

低コスト・省スペース・高パフォーマンス ブレインコントローラの開発

Low Cost, Space-saving and High Performance Brain-Machine Interface

2151022



研究代表者

電気通信大学

教授

田 中 一 男

[研究の目的]

本研究の目的は低コスト・省スペース・高パフォーマンス次世代型 Brain-Machine Interface (BMI) の開発を行い、生活支援ロボット群操作を実現することである。携帯可能(省スペース性)である特徴を最大限に活かして、最終的な目標として、生活支援汎用 BMI システム開発を目指している。本研究では、比較的安価な小型脳機能計測装置と1台のノートパソコンのみで駆動する低コスト・省スペース BMI を構築し、脳波指令によりロボット操作が可能となるブレインコントローラを試作した。また、そのシステムの適用事例として R/C ヘリコプタの脳波指令操縦を試み、その性能を検証した。

[研究の内容、成果]

本開発システムは、周期的に点滅する視覚刺激を観察中に誘発される脳波を利用した定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visually Evoked Potentials: SSVEP) 型 BMI^[1] となっている。新皮質の錐体細胞において、視覚刺激の周波数に同期した活動が誘発されることで、SSVEP が観測されることが知られている。

SSVEP 型 BMI の先行研究では、視覚刺激のデバイスとして、ディスプレイを用いている。したがって、システム自体を携帯することが難しく、脳波を用いた BMI の最大の利点である、

利便性に欠けてしまう。本研究では、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いた BMI を構築することで、携帯型 BMI の構築を実現した。さらに、開発した携帯型 BMI システムの適用事例として、マイクロヘリコプタ (Micro helicopter: MH) の操縦タスクを通して本開発システムの性能を検証した。本システムは、被験者の個人的技能によらず、トレーニングをまったく行っていない初心者でも簡単に利用可能であることも実験により明らかにした。図1は構築したシステムの概略を示している。

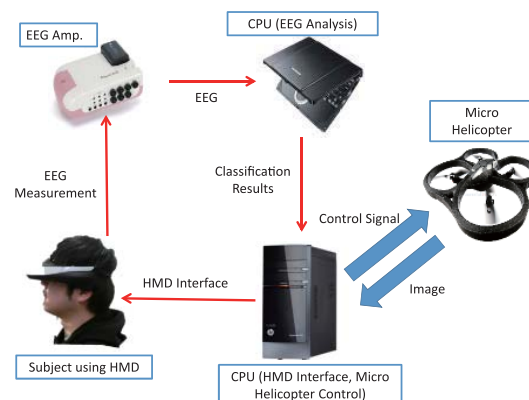


図1 システム構成の概略

図1のシステムを構築するにあたり、MHを前後左右に操縦できるように、4クラス識別SSVEP型BMIを前提とした。脳波計測はPolymate IIを用い、電極の位置は国際10-20法に従い、Pz, POz, Oz, Iz, PO3, PO4, O1, O2, I1,

I2, PO7, PO8 に取り付けた。この電極の位置選定は SSVEP による神経細胞の発火が主に一次視覚野 (V1) 周辺で起こるとされることによる。

脳波計測では、スタート画面が2秒間表示され、つぎに、赤い十字線画面が表示されて、待機状態となる。このとき、被験者がスペースキーを押すことで、6秒間の刺激が提示され、その後、4秒の休憩画面を表示した。これを1ブロックと定義し、4ブロックで1トライアルを構成した。4ブロックは周波数の異なる4つの点滅刺激を提示しており、刺激の点滅周波数は 6.67, 7.5, 8.57, 10 Hz を用いた。被験者は 20 代の健康な成人男性 6 人とし、本実験では各被験者に対して計 40 トライアル分のデータを計測した。

脳波データは前処理を行ったのち、FFT 後に点滅周波数とその倍周波数のパワースペクトル密度を特徴量として機械学習を行った。このように定義した特徴空間で、判別分析による 4 クラス識別 (10-fold cross validation) を行った結果、被験者 6 人の識別率平均は $97.50\% \pm 3.30\%$ であった。図 2 に SSVEP の実験結果における各被験者の識別率およびその平均を示す。この結果より、本実験で使用した SSVEP 型 BMI はすべての被験者に対して高識別率を確保できる有用なインターフェースであると判断できる。また、今回の実験では、被験者は事前にトレーニングを一切行っていないため、初心者でも簡単に利用できることも特徴の一つである。

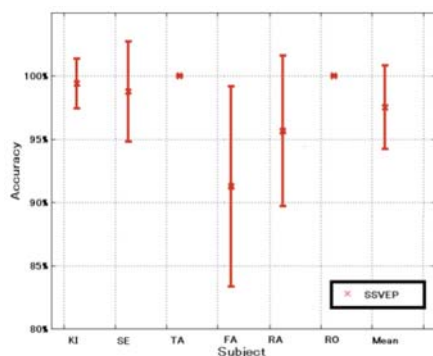


図 2 識別結果

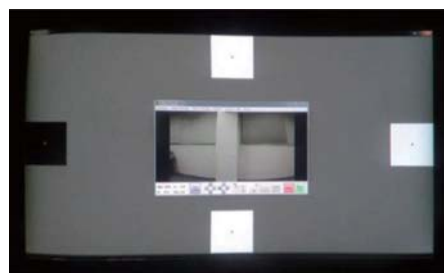


図 3 HMD 内での提示

る。

構築した BMI システムの HMD での視覚刺激提示を図 3 に示す。中央には MH に搭載したカメラの映像が映し出され、飛行状態がモニタリングできる。その映像の上下左右に点滅の刺激ブロックが用意され、それぞれが、MH の前進、後退、左移動、右移動に対応させた。被験者から計測された脳波は機械学習の結果に応じて識別され、その識別結果をもとに MH へ信号を送る。よって、被験者は進みたい方向に対応する刺激を見ることで、MH の方向を制御できる。なお、MH の姿勢は内部の加速度、ジャイロセンサなどにより、マイコンで安定化されており、脳波によって飛行方向が制御される。MH はコンピュータと無線により、常時接続されているため、MH に搭載されたカメラからの映像を被験者へ常にフィードバックしている。このため、離れた場所でも遠隔でヘリコプタ操縦が可能なシステム構成となっていることも本システムの特徴である。HMD を利用する利点として、外部のノイズ的な視覚情報を遮断できること、また、従来の LCD による BMI では、周囲の明るさに影響されてしまう可能性があり、実験時に室内の照明を暗くするなどの対策が必要であるが、HMD ではその必要がなくなるなどが挙げられる。さらに、被験者とともにシステム全体が移動できる利点もある。SSVEP 型 BMI は視覚刺激を被験者に提示する必要がある、従来ではディスプレイを用いて刺激提示を行っていた。しかし、本システムでは刺激提示がウェアラブルデバイスにより行われるので、被験者と共に移動が可能になる。これ



図4 操縦実験の様子

らの点から、本システムは従来の BMI よりも使用範囲の拡大が見込める。

本システムの特徴は被験者の個人的技能によらず、トレーニングをまったく行っていない初心者でも利用できる点である。そこで、上記の実験に参加した被験者ではなく、全く別の被験者を選定し、操縦タスク実験を行った。

操縦タスク実験を行う前に、4 クラス（前後左右）の識別テスト実験を行った結果、20 回（4 クラス×5 回）で 95% の識別率が得られ、HMD ベースド BMI の有用性を再確認した。操縦タスクは、中央におかれたボールの周りを右回り、左回りで飛行させるものである。図4 は提案した HMD ベースド BMI を用いた MH 操縦実験の様子を示している。図5 は右回りのタスクにおける操縦結果の連続写真を示している。右回りのタスクに限らず、左回りのタスクも完全に成功し、脳波だけでヘリコプタの方向制御を実現できた。



図5 操縦実験の結果

[今後の研究の方向、課題]

本システムでは、MH 上のカメラから送られてくる映像を見ながら、MH を操縦できるので、MH の遠隔操作も可能である。今後は、遠隔場所で行う MH の脳波操縦実験を行う予定である。

今後の課題として、構築したシステムの詳細な評価、HMD の無線化と計算機部分の小型化による完全ウェアラブル型 BMI の構築、など

が挙げられる。また、このシステムを用いた両眼視野闘争に関する研究^[1]や視覚像推定の研究^[2]も実施しており、このシステム利用した新たな研究成果を示すことで、本研究で開発したシステムの有効性を明らかにする。

[成果の発表、論文等]

- [1] K. Tanaka, M. Tanaka, T. Kajiwara and H. Wang, A Practical SSVEP-based Algorithm for Perceptual Dominance Estimation in Binocular Rivalry, IEEE

-
- Transactions on Cognitive and Developmental Systems, submitted.
- [2] K. Tanaka, et al., Visual Image Estimation from Electroencephalogram using 3-Dimensional Current Density Analysis, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, submitted.