

令和 4 年 6 月 29 日現在

機関番号：21602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11400

研究課題名（和文）ウェアラブル手書きにおける筆跡復元と認識手法の研究

研究課題名（英文）Research on the Handwriting Trajectory Reconstruction and Recognition with Wearable Sensing Method

研究代表者

荆 雷（Jing, Lei）

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号：30595509

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）：ウェアラブル手書き認識手法（WHWR）をシステムに研究開発しました。
1. 指先に装着できる記録装置を4回試行錯誤しながら、手書き動作を邪魔しないために、装置の小型化や、小型化に伴い電池容量も小さくなるため、連続動作を記録するための省エネ設計などの目標を達成しました。2. 手書きデータ収集のデータベースシステムも開発し、即時に手書きデータの波形や3Dの可視化表示機能も備えて、検証実験に利用されました。3. 連続手書きデータの分割と認識について、DTW(CDP)を利用し、連続手書き分割に高い精度に達成した。文字認識にkernel SVM方法を利用し、10個の手書き数字に97%の認識率に達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

申請者はICDAR17に提案したウェアラブル手書き認識方式（WHWR）を指先に付けられる手書き動作記録装置、およびそれに適用できる認識手法の研究開発によって、発展させました。
「筆記」は、空間と時代を超えて、人間同士がコミュニケーションするために欠かせない手段である。WHWRは既存の手書き認識手法と比べて、任意のペン、あるいは指だけで、自由なスペースで入力できること、さらに、アナログおよびデジタルの情報を同時に記録できることが独自の優れた特徴である。WHWRを発展させ、筆記データのシームレスなデジタル化を実現し、新たな筆記方式の創出に貢献することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：A Wearable HandWriting Recognition (WHWR) System is developed.

1. Through continuous testing on the prototypes of the WHWR sensor node, we have successfully developed a tiny size wearable sensor node. Moreover, the powering issues, which arose from the deployment constrains on the finger nail, have been solved as well. 2. A database for the handwriting data management is developed, together with a visualization function of the data waveforms and the 3D demonstration on the handwriting trajectory, which greatly improve the efficiency of the data analysis. 3. DTW (CDP) is adopted for the segmentation on the continuous handwriting and kernel SVM is adopted for the handwriting characters recognition, which accuracy is about 97% on a 10 digits data set.

研究分野：人間情報学、知的情報学

キーワード：手書き認識 wearable computing handwriting tracking data fusion

1. 研究開始当初の背景

「筆記」は言葉で表現された情報を物理的に保存し、人間限られた記憶力を伸ばした。更に一歩、コンピューターを基にした情報処理技術が、情報を永久に保存することが可能になった。しかし、筆記をコンピューターに預かるために、不可欠な手書き文字デジタル化に関する技術が不十分であるから、情報処理技術のそのものは我々の生活から一歩離れている。GoogleのGyroPen(2015)のように、モーションセンサをペンや手袋に内蔵した手書き入力方法の研究が注目されるようになった。この手法は、ペンと紙に接触した手書き動作だけでなく、非接触の部分の動作も記録できることを特徴とする。タッチパネルよりもさらに豊富な情報を文字認識に利用できるため、理論的には、より安定した高認識率の達成が可能となる。さらに、使用者の視点で考えると、タッチパネルより持ち歩きやすく、どこでも片手で入力できる手軽さがあり、慣れ親しんだ紙上での手書き方式も維持されるため、日常生活、学校教育や仕事の現場など、様々な場面での応用が可能になる。

申請者はICDAR17で発表した論文で、ウェアラブル手書き認識方式(WHWR)を「場所や筆記道具を選ばず、アナログな筆記データを自動的にデジタル化できる方式」と定義し、初歩的な実証実験で、実現可能性を示した。WHWRは既存の手書き認識手法と比べて、任意のペン、あるいは指だけで、自由なスペースで入力できること、さらに、アナログおよびデジタルの情報を同時に記録できることが独自の優れた特徴である。具体的な課題として、センシング装置の設計、文字列の自動分割、筆跡復元・認識手法の創案があり、大いに創造的活動が求められる。これらのことから、WHWRの発展を目指す本研究は非常に特色のある研究になると思われる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、指先に付けられる手書き動作記録装置、およびそれに適用できる認識手法の研究開発によって、ウェアラブル手書き認識方式(WHWR)を発展させることである。

3. 研究の方法

装置の小型化可能な手書き動作記録装置の設計初期試作における設計課題になる。手書き動作を邪魔しないために、装置の小型化に工夫が必要である。小型化に伴い電池容量も小さくなるため、連続動作を記録するためには省エネ設計が欠かせない。最終的に、十分な性能を保証しながら、製作費用が安い実現手段を採用する。

B. 自動分割

連続して書いた一筆文字を、自動的に高精度で分割できる手法を研究した。隣接の文字信号を正確に分割できることが、特徴抽出と文字認識の大前提である。既存手法では、主にセンシングデータの閾値を用いて、自動分割の境界を判別する。しかし、それでは動作の個人差や環境ノイズなど、不安定な要素を取り除くことができず、認識率が下がる要因となっている。たとえば、申請者らが行った連続手指ジェスチャー認識の研究によると、自動分割は手動分割より認識率が平均10%以上下がる(MTA2015)。したがって、安定した自動分割手法を確立することが連続手書き認識の重要な課題である。

本研究では、機能補完的な多種類センサを用いたデータ融合方法で、ノイズの安定した分割手法を模索する。紙面に手書きする場合、ストロークごとにペンアップ動作が伴うので、ペンアップを検知できれば、連続した手書きを分割できる。したがって、本研究では、申請者が提案する多種類センサの機能補完性を利用した、ロバストなペンアップ検知方法を実現することを目的とする(特許2021)。本課題の研究方法は4つのステップから構成される。最初に、多様なセンサ(加速度、ジャイロ、磁気、音声、圧力など)から、さまざまな手書き環境(静止/運動、静寂/混雑、年齢/性別の異なる被験者など)における多次元なサンプルデータをDBに収集する。次に、DB中に保存した各次元のサンプルに対して、実験者が手動でタグをつけて、観察統計を行う。その後、観察統計の結果を回帰分析し、各次元のデータから周辺分布関数

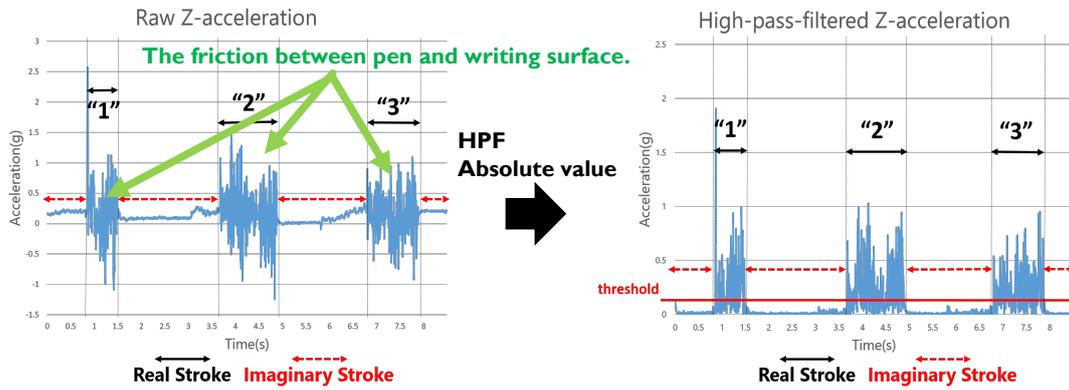


図 1 連続手書き自動分割の手法

を求める。最後に、各次元の周辺分布を結合分布の分析式に入力して、結合分布関数を求める。そして、任意時刻のセンサデータを結合分布関数に入力すれば、分割境界になる確率がわかる。各センサの組み合わせにより、補完性の良いセンサを選択し、自動分割に利用する。

C 筆跡復元

筆跡を忠実に復元するためには、新装置に適用できる手書きモデルの定義が必要になる。タッチパネルなどの既存手法と提案手法とは、主に次の2点で異なっている。まず、前者は平面上の二次元で、後者は空間中の三次元でセンサ記録するため、情報の次元数が違う。したがって、後者のモデルは図3のような空間座標系で議論されるべきである。次に、前者では被験者自身は動かないが、後者ではペンと一緒に動く。つまり、後者のモデルには、二つの座標系、Local Frame (原点 O_{LF}) に加えて、Root Frame (原点 O_{RF}) が必要になる (図3)。そのため、

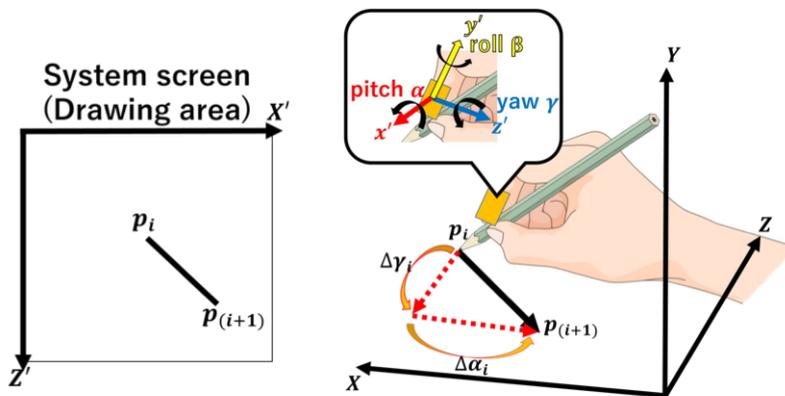


図 2 手書き座標系の定義と筆跡復元

既存の手書きモデルは適用できず、モーションセンサの特徴に合わせた空中筆跡を記述できる手書きモデルが必要になる。

本研究では、機構運動学の手法で、空間中のペン先の軌跡を正確に再現する手書きモデルを定義する。WHWR では、モーションセンサがとらえる手書き動作に、手、ペン、紙の3つ全部が関わっている。したがって、この三者を一つの機構に抽象化する。図3では、ユーザの手のサイズが変わらないので、この機構で不変な部分は支点Cと O_{RF} の距離しかない。他の部分は、全部直動関節 (2 個) と球面関節 (1 個) でつながって動いている。したがって、機構運動学で利用されているDH法 (Denavit-Hartenberg Method) などで、ペン先の任意時点の空間座標を正確に計算できる。そして、分散的なペン先の時系列データを回帰分析すると、連続の軌跡関数が得られる。本申請研究ではこのように、機構運動学のDH法などを手書きモデリングに利用し、三次元手書きモーションデータに適用できる形式的なモデリング手法を研究開発する。

D 文字認識

本研究では、振動や音声などをとらえる多種類センサを利用することにより、モーションセンサを補正する。すなわち、手書き動作が多次元信号を生成する。次元数の増加に伴い、特徴選択と文字認識のために多様な情報が提供されるようになったが、情報量（エントロピー）も増え、情報の不確定性も顕著になった。分類器の訓練にノイズを混ぜたデータを利用すれば、過剰適合の問題を起し、モデルの汎化能力が劣化する。そのため、多次元補完的な信号の中から有用な情報を見極める、特徴抽出と文字認識の手法が必要になる。

そこで、カーネル SVM を研究開発し、他の機械学習手法との比較研究を行った。まず、申請者らが提案したカーネル自動符号化器 KAE (Pei SMC17) を深層学習フレームワークに導入し、KDL 法を開発する。KAE は訓練データをカーネルの主成分分析により高次元空間へマッピングしてから、カーネル線形回帰関数により低次元空間へ還元し、還元したデータと元データの類似度により、特徴値の有効性を定量的に評価する手法である。これが単層の特徴抽出プロセスで、このプロセスの積み重ねが KDL である。次に、文字認識率と計算複雑度などの指標を用いて、HMM、SVM、CNN などの文字認識によく利用される機械学習手法との統計分析および比較研究を行った。

4. 研究成果

A 指先に装着できる手書き動作記録装置の設計

研究期間中に、図 1 に示したように、指先装着型と手部の関節毎装着型、2 種類の記録装置を試作した。

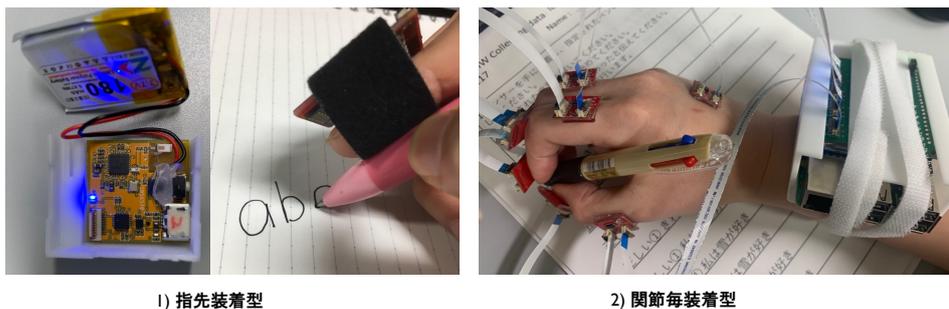


図 3 手書き記録装置の開発

1) 指先装着型記録装置

筆跡記録に必要な機能が全部一つの小型なセンサノードに収めた設計になる。加速度、角速度、磁気、温度などのセンシング機能、BLE 無線通信機能、MPU リアルタイム処理機能、電源管理機能などを実装している。

2) 手関節毎に動きを検知できる装置

Label	1	2	4	b
Segmentation by Real & Imaginary Stroke				
Segmentation by pen-up & pen-down				

図 4 自動分割方法の比較実験の結果

指先だけに装着すると、手部全体の動きを把握できない。手部全体の動きを検知するための装置を設計した。10個のIMUセンサとRaspberry PiをFPCで繋がり、SPIでリアルタイムに手部の動きのデータを収集できる。この装置を利用し、ペンの持ち方の検知の識別などの研究を行った。

B. 自動分割

本研究に提案した real stroke と imaginary stroke の自動検知に基づいた手法を用いて、従来の pen-up と pen-down の手法と比較実験を行った。結果が図に示している。連続的に手書きした文字を分割する場合、我々提案した方法が従来の方法より、もっと綺麗に自動分割することができる。

C 筆跡復元

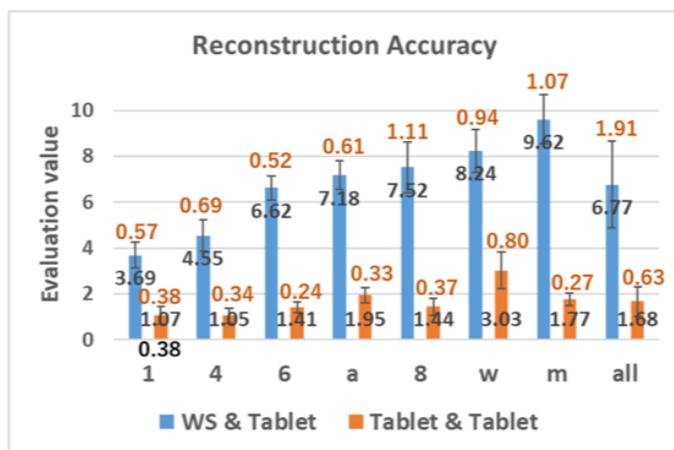


図 5 筆跡復元精度の比較実験の結果

今回提案した筆跡復元の精度とタッチパネルの筆跡復元の精度を比較した。図に示したように、本研究に提案した HWHR 方式の筆跡復元の平均誤差は 6.77cm (±1.91cm)、タッチパネルの平均誤差は 1.68cm (±0.63cm)。

D 文字認識

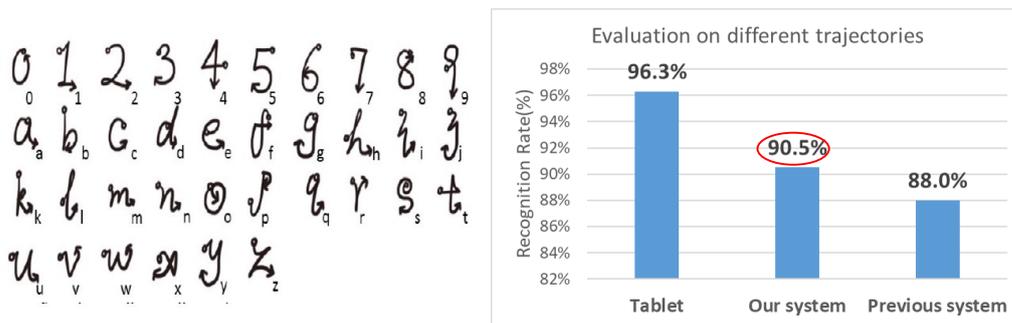


図 6 文字認識率の調査

SVM を利用して、文字認識率調査実験を行った結果、我々提案の手法の認識率が 90.5%、タッチパネル方式より、6%ぐらいが低くなることがわかった。筆跡復元の精度を改善して、認識率も 95%以上になることが可能でしょう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Dai Zeyang, Jing Lei	4. 巻 1
2. 論文標題 Lightweight Extended Kalman Filter for MARG Sensors Attitude Estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/JSEN.2021.3072887	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 Yamagishi Shunsei, Jing Lei	4. 巻 13
2. 論文標題 Pedestrian Dead Reckoning with Low-Cost Foot-Mounted IMU Sensor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 610~610
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi13040610	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 Chen Hongbo, Li Menglei, Jing Lei, Cheng Zixue	4. 巻 9
2. 論文標題 Lightweight Long and Short-Range Spatial-Temporal Graph Convolutional Network for Skeleton-Based Action Recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 161374~161382
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2021.3131809	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 -

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 3件/うち国際学会 16件）

1. 発表者名 Lu Chenghong, Wang Jiangkun, Jing Lei
2. 発表標題 Hand motion capture system based on multiple inertial sensors
3. 学会等名 ACM Proceedings of the 18th Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys '20). (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Dai Zeyang, Lu Chenghong, Jing Lei
2. 発表標題 Time Drift Compensation Method on Multiple Wireless Motion Capture Nodes
3. 学会等名 13th International Conference on Human System Interaction (HSI) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Z. Dai and L. Jing
2. 発表標題 Real-Time Attitude Estimation of Sigma-Point Kalman Filter via Matrix Operation Accelerator
3. 学会等名 2019 IEEE 13th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Wang, T. Endo, C. Lu, L. Jing
2. 発表標題 A Novel AR Whiteboard System and Usability Study
3. 学会等名 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Dai, C. Lu, and L. Jing
2. 発表標題 Time Drift Compensation Method on Multiple Wireless Motion Capture Nodes
3. 学会等名 13th International Conference on Human System Interaction HSI 2020 (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Y. Pei, L. Jing
2. 発表標題 Selection Issues of Kernel Function and Its Parameters of Hard Margin Support Vector Machine in a Real-world Handwriting Device
3. 学会等名 The 7th International Conference on Frontier Computing(FC2018) (Best Paper Award) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lei Jing
2. 発表標題 Learn to Capture the Body Motion with Inertial Sensing Method
3. 学会等名 IEEE 13th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc2018) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Suzuki, L. Jing
2. 発表標題 Motion Capture Glove: An Intuitive Wearable Input Device
3. 学会等名 the 7th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lei Jing
2. 発表標題 Wearable Input Device and Motion Capture
3. 学会等名 the 2nd UoA and YU Cooperative Research Seminar (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lei Jing
2. 発表標題 WonderEngine: Architecture, Applications, and Open Issues
3. 学会等名 LPIC-CNVFAB Symposium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Van Quan Dang and Yan Pei
2. 発表標題 A Study on Feature extraction of handwriting data using kernel method-based autoencoder
3. 学会等名 9th IEEE International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yan Pei, and Jianqiang Li
2. 発表標題 Chaotic Evolution with Random Crossover Rate in Single Objective Optimization Problems
3. 学会等名 9th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Sakuma, H. Li, and L. Jing
2. 発表標題 Toothbrush Force Measurement and 3D Visualization
3. 学会等名 the 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 J. Wang and L. Jing
2. 発表標題 Operation Efficiency Study on a New Cooperative VR Whiteboard System
3. 学会等名 the 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hoshi, C. Lu, and L. Jing
2. 発表標題 Haptic Finger Glove for the VR Keyboard Input
3. 学会等名 the 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Miyada and L. Jing
2. 発表標題 E-Textile-Based Tactile Sensor to Detect the Hand Strength Distribution for Preach Harvesting Training
3. 学会等名 the 23rd International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Chen and L. Jing
2. 発表標題 Light-weight Enhanced Semantics-Guided Neural Networks for Skeleton-Based Human Action Recognition
3. 学会等名 the 14th IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Li, L. Jing, and F. Liu
2. 発表標題 A Real-Time Lightweight Method to Detect the Sixteen Brushing Regions Based on a 9-axis Inertial Sensor and Random Forest Classifier
3. 学会等名 The 9th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Nakamura and L. Jing
2. 発表標題 Skeleton-Based Sign Language Recognition With Graph Convolutional Networks on Small Data
3. 学会等名 the 24th International Conference on Human-Computer Interaction (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 特許権	発明者 荆雷	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、6821174	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>研究室ホームページ(手書きプロジェクトを載せたページ) https://www.u-aizu.ac.jp/~leijing/research/ 研究室ホームページ(手書きプロジェクトを載せたページ) https://www.u-aizu.ac.jp/~leijing/research/ 研究室ホームページ http://www.u-aizu.ac.jp/~JLab/</p>

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
研究 分 担 者	裴 岩 (裴岩) (Pei Yan) (30736004)	会津大学・コンピュータ理工学部・准教授 (21602)	

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