

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19854

研究課題名（和文）ユーザフレンドリーなヒューマンインタフェースのための転移学習法開発

研究課題名（英文）Transfer learning technique for user-friendly human-computer interfaces

研究代表者

叶賀 卓（Kanoga, Suguru）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員

研究者番号：40803903

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、個人間・個人内のばらつきの大いデータの分布を、短いキャリブレーション時間で統計的に補正する転移学習法の提案および応用を目的とした。この目的に対して個人差が大きいことで知られている筋電位データを用いた。本研究を通して、ターゲットの少数筋電データに対して、ラベルがついている場合とついていない場合、それぞれに対応可能なドメイン適用転移学習法を組み込んだフレームワークを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果はIF付論文誌2報と国際論文誌1報として公開されている。論文誌についてはオープンアクセスであり、だれでも内容を確認することができる。また、開発されたコードはgithubと呼ばれる開発プラットフォームにおいて公開されている。これにより生体信号処理分野での研究開発を透明感のある状態とした。近年、ウェアラブルセンサを用いて個人がデータを簡単にデータを計測できるようになってきている。このような状況において、既存のモデルを個々に合わせてチューニングできる転移学習法の開発は今後のヒューマンインタフェースをより発展させる意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop transfer learning methods that statistically correct the distributions of target and source data with large inter- and intra-subject variability by using a small amount of calibration data under short calibration session. For this purpose, we used surface electromyogram (sEMG) data, which are known to have large individual differences. I developed a framework that incorporates domain adaptation transfer learning methods for both labeled and unlabeled sEMG data for a small number of target sEMG data.

研究分野：ヒューマンインタフェース、インタラクション、ライフサイエンス、生体医工学

キーワード：転移学習 機械学習 信号処理 ブレインコンピュータインタフェース

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

筋電位を用いた上腕動作識別インタフェースは、肘周りに装着するウェアラブルセンサの登場により、日常生活環境下で使用可能なヒューマンインタフェースとして期待されている。このため、2016年からウェアラブルセンサを用いた筋電位ベース上腕動作識別に関する研究が増加し、多種多様な特徴量抽出・識別アルゴリズムが提案されている。一方、センサベースヒューマンインタフェースの「個人間・個人内のデータのばらつき (Inter- and Intra-Subject Variability) の大きさから、人・施行によってインタフェースの精度が安定しない」という一般的な問題は解決できていない。

生体信号処理分野では、計測機器や計測データの特徴量抽出・識別アルゴリズムが進んできた。これにより、生体情報を用いたインタフェースの実現可能性が認知されるようになってきた。ただし、提示されてきた精度は個人差を考慮し、個人データのみを用いた学習および検証に基づいている。生体情報の個人差や個人内変動は周知の事実でありながら、これらのばらつきに関する研究は後回しとなっている。結果として、現状のヒューマンインタフェースはターゲットユーザ自身の学習データを必要とし、1時間程度の準備時間を要している。ここで、ターゲットユーザと類似したソースユーザが存在することが知られている。似ているソースユーザのデータで事前に学習された識別器はターゲットユーザに対してある程度の性能を提示できるが、本人ではないため性能はそこまで高くはない。しかし、この個人間のばらつきを抑えることができれば事前に学習済みの識別器を使用できるため、ターゲットユーザからの準備時間を大幅に減少させることができる。

こうした状況に対し、転移学習法で個人間のばらつきを統計的に補正できるか、というのが本研究の問いである。また、この課題を解決することは、短時間でターゲットユーザに高精度なヒューマンインタフェースを提供することにつながる。

## 2. 研究の目的

本研究は、ターゲットユーザの少数筋電位データとソースユーザデータの類似度を計算し、ターゲットと類似したソースのドメインを選択し、そのドメインへ写像する行列を学習する転移学習法を開発・検証・実装・実証することが目的であった。

## 3. 研究の方法

転移学習の目的は、ターゲットの少数データとソースデータの誤差を最小化させる写像行列を求めることである。しかし、全ソースユーザがターゲットユーザと同じ傾向ではないため、最初にターゲットユーザと類似度が高いソースユーザを選択する必要がある。次に、そのドメインへ適応させる写像行列を算出する。さらに、ターゲットのデータをソースデータのように変換し、学習済みの個人識別器に入力する。そして、識別結果をアンサンブル処理し、最終的な識別ラベルとする。

本研究では、識別器をサポートベクタマシンとする。また、類似度計算およびソース選択を6種類の距離関数に基づき定量化する。具体的にはクラスごとにクラスタリングを行い、ターゲットと最も近いクラスタの中心に対し、6つの距離(ユークリッド距離、相関距離、チェビシェフ距離、コサイン距離、KLダイバージェンス、転移可能性距離)を計算し、類似したソースを特定する。これにより、類似したソースを選択する。

写像行列として、アフィン写像に基づいた線形写像法を用いる。この際、平行移動に関するベクトルにL2ノルム、回転・スケーリングに関する行列と単位行列の差分にフロベニウスノルムを用いることでターゲットデータの位置・状態をなるべく変化させないようにソースデータに似せる写像行列を学習させる。

この方法によって開発された転移学習法は、事前に開発されていた筋電位を用いた上腕動作識別フレームワークにて性能を検証される。このフレームワークでは、200ミリ秒ずつ筋電位が入力され、フィルタリング、特徴抽出がされ、サポートベクタマシンによってどの動作を行っているのかを識別される。この問題設定の場合、ソースユーザAのデータを用いて学習済みのサポートベクタマシンに対して、ターゲットユーザBのデータを入力するときに、BのデータをAのように変換することで、Bのモデルは学習されていないが、Aのモデルでうまく識別できるようになるはずである、という仮定を置いている。

#### 4. 研究成果

本研究ではインパクトファクター付き論文誌発表を 5 報、国際学会での発表を 3 件、国内の研究会での報告を 2 件行った。

この成果を上げるうえで、当初の目的と異なった方向へ研究が進むこととなった。まず、類似度計算をし、ターゲットユーザと類似しているソースユーザを見つけ、その識別器群でアンサンブル処理を行っていたが、実はアンサンブル処理の際に重みを付けることですべてのソースユーザの識別器を用いても性能が変わらない、ということが明らかとなった。このため、重み付きアンサンブル処理をすれば類似度計算とソース選択をする必要はない、ということが明らかとなった。

この前提のもとで、ターゲットとソースの代表点に対する類似度を 6 種類の距離を用いて定量化することで、似ているユーザは選択できた。ここで、ターゲットからのデータにラベルがついていない状態でもソースを用いることで疑似ラベルを振れるのでは？という発想を得たため、教師ありのみでなく、教師なしの転移学習法も開発することができた。これらの教師あり・教師なし転移学習法は転移しない状態と比べ、性能を大きく向上させることがで切ることが明らかとなった。この成果は論文誌にて発表され、github にコードを公開した ([https://github.com/Suguru55/SS-STM\\_for\\_MyoDatasets](https://github.com/Suguru55/SS-STM_for_MyoDatasets))。また、検証に用いたデータとベースとなる筋電位を用いた上腕動作識別フレームワークも github で公開した ([https://github.com/Suguru55/Wearable\\_Sensor\\_Long-term\\_sEMG\\_Dataset](https://github.com/Suguru55/Wearable_Sensor_Long-term_sEMG_Dataset))。

さらにサポートベクタマシンではなく深層学習を用いたフレームワークへの拡張も行った。これにより性能がさらに向上し、この結果は信号処理のトップカンファである ICASSP に採択された。このモデルについても github で公開している ([https://github.com/Suguru55/STM-FT-CNN\\_for\\_sEMG\\_PR](https://github.com/Suguru55/STM-FT-CNN_for_sEMG_PR))。

## 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 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ogino Mikito, Kanoga Suguru, Ito Shin-Ichi, Mitsukura Yasue	4. 巻 9
2. 論文標題 Semi-Supervised Learning for Auditory Event-Related Potential-Based Brain-Computer Interface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 47008 ~ 47023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3067337	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 Kanoga Suguru, Kanemura Atsunori, Asoh Hideki	4. 巻 60
2. 論文標題 Are armband sEMG devices dense enough for long-term use? Sensor placement shifts cause significant reduction in recognition accuracy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biomedical Signal Processing and Control	6. 最初と最後の頁 101981 ~ 101981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bspc.2020.101981	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 Hoshino Takayuki, Kanoga Suguru, Tsubaki Masashi, Aoyama Atsushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparing subject-to-subject transfer learning methods in surface electromyogram-based motion recognition with shallow and deep classifiers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Neurocomputing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neucom.2021.12.081	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 Kanoga Suguru, Hoshino Takayuki, Asoh Hideki	4. 巻 68
2. 論文標題 Semi-supervised style transfer mapping-based framework for sEMG-based pattern recognition with 1- or 2-DoF forearm motions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biomedical Signal Processing and Control	6. 最初と最後の頁 102817 ~ 102817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bspc.2021.102817	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 Kanoga Suguru, Hoshino Takayuki, Asoh Hideki	4. 巻 74
2. 論文標題 Subject-transfer framework with unlabeled data based on multiple distance measures for surface electromyogram pattern recognition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biomedical Signal Processing and Control	6. 最初と最後の頁 103522 ~ 103522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bspc.2022.103522	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5件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Takayuki Hoshino, Suguru Kanoga, Masashi Tsubaki, Atsushi Aoyama
2. 発表標題 Analysis and Usage: Subject-to-subject Linear Domain Adaptation in sEMG Classification
3. 学会等名 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suguru Kanoga, Takayuki Hoshino, Hideki Asoh
2. 発表標題 Subject Transfer Framework Based on Source Selection and Semi-Supervised Style Transfer Mapping for sEMG Pattern Recognition
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kanoga Suguru, Hoshino Takayuki, Tada Mitsunori
2. 発表標題 A Style Transfer Mapping and Fine-tuning Subject Transfer Framework Using Convolutional Neural Networks for Surface Electromyogram Pattern Recognition
3. 学会等名 2022 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 叶賀 卓
2. 発表標題 機械学習を用いた脳波・筋電信号の応用例紹介およびアーチファクト除去・転移学習によるロバスト性向上
3. 学会等名 日本生体工学会 専門別研究会 第32回実社会におけるマルチモーダル脳情報応用技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 叶賀 卓
2. 発表標題 生体信号時系列への機械学習技術の適用と日常的な技術適用での問題点・解決アプローチの紹介
3. 学会等名 第32回日本急性血液浄化学会学術集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Suguru KANOGA/Publications  <a href="https://sites.google.com/view/u4ag2knosr1/publication">https://sites.google.com/view/u4ag2knosr1/publication</a></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

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
---------	---------