
2. 発表標題 Some Torus-embedded Graphs with Regular Structure Have the Minimum Diameter and the Minimum Average Shortest Path Length
3. 学会等名 2018 IEEE Region 10 Conference (IEEE TENCON 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsutoshi Takahashi、Motohide Umano、Noriyuki Fujimoto
2. 発表標題 Partition of Time Series Using Hierarchical Clustering
3. 学会等名 Joint 11th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hussain Md. Maruf、Fujimoto Noriyuki
2. 発表標題 Effect of the Pseudorandom Number Generators on the Standard Particle Swarm Optimization on a GPU
3. 学会等名 the 2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI'18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akifumi Ise, Motohide Umano, Noriyuki Fujimoto
2. 発表標題 Tuning of Fuzzy Rules with a Real-coded Genetic Algorithm in Car Racing Game
3. 学会等名 Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋勝稔, 馬野元秀, 藤吉誠, 藤本典幸
2. 発表標題 階層的クラスタリングを用いた時系列データの分割: ヒープを用いた一括クラスタリング
3. 学会等名 第33回ファジィシステムシンポジウム (FSS2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋勝稔, 塩澤大輝, 馬野元秀, 藤本典幸, 藤吉誠
2. 発表標題 忘却型ファジィ・ニューラルネットワークを用いた時系列データの異常検知
3. 学会等名 第33回ファジィシステムシンポジウム (FSS2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 二本松立朗, 馬野元秀, 藤本典幸
2. 発表標題 実数値追跡問題における通信機能を持つエージェントの学習
3. 学会等名 第33回ファジィシステムシンポジウム (FSS2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田峻太, 藤本典幸, 澤田幸一郎, 紫垣賢人, 川口大輔
2. 発表標題 多倍長演算ライブラリMPIR 互換のCUDA ライブラリの実装について
3. 学会等名 第13回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川口大輔, 藤田峻太, 藤本典幸
2. 発表標題 CUDAを用いた多倍長除算と多倍長平方根演算の実装について
3. 学会等名 第13回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 紫垣賢人, 藤本典幸
2. 発表標題 CUDAを用いた多倍長加減算の実装について
3. 学会等名 第13回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 澤田幸一郎, 藤本典幸, 和田幸一
2. 発表標題 CUDAを用いた多倍長乗算の実装について
3. 学会等名 第13回情報科学ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Md. Maruf Hussain, Noriyuki Fujimoto
2. 発表標題 Parallel Multi-objective Particle Swarm Optimization for Large Swarm and High Dimensional Problems
3. 学会等名 the 2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE CEC 2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------