

令和 2 年 5 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19998

研究課題名（和文）深層学習による脳 機械インタフェースの深化 環境情報と利用者意図の双方向最適認識

研究課題名（英文）Development of the brain-machine interface with optimal recognition of environmental information and users' intention

研究代表者

小谷 潔（Kiyoshi, Kotani）

東京大学・先端科学技術研究センター・准教授

研究者番号：00372409

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：環境情報と親和性の高いBrain-Computer Interfaceを構築するため、光学シースルー方式のMixed Realityについて、環境情報を考慮した選択肢の提示と実際の車いす駆動システムの開発を行った。光学シースルー方式における基礎的な検討を行った後に、刺激提示手法、脳波解析手法、脳波識別手法を1つのシステムに組み込み、さらにリアルタイムで稼働させることで、実際に利用者意図に基づいて車いすを駆動するシステムを構築した。所定の場所への移動成功精度は68%であり（チャンスレベルは2.8%）適切にシステムが刺激提示、識別、移動までのプロセスを遂行していることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、基礎的な刺激や識別手法の検討を行った後に、実際に利用者意図に基づいて車いすを駆動するシステムを構築したという点で社会的な意義を果たした研究と考えられる。環境情報を考慮したスマートかつ利用者にとって自然な情報提示に基づく車いす駆動システムを構築することができた。利用者は仮想マーカーが配置された場所であればどこでも移動することができ、従来の運動想起型BMIによる車いす操作に比べると、特別な訓練が不要であることや移動方向を常にイメージしなくても一度の指令で移動可能などの利点を持つ。

研究成果の概要（英文）：In order to construct a Brain-Computer Interface that has a high affinity with environmental information, we have developed a wheelchair driving system for Mixed Reality. After a basic study of the optical see-through system, we built a system that actually drives a wheelchair based on the users' intentions by combining a stimulus presentation method, EEG signal processing, and EEG discrimination into a single system and then operating it in real time. The accuracy of the successful movement to a given location was 68%.

研究分野：生体信号処理

キーワード：Brain-Machine interface P300

## 1. 研究開始当初の背景

脳—機械インタフェース（Brain Machine Interface: BMI）とは、脳波信号を識別して、利用者の意図を読み取り、その意図に沿って外部機器や情報操作を行う技術である。BMI は筋萎縮性側索硬化症の患者や、要介護認定の高齢者の生活支援技術として注目されている。一方で、現状の BMI 技術では脳波からリアルタイムに読み取り可能な情報量が少ない点が実用上の課題となっている。近年では、従来の BMI を改良し、申請者らの研究を含め、AR（Augmented reality）を用いてより直観的に操作可能な AR-BMI が提案されている。AR-BMI は BMI 技術として期待が大きい技術であるが、現在の AR-BMI では、

- ① 脳活動情報の学習・識別能力が低く、単位時間あたりに実行できるコマンドの数が少ない。
- ② 環境中に新たに追加された機器の AR 情報を効率よく BMI システムに追加していくことができない

という 2 点の大きな問題がある。

## 2. 研究の目的

上記の研究の背景に基づき、本研究では、近年の深層学習（Deep Learning）の発展を踏まえ、学習・識別器を改良することで利用者からシステムへの利用意図伝達速度を向上させる。さらに、環境情報を自動取得し、光学シースルー方式の AR システムと連動することで、利用者にとって自然な（直観的な）インタフェースに発展させ、これまでにない実用レベルの AR-BMI システムの構築することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、これまでにない実用レベルの AR-BMI システムの構築することを目指し研究を行う。具体的には、次に示す 3 つのステップの内容および計画を実行する。

I) 第一に深層学習を深化させ新たな脳情報識別手法の構築を目指す。深層学習とはニューラルネットワークにおける中間層を多段に重ねた教師あり学習による識別手法である。本研究においては、現状の深層学習の利点を活かしながら、「時間方向の情報を含めること」、「異なる計測機器から得られた次元の異なる情報を統合して学習・識別できること」の 2 点を解決する手法を提案・構築する。

II) 第二に外部環境にある機器を自動で認識し、AR 情報を自動抽出する手法の構築を目指す。システムが外部環境の機器を認識し、利用者が AR-BMI に機器情報を入力しなくても、システムに AR 情報を自動で抽出・付加する手法の構築を目指す。

III) 脳情報識別と外部環境認識の 2 つの識別器における双方向の情報処理を最適化したシステムを構築し AR-BMI の情報量や利便性を向上させる。

これら I-III によって、AR-BMI における操作時間短縮と利便性の革新を果たし、脳情報から直接車椅子操作、無線機器駆動、ボタン押しなどの物理操作を実現する。

## 4. 研究成果

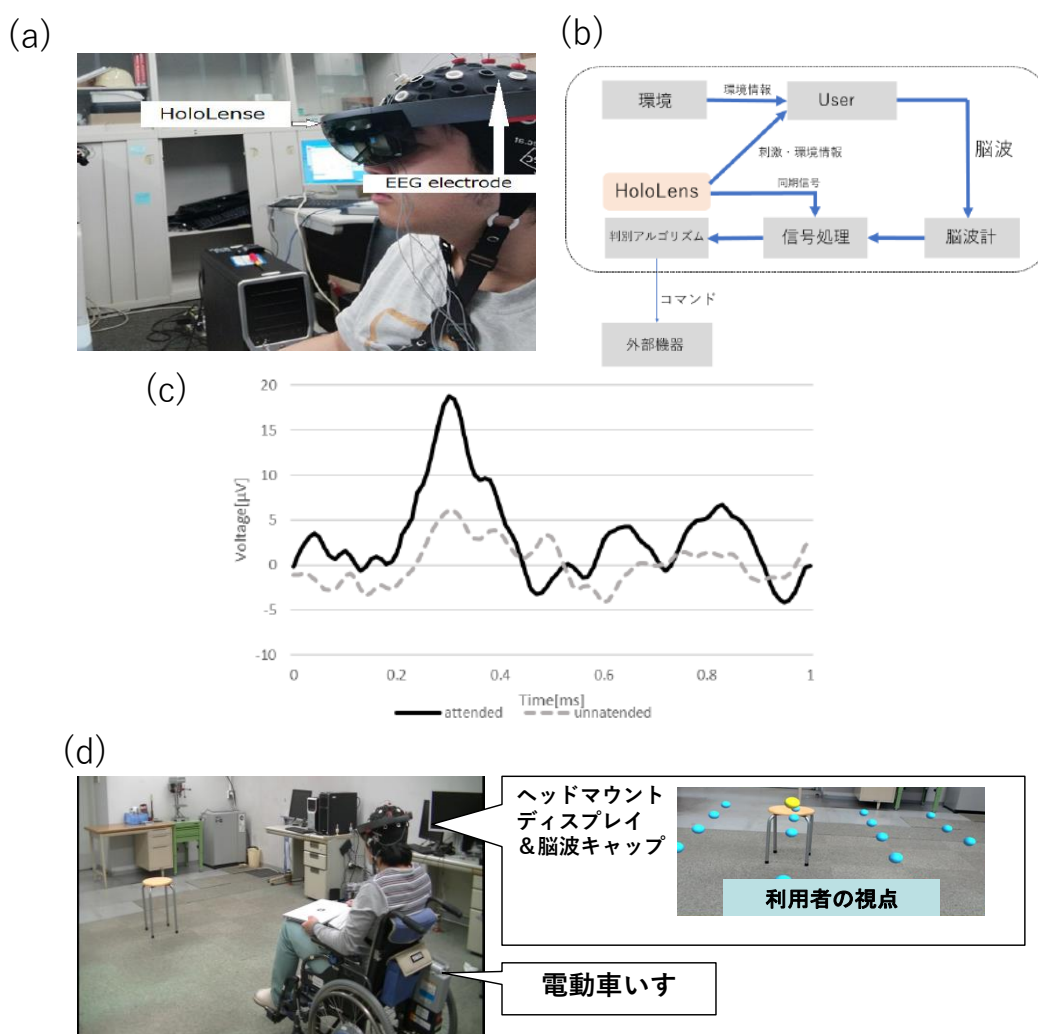
上記の I-III に従い、はじめに基礎的な研究として、深層学習で脳波を識別する際に学習器の設計が識別結果に与える影響を調べた。次に、環境情報と親和性の高い Brain-Computer Interface を構築するため、光学シースルー方式の Mixed Reality について、環境情報を考慮した選択肢の提示と実際の車いす駆動システムの開発を行った。以下にそれぞれについて述べる。

はじめに、脳波を識別するためにはどのような構造の深層学習が適しているかを明らかにするために、構造の異なる 3 つの学習モデルを用いた。脳波時系列は時間情報と電極位置情報がなるため、畳み込みの順序を時間方向を先にしたモデル（モデル A: 時間方向の畳み込み層→空間方向の畳み込み層→全結合層）、およびその反対で空間方向を先、時間方向を後にしたモデル（モデル B: 空間方向の畳み込み層→時間方向の畳み込み層→全結合層）について、同じ脳波データを解析した。その結果、モデル A の識別率はモデル B の識別率よりも高くなるという結果が得られた。

次に、光学シースルー方式を採用し、環境情報を反映した AR-BMI システムを構築した（図 a および b）。光学シースルー方式は従来用いられていたビデオシースルー方式に比べて自然な視野の確保と時間遅れのない情報提示が可能となり、より直観的な脳と外部環境のインタラクションが可能となることが期待される。一方で、仮想マーカを現実の 3 次元空間にどのように重畳表示するかが重要なポイントとなる（図 c）。ここでは特に、実際のシーンにおいては見ることのできない死角に位置する仮想マーカの検知が可能かどうか、および奥行き方向に仮想マーカ

が連なる場合にどのような提示が必要か、の2点について調べた。実験の結果、本来死角に位置するはずの仮想マーカの選択精度はそうではない仮想マーカに対して低くなるという結果が得られた。また、仮想マーカが奥行き方向に隠れる場合について、選択肢マーカを部分的に表示しないことで解決を図ったが、どうすると利用者が注目すべきマーカにばらつきが生じ、うまく識別できないことがわかった。そのため、奥行き方向の識別問題にはマーカのサイズ、形を調整して刺激提示することが重要であることが明らかとなった。

最終的に、これまでの研究で構築してきた刺激提示手法、脳波解析手法、脳波識別手法などを1つのシステムに組み込み、さらにリアルタイムで稼働させることで、実際に利用者意図に基づいて車いすを駆動するシステムを構築した。所定の場所への移動成功精度は68%であり、チャンスレベルの2.8%と比べて十分に高く、適切にシステムが構築・駆動していることを確認した。これによって、環境情報を考慮したスマートかつ利用者にとって自然な情報提示に基づく車いす駆動システムを構築することができた。利用者は仮想マーカが配置された場所であればどこにでも移動することができ、従来の運動想起型 BMI による車いす操作に比べると、特別な訓練が不要であることや移動方向を常にイメージしなくても一度の指令で移動可能などの優れた面を持つ。



図(a)光学シースルーディスプレイを用いた拡張現実型 BMI システム。(b)システムの構成図。光学シースルーディスプレイを用いて仮想マーカを用いた視覚刺激を与え、ディスプレイに同期した脳波計測器によってその反応を識別する。(c)取得した脳波の例。実線が対象に注目しているときの脳波の反応、点線が対象に注目していないときの脳波の反応。(d)構築した BMI 車いすの様子と利用者が見える仮想マーカの様子。この後仮想マーカの刺激に対する脳波の反応を解析し、車いすが利用者の意図した位置に移動する。

## 関連文献

- [1] 菊池 恵吾, 小林 由弥, 森 史奈, 小谷 潔, 神保 泰彦: 複合現実における BCI を用いた位置選択の最適化, 電気学会論文誌 C 139, 1153-1158, 2019
- [2] Feng Gu, Kobayashi Yuya, Kotani Kiyoshi, Jimbo Yasuhiko, Influence of Structures of Deep Neural Network on Classification of EEG during Motor Imagery Task, 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference 2018
- [3] 菊池恵吾, 森史奈, 小谷潔, 神保泰彦 複合現実と物体認知を用いた BCI 移動システムの構築 令和 1 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 2019.9 琉球大学, TC4-23

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 0件）

1. 著者名 小林由弥, 庭野恭彰, 田中敬, 赤尾旭彦, 小谷潔, 神保泰彦	4. 巻 138
2. 論文標題 定量的な光刺激による一次視覚野の 波の応答評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 822-827
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) ieejeiss.138.822	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 -

1. 著者名 菊池 恵吾, 小林 由弥, 森 史奈, 小谷 潔, 神保 泰彦	4. 巻 139
2. 論文標題 複合現実におけるBCI を用いた位置選択の最適化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 1153-1158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) ieejeiss.139.1153	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8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 菊池恵吾, 小林 由弥, 森 史奈, 小谷 潔, 神保泰彦
2. 発表標題 複合現実を用いたBCIにおける位置選択の最適化
3. 学会等名 平成30年電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kobayashi Yuya, Feng Gu, Kotani Kiyoshi, Jimbo Yasuhiko
2. 発表標題 Multivariate Analysis Method Using Cross Recurrence Plot and Convolutional Neural Network
3. 学会等名 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Feng Gu, Kobayashi Yuya, Kotani Kiyoshi, Jimbo Yasuhiko
2. 発表標題 Influence of Structures of Deep Neural Network on Classification of EEG during Motor Imagery Task
3. 学会等名 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Feng Gu, Yuya Kobayashi, Sho Shirasaka, Kiyoshi Kotani, Yasuhiko Jimbo
2. 発表標題 Exploring the temporal and spatial features of EEG signals in motor imagery task using Deep Learning
3. 学会等名 平成29年度電気学会研究会「医用・生体工学研究会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中敬, 小林由弥, 小谷潔, 神保泰彦
2. 発表標題 環境情報と複合現実を組み込んだBrain-Computer Interfaceの構築
3. 学会等名 平成29年度電気学会研究会「医用・生体工学研究会」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mori F, Kikuchi K, Kotani K, Jimbo Y
2. 発表標題 Evaluation of Brain Response to Multisensory Stimuli by Using Index of Spatiotemporal Locality of Magnetoencephalography
3. 学会等名 IEEE EMBC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寒川隼平, 菊池 恵吾, 小谷潔, 神保泰彦
2. 発表標題 MR-BCIにおける環境情報から選択肢の識別と直感的な提示に向けた基礎的研究
3. 学会等名 令和1年電気学会電子・情報システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池恵吾, 森史奈, 小谷潔, 神保泰彦
2. 発表標題 複合現実と物体認知を用いたBCI移動システムの構築
3. 学会等名 令和1年電気学会電子・情報システム部門大会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----