

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00068

研究課題名(和文) 機動的並列処理方式を実現するための基盤技術の研究開発

研究課題名(英文) Research and development of fundamental technology to realize flexible parallel processing using mobile computing devices

研究代表者

大津 金光 (OOTSU, Kanemitsu)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00292574

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：スマートフォンやタブレット端末等の組み込み型コンピュータが爆発的に普及しており、多数のコンピュータが身の回りに存在する状況が一般的となりつつある。これを背景として、本研究では、遠隔のクラウドサーバに依存しない形で、利用者がどこにいても利用可能な即時的で利便性の高い並列処理環境を実現することを目的として、利用者の手元にある逐次プログラムを機械命令(バイナリ)コードレベルで自動並列化し、近隣に存在する多数のコンピュータを使った並列処理を行うことでプログラムの高速化を図る機動的並列処理方式を実現する。そのために必要な基盤技術の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Embedded computers such as smartphones and tablet computers are explosively spreading and the situation where many computers are in existence around is becoming common. Against this background, in this research, in order to realize an immediate and convenient parallel processing environment that users can use no matter where they are, in a form that does not depend on a remote cloud server, The automatic sequential program at the machine instruction (binary) code level is automatically parallelized, and parallel processing using a large number of computers existing in the vicinity is performed to realize a flexible parallel processing method for speeding up the program. For that purpose, the necessary fundamental technologies are developed.

研究分野：高性能計算システム

キーワード：並列分散処理 バイナリ変換 自動最適化 負荷分散

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレット端末等の携帯性が極めて優れたコンピュータが爆発的に普及してきており、多数のコンピュータが身の回りに存在する状況が普通になりつつある。また、これらのコンピュータの処理性能および記憶容量も急激に拡大してきており、電力当りの性能では既に PC を上回り、絶対性能でも急激に PC に迫りつつある状況にある。これを背景として、身の回りの多数のコンピューティング資源を積極的に活用した並列分散処理により、物理的に遠く離れたクラウドコンピュータへのアクセスを必要とせず、したがって遠距離通信による通信遅延や電力消費が少なく、金銭的成本もない高速な処理を実現できると期待される。

我々はこれまで、バイナリ変換による自動プログラム変換、GPU 並列処理による高速化、チェックポイント技術を用いた計算結果の再利用による高性能化、動的なデータ圧縮による効率的なデータ通信、および処理の偏りに注目した投機的計算による高速化について研究を行ってきた。

これらの成果を踏まえ、上記の並列分散処理方式を基本として、利用者の手元にある既存の逐次処理プログラムを自動的に並列処理プログラム化し、物理的に近隣に存在するモバイルコンピュータ等の身の回りの組み込み型コンピュータを使って並列処理することで、利用者に特別な作業を課すことなく、利便性の高い並列処理環境を構築できると考えた。その実現のためには既存のクラスタコンピューティングやグリッドコンピューティング関連技術等に加えて、以下の3点に着目した技術開発が必要であると考えた。

- (1) 複数の CPU コアを搭載、あるいは GPU や特定用途アクセラレーション回路を備える等、多種多様でヘテロジニアスな構成を持つ組み込みコンピュータをターゲットとして、通常は参照することが難しいプログラムのソースコードを必要とせず、機械命令プログラムコードを元にして直接的に自動並列化を行う**機械命令(バイナリ)コードレベルでの自動並列化技術**の開発が必要である。
- (2) モバイルコンピュータのような物理的に移動する可能性のあるコンピュータも並列処理に参加し得るため、並列処理中に**ノードコンピュータ数が変動した場合にも常に最適な負荷分散を実現するための技術**が必要である。
- (3) 並列処理中に一部のノードコンピュータが離脱や利用者自身の移動に伴い、処理中のタスクをノード間で移動させる必要があるが、その際、タスクの実行を一時中断して状態を保存し、移動のノードコンピュータ上で状態の復元および処理の再開を高速に行うことができるようにするための**高性能なチェックポイント技術**の開発が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究課題では、以下の3つの課題の解決を図りながら、携帯性に優れたモバイルコンピュータを基本構成要素として、利用者の周辺にある多数のコンピュータとローカルネットワーク経由で接続し、手元の逐次処理プログラムを自動的に並列化し、即時的に並列処理を行うことでプログラムの処理性能を向上させる**機動的並列処理方式**の実現を図る。そのための基本技術を確立し、プロトタイプシステムとして実装する。また、各基本技術ならびにシステムの有効性を実験的に検証することを目的とする。

(1) ヘテロジニアスアーキテクチャ向け高性能なバイナリ変換技術の開発

モバイルコンピュータ等に利用されるプロセッサは省電力性能の観点から、元々組み込み用途に使われていたものが採用されることが多い。それらは様々な命令セットを備えており、またマルチコア CPU や GPU、特定用途のアクセラレーション回路を備えている等のヘテロジニアスな構成を採るコンピュータの間で、単一のプログラムコードを流用することは難しい。本研究では、ヘテロジニアス構成を採るコンピュータをターゲットとして、逐次処理プログラムバイナリコードから各コンピュータ向けに最適化されたプログラムバイナリコードを生成するバイナリ変換技術を開発する。

(2) 動的なノード数の変動に対応した最適な負荷分散技術の開発

本研究では手軽に持ち運べるコンピュータの使用を前提とするため、並列処理に参加しているコンピュータの数が変動することがありえる。その場合でも、利用可能なコンピューティング資源を最大限活用した処理性能を実現するためにはノード数に応じて負荷を均一化することが必要である。また、ノード数の変更に伴ってタスクの位置が変わりえるが、同一ノード上のタスク間での通信と、異なるノードのタスク間での通信では最適な通信方式は異なる。本研究では、モバイルコンピュータ間の制約されたネットワーク通信能力を前提に、動的なノード数の変動に対応して、最適な通信方式に切り替えながら動的に最適なタスクの配置を行う技術を開発する。

(3) 高速低遅延なチェックポイント技術の開発

ノード数が変動する際のタスクの再配置や、利用者の移動に伴うタスクの移動には、各ノードコンピュータ上で実行中のタスクの状態の保存および復元を高速に行うことが必要である。本研究では、限られたネットワークの通信帯域を有効に活用しつつ、高速低遅延なチェックポイントデータの取得方法およびその圧縮技術を開発する。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために以下の3つの課題の解決を図る。なお、本研究では、モバイルコンピュータで最も普及している Android OS を主なターゲットと使う。また、ノード間での並列処理にはクラスタ型並列コンピュータでの標準メッセージパッシング規格である MPI を採用し、その実装の一つである Open MPI を Android OS 向けに独自移植して使用する。

(1) ヘテロジニアスアーキテクチャ向けの高性能バイナリ変換技術の開発

一般的に、モバイルコンピュータで使われているプロセッサは、電力効率が良いものの、PC やサーバのプロセッサと比べればその絶対的な処理能力やリソース等の余裕が大きくはないため、これらを最大限に有効活用するためには、構成がそれぞれ異なるノード毎に機械命令(バイナリ)コードレベルで最適化されたプログラムコードが必要であるが、モバイルコンピュータのプロセッサには様々な命令セットが存在し、単一の機械語プログラムコードをそのまま流用することができない。そこで、この問題を機械独立な中間コードを経由する形でプログラムコードの変換を行うバイナリ変換技術により解決する。

本研究で開発するシステムでは、変換の起点となる命令セットからそれとは異なる複数種の命令セットへのバイナリコード変換処理を実現するために、機械独立な内部中間表現に変換してから、逐次プログラムの並列化を行い、最終的にターゲットプロセッサのバイナリコードへと(再度)変換する。また、ターゲットプロセッサが SIMD 演算機能や GPU を備える場合には、その機能を使ったより高性能なコードへと変換を行う。

本研究では、バイナリ変換処理のフレームワークの一つである Valgrind の内部で使用されている機械独立な中間表現形式をベースにして、Open MPI を使ったメッセージパッシングや SIMD 演算処理に対応して並列化処理を行うバイナリ変換処理の基盤を開発する。

(2) 動的なノード数の変動に対応した最適な負荷分散技術の開発

並列処理に参加しているコンピュータのノード数が変動する状況において特定のノードに負荷が集中しないようにノード数に応じて全体の負荷を均一化することが必要である。

本研究では、タスク間のデータ通信量が大きいタスク同士をできるだけ同じノードコンピュータ上に集約しつつ、各ノードの負荷が均等化するようなタスクの配置を決定する手法を開発する。

(3) 高速度低遅延なチェックポインティング技術の開発

モバイルコンピュータ同士をつなぐネットワークは平均的な通信性能なものが使われると想定されるため、限られたネットワークの通信帯域を有効に利用する必要がある。また、一般的には、取得されたチェックポイントデータはチェックポインティングを行ったノードコンピュータ内に保存されるが、本研究においては、チェックポインティングを行ったノードとは別のノード上でタスク処理を再開することが前提となるため、ノード間でのチェックポイントデータの転送が必要である。この転送処理を、限られた通信帯域のネットワークを通じて効率的に行うため、本研究では、チェックポイントデータのデータの特性に応じて動的に圧縮アルゴリズムを変更する手法を取り入れた小売り雨滴名チェックポインティング方式を開発する。

上記課題の解決を図りながら獲得した基本技術をシステムとして統合し、**機動的並列処理方式**の実現を目指す。

4. 研究成果

本研究の成果を以下に示す。

(1) ヘテロジニアスアーキテクチャ向け高性能バイナリ変換技術の開発

に関して、現在の Android OS 搭載コンピュータの標準となった ARM プロセッサの逐次処理プログラムバイナリコードを入力として、機械独立な中間表現に変換するコンパイラフロントエンドを開発した。

当初はバイナリ変換処理の代表的なフレームワークである Valgrind をベースとして開発を進めていたが、Valgrind の内部中間表現はプログラムコードを表限する抽象度が低く、基本的なプログラム構造であるループの解析等も含めて中間表現レベルでのプログラムコードの並列化・最適化処理部分の開発に相当な期間を要することが判明した。そこで開発期間を短縮することを目的として、近年の最適化コンパイラのオープンソースフレームワークである LLVM をベースとした開発に移行することとした。そのため、中間表現形式を Valgrind から LLVM IR へ変更した。ARM プロセッサの命令セットは命令毎に条件コードを付けられる等、特異な特徴を持つため、これに対応した LLVM コンパイラの ARM フロントエンドを開発した。

また、中間表現に並列化指示を挿入することで自動的に並列処理コードを生成する LLVM コンパイラパスの開発も行い、単純なプログラムループのバイナリコードから並列処理バイナリコードを生成することが可能となった。

(2) 動的なノード数の変動に対応した最適な負荷分散技術の開発

に関して、性能評価用ベンチマークプログラムとして

使用した NPB (NAS Parallel Benchmark) や HPL (High Performance Linpack)等の MPI 並列プログラムにおける並列タスク間でのメッセージ通信サイズを、プロファイラを用いて計測し、各ノードコンピュータへのタスクの割り当て方によってメッセージ通信に掛かる時間が大きく異なることを確認した。

その上で、最もメッセージ通信サイズが最小となるようなタスク割り当てにより、並列処理性能が最大となることを実験により確認した。

また、この結果に基づいてタスクの実行時間とメッセージ通信にかかる時間の見積りに基づいたタスク割り当て方法を策定した。

- (3) **高速低遅延なチェックポイント技術の開発**に関しては、チェックポイントデータを圧縮しながら別ノードに向けて送出する方式を基本として、チェックポイントデータの中身に応じて圧縮率を変更する方式を開発した。

本研究では、タスクの移譲に伴う実行の途中状態の保存および復元の処理をチェックポイントライブラリである DMTCP を用いた。DMTCP はチェックポイントデータの圧縮機能を備えているが、この機能はチェックポイントデータを取得した後、一括して圧縮する方式を採用しているため、データの圧縮が完了するまで転送処理が開始できず、全体の処理が停止する問題を抱えていた。本研究では圧縮しながらデータの転送を行う方式について検討を行った。

一般的に、データの圧縮処理は、高圧縮率のアルゴリズムほど処理に時間がかかる一方、処理に時間がかからないアルゴリズムは低圧縮率である。これを考慮に入れ、圧縮処理と圧縮データの送出処理の速度が釣り合うように適宜圧縮アルゴリズムを変更する方式を検討した。すなわち、圧縮処理に時間がかかり、データの送出処理が待っている場合には低圧縮率のアルゴリズムに変更し、圧縮処理にかかる時間を短くすることでチェックポイントデータの転送処理に待ち時間が生じないようにする。逆に、データの送出処理に時間がかかり、圧縮処理が速すぎる場合は高圧縮のアルゴリズムに切り替える。

この方式が有効に機能することをいくつかの異なるデータに対して適用したところ、適宜圧縮アルゴリズムを切り替えることでより短い時間でデータ転送ができることを確認した。

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 6 件)

1. B.J.Jackin, S.Watanabe, K.Ootsu, T.Ohkawa, T.Yokota, Y.Hayasaki, T.Yatagai, T.Baba, "Decomposition Method for Fast Computation of Gigapixel-sized Fresnel Holograms on a Graphics Processing Unit Cluster," Applied Optics, 査読有, Vol.57, Issue 12, 2018, pp.3134-3145
<https://doi.org/10.1364/AO.57.003134>
2. T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, "A Static Packet Scheduling Approach for Fast Collective Communication by Using PSO," IEICE Transactions on Information and Systems (Special Section on Parallel and Distributed Computing and Networking), 査読有, Vol.E100-D, No.12, 2017, pp.2781-2795
DOI: 10.1587/transinf.2017PAP0015
3. Y.Sawada, Y.Arai, K.Ootsu, T.Yokota, T.Ohkawa, "Performance of Android Cluster System Allowing Dynamic Node Reconfiguration," Wireless Personal Communication, 査読有, Vol.93, Issue 4, 2017, pp.1067-1087
DOI: 10.1007/s11277-017-3978-9
4. T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, "Enhancing Entropy Throttling: New Classes of Injection Control in Interconnection Networks," IEICE Transactions on Information and Systems (Special Section on Parallel and Distributed Computing and Networking), 査読有, Vol.E99-D, No.12, 2016, pp.2911-2922
DOI: 10.1587/transinf.2016PAP0007
5. 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, "プログラム全域を対象としたホットベース投機的マルチスレッド処理方式の提案", システム制御情報学会論文誌, 査読有, Vol.29, No.7, 2016, pp.285-301
<https://www.isciece.or.jp/pub/journal>
6. T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, "Relaxing Heavy Congestion by State Propagation," Journal of Information Processing, 査読有, Vol.23, No.5, 2015, pp.730-743
DOI: 10.2197/ipsjjip.23.730

〔学会発表〕(計 40 件)

1. T.Baba, S.Watanabe, B.J.Jackin, T.Ohkawa, K.Ootsu, T.Yokota, Y.Hayasaki, T.Yatagai, "Overcoming the Difficulty of Large-scale CGH Generation on Multi-GPU Cluster", 11th Workshop on General Purpose GPUs, 2018

2. 新里 将大, 大津 金光, 大川 猛, 横田隆史, “Android OS における MPI 並列処理アプリケーション実行環境の検討”, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018
3. 神宮 健吾, 大津 金光, 大川 猛, 横田隆史, “LLVM IR コードにおける並列化指示文の挿入方式についての検討”, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018
4. 菊池 智也, 大津 金光, 大川 猛, 横田隆史, “SIMD 拡張ソフトコアプロセッサのための効率的なメモリシステムの検討”, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018
5. 後村 胤樹, 大川 猛, 大津 金光, 横田隆史, 馬場 敬信, “Visual SLAM ソフトウェア高速化検討のための処理時間分析”, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018
6. 杉山 裕紀, 新里 将大, 重信 晃太, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, “Android クラスタにおける Open MPI 並列処理の性能評価”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (CPSY), 2018
7. S.Watanabe, B.J.Jackin, T.Ohkawa, K.Ootsu, T.Yokota, Y.Hayasaki, T.Yatagai, T.Baba, “Acceleration of Large-scale CGH Generation using Multi-GPU Cluster”, 5th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'117), 2017 **Best Paper Award 受賞**
8. K.Shigenobu, K.Ootsu, T.Ohkawa, T.Yokota, “A Translation Method of ARM Machine Code to LLVM-IR for Binary Code Parallelization and Optimization”, 5th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'117), 2017.
9. T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, “Large-Scale Interconnection Network Simulation Methods Based on Cellular Automata”, 5th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR'17), 2017
10. 渡邊 晋平, Boaz Jessie Jackin, 大川 猛, 大津 金光, 横田 隆史, 早崎 芳夫, 谷田貝 豊彦, 馬場 敬信, “マルチ GPU クラスタを用いた大規模計算機ホログラム生成時間の初期評価”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会, 2017
11. 横田 隆史, 大津 金光, 大川 猛, “大規模 NoC 向けシミュレーション手法の検討”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会, 2017
12. 重信 晃太, 大津 金光, 大川 猛, 横田隆史, “LLVM を活用したバイナリコード最適化のための ARM 機械語フロントエンドの検討”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会, 2017
13. 相澤 和秀, 横田 隆史, 大津 金光, 大川 猛, “神経回路網による相互結合網パケットスケジューリング最適化の初期検討”, 情報処理学会 第 79 回全国大会, 2017 **学生奨励賞受賞**
14. 重信 晃太, 大津 金光, 大川 猛, 横田隆史, “LLVM を活用したバイナリ変換のための ARM 機械語から IR への変換手法の検討”, 情報処理学会 第 79 回全国大会, 2017
15. 杉山 裕紀, 澤田 祐樹, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, “DMTCP によるノード構成の動的変更に対応した並列分散処理環境の検討”, 情報処理学会 第 79 回全国大会, 2017
16. T.Baba, K.Ootsu, “Two-Level Controlled Parallel Reconfigurable Architecture”, 1st Workshop on Pioneering Processor Paradigms (WP3), 2017
17. 渡邊 晋平, Boaz Jessie Jackin, 大川 猛, 大津 金光, 横田 隆史, 早崎 芳夫, 谷田貝 豊彦, 馬場 敬信, “GPU によるオブジェクト分割フレネルホログラム生成処理の最適化検討”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (CPSY), 2017
18. 菊池 祐貴, 大津 金光, 馬場 敬信, 横田 隆史, 大川 猛, “多重ループの動的挙動解析のためのループブロックを導入したパスポファイラの実現”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (CPSY), 2017
19. K.Ootsu, T.Yokota, T.Ohkawa, “A Consideration on Compression Level Control for Dynamic Compressed Data Transfer Method”, 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), 2016
20. T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, “Introducing PSO for Optimal Packet Scheduling of Collective Communication”, 4th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2016), 2016
21. 澤田 祐樹, 重信 晃太, 杉山 裕紀, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, “Android クラスタにおける動的構成変更に伴うタスク再配置と通信の効率化”, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (CPSY), 2016
22. 横田 隆史, 大津 金光, 大川 猛, “一斉同期通信の最短時間パケットスケジューリング PSO による最適化の試み”, 情報処理学会システム・アーキテクチャ研究会 (ARC), 2016
23. T.Baba, B.J.Jackin, S.Watanabe,

- K.Ootsu, T.Ohkawa, T.Yokota, Y.Hayasaki, T.Yatagai, "Object Decomposition Method for Acceleration of Large-scale Hologram Calculations on GPU-clusters", IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP 2016), 2016
24. 澤田 祐樹, 大津 金光, 大川 猛, 横田 隆史, "動的なノード数変更に応じてプロセス単位で負荷分散を行うMPI環境の実現", 情報処理学会 システム・アーキテクチャ研究会(ARC), 2016
25. 澤田 祐樹, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, "動的なノード数変更に対応したMPI並列処理のための負荷分散手法の実装", 情報処理学会 第78回全国大会, 2016 **学生奨励賞受賞**
26. 渡邊 晋平, Boaz Jessie Jackin, 大川 猛, 大津 金光, 横田 隆史, 早崎 芳夫, 谷田貝 豊彦, 馬場 敬信, "大規模計算機ホログラム生成プログラムのマルチGPUを用いた高速化", 情報処理学会 第78回全国大会, 2016 **学生奨励賞受賞**
27. 橋本 瑛大, 平石 康祐, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, "gem5を用いた独自SIMD拡張MIPSプロセッサシミュレータの実現", 情報処理学会 第78回全国大会, 2016 (**学生奨励賞受賞**)
28. 深堀 陽介, 平石 康祐, 橋本 瑛大, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, "SIMD拡張MIPSソフトコアプロセッサ向けのリモートデバッグの実現", 情報処理学会 第78回全国大会, 2016
29. 菊池 祐貴, 大津 金光, 馬場 敬信, 大川 猛, 横田 隆史, "ヘテロジニアスメニーコアプロセッサにおける最適並列処理の決定方式に関する検討", 情報処理学会 第78回全国大会, 2016
30. K.Hiraishi, K.Ootsu, T.Ohkawa, T.Yokota, "Proposal of Highly Efficient Memory Access Method using Locked-Cache on Soft-Core Processor with SIMD Operations", 3rd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2015), 2015
31. Y.Suzuki, T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, "Performance Improvement of Large-scale Interconnection Network Simulator by using GPU", 3rd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2015), 2015
32. H.Obuchi, K.Ootsu, T.Ohkawa, T.Yokota, "Efficient Translation and Execution Method for Automated Parallel Processing System by using Valgrind", 3rd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2015), 2015
33. T.Yokota, K.Ootsu, T.Ohkawa, "Entropy Throttling: Towards Global Congestion Control of Interconnection Networks", 3rd International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2015), 2015
34. K.Ootsu, Y.Matsuno, T.Ohkawa, T.Yokota, T.Baba, "Empirical Performance Study of Speculative Parallel Processing on Commercial Multi-core CPU with Hardware Transactional Memory", 2nd Workshop on Software Engineering for Parallel Systems (SEPS), 2015
35. B.J.Jackin, H.Miyata, Y.Hayasaki, T.Yatagai, T.Ohkawa, K.Ootsu, T.Yokota, T.Baba, "Acceleration of large scale Fresnel CGH computation on distributed machines using decomposition method", Optics and Photonics Japan 2015, 2015
36. J.B.Jessie, S.Watanabe, T.Ohkawa, K.Ootsu, T.Yokota, Y.Hayasaki, T.Yatagai, T.Baba, "Decomposition Method for Acceleration of Large Scale CGH Calculation on Distributed Computing Machines", Photonics West-2016, 2016
37. 平石 康祐, 橋本 瑛大, 大津 金光, 横田 隆史, 大川 猛, "ソフトコアプロセッサ向けSIMD演算のための高帯域オンチップメモリの検討", 情報処理学会 システム・アーキテクチャ研究会(ARC), 2015
38. 鈴木 裕樹, 横田 隆史, 大津 金光, 大川 猛, "大規模相互結合網シミュレータのGPUを用いた高速化", 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会(CPSY), 2015
39. 小淵 裕之, 大津 金光, 大川 猛, 横田 隆史, "動的バイナリ変換によるループ並列処理のための効率的スレッド制御手法", 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会(CPSY), 2015
40. Y.Sawada, Y.Arai, K.Ootsu, T.Yokota, T.Ohkawa, "An Android Cluster System Capable of Dynamic Node Reconfiguration", 7th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2015), 2015

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.is.utsunomiya-u.ac.jp/pearlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大津 金光 (OOTSU, Kanemitsu)

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：00292574