

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22240005

研究課題名(和文) 電力消費を制御するスケーラブルな情報の蓄積と検索

研究課題名(英文) Scalable storage and retrieval on it with controlling power consumption

研究代表者

横田 治夫 (YOKOTA, HARUO)

東京工業大学・情報理工学(系)研究科・教授

研究者番号：10242570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 38,200,000円、(間接経費) 11,460,000円

研究成果の概要(和文)：巨大化する蓄積されたデータへの検索が情報処理の多くを占める中、蓄積する場合のデータ配置やデータへのアクセス方法を工夫することで消費電力を削減する様々な手法を提案し、評価を行い、効果を示した。

代表的な方法としては、ストレージ装置中のHDDの回転を停止させて電力消費を抑える場合に信頼性を確保するためのバックアップを有効利用して回転停止の頻度を減らす方法、および利用台数を変化させ性能と消費電力を均整化させる場合にプライマリデータの配置を工夫することでシステム構成変化後のデータ移動を抑える方法を提案した。この他にも様々な手法を提案した。それらの手法を実現するとともに、実験を行って効果を実証した。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a number of approaches to reduce power consumption of storage systems by controlling data placement and access methods. One approach decreases the frequency of spin-up and spin-down operations of HDD by using backup data to reduce HDD power consumption effectively as well as to keep the reliability of the storage system. Another approach places primary data for the high gear configuration to reduce migrated data in gear shift for balancing power consumption and performance of the storage system. We evaluated these methods and other many methods including XML retrievals through simulation and using real hardware, and demonstrated their effectiveness. Corresponding research papers were accepted well-known high competitive international conferences and journals. Since these methods are practical and applicable to many real situations, many ripple effects for both the cost down of IT system operation and earth environment can be expected.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ストレージシステム 省電力 データ配置 高信頼システム 情報蓄積

1. 研究開始当初の背景

現代社会では、地球温暖化を止めるためのCO2 排出量削減の目標に向け、様々な面においてエネルギーの消費を極力抑えることが最重要課題の一つとなっている。情報処理分野においても、グリーン IT という言葉で表わされるように、電力の消費を抑えるためのプロセッサのアーキテクチャ、コンポーネント構成、データセンターの空調管理など、さまざまな取り組みが行われている。しかし、これまで行われてきたグリーン IT の取り組みの多くは、汎用的な情報処理において効果を出すことを対象にしたハードウェア的、あるいはミドルウェア的なアプローチに限られていた。

一方、近年、身の回り情報量が爆発的に増加していることから、蓄積され巨大化した情報に対する検索が情報処理の多くを占めるようになってきている。これらのことから、蓄積すべき情報量に合わせてスケールアップ可能な情報蓄積と検索処理を対象とした省電力化のアプローチが考えられるが、これまでそのようなアプローチはなかった。

研究代表者と研究分担者は、これまで長年にわたって情報の蓄積のための分散データ配置やストレージネットワークの構成方法、さらには蓄積されたデータを効率よく検索するための分散インデックス構造、あるいはXML やマルチメディアデータを含む様々なデータの検索手法に関して研究を行い、卓越した業績を残してきた。それらの研究を通して、データ配置や検索処理を工夫することで、信頼性を保ちながらシステムの電力消費をこれまで以上に抑えた蓄積と検索が可能であるという発想に至った。

2. 研究の目的

データ配置や検索処理を工夫することで、コンピュータシステムの消費電力をこれまで以上に削減するという新たなアイデアに基づき、そのような省電力化手段を取り入れた高信頼でスケラブルな情報の蓄積と検索処理の実現を目指す。

巨大化する情報を蓄積し検索することは益々重要になっていることから、蓄積・検索処理における電力消費を抑えることの効果は大きい。信頼性を確保するためのデータ配置を利用して電力消費を抑える手法や検索精度と電力消費量とのトレードオフを考慮する手法は独創性が極めて高い上、関連する技術への波及効果も大きく、当該学術分野の格段の発展を望むことができる。

3. 研究の方法

データ配置や検索処理を考慮した省電力化の手法を明らかにし、それを取り入れた高信頼でスケラブルな情報の蓄積と検索処理を実現するために、研究代表者と研究分担者はこれまでの知見を活かして協力して研究を推進してきた。

(1) まず、信頼性を高めて性能を確保しながら消費電力を抑えるストレージの解析モデルと負荷モデルを構築し、その上でデータ配置やネットワークアクセス等の工夫を行うことで電力消費量を抑える様々な手法を提案した。

(2) 次に、その解析モデルと負荷モデルに従ってシミュレータを開発し、シミュレーションによって提案手法の効果を示した。

(3) さらに、実際に提案手法を取り入れた実験システムを試作し、実験システムを用いて提案手法を評価し、その評価に基づいて更なる改善を行ってきた。

(4) また、ストレージだけでなく、CPU も含めて、性能と消費電力を均整化させるデータ配置についても検討を行い、新たな配置手法の提案を行った。

4. 研究成果

(1) 信頼性を高めて性能を確保しながら消費電力を抑えるためのデータ配置とアクセス制御の検討を行い、信頼性確保のためにプライマリ・バックアップ構成を用い、その構成を有効利用して各 HDD の回転状況を考慮して読み出し・書き込み操作を制御する手法である RAPoSDA (Replica Assisted Power Saving Disk Array) 提案した。図1にRAPoSDAの構成を示す

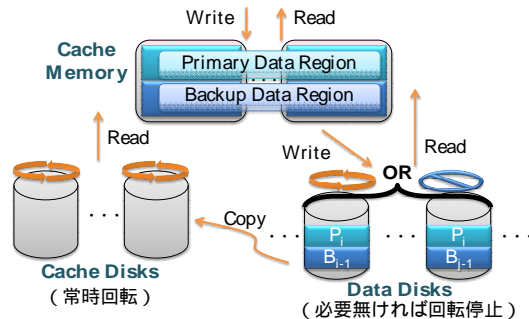


図1 RAPoSDA の構成

RAPoSDA では、書き込み時には電源等も二重化した耐故障キャッシュにデータを一旦保持する。キャッシュ容量の閾値制御によりデータディスクに書きだす際に、プライマリとバックアップで回転している側のディスクを選択する。停止していたディスクを回転させる場合は、同一ディスク内のプライマリもしくはバックアップが閾値を超えてなくても書き出す。さらに読み出し時もプライマリとバックアップで回転している側を優先する等の制御を行うことで、ディスクのスピニング・ダウンの回数を抑える。

(2) 提案手法の評価のために、まず解析モデルと負荷モデルを検討し、それらのモデルに基づく評価を行った。さらに、ディスクおよびシステムの動作をシミュレーションする環境を整備した。その上で、提案手法および対抗手法のシミュレーションを行い、提案する手法の効果を示した。

図 2 に消費電力削減手法を適用しない場合 (Normal) および対抗手法 (MAID) と提案する RAPoSDA における、読み書き処理の比率を変更した場合の消費電力の比較結果を示す。また、図 3 に平均レスポンス時間の比較を示す。それぞれのグラフより、RAPoSDA は MAID 以上に消費電力削減の効果があり、アクセス性能も優れることが分かる。

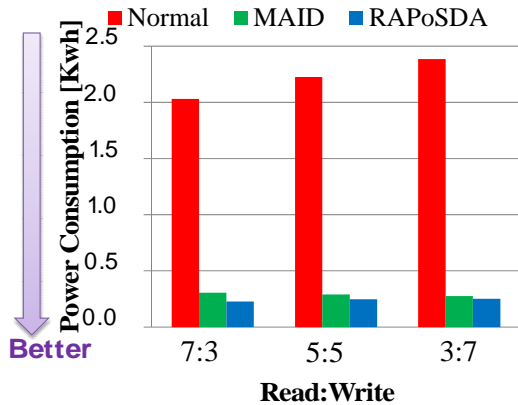


図 2 消費電力の比較

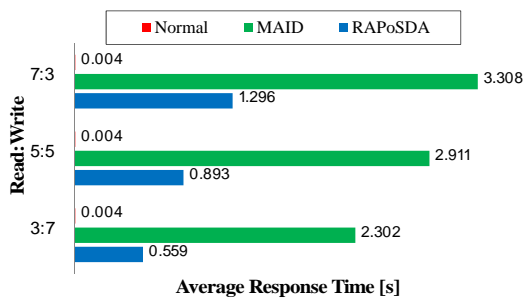


図 3 平均レスポンス時間の比較

本提案手法およびシミュレーション結果に関する論文が、競争率が高く当該分野で良く知られた国際会議である DASFAA2012 に採択された。さらに、その内容を改善した論文が電子情報通信学会論文誌に掲載された。

(3) 次に、RAPoSDA の実環境における効果を確認するために、実際に多数の HDD と電力測定装置を用いたプロトタイプを試作した。プロトタイプの外観の写真を図 4 に示す。

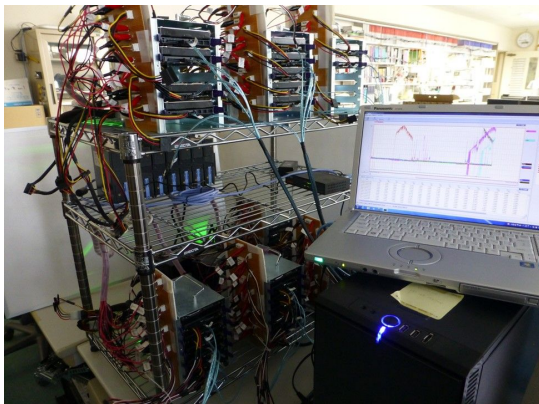


図 4 プロトタイプの外観

このプロトタイプを用いた実験を行い、その成果に関して国内で口頭発表を行った。また、データ配置において、できるだけ HDD のスピンドウン、スピンドアップの回数を減らすために、検索履歴から同一検索対象をまとめる方法や、ファイルのアクセス履歴を解析して同時にアクセスされるファイルを同一のディスクに格納する方法等を提案し、これらについてもシミュレーションを行い、その効果を確認した。

(4) 一方、ハードディスクだけでなく、CPU も含めて、性能と消費電力を均衡化させるデータ配置手法についても検討を行った。高い性能が必要な場合の高ギアの時には大きな消費電力を許し、低ギアの時には消費電力を削減するアプローチにおいて、ギアシフト時のデータ転送量が問題であることを明らかにし、耐故障性も含めて、プライマリのデータ配置に特色を持たせることでデータ転送量を減らすことが可能な独自の手法である Accordion の提案を行った。

図 5 に Accordion におけるデータ配置の例を示す。図中の P がプライマリ、B がバックアップを表わす。従来は、最低ギアの構成に全プライマリを配置するアプローチであったが、一番高いギアの時に全てにプライマリを配置することで、低ギアにシフトした場合のデータ転送量を減らすことができる。

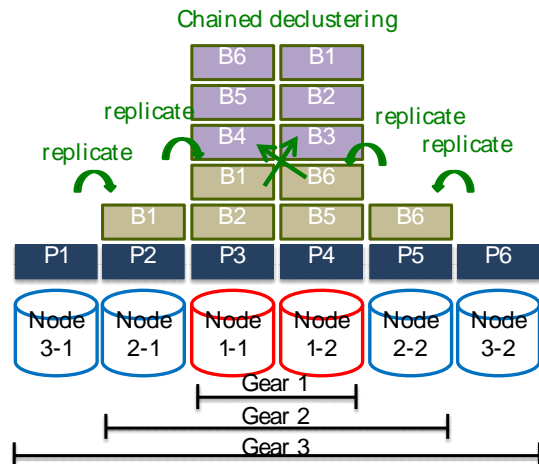


図 5 Accordion のデータ配置

提案する Accordion の評価を行うため、実際のハードウェアを用いた環境において実験を行い、その効果を確認した。図 6 に、Accordion と対抗手法である Rabbit のギアシフト時のデータ転送量の比較を示す。データサイズが小さい場合には、66%のデータ転送を削減することができることを示している。これにより、ギアシフトの時間を短縮するとともに、低ギア時の更新内容を高ギアの配置に反映する時間も短縮できることを示している。

これらの提案内容と評価実験の結果に関して、競争率の高い国際会議である BigData2013 において発表を行った。

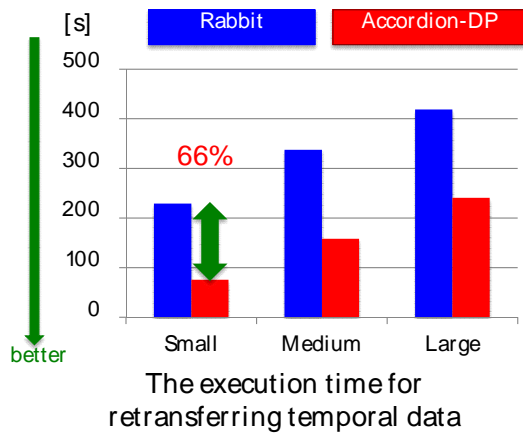


図6 データ転送量の比較

(5) 上記の他にも、実際のアプリケーションの実行を想定し、性能と消費電力を均整化させるデータ配置において、近年様々な分野で利用されることが増えている並列分散環境である Hadoop から提案手法を利用することを可能にするために NDCouplingHDFS の提案を行った。これは、従来の HDFS (Hadoop Distributed File System) の集中 Name Node を分散させることで、ギアシフトの制御のコストを下げるもので、NDCouplingHDFS を用いてアプリケーションを実行した場合の提案手法の効果を確認した。

表1は、メタデータの管理方法、コマンド発行方法、ブロックの転送方法により、提案手法を分類したもので、その分類に従った実行時間と通信回数の比較を図7に示す。グラフから分かるように提案方法は、通信回数を抑え、実行時間を短縮することができている。

表1 NDCouplingHDFS の分類

Configuration	Normal HDFS	SSS	SBS	SBB	FBB
Architecture	HDFS	Coupling	Coupling	Coupling	Coupling
MDM	Central	SDP	SDP	SDP	Fat-Tree
Command issuance	Sequential	Sequential	Batch	Batch	Batch
Block transference	Sequential	Sequential	Sequential	Batch	Batch

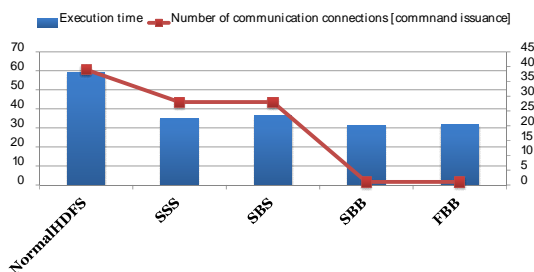


図7 NDCouplingHDFS の性能

NDCouplingHDFS の提案内容と評価結果についても競争率の高い国際会議である DASFAA2013 に採録され、その内容を改善した

ものも電子情報通信学会論文誌に採録された。

(6) 紙面の関係上全ての研究成果に関して報告することはできないが、XML 検索と省電力化の関係等も含め多様な状況において、蓄積データの配置やアクセス方法を工夫することで、消費電力を削減する様々なアプローチを提案し、シミュレーションだけでなく実機を用いた評価を行い、その効果を示した。それらの成果は、当該分野で良く知られた競争率の高い国際会議の論文として採択されるとともに、学会論文誌にも掲載され、学術的な意義を認められている。提案してきた手法は、適用性が高く、様々な用途において効果を発揮すると思われる。

今後、更に巨大化する蓄積データへの検索が情報処理の多くを占める中、消費電力を削減することは、企業のコスト削減等の面で重要であると同時に、地球環境の保護の面でもその重要性はますます増しており、本研究での成果の波及効果は大きいと期待できる。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計17件)

Hieu Hanh Le, Satoshi Hikida, Haruo Yokota, "NDCouplingHDFS: A Coupling Architecture for a Power-proportional Hadoop Distributed File System", IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, Vol. E97-D, No. 2, pp. 213-222, 2014.

DOI: 10.1587/transinf.E97.D.213

Yousuke Watanabe, Hidetaka Kamigaito, Haruo Yokota, "Similarity search for office XML documents based on style and structure data", International Journal of Web Information Systems, Emerald Group Publishing Limited, 査読有, Vol. 9, No. 2, pp. 100 - 116, 2013.

DOI: 10.1108/IJWIS-03-2013-0005

引田 諭之, Hieu Hanh LE, 横田 治夫, 耐故障ストレージのディスク回転状況を考慮した省電力化手法におけるシステム構成の影響評価, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J96-D, No. 5, pp. 1105-1117, 2013.

http://search.ieice.org/bin/pdf.php?lang=J&year=2013&fname=j96-d_5_1105

呉怡, 渡辺陽介, 横田治夫, RMC 操作に基づくタスクとタスク間関連度を考慮したファイル検索, 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, Vol. J96-D, No. 5, pp. 1166-1177, 2013.

http://search.ieice.org/bin/pdf.php?lang=J&year=2013&fname=j96-d_5_1166

Atsushi Keyaki, Jun Miyazaki, Kenji Hatano, Goshiro Yamamoto, Takafumi Taketomi, Hirokazu Kato. Fast

Incremental Indexing with Effective and Efficient Searching in XML Element Retrieval, International Journal of Web Information Systems, 査読有, Vol. 9, No. 2, pp. 142-164, Jun. 2013.
10.1108/IJWIS-04-2013-0008
Qiang Song, Yousuke Watanabe, Haruo Yokota, "Extraction of relationship between web pages and files in access logs", International Journal of Business Intelligence and Data Mining, 査読有, Vol. 7, No. 3, pp. 152-171, 2012.
DOI: 10.1504/IJBIDM.2012.049552
Manh Cuong Nguyen, Daichi Kato, Taiichi Hashimoto, Haruo Yokota, "Research history generation from meta-information of research papers using maximum margin clustering", International Journal of Business Intelligence and Data Mining, 査読有, Vol. 7, No. 3, pp. 217-231, 2012.
DOI: 10.1504/IJBIDM.2012.049556
Atsushi Keyaki, Kenji Hatano, Jun Miyazaki. Result Reconstruction Approach for More Effective XML Element Search, International Journal of Web Information Systems, 査読有, Vol. 7, No. 4, pp. 360-380, 2011.
DOI:10.1145/1967486.1967508
松原裕貴, 宮崎純, 藤澤誠, 天野敏之, 加藤博一. CC-PAID: CPU キャッシュを有効利用した並列時系列パターンマイニングアルゴリズム, 情報処理学会論文誌データベース, 査読有, Vol. 4, No. 2, pp. 88-100, 2011.
<http://id.nii.ac.jp/1001/00074656/>
豊島詩織, 山口実靖, 小口正人, データインテンシブアプリケーション実行時のクラウドリソースとローカルクラスタ間における負荷分散ミドルウェア, 日本データベース学会論文誌, 査読有, Vol.10, No.1, pp.31-36, 2011.
http://dbsj.org/journal/dbsj_journal/dbsj_journal_vol_10_no_1_31_36/
Min Luo, Akitsugu Watanabe, Haruo Yokota, "A Compound Parallel Btree for High Scalability and Availability on Chained Declustering Parallel Systems", IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 査読有, Vol. E94-D, No. 3, pp. 587-601, 2011.
DOI: 10.1587/transinf.E94.D.587

〔学会発表〕(計 142 件)

Tatsuya Toda, Takashi Kobayashi, Noritoshi Atsumi, Kiyoshi Agusa, "Grouping Objects for Execution Trace Analysis based on Design Patterns", The 5th International Workshop on

Empirical Software Engineering in Practice, 2013.12.2 Bangkok, Thailand
Yousuke Watanabe, Haruo Yokota, "Evaluation of Parallel Window-Join Algorithms for Reduction of Processing Delay", International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2013), 査読有, pp. 635-640, 2013.10.28-30 Compiègne, France.

Hieu Hanh LE, Satoshi HIKIDA, Haruo YOKOTA, "Efficient Gear-shifting for a Power-proportional Distributed Data-placement Method", IEEE BigData 2013, 査読有, pp. 76-84, 2013.10.8 Santa Clara, USA.

Toshiyuki Amagasa, Mana Seino, and Hiroyuki Kitagawa, "Energy-Efficient XML Stream Processing through Element-Skipping Parsing," DEXA Workshops 2013 (Workshop on ICT as Key Technology against Global Warming (ICT-GLOW'13)), 査読有, pp. 254-258, 2013.8.26 Prague, Czech Republic,
Hieu Hanh Le, Satoshi HIKIDA, Haruo Yokota, "NameNode and DataNode Coupling for a Power-proportional Hadoop Distributed File System", International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA2013), 査読有, pp. 99-107, 2013.4.24 Wuhan, China.

Yousuke Watanabe, Hidetaka Kamigaito, Haruo Yokota, "Style-based Similarity Search for Office XML Documents", the 14th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2012), 査読有, pp. 138-146, 2012.12.5 Bali, Indonesia.

Atsushi Keyaki, Jun Miyazaki, Kenji Hatano, Goshiro Yamamoto, Takafumi Taketomi, Hirokazu Kato. Fast and Incremental Indexing in Effective and Efficient XML Element Retrieval Systems, the 14th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2012), 査読有, pp. 157-166, 2012.12.5 Bali, Indonesia.

Masaki KAN, Dai KOBAYASHI, Haruo YOKOTA, "Data layout management for energy-saving key-value storage using a write off-loading technique", 2012 IEEE 4th International Conference on Cloud Computing Technology and Science, 査読有, pp. 75-81, 2012.12.4 Taipei.
Yousuke Watanabe, Haruo Yokota, "Development of a Disk-Power Monitoring Environment Using a Stream

Processing Engine", the 7th International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC2012), 査読有, pp. 351 - 356, 2012.11.12 Victoria, Canada
横田治夫, クラウドセンタのディペンダビリティと省電力化, 電子情報通信学会ディペンダブルコンピューティング研究会(招待講演), 電子情報通信学会技術研究報告, DC2012-20, pp. 19-22, 2012.8.3 鳥取
Yumiko Kasae and Masato Oguchi, "Proposed of a Load Balancing Method for Data Intensive Applications on a Hybrid Cloud Accounting for Cost Including Power Consumption", 2nd International Conference on Cloud Computing and Services Science (CLOSER2012), 査読有, pp.407-412, 2012.4.21 Porto, Portugal.
Satoshi Hikida, Hieu Hanh Le, Haruo Yokota, "A Power Saving Storage Method That Considers Individual Disk Rotation", International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA2012), 査読有, pp. 138-149, 2012.4.18 Busan, Korea.
Masaru IRITANI, Haruo YOKOTA, "Effects on Performance and Energy Reduction by File Relocation based on File-access Correlations", the 1st Workshop on Energy Data Management (EnDM2012), 査読有, 2012.3.30 Berlin, Germany.
Hieu Hanh Le, Satoshi Hikida, Haruo Yokota, "An Evaluation of Power-proportional Data Placement for Hadoop Distributed File System", International Conference on Cloud and Green Computing (CGC 2011), 査読有, pp. 752-759, 2011.12.14 Sydney, Australia.
Xuehua Jiang, Yousuke Watanabe, Haruo Yokota, "Data Allocation Based on XML Query Patterns to Reduce Power Consumption", International Conference on Cloud and Green Computing (CGC 2011), 査読有, pp. 532-539, 2011.12.13 Sydney, Australia
Yousuke Watanabe, Haruo Yokota, "An Energy Saving Scheme on Storage Systems for Video Delivery Services", 2nd International Workshop on Streaming Media Delivery and Management Systems, 査読有, 2011.10.26 Barcelona, Spain.
Yi Wu, Kenichi Otagiri, Yousuke Watanabe, Haruo Yokota, "A File Search Method Based on Intertask Relationships Derived from Access Frequency and RMC Operations on Files",

22th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2011), 査読有, Springer LNCS No. 6860/2011, pp. 364-378, 2011.8.30 Toulouse, France

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)
名称: ストレージ装置、その制御方法およびシステム管理プログラム
発明者: 横田治夫, 引田諭之
権利者: 国立大学法人東京工業大学
種類: 特許
番号: US App. No.:13/579,974
出願年月日: 2013/06/17
国内外の別: 外国出願

〔その他〕

ホームページ等
<http://yokota-www.cs.titech.ac.jp/ecoin/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横田 治夫 (YOKOTA, Haruo)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号: 1 0 2 4 2 5 7 0

(2) 研究分担者

宮崎 純 (MIYAZAKI, Jun)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号: 4 0 2 9 3 3 9 4

小林 隆志 (KOBAYASHI, Takashi)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・准教授
研究者番号: 5 0 3 4 5 3 8 6

小口 正人 (OGUCHI, Masato)
お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科・教授
研究者番号: 6 0 3 2 8 0 3 6

天笠 俊之 (AMAGASA, Toshiyuki)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・准教授
研究者番号: 7 0 3 1 4 5 3 1

波多野 賢治 (HATANO, Kenji)
同志社大学・文化情報学部・准教授
研究者番号: 8 0 3 1 4 5 3 2

渡辺 陽介 (WATANABE, Yosuke)
東京工業大学・学術国際情報センター・助教
研究者番号: 8 0 5 3 2 9 4 4