

令和 6 年 9 月 11 日現在

機関番号：56203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11207

研究課題名(和文) 自律走行車いすをより自由に制御できるBMI操作画面に関する研究

研究課題名(英文) Study on BMI operation GUI for more flexible control of autonomous wheelchairs

研究代表者

大西 章也 (Onishi, Akinari)

香川高等専門学校・電子システム工学科・講師

研究者番号：20747969

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)は車いすなどの機器を脳波により制御することを可能とするインタフェースである。BMIの実用を考えると、脳波で車いすを目的地まで移動させ、移動した先々の家電等も脳波で制御できるのが望ましい。本研究では自律走行車いすや付近の家電を制御できるBMIシステムを開発し、さらに特徴が類似する家電を画面上で近くになるようレイアウトするシステムを導入した。本BMIシステムを用いて被験者が別の部屋に移動し、また移動中に家電を制御することに成功した。また、家電をBMI刺激呈示画面に追加・削除することに影響されず100%に近い精度で入力することが可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して脳波で目的地を指定する新たな方法を提案した。この方法と自律走行技術を融合させることで、脳波で目的地を入力してそこまで自律走行することを可能とした。
また、P300 BMIの刺激提示器を訓練時から変化させた場合の影響について調べた。その結果、文字を入れ替えるなどの変更の場合、刺激提示画面を訓練時から変更しても大きな影響を受けずに制御できることが分かった。また、従来の灰/白刺激よりもスマイリーを命令の上に描画する形式のほうが高い精度が得られたため、電動車いすや家電制御にはスマイリーを用いた刺激提示器のほうが適していることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Brain-computer interface (BCI) or brain-machine interface (BMI) can decode our brain signals into control commands for, e.g., electric wheelchair. Previous BMI application studies focused only on a specific device. To be more practical, it will be preferable if the BMI could control autonomous wheelchair in addition to the varieties of devices that are located near the user. This study developed a BMI system that can control autonomous wheelchair by designating goal of a 2D map. In addition, household appliances near the user is automatically installed to the BMI by pairing with ESP32 via Bluetooth. I successfully controlled the BMI so that the autonomous wheelchair moved to a next room, and successfully turned a desk light on via the BMI simultaneously. Furthermore, appending and removing household appliances to the BMI stimulator does not influence the accuracy of the BMI, keeping almost 100% classification accuracy.

研究分野：福祉工学

キーワード：脳波 車いす 自律走行 P300 Brain-computer interface Brain-machine interface

1. 研究開始当初の背景

脳波で車いすなどの機器を制御することを可能とする技術はブレイン・マシン・インタフェース(BMI)と呼ばれる [1]. BMI を用いると体が不自由な人が脳波で車いすを制御して移動することなどが可能となるため、生活の質の向上に貢献する。

これまで BMI を用いて様々な機器の制御が試みられてきた。例えば、電動車いす [2], スマートホーム [3], ドローン [4], ゲーム [5]などを BMI により制御した報告がある。しかし、それらはその一つの機器のみを制御することに特化したものであった。すなわち BMI 操作画面と機器制御命令が一対一対応となった単純な BMI 操作画面となっていた。BMI の実用化を考えると生活の場面に応じて適切な機器を使い分けられるのが望ましい。特にユーザの付近にある家電や公共機関の設備に近づいただけで BMI により制御可能となるほうが望ましい。そのような BMI には BMI 操作画面と機器制御命令が一対一対応ではない BMI を考えなければならないが、どのような問題が生じるであろうか。

まず、車いすの移動に使用する命令入力回数を減らす必要がある。これまでの例では車いす移動のために矢印を数多く選択する必要があった。また、どのようなレイアウトで家電を追加するのが良いであろうか。家電がより早く選択できるようなレイアウトがあるのではないかと考える。さらに BMI を操作するグラフィカルユーザインタフェース(GUI)が訓練時と毎回異なるが、これによる BMI への影響はどの程度であろうか。

2. 研究の目的

本研究では自律走行車いすと、付近の家電を制御可能な BMI システムを開発する。さらにニューラルネットワークを用いてその BMI の刺激提示用画面を生成する。これらを用いて以下のことを明らかにすることを目的とした。

- (1) 脳波を用いて自律走行車いすと、付近の家電を制御することは可能であるか。またどの程度時間を要するか。
- (2) 付近にある家電により GUI が変わるが、それにより BMI の識別精度はどのように影響するか。
- (3) 付近にある家電を画面にレイアウトする方法によりユーザがアイコンを見つけるまでの時間にどの程度影響するか。

3. 研究の方法

3.1 BMI システムの概要

本研究で開発したシステムを図 1 に示す。本システムは電動車いす EMC270(今仙技術研究所)、パソコン、マイコン(Raspberry Pi 4 Model B 2GB)、マイコン用モバイルバッテリー、全方位距離センサーLiDAR(YDLiDAR X2)、脳波計 Polymate Mini AP108 (ミユキ技研) から成る。補助として GoPro HERO9 Black を取り付け、操作時の状況を記録した。また、パソコンとマイコンは WiFi で接続した。



【特徴】

脳波で車いすの移動先を指定し、そこまで自律走行できる。

付近の家電やその制御命令をGUIに追加し、それらを脳波で制御できる。

図 1. 開発したシステムとその特徴

3.2 自律走行車いすと ROS, SLAM

自律走行車いすに追加したマイコンに Robot Operating System (ROS) を搭載した (ROS Melodic). ROS を用いると全方位距離センサを用いて地図を作成しながら自己位置を推定する Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) や、目標地点まで自律走行させる Navigation Stack が比較的容易に利用できる。

3.3 ESP32 を用いた遠隔家電制御システム

各家電は図 2 に示すように ESP32 により制御した。今回は AC 電源のオンオフを機械式リレーにより制御する方法にした。ESP32 には家電の名前や、利用できる家電制御命令、現在の状態、家電を示す特徴ベクトル等を保存し、Bluetooth によりマイコンが取得できるようにした。また、同様にマイコンからの命令を Bluetooth から送信し、家電を制御できるようにした。



図 2. ESP32 による遠隔家電制御システムの例

3.4 視覚 P300 BMI

今回の BMI の制御には視覚 P300 BMI [6]を用いた。この BMI は画面上に並ぶアイコンがランダムに一瞬だけ変化するような視覚刺激をユーザに呈示する。その際、ユー

ずは入力したいアイコンが変化した場合に心の中で数を数える。その際、P300 と呼ばれる脳波・事象関連電位が現れるので、P300 を含む脳波を脳波計で計測し、パソコンで信号処理・機械学習を施して機器制御命令に読み替える。

3.5 家電選択画面

ユーザの近くにある家電は自律走行車いす搭載のマイコンに Bluetooth 接続されれば検出され、図3に示す家電を選択する GUI に追加される。この GUI は9つの箇所の一箇所にスマイリーがランダムな順序で出現する。ユーザは選択した家電の上にスマイリーが出現したら心の中で数を数える。その際に生じた脳波により家電を選択する。

家電のレイアウトは著者が提案したランドマークマップ(LAMA) [7]を用いて家電の特徴が類似するものを隣り合うように、かつ重要なものを中央に出すようにレイアウトするようにした。なお、家電が合計9つ以上である場合などに、1つの枠に複数の家電が割り当てられることがある。複数の家電が脳波で選択された場合は、その中から1つを選ぶことを繰り返して1つを選択する方式とした。また、家電1つを選択した場合は、その家電の機能を選択する画面に移動する。家電の機能が選択された場合、パソコンからマイコンに結果が送信され、マイコンはそれを受けて機器制御命令を家電等に送る。なお、車いすを8方向のうちの1つを指定し制御する「方向指定方式」は家電の一種として「車いす(方向)」と GUI に表示した。

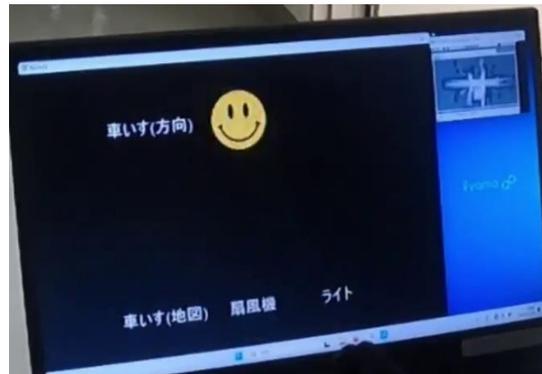


図3 脳波で家電を選択するための GUI

3.6 自律走行車いすの目的地指定方式制御

P300 BMI は図3のように1つずつアイコンを変化させる方法のほか、行ごと、列ごとにアイコンを変化させる方法がある。この方法は P300 BMI の文字入力によく使われた方法であるが [6], それに座標を割り当てることで2次元空間上の位置を指定することが可能となる。この方法を目的地指定方式と呼ぶ。著者らは試作段階でラズベリーパイマウスを目的地指定方式と方向指定方式を併用した BMI により制御することに成功した [8]. この際、目的地は絶対座標指定であった。

著者はこの方法をさらに発展させ、自己位置を中心とした相対座標を 5×5 行列に分割した2次元空間から目的地を指定する相対座標目的地指定方式を提案し、実装した。本システムでは事前に SLAM を用いて地図を作成する。BMI で家電選択時に「車いす(地図)」を選択すると相対座標における目的地指定方式の自律走行車いす制御ができる GUI に切り替わる(図4)。目的地に最も近い部分に出現するスマイリーを心の中で数えた際の脳波を解析することにより目的地を入力する。BMI で入力された目的地は、パソコンから一度マイコンに送信され、マイコンが Navigation Stack に目的地を入力し、車いすが障害物を回避しながら目的地まで自律走行する。なお、自律走行中も BMI による家電制御ができる。

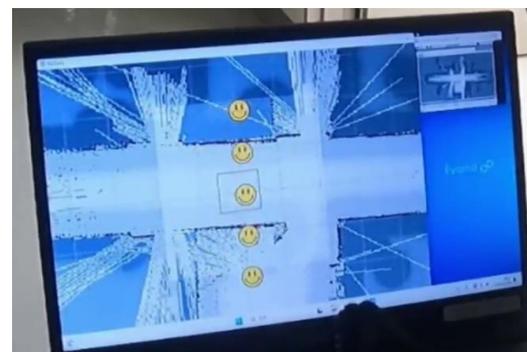


図4 脳波で目的地を入力するための GUI

3.7 データフロー

開発したシステムのデータフローを図5にまとめる。まず自律走行車いす搭載のマイコン Raspberry Pi が ESP32 とやり取りし、家電情報を取りまとめる。次にマイコンと BMI 制御用パソコンがやり取りし、全家電の情報を伝える。その情報をもとに家電選択や目的地指定方式制御を可能と

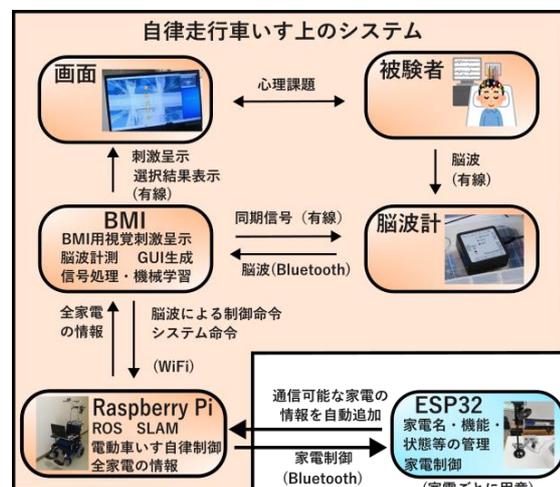


図5 開発したシステムのデータフロー

する GUI を生成し、画面に P300 BMI の心理課題を行うための視覚刺激を呈示する。被験者は心理課題を通して自身の意思を表現し、その際の脳波を脳波計で記録し、信号処理・機械学習を施して脳波からの入力を推定し、脳波による制御命令を特定する。その情報は再びマイコンへと伝えられ、自律走行車いすや家電制御に用いられる。

3.8 評価方法

脳波を用いて自律走行車いすと、付近の家電を制御することは可能であるかを検証するため、このシステムを用いて廊下から教員室に入り、机の上にあるライトを点灯させる課題を行った（被験者1名）。

また、本システムは操作途中で GUI が変わるが、それにより BMI の識別精度がどのように変わるかを明らかにするための実験を行った。評価のため家電名 16 種類を GUI に順番に並べた条件（静的条件）と、ランダムに並べた条件（動的条件）を用意した。また、刺激提示方法の違いを検討するため、従来の P300 BMI で用いられた灰色の文字が白色に変わる刺激（灰/白条件）と、絵文字のスマイリーを文字の上に描画する刺激（スマイリー条件）を用意し、被験者 4 名に対してランダムな順序で実験を行った。刺激の反復呈示回数は 5 回とした。

家電を画面にレイアウトする方法によりユーザがアイコンを見つけるまでの時間にどの程度影響するかを検証した。一般に家電を BMI で入力するよりもマウスで家電を選択するほうが早いことから、家電をマウスで選択するまでの時間を指標とした。本実験では家電を LAMA によりレイアウトする条件（LAMA 条件）とランダムにレイアウトする条件（ランダム条件）を用意し、被験者 6 名に対してランダムな順序で実験を行った。

4. 研究成果

4.1 自律走行車いすと家電を BMI により制御する実験

家電（ライト、扇風機）を教員室内に置きドアを開けた状態にし、自律走行車いすを教員室前の廊下に配置した。被験者は自律走行車いすに乗り、相対座標目的地指定方式で BMI から ROS に目的地を伝え、自律走行により教員室付近の壁を回避しながら教員室に移動し、停止することができた。自律走行中に BMI からライトを点灯させる命令を選択し、ライトを点灯させることもできた。本実験で BMI による入力を開始してから教員室に移動しライトを点灯させるまで約 3 分 20 秒要した。

4.2 動的・静的条件における灰/白刺激、スマイリー刺激の BMI 識別精度

図 6 に動的条件における灰/白刺激、スマイリー刺激の BMI 識別精度を示す。動的条件において、灰/白条件時の識別精度は $86.25 \pm 23.82\%$ であり、スマイリー条件時は $98.75 \pm 2.17\%$ であり、スマイリー条件のほうが高い平均識別精度を示した。また、図 7 に静的条件における灰/白刺激、スマイリー刺激の BMI 識別精度を示す。静的条件において、灰/白条件時の識別精度は $82.5 \pm 11.46\%$ であり、スマイリー条件時は $100 \pm 0.00\%$ であり、スマイリー条件のほうが高い平均識別精度を示した。動的条件と静的条件を比較すると、スマイリー条件では識別精度は 100% に近く大差がないが、一方で灰/白条件でも約 84% と大差がないことがわかる。このことから、本実験システムにおいて家電のレイアウトが BMI に大きく影響しないことが分かった。このことから家電数が数十個になるなど著しく見にくくならない限りはどのようにレイアウトしても BMI 識別精度に影響しないと考える。また、スマイリー刺激を用いたほうが BMI 識別精度が高くなる傾向が見られた。

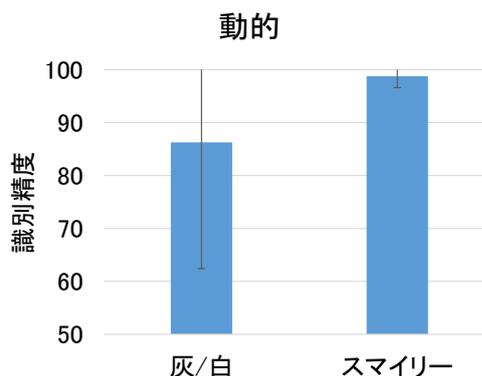


図 6 動的条件における BMI 識別精度

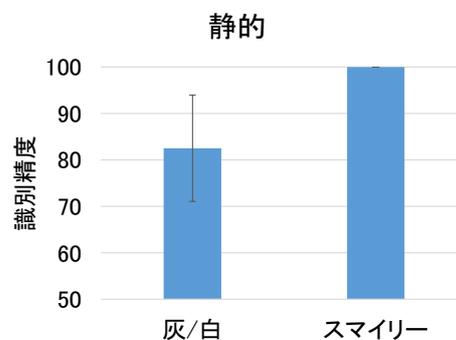


図 7 静的条件における BMI 識別精度

4.3 画面のレイアウトが家電選択に及ぼす影響

家電は特徴が似たもの(例えばエアコンや扇風機などの温度調節機器)が隣り合うように LAMA でレイアウトすれば、家電をより容易に見ることができるのではないかと考えた。家電を図3のような画面に LAMA によりレイアウトした場合と、ランダムにレイアウトした場合の家電選択時間を図8に示す。LAMA を用いた場合は 2.68 ± 0.46 秒であり、ランダムの場合には 2.96 ± 0.55 秒であった。t 検定を行ったところ、両者に有意差は認められなかった($p=0.11$)。このことから画面のレイアウトは類似する特徴のものを隣り合わせるなど工夫に関わらず問題なく家電を選択可能であることが分かった。

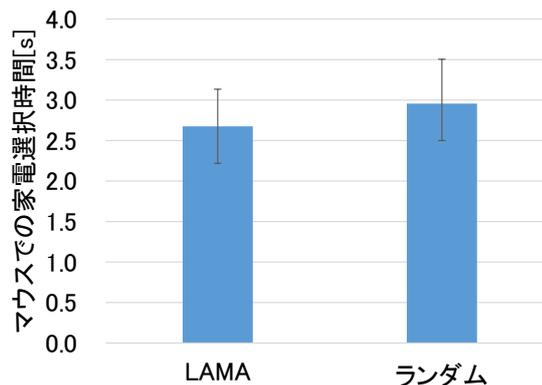


図8 画面上の家電のレイアウト方法ごとのマウスでの家電選択時間

4.4 まとめ

本研究では自律走行車いすと、付近の家電を制御可能な BMI システムを開発し、実際に脳波で指定した目的地に移動し、ライトを点灯させることに成功した。また、BMI システムの刺激提示を行う操作画面へ家電を追加・削除することによる影響は BMI 識別精度にはほとんど見られず、特にスマイリーを入力したい命令の上に描画する形式では 100%に近い識別精度を示した。

参考文献

- [1] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller and T. M. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control," *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, no. 6, pp. 767-791, 2002.
- [2] J. Long, Y. Li, H. Wang, T. Yu, J. Pan and F. Li, "A hybrid brain computer interface to control the direction and speed of a simulated or real wheelchair," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 20, no. 5, pp. 720-729, 2012.
- [3] C. Guger, C. Holzner, C. Grönegress, G. Edlinger and M. Slater, "Control of a smart home with a brain-computer interface," in *Proceedings of the 4th International Brain-Computer Interface Workshop and Training Course*, 2008.
- [4] F. A. Al-Nuaimi, R. J. Al-Nuaimi, S. S. Al-Dhaheri, S. Ouhbi and A. N. Belkacem, "Mind drone chasing using EEG-based brain computer interface," in *2020 16th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, 2020.
- [5] B. Blankertz, M. Tangermann, C. Vidaurre, S. Fazli, C. Sannelli, S. Haufe, C. Maeder, L. Ramsey, I. Sturm, G. Curio and K.-R. Müller, "The Berlin brain-computer interface: non-medical uses of BCI technology," *Frontiers in neuroscience*, vol. 4, p. 198, 2010.
- [6] L. A. Farwell and E. Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol. 70, no. 6, pp. 510-523, 1988.
- [7] A. Onishi, "Landmark map: An extension of the self-organizing map for a user-intended nonlinear projection," *Neurocomputing*, no. 388, pp. 228-245, 2020.
- [8] 森岡大介, 大西章也, "脳波で目的地と移動方向を指定し自律走行ロボットを制御する方法の開発," 第27回高専シンポジウムオンライン, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 大西章也, 森岡大介, 大平智士	4. 巻 71
2. 論文標題 体験型ブレイン マシン・インタフェース公開講座による教育効果	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 3_37~3_44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.71.3_37	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 大西 章也, 森岡 大介	4. 巻 70
2. 論文標題 小中学生・保護者向けブレイン-マシン・インタフェース公開講座とその教育効果	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 工学教育	6. 最初と最後の頁 4_77~4_82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4307/jsee.70.4_77	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 Onishi A.	4. 巻 136
2. 論文標題 Brain-computer interface with rapid serial multimodal presentation using artificial facial images and voice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computers in Biology and Medicine	6. 最初と最後の頁 104685~104685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.combiomed.2021.104685	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5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 A. Onishi
2. 発表標題 Applications of brain-computer interfaces: Electric wheelchair and household appliance controlled by brain signals
3. 学会等名 The 1st International Workshop on Smart Robotics and Applications (WSRA2024) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大西章也, 松下剛芽, 多田羅愛乃
2. 発表標題 中学生を対象とした脳波計測およびプログラミングを行う公開講座の実践
3. 学会等名 令和5年度KOSENフォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 多田羅愛乃, 大西章也
2. 発表標題 P300BMI刺激呈示に用いる動物画像の検討
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松下剛芽, 大西章也
2. 発表標題 脳波を用いて効率よく日本語入力するためのフレーズ比較による入力候補呈示に関する検討
3. 学会等名 第28回高専シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森岡大介, 大西章也
2. 発表標題 脳波で目的地と移動方向を指定し自律走行ロボットを制御する方法の開発
3. 学会等名 第27回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2022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
---------	---------