

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19807

研究課題名（和文）人間身体拡張を実現する脳・筋情報インターフェースに向けた運動意図の事前予測

研究課題名（英文）Prediction of motor intention from neuroimaging and electromyography: toward augmentation of human bodies

研究代表者

南部 功夫（Nambu, Isao）

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40553235

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人間の身体を拡張するインターフェースの実現を目指し、脳情報ならびに筋情報からの運動意図の抽出や自らの身体以外の外部機器を操作するための基礎検討を行った。脳波を用いた研究では、腕の到達運動や指運動を行っているときの運動情報を事前に予測できる可能性を示唆した。また、筋活動を用いた研究においても事前の運動予測や使用しない筋を用いた外部機器操作の可能性を示唆する結果を得ることができた。しかしその精度は十分ではないため、今後、精度を向上させるための検討が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では人間の生体情報を使って行動意図を読み取り、行動支援に繋げるための基礎検討を実施した。一連の研究において脳波を使った情報抽出や筋活動からの運動予測などの可能性を示唆する結果を得ることができた。これは生体情報に含まれる情報やその抽出方法についての知見を与えるという点で学術的意義があり、また、将来的に生体情報を用いた新しい行動支援装置やインターフェースの開発に貢献するものである点から社会的な意義がある研究だと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this work, we aimed at developing augmentation methods for human bodies and conducted basic researches to extract human motor intention from brain signals and muscle activity.

In researches using brain signals (electroencephalogram), we showed a possibility to predict motor intention before the actual movement in human arm reaching and finger movement tasks. We also showed usefulness of the muscle activity (electromyography) for prediction of intention.

However, the accuracy for the prediction is low so far. It is required to improve the accuracy for future application.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：脳波 筋活動 インターフェース BCI

1. 研究開始当初の背景

通常の間人が持つ知覚・能力を補完・拡張する工学分野である「人間拡張工学」が大きく発展している。その中の一つとして、千手観音像や Dr. オクトパス(映画スパイダーマン)のように自らの身体以外のものを自由に操作して身体を「拡張」させる「第3の腕」という発想がある。これが実現できれば、複数作業の同時遂行や作業空間の拡大、高齢者や身体が不自由な方の行動拡大などの新たな可能性が期待できる。しかし、従来研究では自らの身体の補助や別の部位を犠牲にして外部機器が多かった。これまでの研究では腕の加速度等のセンサ情報から行動をサポートする「補助型」や失われた身体機能を BMI などで補う「代替型」の研究が行われてきた。しかし、これらの研究ではユーザの身体と同じ運動を補完・代替する機能しか実現できておらず、ユーザ自身の身体と独立して自由に動かすことができていない。このように、従来の研究では、別の身体部位を“犠牲”にしており、その身体部位を使う場合には使えないことや、直感的でなく操作が難しいという問題があり、ユーザの意図で自由に操作できるものが求められていた。

2. 研究の目的

本研究では、自らの身体を拡張させて「第3の腕」を持ったように自由に操作できる新たなインターフェースの実現を目指し、脳と筋活動を用いて意図を予測する脳・筋情報インターフェースの構築を目的とした。特に、本研究では別の身体部位を犠牲にすることなく「第3の腕」を獲得するため、「運動準備」や「共収縮」に着目し、脳情報と筋情報を組み合わせたアプローチでこの問題を解決することを目指した。

3. 研究の方法

本研究では脳活動を用いたインターフェースに向けた検討と筋活動を用いたインターフェースの検討として以下の5つの項目を実施した。

(1) 脳波による運動準備情報の抽出に関する検討

最初に到達運動時の精度(難易度)に関する情報が運動前に抽出できるかについて検討した。水平面上での5方向の腕到達運動実験を実施し、実験課題として要求される終端位置の精度が異なる条件(ターゲットサイズ大、中、小)を設定し、その時の手先軌道と脳波を計測した。機械学習(Relevance vector machine および線形判別分析)を用いて運動0から1秒前の脳活動から運動条件(精度)の予測を行った。また、この運動方向について8方向に拡張し、反応到達運動実験でのデータも計測した。反応到達運動とは、被験者に運動すべきターゲットを提示後にすぐに運動を開始する実験である。このデータについてもターゲット方向が提示されてから運動する前の運動準備期間の脳波から運動方向の予測ができるか検討した。また、判別には Discriminant Power と呼ばれる特徴抽出と線形判別分析を用いた解析を行った。更に、到達運動における運動前の作業記憶(Working memory)が予測できるかを検討する実験も実施した。被験者は2つの運動方向を指示され、運動開始とともに2つの運動を順番に連続して行う系列運動課題を行った。その時の脳波データを計測し、運動前の作業記憶保持期間から運動方向の予測を行った。データ解析にはアーチファクト除去の後、畳み込みニューラルネットワークを用いて予測できるかを

確認した。

(2) 脳波による運動実行と運動想起の同時遂行に関する検討

あたかも第3の腕のように外部機器を操作するためには、自らの身体を動かしていると同時に外部機器を操作する必要がある。そこで、ユーザー(被験者)が自らの身体運動を行っている時に別の脳活動を検出できるかについて検討を行った。具体的には、被験者が右手のタッピング運動を実施しているときに、同時に右腕の到達運動をイメージする運動想起を行ってもらった実験課題を実施した。この実験時の脳波を計測し、被験者が運動実行のみを行っているのか、それとも運動実行と運動想起を同時に実施しているのかを判別できるか検討した。判別には Support Vector Machine (SVM)を用いて、運動関連領域からのデータと視覚関連領域からのデータに分けて解析を行った。

(3) 脳波のデータ解析手法に関する検討

運動予測のための効果的なデータ解析手法を検討するため、新規の脳波データ解析手法についても検討を行った。ここでは特に Transposed Convolution (TC) と畳込みニューラルネットワーク (CNN) を組み合わせた手法を提案し、その検証を行った。TC とは逆畳み込みに相当するもので、脳波データを入力次元数より多い新たな次元に拡張することができる。これを用いることで前処理の方法を恣意的に決めることなく実施できるのではないかと考え、検討をおこなった。

(4) 筋活動による腕軌道の予測に関する検討

脳波だけでなく、筋活動を用いた検討についても実施した。ここでも筋活動は運動前の準備時や運動直前に変化することを考慮し、運動の開始や方向を先に予測できる可能性について検討した。実験では、被験者が水平面上で肘のみの1次元運動を行ってもらい、その時の筋活動を計測した。計測した運動直前の筋活動データから運動の種類(屈曲もしくは伸展)を予測できるかを検討した。

(5) 脳活動の共収縮を活用したインターフェース操作に関する検討

最後に、筋活動を用いた外部機器の操作可能性について検討を行った。特にここでは共収縮に着目した。この目的のため、実験で被験者の上腕、胸部、腹部の筋活動を計測し、自分の腕や体を動かさずに共収縮により筋活動のみ生成させる課題を設定した。また、このときの筋活動に関連付けた画面状のカーソルを動かすように被験者に教示した。この実験により腕以外のどの筋活動が操作しやすいか検討を行った。

4. 研究成果

(1) 脳波による運動準備情報の抽出に関する検討

到達運動時の精度(難易度)に関する情報が運動前に抽出できるかについて検討した結果、精度条件の予測は40%程度であり、チャンスレベル(3クラス分類、約33%)以上となったがまだその精度は高いものではなかった。一方で入力脳波データを試行平均したものを使うとその精度は向上したため、精度に関する情報は脳波に含まれている可能性が高いことを明らかにした。次に、8方向の反応到達運動実験でのデータ解析の結果、低周波(0.1-4 Hz)の信号を利用するこ

とでチャンスレベル (8 クラス分類、12.5%) より高い結果となった。また、到達運動における運動前の作業記憶予測に関する検討の結果についてもチャンスレベル (2 クラス分類、50%) を上回る結果を得ることができた。これらの結果から運動前の脳波信号からこれから行うべき運動情報を抽出できる可能性を示唆した。ただし、その単試行予測精度は十分ではないため、データ解析手法に関して今後の改善が必要である。

(2) 脳波による運動実行と運動想起の同時遂行に関する検討

自らの身体運動を行っている時に別の運動をイメージ (想起) することができるか、またその想起の有無を検出できるについて検討を行った結果、運動関連領域からは 2 クラス分類で 70-80% の予測精度を得ることができた。これにより被験者は運動実行中に運動想起を行うことができ、また脳波から想起の有無を判別できる可能性を示した。一方、視覚関連領域から解析についてはその精度は運動関連領域より下がっていた。そのため、今回の想起に関連する脳活動は運動をイメージした筋感覚的な想起であった可能性が考えられる。

(3) 脳波のデータ解析手法に関する検討

運動予測のための効果的なデータ解析手法として Transposed Convolution (TC) と畳込みニューラルネットワーク (CNN) を組み合わせた手法を公開データセット (BCI Competition) に対して適用した結果、TC を使用しない方法に比べて大きな精度向上が見られた。また、その精度は様々な手法を用いた先行研究とほぼ同じとなり、提案手法の有効性を示すことができた。

(4) 筋活動による腕軌道の予測に関する検討

1 次元運動実験時に計測した運動直前の筋活動データから運動の種類 (屈曲もしくは伸展) を予測できるかを検討した結果、運動種類は 80-90% で予測できていたが、静止状態についてはエラーが多い結果となった。そのため、特徴抽出や判別分析手法についての検討が必要であると考えられる。

(5) 脳活動の共収縮を活用したインターフェース操作に関する検討

筋活動を用いた外部機器の操作可能性検討のため、自分の腕や体を動かさずに共収縮により上腕、胸部、腹部筋活動のみ生成させる実験を行ったところ、この実験により腕以外のどの筋活動が操作しやすいか検討を行った。体幹部の筋よりも腕部の筋の方で独立性が高く、外部機器を操作できる可能性が高いことが明らかになった。

以上の成果より、本研究では脳波ならびに筋活動を使い、人間の運動意図を事前に予測し運動中に別の機器を操作する意図を検出することができる可能性を示した。現時点ではその精度は十分ではないため、今後、解析手法や信号検出について更なる検討を進めていく必要がある。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1 . 発表者名 Naoki Fukuda, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2 . 発表標題 Classification of Movement Direction From Electroencephalogram During Working Memory Time
3 . 学会等名 41th Annual International IEEE EMBS Conference (EMBC2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 Koya Yoshino, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2 . 発表標題 Prediction of Reaching Direction from EEG Signal in a Reaction Task
3 . 学会等名 41th Annual International IEEE EMBS Conference (EMBC2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 Tomohiro Wakai, Kenshi Machida, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2 . 発表標題 Comparison of feature extraction and discrimination methods in Brain-computer interfaces
3 . 学会等名 the 5th workshop on Electronics and Information Engineering (WEIE2019)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1 . 発表者名 Kenshi Machida, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2 . 発表標題 Neural Network including alternative preprocessing by transposed convolution
3 . 学会等名 the 5th workshop on Electronics and Information Engineering (WEIE2019)
4 . 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 星野達也, 南部功夫, 和田安弘
2. 発表標題 筋活動を用いた手指運動の予測
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 小山翔吾, 南部功夫, 和田安弘
2. 発表標題 脳波による到達運動の軌道予測に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 若井智宏, 南部功夫, 和田安弘
2. 発表標題 脳波BCIにおける特徴量抽出および判別手法の比較・検討
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Taichi Tanaka, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2. 発表標題 Development of a method to control an arm assist suit by predicting of arm trajectory using Electromyography
3. 学会等名 IEEE Shin-etsu section
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Semoto Tomoki、Nambu Isao、Wada Yasuhiro
2. 発表標題 The Relationship Between the Movement Difficulty and Brain Activity Before Arm Movements
3. 学会等名 The International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2018), (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 瀬本智貴，南部功夫，和田安弘
2. 発表標題 Decoding the movement difficulty from electroencephalogram before arm movements
3. 学会等名 第18回日本神経学会全国大会(JNNS2018)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 小海祐揮，南部功夫，和田安弘
2. 発表標題 EEGを用いた想起運動と実運動の同時計測
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 瀬本智貴，南部功夫，和田安弘
2. 発表標題 腕運動前の脳活動と運動難易度の相関について
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Kenshi Machida, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2. 発表標題 Neural Network Including Alternative Pre-processing for Electroencephalogram by Transposed Convolution
3. 学会等名 The International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Yuki Kokai, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2. 発表標題 Identifying Motor Imagery-Related Electroencephalogram Features During Motor Execution
3. 学会等名 The International Conference on Neural Information Processing (ICONIP2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Taichi Tanaka, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2. 発表標題 Developing a Method to Control an Arm-Assist-Suit by Predicting Arm-Trajectory Using Electromyography
3. 学会等名 42th Annual International IEEE EMBS Conference (EMBC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 小海祐揮, 南部功夫, 和田安弘
2. 発表標題 実運動と運動想起の同時実行を行うことができるかの検証
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 齋藤実仁, 南部功夫, 和田安弘
2. 発表標題 筋肉の共収縮による外部機器制御のための表面筋電位取得部位の比較
3. 学会等名 第30回日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 齋藤実仁, 南部功夫, 和田安弘
2. 発表標題 腕型外部機器制御のための表面筋電位取得部位の比較
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Yuki Kokai, Isao Nambu, Yasuhiro Wada
2. 発表標題 Classification motor execution and motor execution with motor imagery by support vector machine
3. 学会等名 電子情報通信学会信越支部大会IEEE shin-etsu session
4. 発表年 2020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
研究 分担 者	和田 安弘 (Wada Yasuhiro) (70293248)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	

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