

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K12158

研究課題名（和文）簡易文章化を目指した階層型音声メニュー表示によるP300型BCIの開発

研究課題名（英文）Development of a P300-type BCI aimed at expressing simple sentences based on hierarchical menu presentation by voice.

研究代表者

橋本 昌巳 (Hashimoto, Masami)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：20242670

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ブレインコンピュータインタフェース（BCI）は脳活動に起因する生体情報から利用者の意思を汲み取り、コンピュータを介してコミュニケーションや機器操作に応用するものである。本研究では階層化した音声メニュー表示に基づいた意思表現支援を目的としたBCIを検討した。メニューから利用者が選択した単語の判別においては、経験的モード分解に基づいたEEGの信号処理的手法及び転移学習に基づいた手法で共に最高で88%が得られた。全階層の選択結果から得られた文言は事前に準備した文章構成に当てはめて、簡易的に文章表現として出力するシステムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

BCIによる意思の伝達が必要となる例では、疾患等により運動機能障害の進行による言葉やしぐさ、一般的な意思伝達支援装置による意思表現が困難となる状況が挙げられる。四肢の機能が衰えていても、視覚機能が有効な段階では文字盤や視線検出装置によるコンピュータ入力手法が種々確立されており、確度の高いコミュニケーションが可能である。視覚に関わる運動機能が低下した場合は、運動機能を必要としない聴覚への情報の呈示と脳波に基づいた意思の表現を実現することで、コミュニケーションを図れる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：Brain-computer interface (BCI) is a technology that translates the user's brain activity into computer instructions and it is applied to communication and device operation. In this study, we developed a P300-type BCI to support the expression of intention based on hierarchical menu presentation by voice. Using EEG signal processing methods based on empirical mode decomposition or transfer learning, the highest accuracy was 88%. We have developed to display pre-prepared sentences based on the results of menu choices.

研究分野：生体情報計測と応用

キーワード：生活支援工学

1. 研究開始当初の背景

ブレインコンピュータインタフェース (BCI) は利用者の脳活動に起因する生体情報からヒトの意思を汲み取り、コンピュータを介してコミュニケーションや機器操作に応用するものである。BCI が役割を果たす具体例は、重篤な疾患等により運動機能が低下して意思表現のための通常的手段を失い、不自由になった運動機能を介さずに意思を外部に伝達しなければならないときなどである。BCI による支援を必要とする疾患のひとつである筋委縮性側索硬化症 (ALS) は、運動ニューロンが侵される疾患で進行性が高く、そのため四肢の運動機能障害から呼吸器障害へと進行する。人工呼吸器を装着すると会話やしぐさによる家族や介助者との直接的な意思疎通が困難となる。この疾患は感覚機能には全く影響がないことから視覚機能が十分に残存している状態では文字盤や視線検出装置によるコンピュータ入力手法が種々確立されており、間接的ではあるが確度の高いコミュニケーションが可能である。しかしながら視覚機能はその一部に運動機能を伴うことから、徐々に視覚による意思伝達にも困難が生じてしまう。

聴覚は運動機能が全く関係していない感覚であるため、情報を伝達する手段としては十分であるが、患者の意思を汲み取る手段はない。このような場合に有効な手段として BCI が研究、開発されている。

聴覚を利用した BCI においては、事象関連電位 P300 成分の惹起に注目した方式が簡便で多数研究されている。事象関連電位 P300 成分は高頻度に呈示される刺激の間に低頻度で呈示される刺激に注意を向けた際に顕著に惹起されるため、その応用としてメニューの様な数種類の刺激が繰り返し呈示される中で、特定刺激に選択的に注意を向けることで、選択したメニューを判別しようとする手法が実現されている。

聴覚利用の BCI として、利用者に呈示する音には様々な音が利用、検討されている。本システムのような目的を考えた場合、呈示音として一定の周波数のトーンバーストや楽器音等、音質の特徴を聞き分けるものでは、呈示音とその音の意味を事前に関連付けて利用者が理解している必要があり、不都合な点が多い。そのため本システムでは事前に打ち合わせの必要がない、音声単語を直接呈示するシステムの構築を目指した。

本研究のシステムは、利用者が求めそうな用件を音声メニューとして呈示し、メニューを階層化することで多様な要求に対応し、各階層での選択結果をまとめた後に利用者の意思を簡易的な文章として表現するシステムとして検討した。

2. 研究の目的

本研究は、次のような目的、手順で実施した。

- (1) 階層化した音声メニューに基づいた BCI 実験システム構築する。
- (2) 性能に関わるメニューの判別率向上について、信号処理的手法および機械学習による手法を検討する。同時に呈示回数などのパラメータも検証する。
- (3) 目的とする意思伝達システムの運用上に必要な機能を検討、解決法を提案する。
- (4) オンラインで実行可能な階層化音声メニュー-BCI を構築する。

3. 研究の方法

(1) 実験システムの構成

基礎的に構築した実験システムでは、あらかじめ意思伝達に必要なと思われる要件を適宜分解して階層化した用語のメニューを構成した。実験システムでは階層数 3 層、1 階層のメニュー用語数 4 語を基本とした。音声は音声合成ソフトウェアにより作成してあらかじめ用意するものとした。1 用語の文字数は 3~5 文字、音声再生時間は 200~450ms 程度とした。音声合成時の音声パラメータ (音高、音色など) は同じ条件で作成した。

本研究で用いる音声メニューを一般的なオドボール課題の応用とみなし、刺激頻度が 1:3 となるように 4 音声から選択するひとつが標的的刺激であり、他の 3 音声为非標的的刺激に相当している。

実験システムでは種々のオフライン解析も目的のひとつとして、各用語 20 回の呈示を実験の単位とした。メニュー用語の呈示は、4 用語 1 回ずつの呈示を 1 刺激グループとして、グループ内でランダムに呈示し、20 回行う形式をとった。音声メニューの呈示間隔は 1.5~2.0 秒で構成した。音声呈示にはヘッドフォンを用いて呈示音圧は 60dB を基準とした。

脳波計測は国際 10-20 法の Fz、Cz、Pz として参照電極は両耳朶とした。実験はシールドルーム、被験者は安楽椅子に座って実験した。

(2) 解析手法

本システムの性能は各階層の選択メニュー判別率に大きく依存する。判別手法について種々検討したなかで、非線形信号処理向きの経験的モード分解 (EMD) に基づいた手法と転移学習を用いた手法についてまとめる。EMD を利用した解析では、脳波を帯域フィルタ (0.5~30Hz) 通過後に EMD の手順に従い複数の固有モード関数とトレンド成分と呼ばれる残差信号に分解した。得られた複数の固有モード関数のうち、最初に算出される固有モード関数 (第 1 固有モード関数)

と残差信号を除いた複数の固有モード関数から判別用の信号を再合成して判別を行った。判別に最も有用な固有モード関数は、被験者や上記帯域フィルタの特性にも因るが、第2~4固有モード関数であり、固有モード関数の組み合わせを調整して判別用の信号を再合成した。

EMD 応用のもうひとつの手法として1刺激グループごとに各計測位置のP300成分を含む固有モード関数を比較し、その結果をポイントとして用語ごとに積算する方式を試した。

本検討に機械学習(教師あり)の適用について検証した。実験システムで教師あり機械学習を検討するために必要十分なデータ数を揃えることは困難と考え、P300成分を含むEEGの公開データを利用した転移学習として検討した。本検討ではドメイン適用型の転移学習として、ソースドメインとして視覚刺激により導出されたP300成分を含む脳波データを利用した。ターゲットドメインデータは実験システムにより得られた4音声メニュー呈示実験のデータである。特徴量としては脳波測定位置に基づいた共分散行列、判別器としてサポートベクタマシンを利用した。

(3) 本システム運用のための機能の検討

本検討過程でシステムの運用上の必要な機能として2階層目以降の訂正機能を検討した。本システムは階層型であり、上位階層の選択結果により次の階層の呈示音声を選ばれる。各階層での選択結果は必ずしも正しくなく誤った結果で次の階層に進むこともある。この場合は次階層開始後、速やかに訂正できることが望ましい。次の階層で訂正の選択を可能とする機能を提案する。

4. 研究成果

本研究のために前述した実験システムを構成して、メニュー判別率の検討及び運用上の機能を検討した。

基本的なシステム性能に関わる4音声メニューの判別率については次のとおりである。

EMDで得られる固有モード関数による再合成信号を用いた判別では6人の被験者のオフライン解析において20回の試行で80%の判別率が得られ、5回試行として解析すると60%にとどまった。単一試行ごとの固有モード関数による再合成信号の比較によるポイント積算の手法では20回試行で83%、2階層判別率は67%であったが、これは10回試行でもほぼ同値であった。

転移学習による検討では、当初、単一EEGの共分散行列を特徴量とした判別では十分な判別率が得られなかった。このEEGの共分散行列には計測位置に関連する空間情報は含まれることになるが、本システムでねらいとしているP300成分の時間情報は十分に表現できていない可能性がある。加えて、ターゲットドメインとなるデータは、複数の被験者かつ複数の計測日のものであることから、空間情報と時間情報の双方を有する共分散行列を表現すること試みた。そのために単一EEGの共分散行列に平均信号を連結して事象関連電位に関する共分散行列の形態とした。この分析では5試行の加算平均データを単位として解析した。すなわち、1階層4音声メニューは5回呈示される。9人の被験者において平均では72%、最高は88%の判別率を得ることができた。本解析でソースドメインとして使用した公開データは視覚刺激に基づいたオドボール課題に類似したものである。視覚刺激と聴覚刺激では若干ながらP300成分の現れ方に違いがあることから、より本システムの条件に近い学習用データを利用した転移学習が相応しいと思われる。

本システムの運用上の課題として取り上げた2階層目以降の訂正機能について説明する。2階層目以降では上位階層での選択判別が正しく行われずに結果が誤りであった場合は、何らかの訂正機能が必要である。音声メニューのひとつとして「(上位階層に)戻る」を呈示してもよいが、冗長な選択肢となってしまうため、音声メニューは用件のみで各階層を構成することとした。そのため訂正機能としてメニューと全く異なるクリック音をランダムに呈示して、訂正選択のためには音声メニューではなく、クリック音に選択注意を向けるものとした。クリック音をメニューと異なるタイミングで呈示することで、1階層の実行に必要な時間が長くなることはない。これまでの検討から、音声を刺激音としたときより、クリック音やトーンバーストを刺激音としたときの方がP300成分の惹起を検出しやすいことを確認していた。すなわち2階層目以降では、4音声とクリック音の5つの刺激に対してどの刺激を選択しているか判別することになる。基礎的な検討では、音声メニューの呈示に対してクリック音呈示を約半分の音圧で提示した。基礎的な検討ではクリック音選択時の判別率は80%以上であった。

本システムの最終的な出力は、順次階層メニューから選択した結果を意思表示として、簡易ながらも文章的に示している。文章として表現するために、階層ごとに選択された用語の組み合わせに基づいて、あらかじめ文章化の枠組みを用意した。用語の組み合わせと枠組みを合成して意思を文章で示した。総合的には概ね当初の目的を達したと考えられるが、所要時間や被験者への個別適応方法などの課題が明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0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 橋本昌巳, 松井智也, 窪田圭志	4. 巻 120(35)
2. 論文標題 音声メニューBCIのための選択肢呈示方法の基礎検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 松井智也, 橋本昌巳, 伊東一典	4. 巻 119(322)
2. 論文標題 音声メニューの選択注意の基づいたP300型BCIの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 45-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 沼田陸, 橋本昌巳
2. 発表標題 EMD解析によるP300型音声BCIの基礎検討
3. 学会等名 第42回日本生体医工学学会甲信越支部大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沼田陸, 橋本昌巳
2. 発表標題 経験的モード分解の階層型音声メニューBCIへの応用
3. 学会等名 第20回日本生体医工学学会甲信越支部長野地区シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 沼田陸, 橋本昌巳
2. 発表標題 音声メニュー選択課題を用いたP300型BCIのシステム開発
3. 学会等名 日本生体医工学会甲信越支部長野地区シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松井智也, 橋本昌巳, 伊東一典
2. 発表標題 音声刺激を用いたP300型BCIにおける標的刺激判別方法の検討
3. 学会等名 日本生体医工学会甲信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川西優輔, 橋本昌巳
2. 発表標題 EMD解析による音声刺激を用いたP300の判別検討
3. 学会等名 第43回日本生体医工学会甲信越支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 城戸透馬, 橋本昌巳
2. 発表標題 転移学習を用いた音声メニュー型BCIシステムの検討
3. 学会等名 第21回日本生体医工学会甲信越支部長野地区シンポジウム
4. 発表年 2024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
---------	---------