

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H04109

研究課題名（和文）脳の予測機能を応用した新しいブレインマシンインタフェースの開発

研究課題名（英文）New Brain Machine Interface using prediction information in the brain

研究代表者

小池 康晴 (Koike, Yasuharu)

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：10302978

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,000,000円

研究成果の概要（和文）：前後左右の4方向において、前庭電気刺激(GVS)により識別率が向上することを示した。また、脳波計測において、4方向を識別するために、すべての実験参加者に共通する電極位置を検討した。この結果、各個人の識別率の高い電極位置よりも、すべての実験参加者に共通の電極位置で推定を行う場合、電極の数が少ない場合は、共通の電極位置での推定がよりよい精度を示すことも分かった。さらに、車椅子を操縦する想定において、知覚される動きによる加速度が小さいことから、GVSの刺激強度を小さくしても識別率が下がらないかを検証した。この結果、GVSの強度を当初の半分にしても識別率が低下しないことも確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのブレインマシンインタフェースは、実際の操作と脳でイメージする内容が異なっていた。このため、操作の仕方を学習する必要があったり、繰り返しイメージを行っているとき識別率が下がるなどの問題があった。本研究では、操作する方法と同じようにイメージするだけでロボットなどが操作できる方法を提案する。このため、操作方法を学習したり練習しなくても感覚のままに操作できるロボット制御システムを構築することができた。

研究成果の概要（英文）：We showed that vestibular electrical stimulation (GVS) improved the discrimination rate in four directions: front, back, left and right. In addition, we examined the electrode positions that were common to all participants in the experiment in order to discriminate the four directions in the EEG measurement. As a result, it was found that the estimation with the electrode position common to all experimental participants showed better accuracy than the electrode position with high discrimination rate for each individual, when the number of electrodes was small. In addition, we tested whether the discrimination rate would decrease even if the intensity of the GVS stimulus was reduced, because the acceleration due to the perceived motion was small in the assumption of maneuvering a wheelchair. As a result, we confirmed that the discrimination rate did not decrease even if the intensity of GVS was reduced to half of the initial level.

研究分野：BMI/BCI

キーワード：脳波 予測 BMI/BCI 外部刺激

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ブレイン・マシン・インタフェースは、考えただけでロボットを操作できる技術であり、脳活動だけから多自由度のロボットを制御することが可能となってきている。しかし、現状のシステムはロボットの位置を「右」や「左」などと考えながら操作しており、人が通常行っているような操作とは大きく異なっている。この理由は、現在脳波により識別できる空間解像度が低いために、脳の右半球や左半球が別々に活動が変化するように考える必要があるからである。

人が実際に行いたい行動を考えただけでその行動を識別できるブレインマシンインタフェースの研究が必要となっているが、似たような運動は脳の近くの場所の活動の違いを検出する必要があり、精度を向上させることが困難であった。

2. 研究の目的

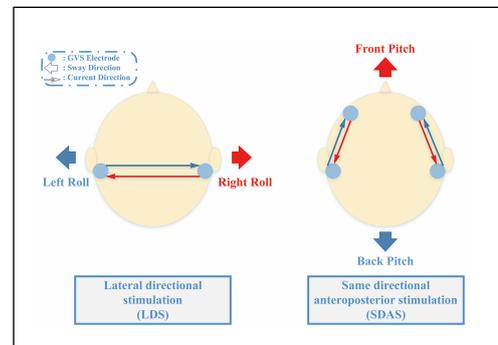
脳活動から運動指令を抽出するためには脳の制御方法を知る必要がある。我々はすでに運動学習制御モデルとして、筋骨格系モデルによる計算論的モデルを構築し、運動軌道だけでなく脳からの運動指令である筋活動も、計測された実際の軌道や筋活動と近いことを確認している。このモデルにおいては、運動による将来の状態予測と目標状態との誤差を修正するように運動指令を生成している。

本研究では、運動の想起を直接識別するのではなく、想起した運動と実際に起こった運動が同じか異なるかを識別する新しい手法を用いて、この誤差情報を脳活動から取り出すことで、自分の体を操作するようにロボットを操作するブレインマシンインタフェースを作成することを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、下記の 3 項目を実施した。

1. 脳波、近赤外光脳機能イメージング装置(NIRS)から、修正信号(誤差情報)が脳のどこから発生しているのかを明らかにする。
2. 前後左右の方向を推定するアルゴリズムを確立する。
3. リアルタイムで操作可能なシステムを構築する。

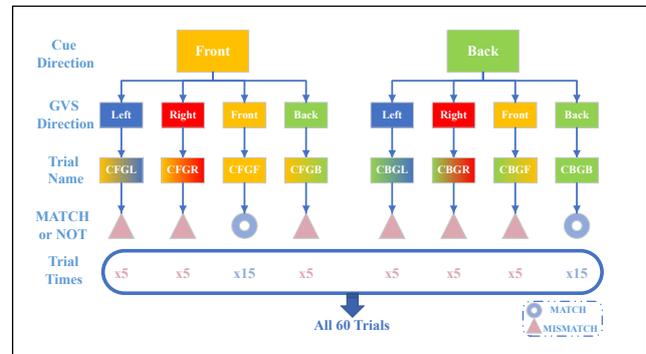


3.1 前後左右の識別

前後左右の識別を行うために、前庭電気刺激により実際の運動を行わない状態で 4 方向の運動が生じた感覚を生成することができるかどうかについて検討を行った。

当部の 4 カ所に電極を設置することで、前後だけでなく、左右の感覚を生じることが可能となった。また、実験の際は、実験参加者が知覚できないレベルの電気刺激を加えることで、GVS の刺激から運動方向が推定できないようにした。

また、これまでに左右方向の識別については精度良く推定できていたことから、前後の識別が可能かどうかについて検討を行った。

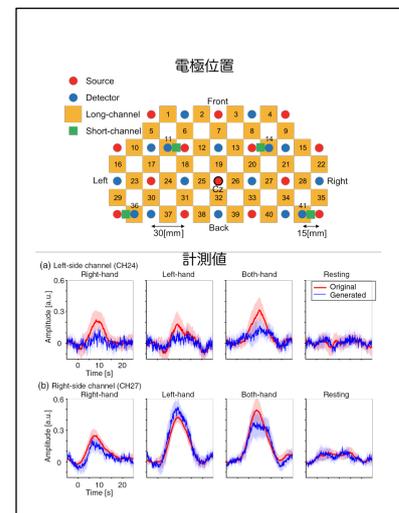


3.2 4 方向の識別アルゴリズム

前後左右の識別を行うためには、4 方向の中からある方向に運動を生じる GVS 刺激加えたときに、その方向を識別する識別器を作成する必要がある。しかしながら、左右の 2 方向の GVS 刺激と前後 2 方向の GVS 刺激の刺激方法が異なるため、一つの識別器では、精度の高い識別を行うことが困難であった。そこで、前後、左右の二つの識別器を用いて識別することとした。さらに、1 回の識別では、方向を間違える可能性があることと、実際の操作中ではいつ運動方向を想起しているかが不明確なため、実時間制御のことも考慮してランダムに GVS の方向を複数回与えたときに、左右、前後の二つの識別器を用いて 4 つの方向から誤差信号を識別できた方向 (Match) を正解とした。

3.3 電極位置情報

運動の想起では、右手、左手は、それぞれ左半球と右半球の運動野の活動が変化することが知られている。fNIRS の実験においても、右手の時には左半球の活動が大きくなるなど、同様の結果が得られている (文献 1)。また、誤差情報については、どの脳部位で情報が処理されているのかは分からないため、識別器の内部を調べることにより、左右、前後の識別に関わっている電極部位がどこに

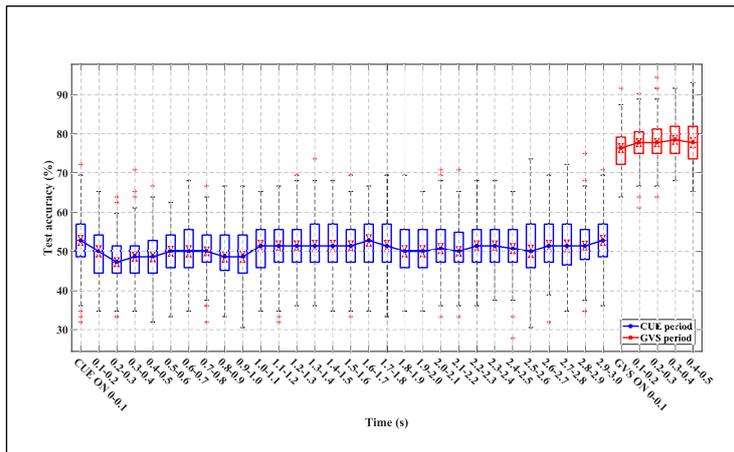


なるのかについて調べた。

4. 研究成果

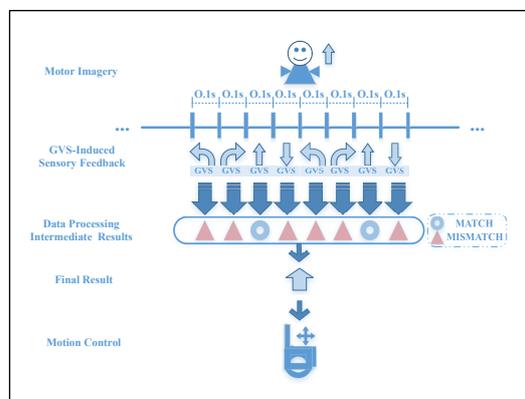
4.1 前後左右の識別

前後の運動想起を行っているときに前後の動きを惹起する GVS をランダムに前後方向に加え、GVS のありなしによって識別率がどのように変わるかを調べた。その結果、図に示すように、GVS を加える前から想起を行っているにもかかわらず、GVS を加える前(青)の識別率は5割程度であるが、GVS を加えたあと(赤)では8割程度に識別率が向上している。この結果は、左右の識別率とほぼ同等であることから、4方向の識別が可能であることが分かった(文献2)。



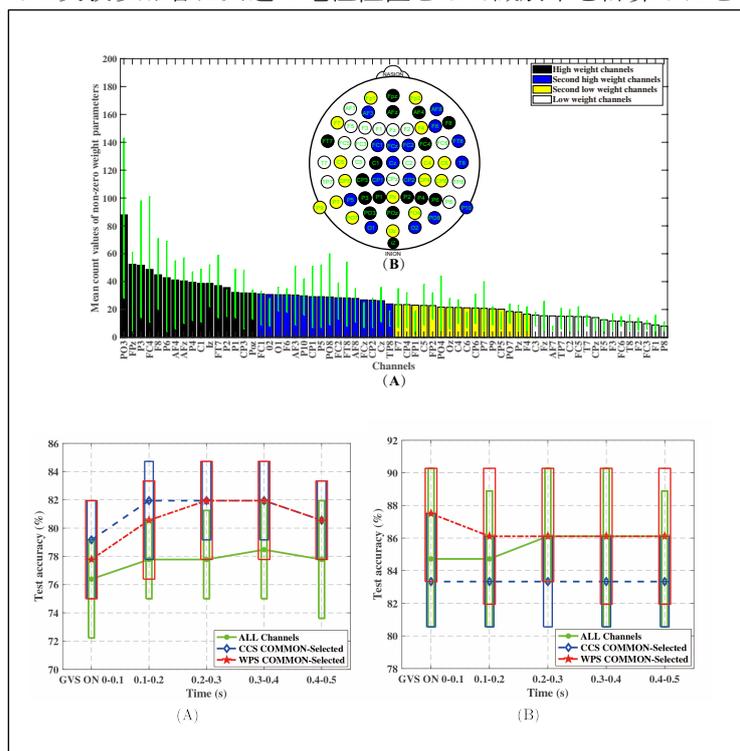
4.2 4方向の識別アルゴリズム

前後、左右の二つの識別器を用いて4方向の推定を行うため、GVSの刺激方向を0.1秒毎に切り替えることを2回繰り返して行った。前後のどちらかをイメージしているときに、左右の識別器が左右どちらの場合も mismatchの識別ができるため、4方向の中から一つだけの方向を選択することができた。4方向のGVSを2回行なっても0.8秒で方向を識別することが可能となる。実験により0.1秒間の区間においても高い精度で識別できているため、複数回繰り返すことで十分に精度の高い識別が可能であると思われる。



4.3 電極位置情報

識別に用いられる電極位置は、実験参加者毎に異なっている。このため、個人毎に識別率が最も高くなる電極位置を選び、すべての実験参加者で同じ電極がどの程度選ばれているのかを調べた。この結果、黒色で示した電極位置が多く選ばれていることが分かった。さらに、高頻度で選ばれている電極位置を用いてすべての実験参加者に共通の電極位置として識別率を計算したところ、前後・左右の識別率とも、共通の電極位置を用いても識別率は低下しないことも分かった。このことから、共通して選ばれている電極位置で誤差信号が表現されている可能性が示唆された。今後、実際の使用を考えて、電極の数を減らすことが必要であるため、共通した電極位置でも識別率が低下しないことは重要な要素である。さらに減らした場合の識別率の低下について調べることは今後の課題である。



5. まとめ

GVSを用いて、自然に動きを予測することで、予測誤差を元に識別器を作成し精度の高い識別率を示すことができた。4方向の識別が行えることで、車椅子など、ジョイスティックで操作するものについては、同様の方法で操作が可能であると考えられる。

また、電極位置も共通にし、15カ所の信号を用いることで、すべての電極を利用した場合とほ

ぼ同程度の識別率を示すことができたことから、実際の利用においても利用可能なアルゴリズムであることが分かった。

また、GVSによる重心動揺により、酔いなどを生じる可能性もある(文献3)が、今回刺激した強度は、実験参加者毎に重心動揺を生じると自覚する刺激強度よりも低い値を利用しており、GVS刺激による重心動揺に気がついていないため、酔いなども避けることが可能であると考えられる。

リアルタイム動作が可能なシステムを構築できたため、今後は、実機を使った実験などを進めていきたい。

引用文献

1. Nagasawa, T., Sato, T., Nambu, I., Wada, Y., FNIRS-GANs: Data augmentation using generative adversarial networks for classifying motor tasks from functional near-infrared spectroscopy, *Journal of Neural Engineering*, 17 (1), art. no. 016068, (2020)
2. Shi, Y. Ganesh, G., Ando, H., Koike, Y., Yoshida, E., Yoshimura, N. Galvanic Vestibular Stimulation-Based Prediction Error Decoding and Channel Optimization, *International Journal of Neural Systems*, (in press)
3. 中山洋輔, 青山一真, 北尾太嗣, 齋藤真理, 長田浩二, 山岸和子, & 安藤英由樹. 前庭電気刺激が VR 酔いに与える効果の検討. 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集. (2018).

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 1件）

1. 著者名 Kim Hyeonseok, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 2020
2. 論文標題 Investigation of Delayed Response during Real-Time Cursor Control Using Electroencephalography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Healthcare Engineering	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2020/1418437	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 Kim Hyeonseok, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Classification of Movement Intention Using Independent Components of Premovement EEG	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2019.00063	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8件（うち招待講演 3件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 施宇曦, 吉田英一, 安藤英由樹, Gowrishankar Ganesh, 小池康晴, 吉村奈津江
2. 発表標題 The control of the wheelchair by decoding human movement intention based on prediction error using EEG signals
3. 学会等名 第29回日本神経回路学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小池康晴
2. 発表標題 Brain machine interface
3. 学会等名 ASPIRE Forum 2019（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuharu Koike
2. 発表標題 Non-clinical brain computer interface applications
3. 学会等名 The First UAE Workshop on Clinical and Non-clinical Brain Computer Interface (WBCI2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuharu Koike
2. 発表標題 Motor Learning and Control Mechanism of the Brain
3. 学会等名 2019 Workshop on Brain-inspired Artificial Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroyuki Kambara, Makoto Miyakoshi, Hirokazu Tanaka, Takahiro Kagawa, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike, Scott Makeig
2. 発表標題 Dynamic modulation of brain activities during three- ball cascade juggling
3. 学会等名 29th NCM Annual Meeting (NCM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Atsushi Takagi, Hiroyuki Kambara, Yasuharu Koike
2. 発表標題 Robotic assistance increases the user ' s feedback gain
3. 学会等名 29th NCM Annual Meeting (NCM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Hayashi, Hiroyuki Kambara, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike
2. 発表標題 Effects of Vibrotactile Stimulations using Condition Based Time Coding for Haptic Information Feedback
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koki Okada, Toshiki Matsunaga, Yoichi Simada, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike
2. 発表標題 Hand movement reconstruction system using FES and EMG for hemiplegia patients
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018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	吉村 奈津江 (Yoshimura Natsue) (00581315)	東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授 (12608)	
研究分担者	吉田 英一 (Yoshida Eiichi) (30358329)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究部門付 (82626)	
研究分担者	神原 裕行 (Kambara Hiroyuki) (50451993)	東京工業大学・科学技術創成研究院・助教 (12608)	

6. 研究組織（つづき）

	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 (Yasuhiro Wada) (70293248)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	
研究分担者	安藤 英由樹 (Ando Hideyuki) (70447035)	大阪芸術大学・芸術学部・教授 (34405)	
研究分担者	G O W R I S H A N K A R . G (Ganesh Gowrishankar) (10570244)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・客員研究員 (82626)	

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