

令和 5 年 5 月 29 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12077

研究課題名（和文）深層学習を用いた脳波応答の識別と視覚的フィードバックによる高速文字入力の実現

研究課題名（英文）Realization of High-speed Character Input by EEG Discrimination Using Deep Learning and Visual Feedback

研究代表者

深見 忠典（Fukami, Tadanori）

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：70333987

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）：本課題では、脳波を用いて正確かつ高速に計算機に文字入力できる快適なシステム実現を目指し、（1）計算機の途中結果を被験者に知らせることによる性能向上、（2）深層学習の導入による推定精度の向上の2点について評価を行った。前者では、被験者に計算機が推定した途中経過を呈示することで、入力へのモチベーションを高めようとするものであり、7割の被験者にその有効性が認められた。後者では、脳波の学習に適したEEGNetを用いたところ、異なる条件下で計測したデータによる転移学習を利用する際、今回の計測条件に合うよう事前に脳波を時間軸上で補正しておくことが精度向上に重要であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳波を用いた計算機への文字入力において、ユーザの状態や長時間の計測が性能に大きな影響を与える。本研究は、ユーザのモチベーションを高め、計算機による文字の推定精度を深層学習を用いて向上させることにより、さらに文字入力システムの性能向上を目指すものである。ここでは、複数の候補の中から、ユーザが入力を意図する一つを推定するが、様々な用途に利用可能であるため、得られた結果は、将来の脳波を用いたインタフェース開発において、有用な知見となるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this project, we aim to realize a comfortable system for inputting characters into a computer accurately and quickly by EEG. Here, we evaluated two points: (1) performance improvement by presenting subjects with computer-estimated values at the time of character presentation, and (2) improvement of estimation accuracy by introducing deep learning. In the former case, the computer presents the estimated evaluation value to motivate the subject to input the data. As a result, its effectiveness was confirmed in 70% of the subjects. In the latter case, we used EEGNet, which is suitable for learning EEG. When learning transitions from data measured under different conditions, it was found to be important to correct the EEG on the time axis in advance to match the measurement conditions to improve accuracy.

研究分野：生体信号処理

キーワード：脳波 BCI 深層学習 文字入力

## 様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脳波を用いて計算機に文字入力を行う brain-computer interface(BCI)の研究において、ディスプレイ上に呈示される複数の候補文字から入力文字(標的文字)を特定する技術は、様々な用途に利用可能な BCI の一基盤技術である。しかしながら、現状の入力性能は十分ではなく、快適性・実用性という点で十分であるとは言い難い。

### 2. 研究の目的

本研究では、高速文字入力可能なシステム実現に向け、以下の2項目について研究を行う。ただし、ここでは、各項目において評価することで、それぞれにおける精度の向上について評価を行う。

- ・ 計算機の評価値フィードバックによる標的文字推定精度の向上
- ・ 深層学習の導入による標的応答の推定精度の向上

### 3. 研究の方法

#### 3.1 計算機の評価値フィードバックによる標的文字推定精度の向上

計算機内部の評価値をユーザに視覚的にフィードバックさせることで、ユーザの文字入力に対するモチベーションを高め、それが推定精度向上につながるかを検証する。ここで、計算機の評価値の指標として、人間の認知や判断に関連する成分として知られる P300 の頂点振幅とした。すなわち、刺激呈示後 1s 間の脳波に対し前処理(N サイクルの場合、周波数通過帯域 2 ~ 7 Hz のフィルタ処理を施した N 応答の加算平均処理)を行った後、300~500ms における最大振幅を P300 頂点振幅とし、それをもとに各選択肢に対して順位付けを行った。本研究では、文字入力の候補数を図1のように'A'~'D'の4文字とし、フィードバック有り条件では、図2に示すように刺激呈示を行う際に1位の文字は大きく(larger size)、4位の文字は小さく(smaller size)することで被験者に知らせる(図2)。ただし、第1サイクルは、全ての文字が中間の大きさ(middle size)とし、この旨被験者には事前に伝えておいた。

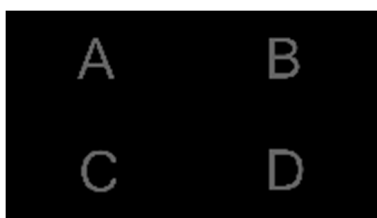


図1. 入力候補文字の呈示



図2. 計算機内部の評価値に伴う文字サイズの変更

#### 3.2 深層学習の導入による標的文字の正答率向上

P300 は、自発的に発生する背景脳波に埋もれて出現するため、単一応答からの検出は困難である。よって、ここでは、検出や識別に有用な特徴量を学習により獲得する深層学習を用いて、標的文字や非標的文字呈示時の応答を評価する。学習には、膨大なデータを必要とするが、大量のデータを収集するには、時間的・労力的に限界がある。そこで、聴覚誘発電位検査においてオドボール課題で得られた事象関連電位データを用いる。この検査は聴覚刺激による2種類の音の弁別検査であるが本実験と類似の形状を有する P300 が出現する。厳密には本研究と異なる P300 であるが、これらを用いた転移学習により、準備すべき学習データを激減させることができると考えられる。ここでは、検査データ約 5600 応答(標的応答、非標的応答の数はそれぞれ 50% ずつ)を用いて、標的応答を 1、非標的応答を 0 として、図3に示す回帰問題を扱う EEGNet により学習を行った。これにより、出力値の大きさで、どの程度標的応答に近いかを評価することができる。

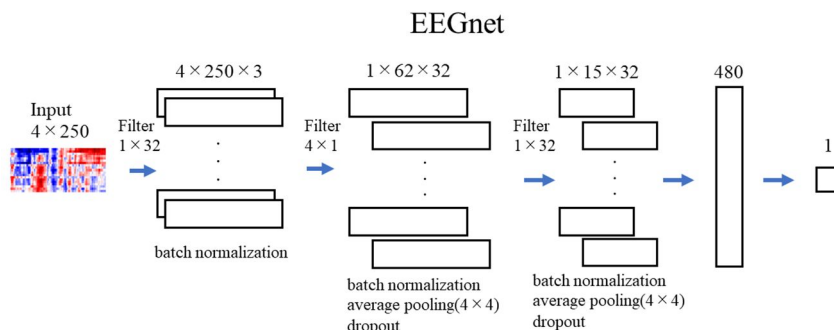


図3. 標的応答を評価する EEGNet に基づく深層学習ネットワーク

具体的に、まず 10/20 国際電極配置法における 19 チャンネルで得られた波形の中から 4 つのチャンネル(O1, O2, Pz, Cz)を選択し、2-7Hz のバンドパスフィルタを適用後、過学習防止を目的とした入力次元削減のためのダウンサンプリングを行った。こうして得られた応答波形を 4 (電極) × 250 (サンプル点) の 2 次元配列とし、ネットワークへの入力とした。学習済みのモデルを用いて BCI データで再学習及び評価を行う。なお、BCI データは、図 1 に示すように、被験者にはディスプレイ上に表示された 4 文字中標的文字である 1 文字を注視し、標的文字の点灯回数を心の中で数えるメンタルカウンティングタスクを課すことで取得した。このとき、刺激呈示は図 4 のように背景色を赤、文字色を白とし、各文字をランダムに 1 文字ずつ点灯させる。1 サイクルを 4 文字における 1 回ずつの刺激呈示とし、1 試行につき 5 サイクル行った。こうして得られた被験者 12 名に対する 240 応答のうち、全体の 2/3 の 180 応答を再学習に使用し、残りの 60 応答を評価に使用した。再学習する際のネットワークの入力として、検査で得られたデータと同様に BCI データにも前処理を行った。ここで、再学習として、全層の重みの更新と全結合層のみの重み更新の 2 種類で学習を行った。ただし、後者については、検査データと BCI データの 2 データ間で P300 の潜時が異なるため、ネットワークに入力する前に聴覚誘発電位検査波形と相関係数が高くなるよう潜時補正を施した。



図 4 . 候補文字の点灯時と非点灯時

#### 4 . 研究成果

##### 4 . 1 計算機の評価値フィードバックによる正答率向上

被験者 10 名に対して一人あたり 10 文字すなわち 100 文字の入力を行った結果、標的文字の正答率において、フィードバックの有無にかかわらずサイクル数の増加に伴い上昇した。これは、加算回数増加に伴う P300 振幅の推定精度の向上が一因として考えられる。フィードバック有無における比較では、フィードバック有りの方が無しに比べ正答率が高かった被験者は 7 名であった。一方、フィードバック無しで高い正答率を示した被験者は 3 名であった。そこで、前者と後者の各グループにおいてサイクル数と正答率の関係について調べた結果を図 5 および図 6 に示す。また、計算機内部の評価値について、それぞれ図 7、図 8 に示す。

図 7 に示すように、フィードバック有りの方が高精度の被験者では、サイクル数と共にフィードバック時に評価値が増加していることが分かる。計測後の被験者に対するアンケート結果では、「標的文字が大きくなることで入力に対する高いモチベーションが維持された。」といった意見や「最初文字が小さくなった場合でも、次のサイクルで大きくしよう頑張った。」といった意見があり、被験者への計算機内部の評価値のフィードバックが、よりタスク遂行に傾注させる効果をもたらしたと考えられる。逆に、フィードバック無しの方が高精度であった被験者では、フィードバック時の応答において、サイクル数が 2 の時をピークに減少に転じている (図 8)。アンケート結果では、「標的文字が入力される可能性が高まったと考え、安心してしまった。」といった意見や「標的文字以外の文字が大きくなり、無意識にそちらに目が行ってしまった。」といった意見があり、タスク遂行が疎かになってしまった可能性がある。このことから、フィードバックは概ね有効であったが、被験者に応じてフィードバックの有無を選択することが望ましいと考えられる。

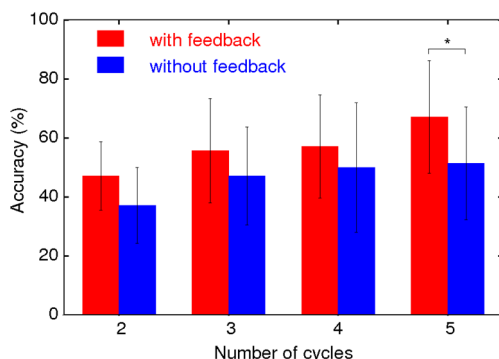


図 5 . サイクル数に対する標的文字の正答率 (フィードバック有りの方が正答率の高かった被験者 7 名)

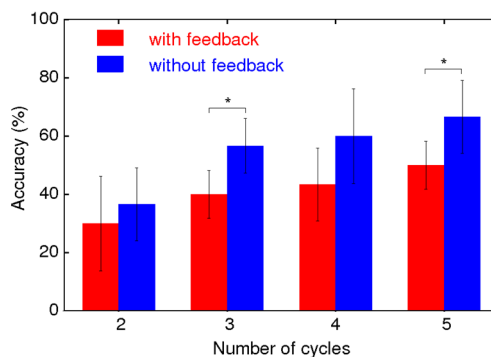


図 6 . サイクル数に対する標的文字の正答率 (フィードバック無しの方が正答率の高かった被験者 3 名)

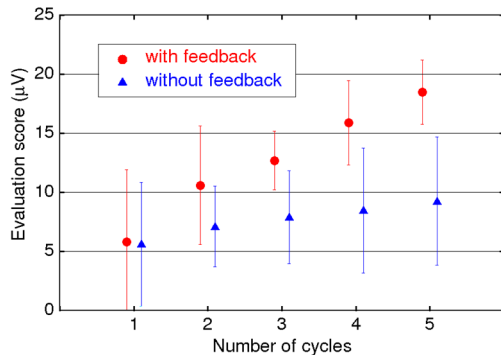


図7．サイクル数に対する計算機内部の評価値(フィードバック有りの方が正答率の高かった被験者7名)

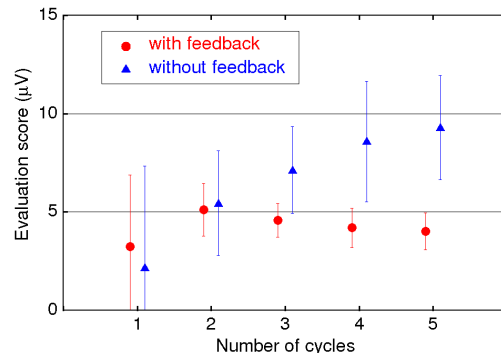


図8．サイクル数に対する計算機内部の評価値(フィードバック無しの方が正答率の高かった被験者3名)

#### 4.2 深層学習の導入による標的応答の推定精度の向上

P300 が出現するとされる刺激後 300~500ms における最大振幅をもとに標的応答を推定する方法(従来法)[1]と転移学習による提案手法の正答率(精度)を図9に示す。提案手法の転移学習において全層を再学習した場合と全結合層のみを再学習させた場合において、従来法と比較した。ここで、全結合層のみを再学習させる際、検査データとの潜時を補正する処理の有無を含めて比較した。

結果として、提案法の方が従来法よりも精度が有意に高く、転移学習における再学習では、全層の重みを更新するよりも全結合層の重みのみを更新した方が有意に高かった。また、全結合層の重みのみを学習する場合において、補正を行うことで補正なしよりも精度が有意に高くなった。これらの結果より、全層の重みを更新しても潜時補正効果がないことを示している。

よって、課題やタスク内容により P300 潜時が異なるデータを転移学習に用いる場合、予め潜時を補正したうえで、全結合層のみの再学習が望ましいと考えられる。

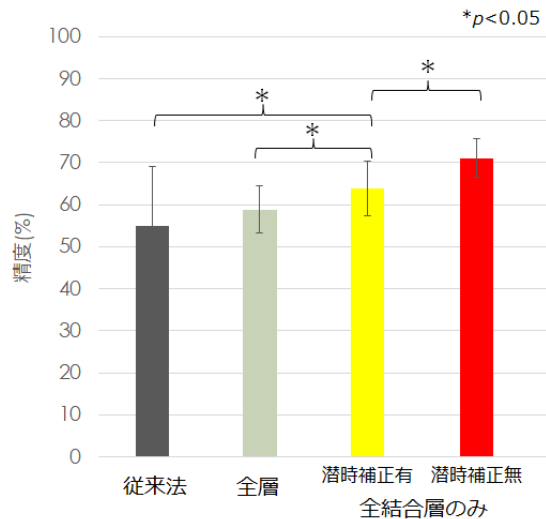


図9．従来法と転移学習による標的/非標的応答の判別精度(転移学習の再学習において、全層の重みを更新した場合と全結合層のみの重みを更新した場合に分け、さらに後者について、潜時補正有の場合と無しの場合で分けた。)

本研究は山形大学工学部倫理委員会の承認を得ており、被験者に対しインフォームドコンセントを行った上で計測された。

#### 引用文献

[1] H. Sato, A. Yoshida, T. Shimada and T. Fukami, "Performance Improvement of EEG-Based BCI Using Visual Feedback Based on Evaluation Scores Calculated by a Computer," *43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*, pp. 6086-6089, 2021.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 H.Sato, A.Yoshida, T.Shimada, T.Fukami	4. 巻
2. 論文標題 Performance Improvement of EEG-Based BCI Using Visual Feedback Based on Evaluation Scores Calculated by a Computer.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE EMBC2021	6. 最初と最後の頁 6086-6089
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/EMBC46164.2021.9630801.	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 -

1. 著者名 A.Yoshida, H.Sato, S.Kang, B.Ishikawa, T.Fukami	4. 巻
2. 論文標題 Reduction of the ERP Measurement Time by a Weighted Averaging Using Deep Learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE EMBC2021	6. 最初と最後の頁 6090-6093
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/EMBC46164.2021.9630179	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 -

1. 著者名 M. Kato, S. Kanouga, T. Hoshino, T. Fukami	4. 巻
2. 論文標題 Motor Imagery Classification of Finger Motions Using Multiclass CSP."	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE EMBC2020	6. 最初と最後の頁 2991-2994
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/EMBC44109.2020.9176612	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉田蒼生, 佐藤輝, 石川文之進, 加我君孝, 深見忠典
2. 発表標題 EEGNetを用いた応答に対する加重平均処理による事象関連電位計測時間の短縮
3. 学会等名 第60回日本生体医工学学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤輝, 吉田蒼生, 島田尊正, 深見忠典
2. 発表標題 計算機内部の評価値に基づく視覚的フィードバックを用いた脳波による文字入力
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 将, 叶賀 卓, 長島 和馬, 星野 貴行, 深見 忠典
2. 発表標題 CNNを用いた指の運動想起脳波の識別
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長島 和馬, 松村 泰志, 姜 時友, 石川 文之進, 加我 君孝, 深見 忠典
2. 発表標題 脳波信号への深層学習適用による標的刺激の推定
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 直樹, 深見 忠典, 新関 久一, 齊藤 直
2. 発表標題 暗算ストレスに対する自律神経活動指標と脳波の経時的変化
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 秋山 翔平, 島田 尊正, 深見 忠典
2. 発表標題 多次元自己回帰係数を用いた光駆動反応による生体認証
3. 学会等名 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティックス研究会 (MBE)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長島 和馬, 深見 忠典, 増淵 直幸, 鈴木 三夫, 石川 文之進, 加我 君孝
2. 発表標題 深層学習を用いたオドボール課題における標的 / 非標的応答の判別 ” 第49回日本臨床神経生理学会学術大会
3. 学会等名 第49回日本臨床神経生理学会学術大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山形大学工学部情報・エレクトロニクス学科深見研究室 <a href="http://fukami lab.yz.yamagata-u.ac.jp/">http://fukami lab.yz.yamagata-u.ac.jp/</a>
--

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