

ブレインマシンインタフェースによる高臨場立体空間の制御

唐山 英明 富山県立大学 工学部 准教授

1 はじめに

ブレインコンピュータインタフェース (Brain Computer Interface: BCI) は、ヒトの脳活動のみによりコンピュータやその他の機器を操作可能な新しいコミュニケーション手法である[1]。近年、没入型バーチャルリアリティ技術を用いた BCI のアプリケーションの実現可能性が示されている[2]-[4]。

BCI 研究の中で、ユーザの視線を推定するために、定常視覚誘発電位 (Steady State Visual Evoked Potential: SSVEP) が利用可能である[5]。例えば、Cheng らは SSVEP により仮想的な電話を実現している[6]。さらに、Trejo らは SSVEP により 2 次元地図の制御に成功した[7]。しかしながら、このような研究は通常のモニタを利用して行われたものであった。没入型仮想空間においては、著者が実施した研究により、SSVEP から推定したユーザの視線に従ってリアルタイムで 2 方向の 3 次元立体映像の制御が実現している[8]。

しかしながら、以上の BCI のアプリケーションにおいては、ユーザの姿勢が拘束されるという問題点がある。通常は、BCI は安静着座状態のユーザによって利用されるが、このような姿勢の拘束は筋活動に起因する雑音を避けるために必要とされている。ユーザ姿勢の拘束は、長時間の BCI の利用を不可能にするため、本研究では、安静着座状態にないユーザが BCI を利用することが可能かどうかについて、没入型バーチャル空間を利用して実験を行った。

本報告は次のように構成されている。第 2 章では実験手法について説明し、第 3 章では実験結果について述べる。続く最終章において、議論と結論について述べる。

2 実験手法

3 名の健康な男性が被験者として実験に参加した。彼らは脳波実験に慣れていない被験者であった。

実験 I において、被験者はコンピュータにより生成される視覚刺激を表示する液晶モニタの前で、リラックスした状態で椅子に座っていた。図 1 に示すように、モニタ上には 2 つの点滅刺激が表示される。実験 II においては、被験者はその場で足踏み運動をするよう教示された。ここでは、実験 I と同様に点滅刺激が表示されるが、刺激の高さは被験者の目の位置に合わせて調整されていた。



図 1: 点滅視覚刺激

実験 I と実験 II ともに、脳波計測を行うため被験者の頭皮に電極を接着した。両実験においては、一電極の場合の脳波計測に注力し、特に国際 10/20 法[9]の電極位置の中でも Oz に着目して実験を行った。ここで、ボディアースとリファレンス電極は、それぞれ、額と左耳朶に接着した。脳波は微弱な信号であり、コンパクトで持ち運び可能な多電極生体信号増幅器において増幅された。被験者は、小さなバッグを腰に装着し、

このバッグの中に増幅器を収納し、計測を行った。増幅された脳波は 200 Hz でサンプリングされた。その後、脳波データはデジタル信号に変換され、通常のノートパソコンに格納されていた。実験のセッティングを図 2 に示す。

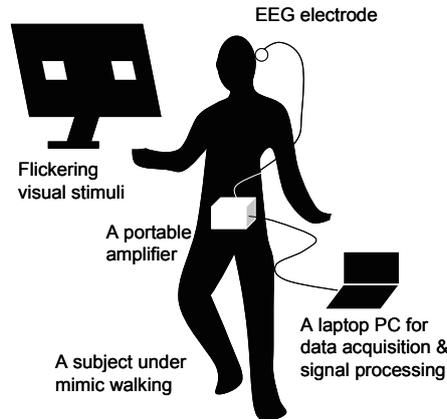


図 2: 実験のセッティング

実験 I と実験 II は、1 分程度もしくはそれ以上の十分な休憩をはさんで交互に実施された。実験 I において、第一セッションで、モニタ画面中の左の点滅刺激（4Hz）を注視する課題を実施し、続くセッションで、右の視覚刺激（6Hz）を注視する課題を行った。実験 II においても同様であった。ここで、1 セッションは 30 秒間の脳波計測とした。さらに、本研究では実験 III として、没入型バーチャル空間を利用して SSVEP の計測を行った。バーチャル空間内には 4 つの点滅視覚刺激が表示された。

以上の実験後、解析において、機械学習手法を用いて被験者の視線の推定を行った。特に、実験 III においては、3 次元仮想物体として 3 次元ティーポットを準備し、これを脳波から推定した視線方向に従ってオンラインで移動させる実験を行った。ここで、上下左右の 4 方向と、点滅刺激を注視しない状態を加えた 5 クラスの判別問題を採用した。また、実験 III では被験者は運動せず、安静立位状態であった。

3 実験結果

まず、実験 I と実験 II において得られた脳波データを解析する。点滅刺激によって誘発された SSVEP の特徴を抽出するため、脳波データに対して周波数解析を施した。図 3 は、高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform: FFT）によるパワースペクトル密度の結果を示したものである。ここで、明瞭な SSVEP が観測でき、点滅刺激の基本周波数とその高調波が出現していることが分かる。実験 I、実験 II ともに、明瞭な SSVEP が得られた。

解析においては、脳波データを加算せず、単試行脳波を採用した。時系列脳波データから 3 秒間ずつに分割した脳波データを抽出する。この分割脳波データに対して FFT を適用後、モニタ上のどちらの視覚刺激を注視しているか推定するため、パターン認識を行った。

時系列脳波データの特徴は、主成分分析により低減され、その後、線形判別分析により視線方向を判別した。判別精度を算出するため、一個抜き法を採用した。ここで、一個抜き法とは、一個の脳波データをテストデータとし、残りの全ての脳波データを、機械を学習するためのトレーニングデータとするものである。このような判別分析の結果、実験 I において判別精度は 88.3% となり、また実験 II においても同様の結果を得た。

実験 III においては、被験者は没入型バーチャル空間において、高い精度で 3 次元仮想物体の制御をすることが可能であった。

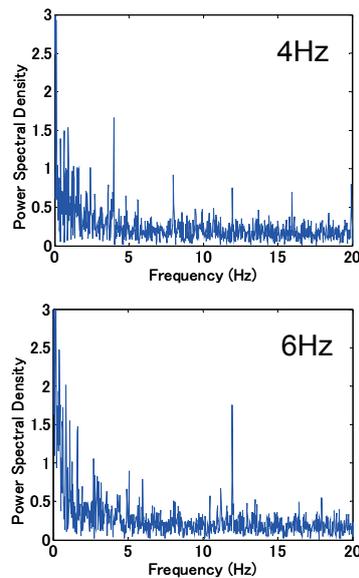


図 3: 周波数解析結果
(上: 4Hz の視覚刺激注視, 下: 6Hz の視覚刺激注視)

4 議論

BCI のユーザは従来、安静着座状態であることが求められてきた。今回の SSVEP の判別結果は、安静着座状態にない場合においても十分に BCI を実現できることを示している。また、オンライン制御も可能であり、特に、没入型バーチャル空間[10]では、通常ユーザは着座状態にないため、有用性が認められる結果と考えられる。

今回の結果は、BCI の拡張性と密接に関連する結果であり、例えば、将来的には屋外での歩行時 BCI の実現も考えられる。著者のグループの実験結果は、実際に、事象関連電位の一つである P300 電位が屋内[11]や屋外[12]の歩行時に検出可能であることを示している。

5 結論

本研究では、安静着座状態にない被験者が没入型バーチャル空間において BCI を利用可能か検証した。コンピュータによって生成された視覚刺激による SSVEP が明瞭に検出可能であり、この結果により、オンラインで 3 次元仮想物体の制御が可能であった。将来的に小型可搬の脳波計によって、屋内外で運動状態にあるユーザが BCI を利用することも可能であると考えられる。

【参考文献】

1. J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, T. M. Vaughan. Brain computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology* 113(6), 2002, 767-791.
2. J. D. Bayliss, The use of the evoked potentials P3 Component for Control in a virtual apartment, *IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol.11 No.2 (2003)
3. G. Pfurtscheller, R. Leeb, C. Keinrath, D. Friedman, C. Neuper, C. Guger and M. Slater, Walking from thought, *Brain Research*, 1071, 2006, 145-152.
4. J. Fujisawa, H. Touyama, and M. Hirose, EEG-based navigation of immersing virtual environments using common spatial patterns, *Proc. of IEEE Virtual Reality Conference* 2008.
5. M. Middendorf, G. McMillan, G. Calhoun and K. S. Jones, Brain-Computer Interfaces Based on the Steady-State Visual-Evoked

- Response, IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 8(2), 2000, 211-214.
6. M. Cheng, X. Gao, S. Gao and D. Xu, Design and Implementation of a Brain-Computer Interface With High Transfer Rates, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 49(10), 2002, 1181-1186.
 7. L. J. Trejo, R. Rosipal and B. Matthews, Brain-computer interfaces for 1-D and 2-D cursor control: designs using volitional control of the EEG spectrum or steady-state visual evoked potentials, IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng, 14(2), 2006. Jun, 225-229.
 8. H. Touyama, and M. Hirose, Steady-state VEPs in CAVE for walking around the virtual world, Proc. of 12th International Conference on Human-Computer Interaction, LNCS 4555, pp.715-717, 2007.
 9. H. H. Jasper, The ten-twenty electrode system of the international federation, Electroenceph. Clin. Neurophysiol., 1958, 10: 370-375.
 10. C. Cruz-Neira, D. J. Sandin and T. A. DeFanti, Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the CAVE, ACM SIGGRAPH'93 Proc, 135-142.
 11. F. Lotte, J. Fujisawa, H. Touyama, R. Ito, M. Hirose, A. Lécuyer, Towards Ambulatory Brain-Computer Interfaces: A Pilot Study with P300 Signals, 5th Advances in Computer Entertainment Technology Conference (ACE), pp. 336-339, 2009.
 12. H. Touyama and K. Maeda and, HCI International 2011.

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Towards Noninvasive Brain-Computer Interfaces during Standing for VR Interactions	HCI International	2011
A Study on EEG Quality in Physical Movements with Steady-State Visual Evoked Potentials	32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	2010