

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K21313

研究課題名（和文）生理学的特徴を抽出する深層学習モデルの構築と脳波による意思抽出への応用

研究課題名（英文）Development of a deep neural network model extracting physiologically plausible features and its application to electroencephalogram-based communication

研究代表者

丸山 裕恒（Maruyama, Yasuhisa）

東京工業大学・情報理工学院・研究員

研究者番号：50913258

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、脳活動のみを用いたコミュニケーションの実用可能性を高めることを目的として、脳波から意思に関する情報を抽出する手法の確立を目指した実験・解析を行った。感覚刺激と想起した意思の条件づけを行った筋萎縮性側索硬化症患者において、脳波から「はい」と「いいえ」のどちらを想起しているかを識別するシステムの有効性を確認した。また、脳波から対象とする脳活動信号のみを抽出して使用することで精度の向上が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筋萎縮性側索硬化症（ALS）などが原因で運動機能が低下した患者にとって、脳活動情報のみを用いたコミュニケーション手法の確立は重要である。本研究では、ALS患者の脳波から生理学的に妥当な信号を抽出して使用することで、「はい」と「いいえ」のどちらを想起しているかを識別を行うBCIシステムの有効性が示された。本研究で得られた結果は、脳波を用いた実用的なコミュニケーション手法の実現を目指す上で意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：To improve the performance of brain-computer interface (BCI), this study conducted experiments and analyses to develop a method to extract intention from electroencephalogram (EEG). In the experiment, two patients suffering from amyotrophic lateral sclerosis learned association between sensory stimuli and intention. The BCI system could decode their intention from their EEG. Importance of extracting physiologically plausible features from EEG was also confirmed.

研究分野：脳活動信号処理

キーワード：脳波 ブレイン・コンピュータ・インタフェース ALS 深層学習

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

近年、脳活動のみからコンピュータや外部装置の制御を行うブレイン・コンピュータ・インタフェース (BCI) が注目を集めている。BCI は、特に筋萎縮性側索硬化症 (ALS) などが原因で運動機能が低下し、発話やタイピングなどによるコミュニケーションが難しくなった患者にとって、非常に重要なコミュニケーション手段の一つである。これまで研究されてきた BCI システムの多くでは、患者が運動想起を行う、または視覚・聴覚刺激を与えた際の脳活動信号を使用する方法が用いられてきた。しかし、特に症状の進行した ALS 患者において、これらの方法が必ずしも有効でないことが報告されている (Kübler and Birbaumer, 2008)。そのため、症状の進行した ALS 患者でも使用可能な BCI として、電気による感覚刺激と想起した意思の条件づけに基づく手法が提案されている (Yoshimura et al., 2021)。しかし、先行研究では完全閉じ込め状態となりコミュニケーションが完全に不可能となった ALS 患者 1 名と健常者でのみその評価が行われている。コミュニケーションが可能な他の ALS 患者でその有効性を確認した研究がないことから、その検証が必要である。また、BCI における課題の一つとして精度の低さが挙げられることから、BCI を用いたコミュニケーションの実現に向けてその精度向上が求められている。

2. 研究の目的

症状の進行した ALS 患者においても使用可能な BCI システムの確立を目指し、電気による感覚刺激と想起した意思の条件づけに基づく BCI の有効性をコミュニケーションが可能な ALS 患者で検証することを目的とした。本研究で実施するのは「はい」と「いいえ」の 2 値判別であるが、その有効性が示されれば、将来的に文字入力システムなどのより柔軟なコミュニケーション方法への応用も可能である。また、生理学的に妥当な信号を脳波から抽出・使用することで、BCI システムの精度向上を試みた。脳波には実験内容と無関係の脳活動も反映されることから、これらの影響を排除し、解析対象とする脳波の特徴量を抽出して使用することで識別率の向上が期待される。本研究では、先行研究において本研究で使用した感覚刺激との関連が報告されている頭頂皮質の活動を抽出して特徴量として使用することで、識別率の向上が見られるかの検証を行った。

3. 研究の方法

ALS 患者 2 名を対象として、電気による感覚刺激と想起した意思の条件づけを事前に行い、その後「はい」または「いいえ」を想起する間の脳活動を記録する実験を行った。事前準備では、前庭への電気刺激 (Galvanic vestibular stimulation) を感覚刺激として用い、左右の平衡感覚の歪みを「はい」または「いいえ」と対応付ける条件付けを行った。その後、「はい」または「いいえ」で回答可能な文章を呈示し、患者に回答を想起させた。実験は休憩を挟んで計 2 セッションを行った。

脳活動信号の計測手法には頭皮脳波を使用した。頭皮上に配置した電極で計測する脳波は、計測に手術を伴わない非侵襲的な手法であり、また時間分解能の高さや装置の可搬性などの利点があることから、多くの BCI 研究で用いられている。本研究では 32 電極の脳波計を使用してベッドに横になった状態の患者の頭皮脳波を計測し、前処理でノイズを除去した後に解析に使用した。

実験で得られたデータから、「はい」と「いいえ」のどちらを想起しているかを脳波からリカレントニューラルネットワークを用いて識別する BCI システムを構築した。特徴量として回答想起時の脳波の時系列信号またはそのパワー値を使用した。生理学的に妥当な信号を特徴量として使用することで精度が向上するか検証するために、計測した脳波を全て特徴量とする解析と、先行研究で感覚連想と関連すると報告された脳領域の信号のみを特徴量とする解析を行い、その識別率を比較した。

4. 研究成果

2 名の ALS 患者で計測した脳波データについて、第 1 セッションのデータで訓練した識別器を第 2 セッションのデータに適用し、患者ごとの識別結果を調べた。その際に、先行研究で感覚連想と関連すると報告された脳領域と関連した信号のみを特徴量として使用した。その結果、患者 1 では時系列信号を特徴量とした際に 65.0% の識別率が得られた ($p < 0.05$)。一方、患者 2 ではパワー値を特徴量とした際に 62.5% の識別率が得られた。識別の結果、チャンスレベルより統計的に有意に高い精度が得られたことから、本研究で用いた BCI システムの ALS 患者への有効性が確認された。しかし、患者ごとに最適な特徴量が異なっていたことから、異なる患者間で共通して使用可能な BCI システムの設計が難しく、患者ごとにチューニングが必要であることが示唆された。

また、計測した脳波を全て特徴量とした際の識別率は、患者 1 では 55.0%、患者 2 では 47.5% であった。頭頂皮質以外の脳活動も特徴量として使用した場合にはチャンスレベルの識別率し

が得られなかったことから、生理学的に妥当な特徴量を抽出して使用することで、異なるセッション間の識別においてより高い識別率が得られることが示された。

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 1件）

1. 著者名 Maruyama Yasuhisa, Nakamura Ryuto, Tsuji Shota, Xuan Yingli, Mizutani Kunio, Okaze Tsubasa, Yoshimura Natsue	4. 巻 19
2. 論文標題 Classification of pleasantness of wind by electroencephalography	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 PLOS ONE	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） 10.1371/journal.pone.0299036	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 丸山裕恒, 中村隆斗, 辻将太, 水谷国男, 玄英麗, 大風翼, 吉村奈津江
2. 発表標題 風の強さの感覚に関連した脳活動
3. 学会等名 第45回日本神経科学大会
4. 発表年 2022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
---------	---------