

令和 2 年 6 月 6 日現在

機関番号：16101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12768

研究課題名（和文）個人差を考慮した脳波分析法を用いた意思伝達BCI構築のための基盤研究

研究課題名（英文）A Study on Electroencephalogram Analysis Method Considering Individual Differences to Communication BCI

研究代表者

伊藤 伸一（ITO, Shin-ichi）

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部（理工学域）・助教

研究者番号：90547655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、特別な訓練が不要なBCI構築を目標とし、個人差（個体内差、個体内差）を緩和する手法を考案した。個体内差の緩和では、個体ごとにモデルを構築することで対応した。個体内差の緩和では、統計モデルまたは深層学習を適用し、ノイズ除去ならびに特徴抽出を実装することで対応した。学習理解の有無の検出では68.3%の判別精度、聴取音に対する好みの音の検出では88.27%の検出精度、聴取音楽に対する聴く意思の検出では99.4%の分類精度、を実現するに至った。とくに、聴く意思の検出では、前頭前皮質と側頭部に意思を意味する脳活動が確認され、新たな知見を得るに至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学習理解の有無の検出では68.3%の判別精度、聴取音に対する好みの音の検出では88.35%の検出精度、聴取音楽に対する聴く意思の検出では99.4%の分類精度、を実現するに至った。これらの研究成果は、意思を司る前頭前野脳波からその意思を直接的に検出するため、訓練を必要としない意思伝達BCIの構築が可能になるという学術的意義をもつ。また、IoTでも使用可能な感性インタフェースの構築に役立つという社会的意義をもつ。とくに、介護・医療や教育現場などにおいて、真意を伝えるコミュニケーションの支援、などの新たなヒューマンインタフェースの構築など、幅広い分野での貢献が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In checking whether human understands contents of learning, Center cumulative frequency comparison (CCFC) method was used to judge EEG signals or EEG signals with artifact. Multistage independent components analysis (MICA) was proposed to remove artifact and noise signals. Multi-layer perceptron was used to judge whether human understands contents of learning. The experimental results showed 68.3% of recognition accuracy. In detecting preference of listening to sounds, Gray associate degree was calculated to extract the features of EEG signals and remove the noise signals. Support vector machine (SVM) was used to detect the preference. The experimental results showed 88.27% of detection accuracy. In human-wants detection during exposure to music, Convolutional neural networks (CNNs) was used to extract the features of EEG and remove the noise signals. The SVM was used to detect the human-wants. The experimental results showed 99.4% of recognition accuracy.

研究分野：人間情報学

キーワード：脳波 個人差 灰色理論 嗜好 意思検出 BCI 深層学習

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脳科学の発展および工学的技術革新に伴い、ブレイン・コンピュータ・インタフェース (Brain Computer Interface: BCI) などの脳波インタフェースの研究・開発が飛躍的に進展している。国内の関連研究では、脳活動計測法を利用して感性を評価する研究、ヒトの意思をセンシングする脳波インタフェース、および電動車いすを制御する BCI の研究・開発が盛んに行なわれている。意思伝達のための BCI システム (意思伝達 BCI) では、ディスプレイに表示されているアイコン (音楽を聴く) をクリックする操作を脳波で行なうものであり、直接的に意思 (音楽を聴く、音楽を聴かないなど) を検出するものではない。また意思伝達 BCI を使用するには、その BCI を使いこなすための訓練が必須であり、過酷である。もし、直接的に意思を検出することができれば、訓練を必要としない意思伝達 BCI を構築することが可能になる。直接的に意思を検出するには、意思を司る前頭前野の活動が対象となる。前頭前野の活動を頭皮上脳波から計測する場合、個人差が著しいことが課題の一つとして挙げられている。とくに心の計測においては、その個人差が脳波分析の精度低迷の原因の一つとなっている。また国外では、脳内メカニズム解明を目指し、脳活動の個性 (個人差) が着目され、「意思決定」時の脳活動とその個人差に関する研究などが行なわれている。しかしながら、個人差が生じる要因の究明にまでは至っていない。代表者は、前頭前野はヒトの性格を司る部位でもあることから「性格の違いが個人差の生じる要因の一つである」という仮説を立てている。本課題では、その仮説に基づく個人差を考慮した脳波分析法を応用して意思を検出する。

我々はこれまでに (図 1 参照) 日常生活場で手軽に利用可能な BCI のシステム設計を想定して、脳波の個人差に基づく脳波分析法に関する研究に従事している。まず、脳波の個人差を緩和する脳波分析法を考案し、その有効性を示すことで、脳波分析において個人差を考慮することの有用性を証明した。次に、前頭前野脳波の個人差と性格の違いとの関係について、実験的検証を介して考察した。実験的検証を実施した研究成果は、高い評価を受けている (第 20 回インテリジェント・システム・シンポジウムベストプレゼンテーション賞)。また、脳波分析精度向上のために、心理テストを使用して性格を得点化し、その結果を脳波分析法に反映する手法を考案した。ここでの脳波分析では、欠落した情報を補助しながらデータマイニング可能な灰色理論を用いて脳波の特徴量を抽出した。実験結果より、提案手法の有効性を示すことができた。一方、これまでの研究とは別に、「足を上げる」という意思を運動に司る脳活動 (運動野・運動連合野の脳波) からではなく、意思を司る前頭前野脳波から検出する手法を考案した。実験的検証結果より、提案手法の有効性を示すことができ、前頭前野脳波を分析することでヒトの意思が検出可能であることを確認できた。また、これらの研究成果が認められ、招待講演を依頼されるに至った。

しかしながら、いずれも BCI の構築において十分な精度ではなかった。これは、計測箇所が一箇所であるため一般的なノイズ除去法を適用困難なこと、脳波分析のための計測箇所が不確であること、および性格分析が不十分であること、などが脳波分析精度の低迷の原因であると示唆された。本課題では、上述する課題を解決することで、意思を検出する脳波分析法を確立する。

2. 研究の目的

研究期間内において、以下の 3 点について明らかにする。

(1) 多チャンネル脳波計測によるノイズ除去および脳波の特徴抽出

多数の計測点において聴取音楽に対する聴取の意思を脳波で検出する。また、多チャンネル脳波分析に有効な欠落した情報を補助しながらデータマイニング可能な統計理論を導入することで、ノイズ除去および特徴抽出を行なう。さらに、ノイズにロバストな機械学習手法の一つである深層学習を用いて、意思を意味する脳波の特徴を抽出する。

(2) 個体間差および個体内差の軽減

被験者ごとに心理状態を意味する脳の活動の違い、意思など思考を意味する脳の活動の違いを考慮し、Society5.0 におけるパーソナライズのシステムを想定し、個人ごとにモデルを構築する。そうすることで、個体間差の影響を緩和する。また、統計理論または深層学習を用いて、統計的、学習的に個体内差を軽減しながら、意思を意味する脳波の特徴を抽出する。

(3) 最適な計測箇所の選抜

多数の計測箇所において観測されるデータの中には、「意思」に寄与しない計測箇所が含まれる可能性がある。実験的に、「意思」と計測箇所との関連性について考察し、聴取の意思に関連する脳波が取得可能な計測箇所を選定する。

3. 研究の方法

(1) 多チャンネル脳波計測によるノイズ除去および脳波の特徴抽出

主成分分析 (PCA)、独立成分分析 (ICA)、灰色理論 (Gray model)、中心累積度数比較などの統計モデル、および教師あり学習機の一つである深層学習ならびに畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を適用・応用して、ノイズ除去および脳波の特徴抽出を試みる。とくに、明らかなノイズである瞬きのアーチファクトに関して、そのアーチファクトが混入している脳波を

特定し、ICA などの統計モデルを用いて、ノイズ信号を分離する。さらに、分離した信号と元の脳波を対象とし、ICA を用いてノイズと脳波の信号の分離を行う multistage ICA を考案する。また、教師あり機械学習機の一つであるサポートベクターマシン (SVM)、multi-layer perceptron (MLP) を用いて検出、判別、分類を実施することで、ノイズ除去ならびに特徴抽出の精度を評価する。さらに、聴取音に対する嗜好の検出、学習理解の有無の判別、聴取音楽に対する聴く意思の検出問題に適用し、選抜方法を評価する。

(2) 個体間差および個体内差の軽減

脳波は個人差 (個体間差、個体内差) が著しく、とくに、心理状態や感性に関連する脳の活動はその検出・判別・分類精度を著しく低下される要因になるまでに至っている。Society5.0 では、システムやサービスをパーソナライズすることが推奨されている。このことを受けて、個体間差の影響を緩和するために、個人ごとにモデルを構築する。また、ICA、Gray model などの統計モデルを用いてノイズの除去、特徴強調を実施するとともに、個体内差を特徴を抽出することで、その影響を緩和する。くわえて、機械学習機の一つである深層学習・CNN を適用することで、学習的にノイズの除去、特徴抽出を行うとともに、個体内差の影響の緩和を試みる。さらに、聴取音に対する嗜好の検出、学習理解の有無の判別、聴取音楽に対する聴く意思の検出問題に適用し、選抜方法を評価する。

(3) 最適な計測箇所を選抜

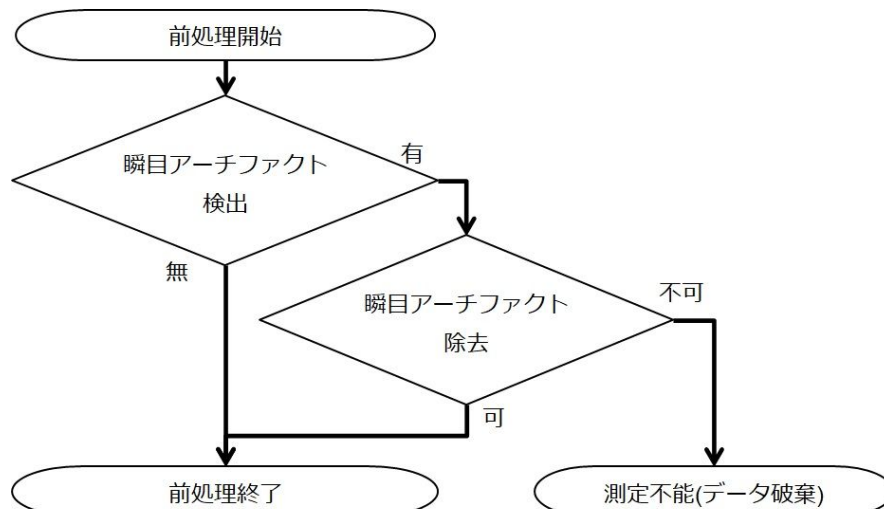
一つ一つの計測箇所から観測される脳波を目視で確認し、明らかに電位が低い場合、脳の活動が確認困難な箇所を選抜する。また、一つ一つの計測箇所において、その脳波を使用して信号並びに特徴を検出し、分類し、その分類精度に基づいて考察し、最適な計測箇所を推定する。さらに、先行研究の研究成果に基づき、計測箇所を選抜する。以上の方法により、最適な計測箇所を選定する。また、聴取音に対する嗜好の検出、学習理解の有無の判別、聴取音楽に対する聴く意思の検出問題に適用し、選抜方法を評価する。

4. 研究成果

(1) 学習理解の有無の把握による脳波のノイズ除去および脳波分析

脳波の計測箇所は、前頭前皮質の活動を反映すると考えられる国際 10-10 法に基づく AF3、F3、F7、FC5 とした。これは、一つ一つの計測箇所のデータを分析し、学習の理解の有無に関連すると思われる信号が頻繁に確認できる箇所を、予備的実験として評価した結果に基づく。評価の基準は、学習を理解していないときの脳波と学習を理解しているときの脳波の類似度が低くなるか否かとした。脳波のノイズ除去手法では (図 1 参照) まず、中心累積度数比較により、明らかなアーチファクトノイズを検出し、アーチファクトノイズが混入している脳波に対して、独立成分分析を適用し、ノイズ成分を分離した。ここで、中心累積度数比較では、まず、周波数成分のヒストグラムを作成する。次に、ヒストグラムの累積度数を算する。また、累積度数の中心周波数を特定する最後に、中心周波数が任意の閾値以上であればノイズを含むとみなし、任意の閾値以下であればノイズを含まないとみなす。さらに、ICA では、multistage ICA (MICA) を考案し、ノイズ除去精度向上を図る。MICA では、まず、4 箇所の計測箇所から、ノイズ成分を ICA により抽出する。次に、各計測箇所の脳波と抽出したノイズ成分を用いて、各計測箇所に含まれるノイズを ICA を用いて分離し、各計測箇所の脳波を抽出する。計算機シミュレーションにより MICA の有用性を検証を実施した結果、瞬きなどの明らかなアーチファクトノイズの削除に

図 1 アーチファクト検出およびアーチファクト除去の流れ



成功した。また、学習理解の有無を判別するために、MLP を採用した。ここでは、個体間差の

影響を緩和するために、被験者ごとにモデルを構築し、個体内差を緩和するために、ICAなどの統計モデルを採用した。学習理解の有無の検出を実験的に検証した。6名の被験者の協力を得た。検証した結果、68.3%の精度で学習を理解しているか否かを判別することが可能となり、提案手法の有効性が証明された。これらの研究成果は、国内学会、国際会議にて公表済みである。

(2) 聴取音に対する嗜好検出による脳波のノイズ除去および脳波分析

脳波の計測箇所は、左前頭極に当たる国際10-20法のFp1とした。これは、先行研究によりヒトの嗜好検出において、その嗜好が検出可能な箇所であるためである。ノイズ除去ならびに脳波の特徴抽出には、灰色関連度算出により実施した。灰色関連度は、統計処理の一つである灰色理論に基づいて算出される変量間の関連度を意味する。ここでは、1箇所から観測される脳波を周波数分析し、脳波の周波数成分のパワースペクトルの時系列変化を対象とし、その周波数成分間の関連度を算出することで、ノイズ除去および特徴抽出を実現する。また、嗜好の検出には、教師あり学習機であるSVMを採用した。さらに、個体間差の影響を緩和するために、被験者ごとにモデルを構築し、個体内差を緩和するために、灰色理論などの統計モデルを採用した。5名の被験者の協力を得て、実験的検証を実施した。その結果、「好きな音」の検出率は88.27%、「嫌いな音」の検出率は52.27%、「判断困難な音」の検出率は59.6%であった(表1参照)。Fp1箇所から観測される脳波を用いて嗜好を検出すると、ポジティブな印象を持つ音(好きな音)の検出が可能であるという新たな知見を得るに至った。これらの研究成果は、国際会議および国際学術論文にて公表済みである。

表1 聴取音に対する嗜好検出による脳波のノイズ除去および脳波分析の結果

(%)	Favorite	Dislike	Other
Gray + SVM (Proposed method)	88.27 ± 0.01	52.27 ± 0.01	59.6 ± 0.01
Gray + kNN	76.53 ± 0.01	50.67 ± 0.02	49.64 ± 0.01
PCA + SVM	88.0 ± 0.01	50.67 ± 0.01	59.47 ± 0.01
PCA + kNN	77.34 ± 0.01	47.46 ± 0.02	50.93 ± 0.01
Freq + SVM	87.47 ± 0.02	48.8 ± 0.01	52.27 ± 0.01
Freq + kNN	82.57 ± 0.03	47.74 ± 0.02	51.2 ± 0.01

(3) 聴取音楽に対する聴く意思検出による最適な計測箇所の選抜

脳波分析の対象箇所は、前頭前皮質および側頭部の活動を観測可能な国際10-10法に基づく8箇所(AF3、AF4、F3、F4、F7、F8、T7、T8)とした。最適な計測箇所の選抜では、8箇所すべて(8-channel: AF3、AF4、F3、F4、F7、F8、T7、T8)、側頭部を除く6箇所(6-channel: AF3、AF4、F3、F4、F7、F8)、前頭前皮質の中央付近の4箇所(4-channel: AF3、AF4、F3、F4)、左前頭前皮質の3箇所(Left-3-channel: AF3、F3、F7)、右前頭前皮質の3箇所(Right-3-channel: AF4、F4、F8)の5つの組み合わせから選抜した。脳波のノイズ除去ならびに特徴抽出には、CNNを採用した(図2参照)。また、聴く意思を検出するために、教師あり機械学習機の一つであるSVMを採用した。ここでは、個体間差の影響を緩和するために、被験者ごとにモデルを構築し、個体内差を緩和するために、パターン分類問題において非常に高い分類精度を獲得可能な深層学習機を採用した。9名の被験者の協力を得て、提案手法の有効性を検証するための実験を実施した。その結果、99.4%の精度で「聴く」「聴かない」の判別に成功した。被験者ごとのモデルを構築しない場合、76.1%の精度であった。CNNを使うことによってノイズ除去、特徴抽出、個体内差緩和が可能になったため、被験者ごとのモデルを構築しない場合において、比較的良好的な結果を獲得することができたと考えられる。また、もっとも判別制度を高くする計測箇所は8-channelであった。これは、「聴く」「聴かない」の意思を意味する脳活動が前頭前皮質および側頭部で行われていることを意味していると推察され、計測箇所を減らすことで、その情報が欠落することを意味していると考えられる。ヒトの意思を検出する場合、前頭前皮質および側頭部の活動が重要になるという新たな知見を得ることができた。これらの研究成果は、国際会議にて公表済みであり、国際学術論文に採録されている。

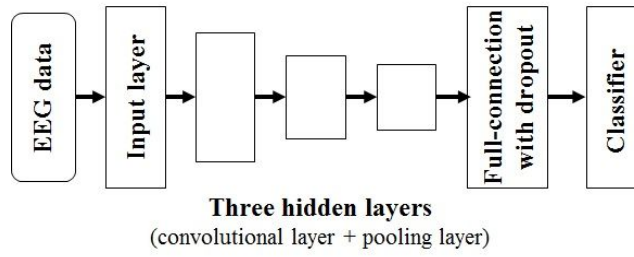


図 2 聴く意思検出のための CNN モデル

表 2 聴取音楽に対する聴く意思の検出結果 (被験者 9 名、各 10 回試行の平均±標準偏差(%)).

8-channel	Softmax	97.7±4.80
	SVM	<u>99.4±0.58</u>
6-channel	Softmax	91.6±3.95
	SVM	98.0±1.25
4-channel	Softmax	82.4±3.06
	SVM	91.8±2.98
Left-3-channel	Softmax	83.1±3.79
	SVM	91.0±2.75
Right-3-channel	Softmax	83.8±5.04
	SVM	90.9±4.51

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi	4. 巻 32
2. 論文標題 Human-Wants Detection Based on Electroencephalogram Analysis During Exposure to Music	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 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 -

1. 著者名 Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi	4. 巻 3
2. 論文標題 An Electroencephalogram Analysis Method to Detect Preference Patterns Using Gray Association Degrees and Support Vector Machines	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal	6. 最初と最後の頁 105-108
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.25046/aj030514	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4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Hisaki Omae, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 A Method to Detect Presence or Absence of Learning Understanding Using Center Cumulative Frequency Comparison Method and Multistage ICA
3. 学会等名 SAMCON 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichi Ito
2. 発表標題 An Electroencephalogram Analysis Method to Detect Answers of Questions Using Machine Learning Techniques
3. 学会等名 2019 International Conference for Leading and Young Computer Scientists（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hisaki Omae, Shin-ichi Ito, Momoyo Ito and Minoru Fukumi
2. 発表標題 A Method to Check whether Human Understands Contents of Learning Using Electroencephalogram
3. 学会等名 6th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shin-ichi Ito
2. 発表標題 An Electroencephalogram Analysis Method to Detect Preference Using Gray Association Degree
3. 学会等名 International Conference on Electronics, Information, and Communication 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究教育総覧 伊藤伸一 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/189119/profile-ja.html ヒューマンセンシング研究室 https://sites.google.com/view/humansensinglab 研究教育総覧 伊藤伸一 http://pub2.db.tokushima-u.ac.jp/ERD/person/189119/work-ja.html ヒューマンセンシング研究室 https://sites.google.com/view/humansensinglab
--

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