

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22859

研究課題名（和文）深層学習による個人特性を反映した生体データの自動生成

研究課題名（英文）Automatic Generation of Biometric Data Incorporating Individual Characteristics by Deep Learning

研究代表者

北川 博之（Kitagawa, Hiroyuki）

筑波大学・計算科学研究センター・教授

研究者番号：00204876

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、スタイル変換手法の視点から、生体信号を対象とした深層学習モデルの学習サンプルを自動的に生成・獲得する方法の開発を目指し、今後の展開につながる知見が得られた。成果としては、マウス生体信号向けノイズ除去モデルNR-GANの開発がある。敵対的生成ネットワーク（GAN）をベースとして、手本となるノイズ除去例無しに除去手法を獲得可能であることを示した。ノイズ有無というスタイル変換を実現した例と考えることができる。また、文章（テキスト）に対するスタイル・コンテンツ特徴空間生成に関して、スタイル・コンテンツの分離と文章特徴の適切な分布の両立をFlowモデルにより達成できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、生体信号のノイズ除去を一種のスタイル変換とみなし、手本となるノイズ除去例なしに実際のマウス生体信号に対するノイズ除去が実現可能であることを、NR-GANの開発により示した。また、文章を対象に、従来手法よりもスタイル変換に適した多変量正規分布に従う特徴空間の獲得を行うことができた。これらの点より、スタイル変換に基づくデータ変換・生成に対して一定の学術的貢献ができたと考える。GANに基づくノイズ除去手法の開発は、ノイズ除去前後の学習サンプルを大量に用意する必要がない点に特徴があり、生体信号を用いる医学・生命科学研究分野等での実際のデータ分析においても貢献できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）： This project aimed to develop a style-transformation method for biological signals, enabling us to generate training samples for deep-learning-based signal recognition models. Through the project, we obtained much knowledge about the biological signal styles and the style transformation, although we cannot say that we achieved all the original goals.

The main research outcome includes the development of the noise reduction method NR-GAN for mice electroencephalogram signals. This model is based on generative adversarial neural networks and can learn the noise features without using specific examples of noise reduction. This model is an example of the style transformation, when we consider existence of noise as a style. Another outcome is proposal of a method for improving the feature space construction in the documents style transformation. We found that the Flow-based model helps construction of a more appropriate feature space and contributes to improving the learning efficiency.

研究分野：医学分野におけるデータ解析

キーワード：生体データ 深層学習 個人特性

1. 研究開始当初の背景

近年、パターン認識や関数近似課題における深層学習モデルの優位が繰り返し示されている。本研究が対象とする生体信号分野においても、深層学習の導入により、認識精度が向上した例が多数報告されている。今後の研究の進展により、筋電位から手の動作を認識・再現する筋電義手や、家庭用生体信号計測デバイスによる健康管理・自動診断等、社会に直接貢献可能なシステム開発につながる事が期待される。

しかしながら、一般的な深層学習モデルは、従来の機械学習よりもはるかに多くの学習サンプルを必要とするという問題を抱えている。例えば、本研究代表者らが過去の研究で開発したマウスの睡眠ステージ判定手法 MC-SleepNet では高い判定精度を達成するために、3000 匹以上×複数夜の睡眠時生体信号データが必要であった。

特定の被験者に大きな負担をかけずに大量の学習サンプルを計測するため、従来研究ではなるべく多くの被験者から生体信号データを計測し、学習サンプルとすることが多かった。この場合、モデルはなるべく多くの被験者に対して高い判定精度を示すように最適化される。(これを「汎用モデル」と呼ぶことにする。)

しかし、生体信号は被験者の個人差が強く表れることが知られている。例えば、睡眠時脳波の場合、高齢者ほど波形が鈍る(高周波成分が失われ振幅が小さくなる)傾向がある。また、表面筋電位では、信号源である筋肉の量や減衰に関わる皮下脂肪の量に強く影響を受けることが知られている。そのため、汎用に使えるモデルを1つ作るよりも、被験者それぞれに特化したモデルを作成する方が、精度を改善できることが期待できる。

また、応用・社会実装の面から見ても、汎用モデルよりも個人や少数の患者グループに特化したモデルの方が望ましい。例えば、筋電義手などでは、汎用性よりも認識精度が向上する方が利用者にとっては重要である。自動診断等でも汎用性よりも誤った診断の可能性を小さくすることを優先すべき状況も多い。

2. 研究の目的

少ない学習サンプルから深層学習モデルを最適化し、個人に特化した認識システムを作成する方法としてはいくつか考えられるが、本研究では生体信号のスタイル変換に着目した。近年、画像処理の分野において写真を特定の画家風に変換する手法が提案されている。本手法を生体信号に導入することで、他者の生体信号をあたかも被験者から取得した生体信号のように改変できる。これら改変した生体信号を学習サンプルとして利用することで、個人に特化した深層学習モデルを作成する、というのが本研究のアプローチである。

少サンプルから深層学習モデルを最適化する手法としては、汎用モデルに対して転移学習を適用するといった方法もある。スタイル変換に基づく本アプローチのメリットの一つは、被験者個人の特徴を表すベクトル(特徴ベクトル)が得られることである。これらの特徴ベクトル空間では、似た特性を持つ被験者は似たベクトルとして表現される可能性が高く、被験者のグルーピング等に役立つ。また、被験者の年齢を表す要素を見つけることができれば、これを操作することで被験者の将来の生体信号を事前に予測できる可能性もある。このような生体信号の予測は、現時点では明らかになっていない疾病の兆候等を発見するのに役立つ可能性もある。

以上を踏まえ、本研究では、生体信号認識に必要な特徴(波形や周波数情報等)をコンテンツ、その他の信号に影響を与える要素(被験者の特性、計測環境、外乱など)をスタイルとして定義し、前者を維持したまま後者を変換するモデルの開発を目的とした。

3. 研究の方法

当初の計画では、計測が容易かつ義手等への応用が期待できる前腕の筋電位を対象とし、モデルの学習・実験用にデータを計測する予定であった。しかし、コロナの影響も大きく、多種多様な被験者を募集・計測することが困難であったことから、他の研究プロジェクトで計測したヒトやマウスの睡眠時生体信号に実験対象を変更した。ヒトでは、幅広い年齢・健康状態の被験者の終夜睡眠データを700夜分以上確保できており、研究の継続は可能と考えていた。実際には、睡眠時脳波固有の問題もあったが、これについては後述する。また、スタイル変換のより基礎的な部分を研究すべく、文章(テキスト)を対象とした実験・モデル開発も行った。

具体的には、(1)睡眠時生体信号の特徴波形の検出、(2)マウス睡眠時脳波のスタイル変換(ノイズ除去)、(3)Flowを用いた文章特徴ベクトル空間の作成手法の開発、の3点について取り組んだ。

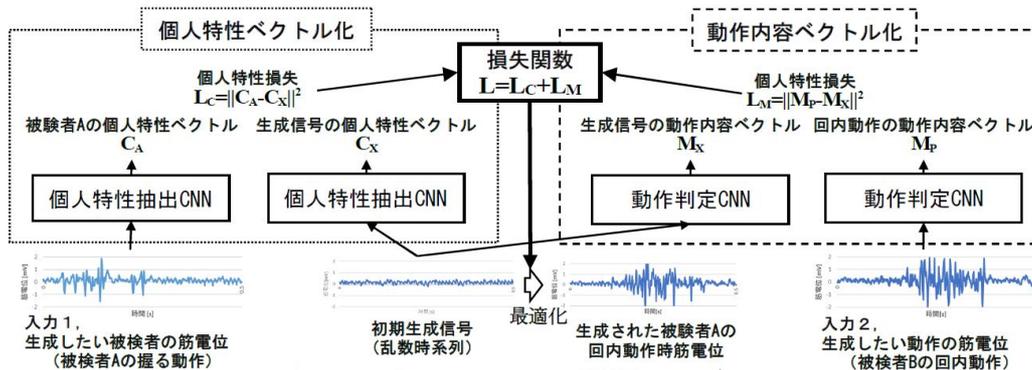


図1 本研究で予定していたスタイル変換手法の概要

(1) 睡眠時生体信号の特徴波形の検出

本研究では、図1に表すスタイル変換手法を適用することを予定していた。これは、2015年に提案された画像のスタイル変換技術を生体信号に適用したもので、個人特性や動作内容(波形情報)を判定するCNNを開発し、これらを用いて目的とする個人特性と動作内容に合致する生体信号を生成するものである。

対象とする生体信号の変更に伴い、睡眠状態解析モデルへの適用を前提に、睡眠時の生体信号への適用を検討した。この場合、図1の動作内容は「睡眠時特徴波」と読み替えられる。これは睡眠状態を特定する際の根拠となる生体信号の波形のことで、K複合波や覚醒反応等全15種類ある。これらをベクトル化するために、睡眠特徴波を判定する畳み込みニューラルネット(CNN)の開発を行った。

しかしながら、結果的には本アプローチは当初の期待通りにはいかなかった。K複合波等の特徴波については比較的高精度(技師との一致率94%程度)での判定ができたものの、一部の特徴波はCNNでは検出困難であった。特に覚醒反応は「睡眠状態が浅い方向に遷移する際の、脳波のピーク周波数変化」と定義されており、検出には大局的な脳波の変化が必要となる。したがって、一定時間長の脳波を特徴ベクトルに変換する本研究のアプローチでは限界があり、異なるアプローチが必要である。また、個人特性の抽出についてもその多様性に対応するためのアプローチが必要であることが判明した。結果的に本研究の中では問題解決には至らなかったが、ポイントとなる課題を明らかにできた点は意義があり、今後の研究の中で解決を目指したい。

(2) マウス睡眠時脳波のスタイル変換(ノイズ除去)

本研究では、実験対象をマウスの睡眠時脳波とした。マウスの場合、睡眠状態は脳波の周波数分布や筋電位の振幅から決定され、検出の難しい睡眠特徴波を考慮する必要がない。ただし、これらの要素はあまりマウス個体差の影響を受けないことから、スタイルは個体差ではなくノイズの有無とし、これを操作(除去)することを目指した。具体的なアプローチとしては、ノイズに関する細かいタグが無くても最適化可能な信号変換の枠組みとして Generative Adversarial Neural Networks (GAN) に注目し、生体信号ノイズ除去モデル NR-GAN を提案した(図2)。本モデルは、一般的なGANの損失関数に入出力差分を加えている。これにより、入力された脳波をなるべく操作することなく、クリアな脳波と見分けのつかない信号を生成するように最適化するものである。

(3) Flowを用いた文章特徴ベクトル空間の作成手法の開発

一般的な時系列情報であり、かつ生体信号よりも研究が進んでいる文章(テキスト)を対象に、スタイル変換に関する研究を行った。本研究では、(1)のようにスタイル(個人特性)とコンテンツ(動作内容)を別々にベクトル化するのではなく、文章全体を1つの特徴ベクトルに変換した後、それぞれを表すベクトルを特定し、操作するという手順を取った。

その際、作成する特徴ベクトル空間は、スタイル・コンテンツの分離が容易かつ、多変量正規分布に従うことが望ましい。しかし、これら両方を同時に満たすのは難しく、学習が安定しづらいという問題がある。

本研究では、これを解決すべく、Flowモデルに着目した。これは深層学習ベースの信号生成・変換手法で、データの尤度を直接最大化する特殊な学習過程を持つ。また、変換と同時に逆変換も獲得できるといった性質を有している。このFlowを用い、スタイル・コンテンツの分離と多変量正規分布2つの問題を独立に最適化する手法を提案した。具体的には、まずスタイルとコンテンツの分離のみを考慮した特徴ベクトル空間生成(Adversarial Auto Encoder: AAE)を適用後、Flowを用いて多変量正規分布に修正する。これにより、従来よりも安定した学習を達成した。

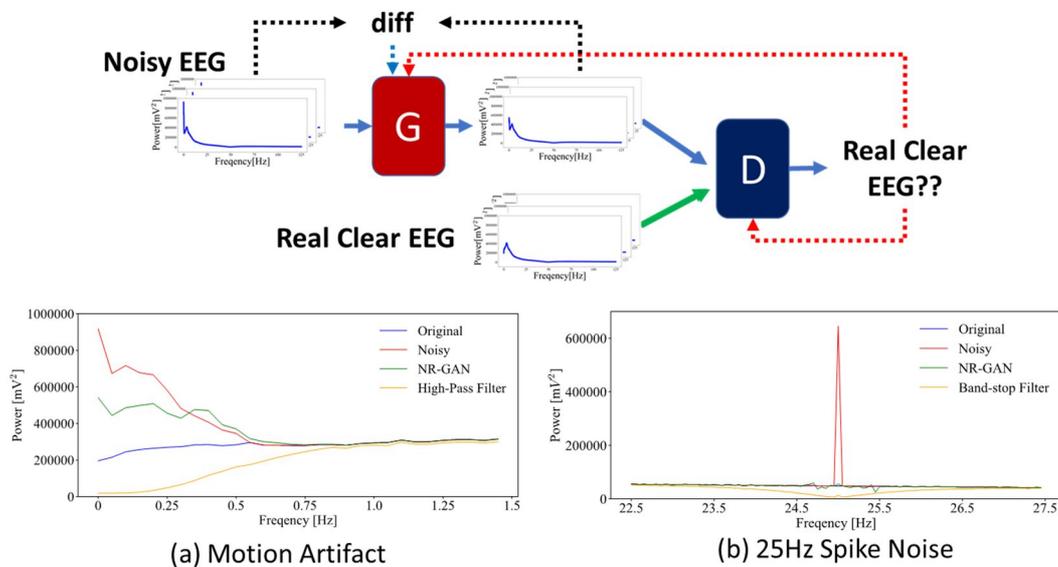


図2 NR-GAN の概念とノイズ除去適用例

4. 研究成果

ここでは、具体的な成果を得るに至った、上記「マウス睡眠時脳波のスタイル変換」「Flow を用いた文章特徴ベクトル空間の作成手法の開発」に関する研究成果を以下にまとめる。

(1) マウス睡眠時脳波のスタイル変換 (ノイズ除去)

提案手法 NR-GAN をマウス睡眠時脳波で実際に見られる 2 種類のノイズに対して適用、マウス睡眠研究でよく使われる周波数フィルタとの比較を行った (図 2 (a) (b))。提案手法は、ノイズに対する事前知識を使用していないが、最適化した周波数フィルタとほぼ同等のノイズ除去性能を有している。また、周波数フィルタでは過剰に除去したり、ノイズの無い周波数成分にも影響を与えている。一方、提案手法はノイズを含む領域を選択的に修正していることが分かる。これらの性質は、ノイズと判定に有効な特徴が似通っていた場合においても、適切な処理ができる可能性を示している。

スタイル変換に関する視点から本研究内容を振り返ると、限られたスタイル・生体信号ではあるものの、実際の信号の操作に成功しており、本アプローチの有効性は一定程度示せたものと考えている。しかしながら、GAN ベースのスタイル変換では、スタイルに関する特徴ベクトルを得ることは難しい。今後は、他のアプローチやモデル構造についても検討すべきと思われる。

(2) Flow を用いた文章特徴ベクトル空間の作成手法の開発

青空文庫から入手した芥川龍之介と小川未明の文章に対して提案する特徴ベクトル空間生成手法を適用した。Flow を利用することで、多変量正規分布との対数尤度が大きく改善 (-144.3 8.0) することと、スタイル・コンテンツの分離にはほぼ影響を与えないこと (スタイル分類制度 76.9% 77.3%) が確認できた。以上より、Flow 導入がスタイル変換に有効な特徴ベクトル空間の獲得に有用であることが示唆される。

本研究では、文章を対象としたが、生体信号やその他のデータについても同様の手法の適用が考えられる。特徴ベクトル空間の学習安定性の確保はスタイル変換全般において課題となっており、この領域において貢献できる可能性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1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 Sumiya Yuki, Horie Kazumasa, Shiokawa Hiroaki, Kitagawa Hiroyuki	4. 巻 -
2. 論文標題 NR-GAN: Noise Reduction GAN for Mice Electroencephalogram Signals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 4th International Conference on Biomedical Imaging, Signal Processing	6. 最初と最後の頁 94-101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3366174.3366186	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 住谷雄樹, 堀江和正, 北川博之
2. 発表標題 マウス睡眠ステージ判定課題における深層学習を用いたノイズの分析
3. 学会等名 第12回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM 2020)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	堀江 和正 (Horie Kazumasa) (60817112)	筑波大学・計算科学研究センター・助教 (12102)	
研究分担者	塩川 浩昭 (Hiroaki Shiokawa) (90775248)	筑波大学・計算科学研究センター・准教授 (12102)	

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