

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11515

研究課題名（和文）深層学習の効率を高める進化的敵対学習と時間的特徴量の有効利用に関する研究

研究課題名（英文）Effective use of evolutionary adversarial learning and temporal feature to improve deep learning performance

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：人間の認知能力に近い行動・情動推定システムの実現を念頭に、空間的特徴と時間的特徴を融合した手法を確立することを主な目的としている。

初年度では、3次元点群の特徴量マッチング手法や、オーディオデータと画像データを用いたマルチモーダル学習手法を提案し、ジャーナル論文を発表した。2年度目は特徴量の新たなマッチング手法の研究に取り組み、深層学習および転移学習を用いた新たな手法を提案し、ジャーナル論文として発表した。3年度目では、部分的に遮蔽頭部の検出に関するジャーナル論文を発表した。最終年度では、空間特徴量と時間特徴量の融合技術の検討を進め、国際会議において発表し、ジャーナル論文として執筆中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンピュータビジョン分野においては、国内外の物体の認識手法として、深層学習が脚光を浴びているが、空間的な情報を用いるものがほとんどで、人体の関節など重要な特徴点の移動量の時間的変化を扱う研究は申請者の知る限り存在しない。さらに、空間的特徴量と時間的特徴量を組み合わせる手法も類を見ない。

本研究では、深層学習等の人工知能における空間的特徴と時間的特徴を融合に関して研究・開発した。このような手法が確立されれば、より人間の認知能力に近い行動・情動推定システム等が実現され、コンピュータサイエンス分野やニューロサイエンス分野におけるブレイクスルーにつながると思われる。

研究成果の概要（英文）：The main objective of this paper is to establish a novel approach that integrates spatial and temporal features in order to achieve a behavior and emotion estimation system that closely resembles human cognitive abilities.

In the first year, we proposed a feature matching method for 3D point clouds, and a multimodal learning approach using audio and image data and published it as a journal paper. In the second year, we focused on researching new matching schemes for feature descriptors and proposed a novel method using deep learning and transfer learning. This research was also published as a journal paper. In the third year, we published a journal paper on the detection of partially occluded human heads. In the final year, we are further exploring the fusion of spatial and temporal feature descriptors and present at international conference. We are also in the process of writing a journal paper on this topic.

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 ビッグデータ 進化計算 深層学習 コンピュータビジョン

### 1. 研究開始当初の背景

スポーツ科学や行動心理学など多くの分野において、行動・情動のセンシングは非常に重要である。さらに、オリンピック会場における監視カメラなど安心・安全な社会の実現に必要な不可欠である。これまで Vicon のような複数の高価なカメラを用いマーカーを装着する方式が提案されている。また、マーカーを用いない手法もあるが、設置の手間などの問題があり、実用性が低い。

一方、近年、深層学習によりセンシングする手法が多く提案されている。深層学習を高性能化する研究も多く、特に最新の手法に敵対的学習と呼ばれる手法がある。この手法は、本来の目的に合うネットワーク (network, 以後 NW と略記) と、それに敵対する NW を競わせながら学習させ、高性能な NW を構築する学習方法である。この手法の問題は、学習やサンプルの生成に時間や多大な人的資源を要する点である。この問題に対し、本研究では、最適化手法である遺伝的アルゴリズム (生物進化の工学モデル, Genetic Algorithm, 以後 GA と略記) を用いて、軽量の敵対的学習である進化的敵対学習の実現を目標とする。また、深層学習の実利用の妨げとなっている理由のひとつに、エラーの原因の解析が困難な点がある。GA は解析が容易という利点があるため、GA を用いたエラーの原因の解析手法の開発について取り組む。さらに、大量データ自動解析のツールへの要望や人間の行動の意思決定のプロセスの理解などのニューロサイエンス・行動科学分野のニーズに応えることも目的である。

スポーツ競技や社会生活におけるチームワークや情動の認知では、視線、表情、指先の動きなど短時間に生じる微小な変化の認知は非常に重要である。人間は、相手の情動を認知し、次の動作を予測しようとする場合、容易に微小な変化の認知が可能であり、情動の予測に有効活用している。それは、空間的な情報 (位置や座標) のみならず時間的な情報 (関節など重要な特徴点の移動量の時間的変化) を有効活用しているからだと考えられる。一方、深層学習では、空間的な情報のみを用いるのが主流である。そこで、本研究課題のもうひとつの学術的な問いとして、「空間的特徴と時間的特徴を上手く融合させるような人間の認知能力をコンピュータ内で実現できるか」を設定した。

### 2. 研究の目的

本研究では、

『人間の認知能力に近い行動・情動推定システムの実現を念頭に、遺伝的アルゴリズムを有機的に組み合わせ、空間的特徴と時間的特徴を融合して構成するビックデータを利用する新たな深層学習を確立する。』

ことを目的とする。我々がこれまで基盤研究 (C) や国際共同研究加速基金によって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クデータの収集及び利用法をさらに洗練化する。また、アスリートの育成や教育基盤の構築に資する情動推定システムの構築を目指して新たに最適化アルゴリズム等を用いて軽量化された深層学習を提案する。

### 3. 研究の方法

本研究では、人間の認知能力に近い行動・情動推定システムの実現を念頭に、GA 等を敵対学習と組み合わせ、新たな軽量化された深層学習を提案するとともに、空間的特徴と時間的特徴を融合して構成されるビックデータを扱うスキームの構築を目的とする。さらに、ニューロサイエンス分野の研究協力者 (カリフォルニア工科大学・玉川大学 下條信輔教授, 玉川大学 松田哲也教授) の協力を得て、行動推定のための最適化アルゴリズム等を用いた新たな深層学習手法を確立することを目的とする。

一般的な深層学習で用いられる空間的特徴量だけではなく、時間的特徴量を用いる点が新しい。従来手法では、簡便なため静止画像の画素をそのまま入力層へ入力する。したがって、学習される膨大な量の静止画像は、動画として扱われるのではなく、空間的な特徴量、つまり個別に得られたデータとして学習される。一方、人間の脳では、対象物体の構成要素 (たとえば、人体であれば関節や体のパーツ) がどのように動いたのかの情報を利用して行動を認知している。つまり、空間的特徴量だけではなく、時間的な変化の仕方 (時間的特徴量) を学習していると考えられる。本研究では、深層学習において、この仕組みを実現することを目的としている。そのために、空間的特徴量と時間的特徴量の融合に取り組み、上述の研究協力者と議論し、新たな深層学習のスキームを提案する。これらの点について、工学的、科学的、学際的な見地から学術的独創性と創造性があるといえる。さらに、ニューロサイエンス・行動科学分野への大量データ自動解析のツールを提供すると共に、脳の機能の理解に貢献し、機械学習・画像認識の性能飛躍の向上の、一石二鳥以上を狙う。

さらに、本研究では、従来の研究で扱われる人間の姿勢やダイナミックな動きを扱うのではなく、情動の認知に有用な顔表情や指の動きなどの短時間における微小な動きを対象とする点に

オリジナリティがある。

本研究では「空間的特徴量と時間的特徴量の融合アルゴリズムの開発」に取り組む。まず、これらに関して、ニューロサイエンス分野の研究協力者と議論を重ね、ニューロサイエンス、行動心理学（心理物理学）のニーズに応え、脳の振る舞いを考慮し、時間スケールも考慮した GA を用いて敵対学習のパラメータ設定を最適化する。同時に、ハイスピードカメラによって、指の動きや情動の推定に役立つ表情のデータを収集し、アルゴリズムを洗練化する。

本研究の目的を達成するために、データ収集、空間的特徴量と時間的特徴量の利用方法の確立、まとめと発表に関して研究協力者と共に実施する。

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。さらに、空間的特徴量と時間的特徴量を学習した後に組み合わせるのか、学習途中に組み合わせるのか、といった融合の方法について検討する。

2 年目以降は 1 年目に取得したデータを利用しつつ、空間的特徴量と時間的特徴量を利用するアルゴリズムを検討し、アルゴリズムの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検討する。また、年度ごとに成果をまとめ、複数回の学会や論文投稿に加え、著名な国際会議で順次、発表を行っていく予定である。さらに、研究紹介の形式で高校生にも分かりやすい言葉で web ページに掲載し、オープンキャンパス等において紹介する予定である。

#### 4. 研究成果

初年度では、指や膝の微小周期運動のデータ収集の取得方法について検討した。指の微小周期運動については、岩手大学で制作した既存のハードウェアの改良に取り組み、共同研究者であるカリフォルニア工科大学や玉川大学と密に連携をとりながら、実際にデータ収集を実施した。また、膝の微小周期運動の収集については、カメラの選定を実施した。特に、指については 2 件の学会発表を実施している。

さらに、空間的特徴量と時間的特徴量を同時に有効利用するアルゴリズムを検討するために、まず第 1 段階として、視覚（画像）と音声（音）データの組み合わせを活用した鳥の種類の分類を題材に研究を進め、ジャーナル論文として発表した[1]。具体的には、トレーニングデータとして異なる種類のデータを組み合わせるための、3 種類の融合戦略（序盤、中盤、終盤）を持つ CNN ベースのマルチモーダル学習モデルを提案した。この提案手法の利点は、CNN を使用して画像および音声データ（スペクトログラム）から特徴を抽出するだけでなく、異なるモダリティ間の特徴の組み合わせも行えることにある。実験では、我々が独自に収集した音声データセットと、CUB-200-2011 標準データセットを用いてネットワーク構造をトレーニングおよび評価した。その結果、両方のデータの組み合わせを利用したモデルが、単一のデータタイプのみを用いたモデルよりも優れた性能を示すことを確認した（図 1）。また、転移学習が分類の性能を大幅に向上させることも示した。

第 2 年度では、指や膝の微小周期運動（図 2）のデータ収集の取得方法について検討した。特に、膝の微小周期運動のセンシング手法の研究に取り組み、人工知能の入力として利用可能な微小周期運動データ収集法を確立した。その成果について、共同研究者であるカリフォルニア工科大学との共同研究として国内学会において発表した[2]。さらに、ここ数年において注目されている Transfer Learning を用いた新たな深層学習による物体認識手法について検討し、国際雑誌へ投稿し、採録されている。

第 3 年度では、脳内の物体認識アルゴリズムの解明のカギとなる可能性が高い、遮蔽された頭部（図 3）の効率的な検出手法を提案し、成果としてジャーナル論文が採択された[3]。顔が部分的に遮られている場合、畳み込みによる解決策は単純に遮蔽された画像をトレーニングデータに加え、部分的な遮蔽に対して頑健なモデルを学習する手法が一般的である。これらの過程は学習の負担を増やすだけでなく、遮蔽のない通常の画像を識別するモデルにも影響を与える。この本論では、部分的な遮蔽の影響を排除するための顔画像再構築の研究問題を調査した。また、顔が大まかに左右対称であるという現象に基づき、遮蔽された領域の顔情報を完全な半顔で再構築することを提案している。具体的には、左半分の顔の遮蔽は右半分の顔の特徴の線形結合に

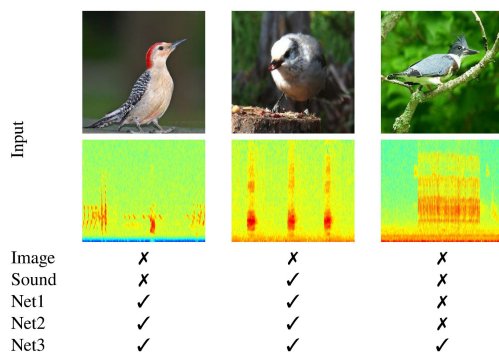


図 1：画像とスペクトルの組み合わせ効果

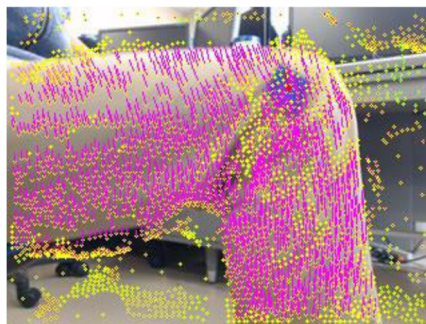


図 2：膝微小周期運動のセンシング結果

よって再構築する（逆も同様）．この処理は，係数行列に行スパース性を保ちつつ， $l_{2,1}$  ノルム正則化による再構築誤差を最小化することでモデル化する．最適化問題を解決するために反復アルゴリズムを提案した．有効性を検証するため，通常の顔画像で事前学習された AlexNet モデルを用いて，様々な遮蔽画像をテストした．実験により，提案手法が分類性能を効果的に改善していることが示された．



図 3：頭部の遮蔽の例

最終年度では，スポーツ分野における行動・戦略・意図・チームワーク（対人協調）などの精緻な分類，解析方法に応用可能な，空間的特徴量と時間的特徴量の融合技術の検討を進め，認知心理学に関連する国際および国内会議において発表した[4,5]．この研究では，外部刺激によって誘発されるプラナリアのふたつの行動タイプの分類を目的としている．プラナリアは，自由運動する扁形動物の一種であり，頭部の一部が失われても学習能力や再生能力を持つことで知られている．そのため，プラナリアは臓器再生の研究において実験モデルとして使用される．一方で，プラナリアの行動の実験的な観察と評価は，一般的に人間の視覚検査によって決定されるが，主観的な評価となってしまうのが問題である．そのため，映像データのビデオフレームから画像特徴を抽出するための事前学習済みの深層学習モデルを使用して，プラナリアの行動のビデオ分類を提案した．生物学の実験により有効性を確認した．これらの成果を発展させ，ジャーナル論文として執筆する予定である．



図 4：2 種類の刺激に対するプラナリアの反応

今後は以上の成果をまとめ，脳の機能の理解や，機械学習・画像認識の性能飛躍的向上を目指していく．

[1] Naranchimeg Bold, 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.

[2] 深澤瑞基, 齋藤冬樹, 下條信輔, 明石卓也, 微小周期往復運動に対する Particle Video の有用性の調査, ViEW2020, IS2-21, 2020/12/3 .

[3] Min Zou, Mengbo You, Takuya Akashi, Reconstruction of Partially Occluded Facial Image for Classification, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.16, No.4, pp.600-608, 2021.

[4] Kensuke Shimojo, Reiya Katsuragi, Eiko Shimojo, Takuya Akashi, Shinsuke Shimojo, Preservation of conditioned behavior based on UV light sensitivity in dissected tail halves of planarians - a proof by DNN, Vision Sciences Society 22th Annual Meeting, May 13-18, 2022.

[5] Reiya Katsuragi, Kensuke Shimojo, Eiko Shimojo, Shinsuke Shimojo, Takuya Akashi, Classification of Two Type Planarians Behavior Based on Pretrained Deep Learning Models, 2022 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, SS3-5, 2022/8/31

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Zou Min、You Mengbo、Kageyama Yoichi、Akashi Takuya	4. 巻 18
2. 論文標題 Saury Sensing for Packaging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 771 ~ 780
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23776	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 該当する
1. 著者名 Sato Junya、Yamada Takayoshi、Ito Kazuaki、Akashi Takuya	4. 巻 17
2. 論文標題 Artificial Bee Colony for Affine and Perspective Template Matching	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 566 ~ 574
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23542	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 Zou Min、You Mengbo、Akashi Takuya	4. 巻 16
2. 論文標題 Reconstruction of Partially Occluded Facial Image for Classification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 600 ~ 608
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23335	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 該当する
1. 著者名 Zou Min、You Mengbo、Akashi Takuya	4. 巻 16
2. 論文標題 Application of Facial Symmetrical Characteristic to Transfer Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 108 ~ 116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23273	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 該当する

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) 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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Shimojo Kensuke, Katsuragi Reiya, Shimojo Eiko, Akashi Takuya, Shimojo Shinsuke
2. 発表標題 Preservation of conditioned behavior based on UV light sensitivity in dissected tail halves of planarians - a proof by DNN
3. 学会等名 22nd Annual Meeting of the Vision Sciences Society (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Min Zou, Takuya Akashi
2. 発表標題 Latent Space Visualization of Half Face and Full Face by Generative Model
3. 学会等名 15th International Conference on Quality Control by Artificial Vision (QCAV2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 深澤瑞基, 齋藤冬樹, 下條信輔, 明石卓也
2. 発表標題 微小周期往復運動に対するParticle Videoの有用性の調査
3. 学会等名 ViEW2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Smart Computer Vision Laboratory  
<https://www.scv.cis.iwate-u.ac.jp>

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			
米国	California Institute of Technology	Div. of Biology and Biological Eng.		