

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K16466

研究課題名（和文）皮質脳波ビッグデータと深層学習を用いた視覚認知内容推定精度の向上

研究課題名（英文）Improvement of decoding accuracy of visual stimulus using deep learning and ECoG big data

研究代表者

福間 良平（FUKUMA, RYOHEI）

大阪大学・医学系研究科・特任助教（常勤）

研究者番号：20564884

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：機械学習技術の発展により脳活動から人の視覚認知内容を推定することが可能となった。しかし、既存の方法での視覚認知内容の推定精度は不足していた。そこで本研究では自由行動下での皮質脳波を用いて深層学習モデルを学習し、視覚認知内容の推定精度の向上を試みた。学習したモデルを皮質脳波からの特徴抽出器として用いたところ、既存の手法よりも推定精度が向上した。また、同モデルを行動課題に適用したところ課題内容の推定精度の向上が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳活動パターンから情報を読み出す脳情報デコーディング技術は、色々な疾患や外傷で身体機能が損なわれてしまったヒトの日常生活の質の改善に役立つと考えられている。しかし、現在のところ脳情報の読み出し精度は十分ではない。また、一般に脳情報の読み出しには脳活動を計測しながら患者が課題を行うことが必要である。脳情報の読み出し精度を改善するためには課題を長時間行うことが望ましいが現実的には困難である。そこで、本研究では課題を行っていない自由行動下での脳活動を用いることで、精度が改善できることを明らかにした。即ち、患者への課題を増やすことなくより高い精度が得られる。

研究成果の概要（英文）：The development of machine learning technology enabled the decoding of human visual perception from brain activity. However, the accuracy of existing methods for decoding is still insufficient. In this study, we attempted to improve the decoding accuracy by using a deep learning model with electrocorticograms recorded while the subjects perform daily activity. By using the trained model as a feature extractor from the electrocorticograms recorded during visual stimulus task, the decoding accuracy was better than that of existing methods. When the model was applied to a behavioral task, the decoding accuracy was also improved.

研究分野：Brain-Machine Interface

キーワード：Brain-Machine Interface 皮質脳波

1．研究開始当初の背景

機械学習技術の発展により脳活動から人の視覚認知内容を推定することが可能となった。また、視覚認知内容を推定（Decoding）する技術は、視覚的想起内容の推定にも応用できることが知られている。我々は視覚的想起内容の推定技術を用いた新たな意思伝達技術の開発を行っている。この技術は筋萎縮性側索硬化症や脊髄損傷などにより意思伝達が困難な患者さんにとって福音となると考えられる。しかし、皮質脳波を用いても多様な視覚認知内容の推定は未だ、10 次元程度の意味空間を推定できる程度である。より多様な意味内容を正確に推定するためには、これまでにないデコーディング技術が不可欠であった。

近年、深層学習（Deep learning）と呼ばれる機械学習技術が急速に発展し脳活動にも適応されるようになった、しかし 現在までに提案されている方法では精度が十分であるとは言い難い。

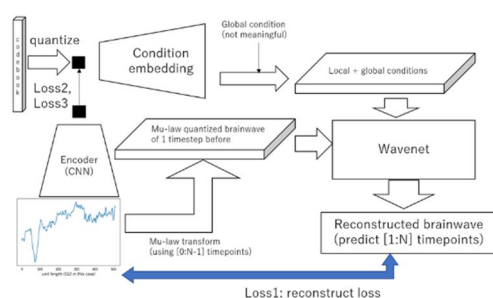
2．研究の目的

視覚認知内容の Decoding を行うには、まず脳活動を計測しながら被験者に視覚認知課題を行ってもらわなければならない。ここで計測した脳活動と提示した視覚刺激をトレーニングデータとして、Decoding モデルを学習することになる。深層学習（Deep neural network; DNN）モデルで高い Decoding 精度を得るためには大量のデータを必要とすることが知られているが、十分な量のデータを得るために被験者に何度も視覚認知課題を行ってもらうのは現実的ではない。これが、Decoding 精度を改善するにあたっての障害となっていた。そこで、本研究では被験者に負担をかけることなく大量に取得出来る自由行動下での皮質脳波データを用いて DNN モデルを学習することで、DNN モデルが汎用的な皮質脳波の特徴を学習するのではないかと仮説を立てた。この仮説が真であれば、学習した DNN モデルを用いて少量の視覚認知課題下で計測した皮質脳波から特徴を抽出すると視覚認知内容の推定精度の向上ができると考えられる。本研究ではこの仮説の検証を行った。

3．研究の方法

自由行動下での皮質脳波データから教師なし学習でその特徴を取り出す DNN として、その特徴空間を学習する Vector Quantized-Variational AutoEncoder (VQVAE) と、波形特徴を扱う Wavenet autoencoder を組み合わせたものを使用した（図 1）。この DNN モデルを自由行動下での計測した 10 時間分の皮質脳波データで学習した。

図 1: 使用した DNN モデル

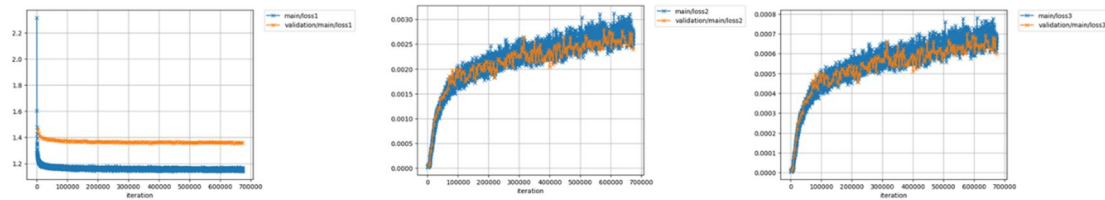


次に視覚認知課題時に計測した皮質脳波に学習したモデルを適応し、脳波特徴を取得した。視覚認知課題は 12 カテゴリーの画像を被験者に見せるものであった。各カテゴリ 320 枚、合計 3840 枚の画像が、それぞれ 500 ms 被験者に提示され、その順番はランダムであった。画像提示後 512 ms の皮質脳波を特徴量に変換し、線形 Support vector machine (SVM) により提示画像のカテゴリを decoding により推定した。また、同時帯の皮質脳波から high-gamma 帯域（80-150 Hz）のパワーを求め、これらの特徴量として線形 SVM を適応し、カテゴリ推定精度を求めた。最後にパワーを用いた場合の精度と、DNN モデルで求めた特徴量を用いた場合の精度を比較した。

4．研究成果

DNN モデルを学習した時の loss を図 2 に示す。再構成 loss (Loss1) は順調に減少を示した。一方で、離散化 loss (Loss2, Loss3) はどちらも十分に小さい値に抑えられていた。これらのことから、自由行動下での皮質脳波に対して DNN モデルの学習が正常に進んだことが明らかになった。

図 2：DNN モデルの学習時の loss (左から Loss1, Loss2, Loss3)



次に学習したモデルを用いて皮質脳波から抽出した視覚刺激時の特徴量 (DNN 特徴量) と、同皮質脳波から計算したパワー特徴量に SVM を適応して、提示画像のカテゴリを推定した時の推定精度を表 1 にしめす。12 カテゴリの識別であるためチャンスレベルは 8.3%であるが、DNN 特徴量もパワー特徴量も、チャンスレベルに対して有意に高い成績となった ($P < 0.01$, single-sided one-sample t -test). また、DNN 特徴量から推定した精度はパワー特徴量で推定した精度に対して有意に高い成績を示した ($P = 0.04$, single-sided paired t -test). 即ち、提案手法により視覚認知内容が既存手法にたいしてより高い精度で推定できることが明らかになった。

表 1：提示画像カテゴリ識別成績

Subject ID	Session ID	DNN 特徴量	パワー特徴量
E01	1	39.7%	39.1%
E02	1	35.8%	30.7%
E03	1	23.0%	23.2%
E04	1	38.9%	35.2%
E05	2	33.0%	32.3%
E06	1	32.4%	30.9%
E07	1	18.5%	18.7%

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 1件）

1. 著者名 Fukuma R, Yanagisawa T, Nishimoto S, Sugano H, Tamura K, Yamamoto S, Imura Y, Fusita Y, Oshino S, Tani N, Koide-Majima N, Kamitani Y, Kishima H.	4. 巻 5
2. 論文標題 Voluntary control of semantic neural representations by imagery with conflicting visual stimulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications biology	6. 最初と最後の頁 214
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42003-022-03137-x	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 1件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 柳澤琢史、福岡良平、西本伸志、菅野秀宣、田村健太郎、飯村康司、山本祥太、押野悟、谷直樹、神谷之康、貴島晴彦
2. 発表標題 皮質脳波ビッグデータとAIによるBrain-Computer Interfaceの開発皮質脳波ビッグデータとAIによるBrain-Computer Interfaceの開発
3. 学会等名 第24回日本臨床脳神経外科学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳澤琢史、福岡良平、Ben Seymour、細見晃一、田中将貴、貴島晴彦、神谷之康、齋藤洋一
2. 発表標題 幻肢痛へのニューロフィードバック
3. 学会等名 International Joint Meeting 2020 in Kansai（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yanagisawa T, Fukuma R, Seymour B, Tanaka M, Hosomi K, Yamashita O, Kishima H, Kamitani Y, Saitoh Y.
2. 発表標題 MEG neurofeedback with virtual image of phantom hand reduces phantom limb pain
3. 学会等名 ICPLP2021（国際学会）
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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