

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01647

研究課題名（和文）非接触・非侵襲ビッグデータによるスポーツ動作解析・推定システムの最適化技術の確立

研究課題名（英文）Optimization Technology of Sport Motion Analysis and Estimation System by Non-contact and Non-invasive Big Data

研究代表者

明石 卓也（Akashi, Takuya）

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：50403655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：以前より積み重ねてきた非接触・非侵襲なセンシング等によって得られるビッグデータを精査し、データの抽出方法、加工方法、寄与度等を自動決定するフレームワークの確立することにより、アスリートの育成のための、より高度な教育基盤の構築やチームワーク解析など先進的なスポーツ科学分野における、ビッグデータの利用を目指している。新たな姿勢推定手法の確立、音声と画像といった異なるデータを用いたマルチモーダル深層学習フレームワークの確立、ニューロサイエンス分野における自発的な脳のリズムの存在の発見、運動障害を症状とする病気の診断ツールへ応用が可能となるタッピング周波数分析パラダイムの確立といった研究成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的にコンピュータビジョン分野や市販の計測装置では単一のデータを用いる。本研究では、音声と画像など異なる複数種類のデータから構成されるビッグデータを扱う。このような量、種類、スケール（サンプリング周波数等）の異なる多数のデータを扱う手法は少ない。また、複雑なデータ処理をパラメータ化し、最適化問題として扱う試みは、独創的で、我々の知る限り例がない。また、タッピングの周波数を分析するパラダイムを提案し、パーキンソン病などの運動に影響する病気の診断にも役立つことが研究成果によって示されている。これらの成果は、スポーツ科学のみならず、他分野における今後の行動分析・推定の足掛かりになると考えられる。

研究成果の概要（英文）：We have accumulated the non-contact and non-invasive sensing research up until now.

In this research, the big data obtained by these is scrutinized and the framework which determines the extraction method of data, a processing method, a contribution, etc. automatically is established. Thereby, we aim the construction of a more advanced educational foundation for an athlete's training, and use of the big data in the advanced sports science fields, such as teamwork analysis.

We achieved some results as follows, establishment of the new posture estimation technique; establishment of the multi-modal deep learning framework using different data, such as a sound and a image; discovery of the existence of the rhythm of the spontaneous brain in the neuroscience field; establishment of the tapping frequency analysis paradigm which may provide a simple and objective diagnostic tool for measuring implicit deficits of spontaneous rhythms/tempo generation.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：スポーツ科学 3次元人物姿勢推定 マルチモーダル学習 深層学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人物の行動解析および推定は、スポーツ動作や行動解析、認知神経科学分野における自閉症などの神経発達障害の判定、消費者行動の解析、犯罪の抑止など多くの分野で必要である。また、5年後の2020年にオリンピックが東京で開催され、アスリート育成のため、スポーツ科学における動作および行動の解析は重要である。また、アスリートの行動を数値化し、客観的な指標による評価は必要不可欠となっている。例として、心拍計がサッカーに導入され、FIVB ワールドカップバレーボール 2015 大会において POLAR 社製の心拍数センサが使われている。最近では、東レと NTT が開発した機能繊維素材 hitoe を用いたウェアラブルセンサも実用化されている。しかし、送信機 (70×36.7×9.5mm) が必要となり、使用感がまったく無いとは言えない。さらに、チームメイト間のコミュニケーションもセンシングするためには、単一のデータのみならず音声等のマルチメディアデータも利用すべきである。

マルチメディアデータに関する分野では、多種のデータをビッグデータとして扱い、データマイニングの技術を適応した研究があるが、データの抽出のみに関する研究が多く、行動解析や推定に最適なデータの抽出、加工、寄与度の算出等の複雑なデータ処理を考慮した研究は少ない。また、これらの処理はデータの量、種類、スケールの違いなどにより、自動化は難しく、人間が最適な処理を見出すのも非常に困難である。以上の理由から、コンピュータビジョンなどのマルチメディア情報を用いる行動解析や推定に関する研究は進んでいないのが現状である。

一方、我々は、単眼カメラを用い、非接触かつ非侵襲な、世界でも類を見ない方法によって、眼球、手領域、人体などの対象物体の検出、追跡、姿勢推定、センシングに関する研究に取り組んできた。これらは、最適化手法のひとつである進化計算を動画処理に適用したもので、他の研究では成し得ておらず、「進化的動画処理」と呼ばれる。特に、眼球運動や顔のセンシング、多変数パラメータ推定などの研究成果をメディアでの報道や採択率の低い著名な国際会議で発表してきた。また、H27 年度までの科学研究補助金 (若手 B) により、3 次元空間における人物動作のセンシング技術を研究開発した。

本研究では、これらの技術を基盤とし、センシングの研究で培った最適化技術を、行動のセンシングに利用するだけでなく、ビッグデータにも適用し、スポーツ動作や行動解析・推定に最適なデータ処理を自動決定するフレームワークの確立に必要な技術を開発する。

2. 研究の目的

本研究では、『行動解析・推定システムへの応用を念頭に、シンプルなデータで構成されるビッグデータに対し、最適化技術により、複雑なデータ処理を自動生成するフレームワークを確立する』ことを主な目的とする。我々が以前より積み重ねてきた非接触・非侵襲なセンシング等によって得られるビッグデータを精査し、データの抽出方法、加工方法、寄与度等を自動決定するフレームワークを確立することにより、アスリートの育成のための、より高度な教育基盤の構築やチームワーク解析など先進的なスポーツ科学分野における、ビッグデータの利用を目指す。

進化的手法は、組み合わせ問題における最適化能力は比較的高いが、精度と処理速度の間にはトレードオフがある。それゆえ、高速な動画処理に対応できないと考えられてきた。しかし、行動センシングでは、各パーツの変化の特徴を詳細に分析して効率化することができる。この考えを取り入れた進化的動画処理によって 2 次元の動画からの 3 次元における動作のセンシングが可能となることは、申請者の以前の研究により示されている。また、多変数 (アフィン) パラメータのように多次元の最適化問題に対しても、我々の手法は有効である。本申請で扱うビッグデータのデータ処理の最適化は、まさに多次元の問題である。そこで、これらの研究をマルチメディアビッグデータ処理に発展させ、『さまざまな非接触かつ非侵襲かつシンプルなマルチメディアビッグデータから行動分析のために必要な抽出方法、加工方法、寄与度の決定など複雑なデータ処理を自動的に生成する、従来にはないフレームワーク』の実現を図るとともに、その研究開発過程の詳細を取り纏めることで既存の動作センシングシステムをより充実させ、それに基づく動作および行動の解析により、多くのスポーツ分野における高度なトレーニングシステムを求める声に応えていこうというのが本研究である。具体的には、複雑なデータ処理をパラメータ化し、これらを最適化するアルゴリズムを構築する。この最適化によってデータ処理を自動的に生成する。また、本申請は基礎的な研究であり、問題点を明らかにしやすくするため、複雑なスポーツ動作を対象とせず、認知神経科学分野における神経発達障害者の判別問題などでサンプリングされる動作単位のデータを扱い、これらの問題に適応可能か確かめる。さらに、比較により最適な最適化手法を見つけることも目的の一部である。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、大きく「データ収集」、「行動解析・推定システム最適化フレームワーク」、「まとめと発表」の 3 項目に分けて 3 年間で研究を連携研究者と共に実施する。各項目は小項目に分かれており、必要に応じて小項目間で研究結果がフィードバックされる。

初年度は主としてデータ収集に関する種類や方法の検討および収集に取り組む。

2 年目以降は 1 年目に取得したデータを利用しつつ、行動解析・推定システム最適化フレームワークのアルゴリズムを検討し、検証および洗練化に取り組む。必要であれば、再度、データの取得方法などを再検討する。また、年度ごとに成果をまとめ、複数回の学会にて発表する。さらに、研究成果公開用のウェブページに関しては、期間中は随時作成・更新する。

本研究は 2017 年から 2019 年に実施した「国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）」（16KK0069）の基課題である。国際共同研究加速基金の実施により、我々が製作した装置を用いて、共同研究先である玉川大学、福井大学の協力を得て、カリフォルニア工科大学における行動心理実験を通じて、新たな知見や実験結果を得ており、これらの成果を本研究に反映させ、研究をさらに発展させ、学会における発表を行うため、研究期間の 1 年延長した。研究成果として、ジャーナル論文 4 件、国際会議 2 件が採択され、国内会議 2 件の発表を実施するに至った。

4. 研究成果

代表的な研究成果として以下の 3 件を挙げる。

(1) A Novel Rat Head Gaze Determination System Based on Optomotor Responses (引用文献)

本研究の目的のひとつであるセンシング技術の応用研究およびデータ収集手法に関連する研究として、ラットの運動を非接触センシングする視力検査システムを構築した。

動物の視運動反応はそれらの視覚的能力を計測するために使用される。この研究成果では、コンピュータの画面やプロジェクターを使用した刺激を用いて眼球運動、頭部及び体の動きを計測して視線の変化を特徴付けることに焦点を当てる。従来の方法では、動物の侵襲的固定、または刺激追跡の動きを報告する人間の観察者の判断に依存しているといった問題がある。

コンストラクト閾値、スペクトル感度、空間的 / 時間的視力といった視覚特性は視運動反応により測定される。ラットの視覚を計測するためにはラットの身体や頭部の計測が重要である。

この研究成果では、「人工マーカーなしでラットの頭の動きを自動的に追跡する新しい頭部の視線決定システムを提案し、視覚的パフォーマンス分析のために大量の記録されたデータから自動的に頭の視線方向を生成するためのシンプルで便利な客観的なソリューションを提供する」ことを主な目的とする。

実験では、刺激を提示するためにプロジェクターと投影スクリーンを利用する。画面は、仮想シリンダー内で約 90° の円弧とし、あらかじめ決められた速度で回転する円形の刺激が平面のスクリーンに投影される。応答動作は、プラットフォームの上部に設置された高さ調整可能なカメラによって記録される。

計測結果の例を図 1 に示す。赤線は、注目領域内で抽出された体の輪郭、青矢印は、4 つのサポートポイントを使用して抽出された頭のベクトルを表す。また、輪郭上のふたつの対称ポイント（青）、それらの中間点（緑）、鼻のポイント（緑）を表示している。この図中のすべての点、線、およびテキストは提案手法の実装プログラムによって自動的に生成されている。図 2 に提案手法とグラントゥールス（手動で求めた正解データ）の比較結果を示す。本実験は、手動アノテーションによってグラントゥールスを含むデータセットを使用しており、ピッチ、ヨー、

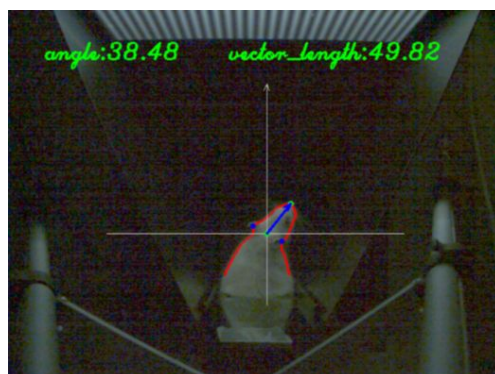


図 1 : Result of gaze measurement by head motion.

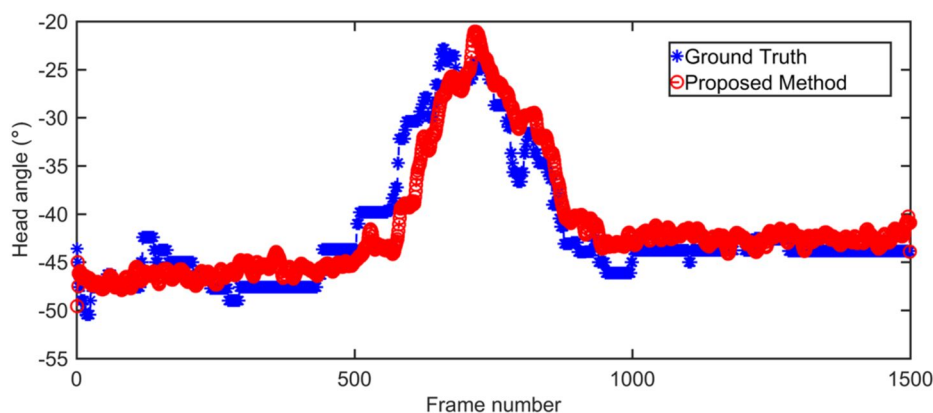


図 2 : Comparison between proposed method result and ground truth.

ロールの 3 次元にわたる頭の回転を含む 1500 枚のキャプチャ画像が含まれている。赤い曲線は、提案手法での最適な測定結果であり、MSE (平均 2 乗誤差) は 6.73 である。青い曲線は、手動アノテーションによるグラントゥールースである。以上のように実用性の高いラットの視力検査システムを構築した。このような非接触技術は本研究の目的のひとつであるセンシング技術の洗練化やデータ収集手法技術の構築に寄与している。

(2) Multi-view Face Detection using Frontal Face Detector (引用文献)

顔検出に関する研究は既に実用化されており、多くの成果が出ている。ただし、さまざまな角度の横顔検出は依然として困難である。一般的な解決策は、決定木によって編成された異なる検出器を構築し、各検出器が単一または複数の視点を処理することであるが、各視点の顔の学習画像を収集するにはコストがかかる。また、すべての角度の横顔を十分に収集することは難しく、多くの横顔検出器は正面顔検出器と同じように機能しないのが現状である。

スポーツ科学分野に応用可能な輝度技術として、様々な横顔視点のデータ収集やトレーニング処理を必要とせず、複数視点顔を検出するために正面顔検出器を再利用するという新しい方法を提案する。一般的な正面顔検出器の可能性を活用することに焦点を当て、その応用に複数視点顔に拡張することを目指す。

正面顔画像のみを使用して複数視点顔を検出するために提案された方式は、鏡映反転という一般的な現象に動機づけられる。鏡映反転は、一般的に鏡の画像の左から右へ反転されて認識することを指す。また、人間の顔検出においては、顔検出器が、候補領域が人間の顔であるかを区別することなので、人間の顔の左半分もしくは右半分で顔全体に必要なすべての情報を顔検出器に提供することが可能である。

図 3, 4 に正面顔検出器の性能比較を示す。SURF カスケード分類器はわずかな範囲でヨーと

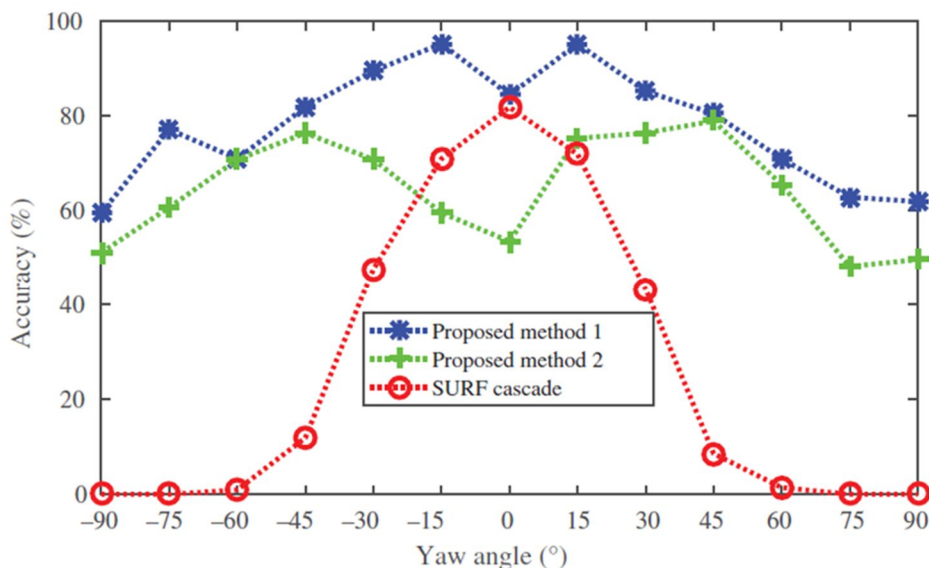


図 3 : Comparison results (yaw angle).

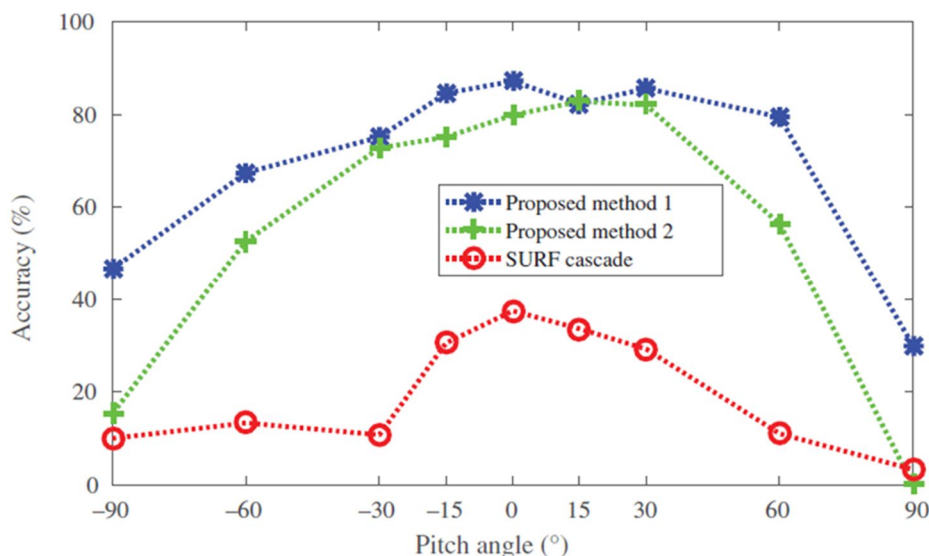


図 4 : Comparison results (pitch angle).

ピッチに対応しているが、我々のスライディングウィンドウを用いた反転方式が最も精度が良かった。提案手法は、正面顔検出器を多視点の顔検出器に変化できた。この研究は、提案手法を用いることで、対称性を有するあらゆる物体の姿勢変化にロバストな検出を実現する可能性を示しており、スポーツ科学分野において利用可能であると考えられる。

(3) Cross-Domain Deep Feature Combination for Bird Species Classification with Audio-Visual Data (引用文献)

チームプレイを主とするスポーツにおいて、チームメイト間のコミュニケーションは重要である。コミュニケーションの量と質を自動的に評価するためには、音声や画像といった異なるスケールのデータを融合させて扱う必要がある。ニューロサイエンス分野やコンピュータビジョン分野においても、異なるデータを同時に扱って情報を分析することは非常に重要である。そこで、本研究成果では、鳥の種類判別を例として取り上げた。実勢の研究では、鳥の画像と鳴き声が関連付けられているデータセットを用いる。

本研究成果としては、深層学習を用いたマルチモーダル学習モデルを3種類(異なる融合戦略: 序盤, 中盤, 終盤)提案・比較し、効率的なモデルを発見している。

表1に結果をまとめる。深層学習を使用してふたつのモダリティを組み合わせると、音声のみを用いた場合や画像のみを用いた場合(単一のモダリティ)よりも性能が向上していることが分かる。また、序盤において画像と音声から別々に特徴を抽出し、終盤で融合すると性能が大幅に向上することが分かる。一方で、序盤または中盤の融合モデルの性能は単一のモダリティのモデルの性能よりわずかに優れている。深層学習は優勢なモダリティの特徴を学習することが理由のひとつであると考えられる。図5に単一のモダリティと異なる融合方法に対する性能を示す。Net3におけるすべてのフュージョン方法のアプローチは結果が改善されることが分かった。

表1: Comparative results between individual modality and multi-modal CNNs

Method		Accuracy (%)
Single modality	Image	16.2
	Audio	46.4
Multimodality	Net1	50.0
	Net2	49.9
	Net3 (summation)	53.8

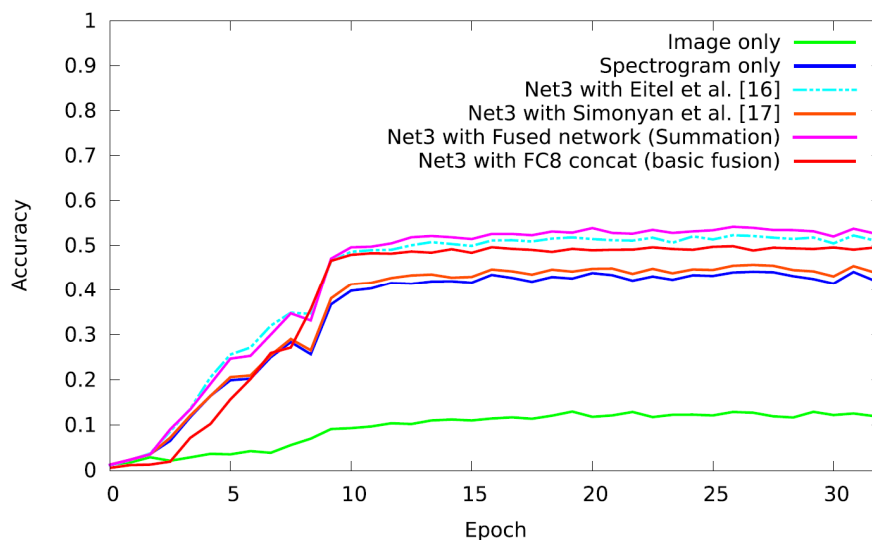


図5: Test accuracy V.S. Epoch

< 引用文献 >

Mengbo You, Toshiyuki Yamane, Hiroshi Tomita, Eriko Sugano, Takuya Akashi, A Novel Rat Head Gaze Determination System Based on Optomotor Responses, PLOS ONE, 12(4): e0176633, 2017

Mengbo You and Takuya Akashi, Multi-view Face Detection using Frontal Face Detector, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.13, No.7, pp.1011-1019, 2018

Bold Naranchimeg, Chao Zhang, Takuya Akashi, Cross-domain Deep Feature Combination for Bird Species Classification with Audio-Visual Data, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E102-D, No.10, pp.2033-2042, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 You Mengbo, Yamane Toshiyuki, Tomita Hiroshi, Sugano Eriko, Akashi Takuya	4. 巻 12
2. 論文標題 A novel rat head gaze determination system based on optomotor responses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0176633
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176633	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 You Mengbo, Akashi Takuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Multi-view face detection using frontal face detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1011～1019
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1002/tee.22658	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 Sun Haitian, Zhang Chao, Akashi Takuya	4. 巻 14
2. 論文標題 Recurrent bidirectional visual human pose retrieval	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 1074～1081
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1002/tee.22902	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 BOLD Naranchimeg, ZHANG Chao, AKASHI Takuya	4. 巻 E102.D
2. 論文標題 Cross-Domain Deep Feature Combination for Bird Species Classification with Audio-Visual Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 2033～2042
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1587/transinf.2018EDP7383	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 平山洋輝, 孫海天, 張潮, 明石卓也
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムを用いた単一画像における2Dアノテーションからの人物の3次元姿勢推定
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップVIEW2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀田克哉, 東海彰吾, 張潮
2. 発表標題 オンライン視覚追跡における周波数領域による画像ブラー解析を用いた探索領域補正に関する研究
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップVIEW2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中根拓未, 明石卓也, 張潮
2. 発表標題 テンプレートマッチングにおける確率的なビット操作による最適化手法の提案
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップVIEW2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haitian Sun, Chao Zhang, Takuya Akashi
2. 発表標題 3D Skeleton Matters: Human Pose Retrieval by Human Pose Reconstruction
3. 学会等名 The 23rd International Workshop on Frontiers of Computer Vision (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroki Hiroyama, Haitian Sun, Chao Zhang, Takuya Akashi
2. 発表標題 Interactive Depth Ambiguity Correction for 3D Human Pose Estimation
3. 学会等名 The 23rd International Workshop on Frontiers of Computer Vision (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sai Sun, Daw-An Wu, Takuya Akashi, Morimichi Furudate, Chao Zhang, Tetsuya Matsuda, Muneyoshi Takahashi, Shinsuke Shimojo
2. 発表標題 Free finger tapping tempo reflects intrinsic brain rhythms (1): assessed by EEG
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会-第62回日本神経化学会大会 (NEURO2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Muneyoshi Takahashi, Takayuki Fujii, Sai Sun, Atsushi Miyazaki, Takuya Akashi, Morimichi Furudate, Chao Zhang, Toru Ishihara, Hiroki Tanaka, Haruto Takagishi, Shinsuke Shimojo, Tetsuya Matsuda
2. 発表標題 Free finger tapping tempo reflects intrinsic brain rhythms (2): assessed by resting-state fMRI
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会-第62回日本神経化学会大会 (NEURO2019)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Smart Computer Vision Laboratory - 岩手大学 http://www.scv.cis.iwate-u.ac.jp/ Reliable Pattern Analysis Lab. http://www.labzhang.com/

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	張 潮 (Zhang Chao) (70803419)	福井大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13401)	
連携 研究者	下條 信輔 (Shimojo Shinsuke) (70183837)	玉川大学・脳科学研究所・特別研究員(客員教授) (32639)	
連携 研究者	松田 哲也 (Matsuda Tetsuya) (30384720)	玉川大学・脳科学研究所・教授 (32639)	