

플리커/체커보드 자극과 주기적 움직임의 결합을 통한 SSVEP 기반 BCI의 성능 향상

황지훈¹, 권진욱¹, 남혜린², 임창환^{1, 2*}

한양대학교 융합전자공학과¹

한양대학교 인공지능학과²

Performance Enhancement of SSVEP-based BCIs by Incorporating Flicker/Checkerboard Stimuli with Periodic Motions

Jihun Hwang¹, Jinuk Kwon¹, Hyerin Nam², and Chang-Hwan Im^{1, 2*}

Department of Electronic Engineering, Hanyang University, Korea

Department of Artificial Intelligent, Hanyang University, Korea

*ich@hanyang.ac.kr

Abstract

In this study, we proposed a new type of hybrid visual stimuli for steady-state visual evoked potential (SSVEP)-based brain-computer interface (BCI), which incorporates the conventional flicker or checkerboard stimuli with various periodic motions. Four periodic motions with different waveforms of none, square, linear, and sine were employed to implement hybrid visual stimuli and the performance of SSVEP-based BCI was compared in terms of classification accuracy. A total of 20 healthy adults participated in the experiment to discriminate four visual stimuli with different frequencies. For the flicker stimulus, the highest classification accuracies were reported when the periodic motion of the sine waveform was incorporated for all window sizes. For the checker stimulus, the periodic motion with square waveform showed the highest classification accuracies for all window sizes except for 2 s. For both cases, it was clear that the performance of SSVEP-based BCI could be significantly improved by incorporating the conventional stimuli with periodic motions.

1. 연구 배경

뇌-컴퓨터 인터페이스(Brain Computer Interface, BCI)는 일반적인 의사소통 혹은 기기 조작이 어려운 사람들에게 뇌 활동을 활용하여 대체 의사소통 수단을 제공해주기 위하여 개발되었다 [1]. 뇌 활동 측정 방식으로는 뇌파(electroencephalography; EEG), 기능적 자기 공명 영상(functional magnetic resonance imaging; fMRI), 근적외선 분광법(near-infrared spectroscopy; NIRS) 등이 있다. 그 중 가장 보편적으로 사용되는 뇌 활동 측정 방식은 EEG로, 다른 방법들에 비해 측정이 간편하다는 것과 밀리 초 단위까지의 짧은 시간 간격에 대해서도 측정이 가능하다는 장점이 있다 [2]. EEG 기반 BCI의 패러다임에는 운동심상(Motor Imagery, MI), P300, 정상상태 시각유발 전위 (Steady-State Visual Evoked Potential, SSVEP) 등이 있다. SSVEP는 EEG 기반

BCI를 구현하기 위해 가장 많이 연구되는 패러다임 중 하나로, 높은 정보 전달 속도(Information Transfer Rate, ITR)와 훈련의 필요성이 낮다는 장점이 있다 [3]. SSVEP 기반 BCI는 특정 주파수를 가지고 주기적으로 변하는 시각 자극을 응시하고 있을 때 사용자의 후두부 쪽에 시각 자극의 주파수와 같거나 하모닉(harmonic)한 뇌파 성분들의 파워가 증가하는 특성을 이용한다. SSVEP 기반 BCI 시스템은 서로 다른 주파수로 변하는 여러 개의 자극 중 하나를 사용자가 응시하면 사용자의 뇌파를 통해 응시하는 자극을 인식하고, 인식한 자극에 해당하는 명령을 실행한다. 일반적으로 SSVEP에 사용되는 시각자극은 휘도가 변하는 플리커(flicker) 자극이나 체커무늬가 반전하는 체커보드(checkerboard) 자극을 사용한다.

이와 달리 정상상태 움직임 시각유발 전위 (Steady-State

1 초

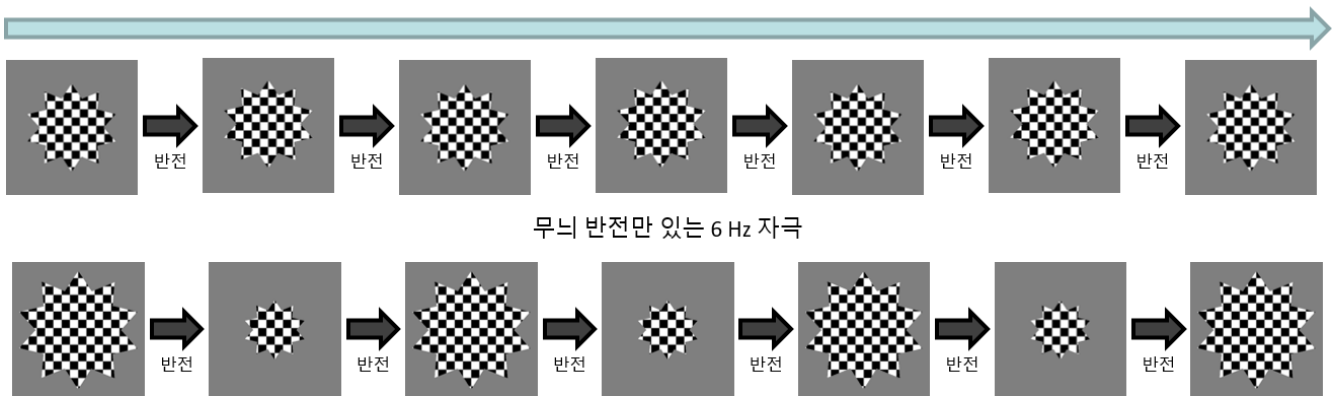


그림 1. 사각파형의 주기적인 움직임과 결합된 6 Hz 체커보드 자극

Motion Visual Evoked Potential, SSMVEP)는 자극의 주기적인 움직임을 통해 시각 전위를 유발한다 [4]. 이 연구에서는 SSVEP와 SSMVEP를 동시에 유발할 수 있도록 기존의 플리커/체커보드 자극에 다양한 종류의 주기적인 움직임과 결합한 새로운 하이브리드 자극을 제시하였고, 이들의 성능을 비교하였다.

2. 연구 방법

기존의 플리커/체커보드 자극은 네 가지의 서로 다른 종류의 주기적인 움직임 (변화 없음(None), 사각파형(Square), 선형파형(Linear), 사인파형(Sine)) 과 결합되어 총 8개의 하이브리드 자극을 생성하였다. 주기적인 움직임은 자극의 크기변화를 통해 구현하였다. 그림 1을 보면 6Hz 체커보드 자극은 1초에 6번의 무늬 반전이 일어난다. 이때, 무늬 반전과 동시에 자극의 크기에 변화를 주어 SSVEP 뿐 아니라 SSMVEP 또한 동시에 유발할 수 있도록 자극을 구현하였다.

총 20명의 피험자가 실험에 참가하였고, 피험자는 총 8 세션의 실험을 수행하였다. 각 세션은 서로 다른 종류의 하이브리드 시각 자극으로 구성되었으며, 임의의 순서로 피험자에게 제시되었다. 한 세션은 총 20회의 단일 작업으로 구성되었으며, 총 4개의 서로 다른 주파수 (6Hz, 6.67, Hz, 7.5 Hz, 10 Hz)를 가지는 시각 자극이 임의의 순서로 5번씩 제시되었다. 하나의 단일 작업은 3초의 타겟 자극 지시와 5초의 자극 제시로 이루어져 있다. 뇌파 데이터는 상용 뇌파 측정 장비인 Biosemi Active Two (Biosemi, Amsterdam, The Netherlands)장비를 사용하여 2048 Hz sampling rate로 총 8개의 전극 (O1, Oz, O2, PO3, POz, PO4, PO7, and PO8)에 대해 측정하였다. 측정된 데이터는 6차 zero-phase Butterworth의 2~50 Hz 범위 대역 통과 필터를 거친 뒤 응시 타겟 분류를 위한 알고리즘에 사용되었다. SSVEP 분류 알고리즘으로는 filter bank canonical correlation analysis (FBCCA)를 사용하였다 [5].

3. 연구 결과

표 1과 표 2는 윈도우 크기에 따른 각각 다른 종류의 자극의 평균 정확도를 나타낸다. 실험 결과를 보면 크기 변화를 결합한 새로운 자극은 기존의 휘도나 패턴만 변하는 자극에 비해 SSVEP 기반 BCI의 성능을 더 높일 수 있다는 사실을 확인할 수 있다. 플리커 자극은 모든 윈도우 크기에 대해서 사인파형과 결합한 자극의 정확도가 가장 높다. 반면에 체커보드 자극은 2초의 윈도우 크기일 때를 제외한 모든 경우에 사각파형과 결합한 자극의 정확도가 가장 높다. 플리커와 체커보드 자극 모두를 포함한 총 8가지의 자극에 대해서 비교를 하면 모든 윈도우 크기에 대하여 플리커와 사인파형의 크기변화를 결합한 자극의 정확도가 가장 높다는 사실을 확인할 수 있다.

Window Size (s)	Flicker			
	None	Square	Linear	Sine
1	64.75 %	68.75 %	74.50 %	78.25 %
1.5	83.75 %	85.00 %	90.75 %	94.25 %
2	90.50 %	91.50 %	95.00 %	96.75 %
2.5	93.75 %	95.00 %	97.25 %	98.75 %
3	95.75 %	96.25 %	99.25 %	99.50 %

표 2. 크기 변화가 있는 플리커 자극의 평균 정확도

Window Size (s)	Checker			
	None	Square	Linear	Sine
1	70.25 %	76.25 %	64.50 %	69.00 %
1.5	83.50 %	91.00 %	83.75 %	85.75 %
2	88.75 %	93.75 %	92.75 %	94.50 %
2.5	92.00 %	97.75 %	93.50 %	95.25 %
3	94.00 %	98.25 %	95.00 %	96.75 %

표 2. 크기 변화가 있는 체커보드 자극의 평균 정확도

4. Acknowledgements

본 연구는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(2017-0-00432)을 받아 수행되었음.

5. 참고 문헌

- [1] S. Park, H.S. Cha, J. Kwon, H. Kim, and C.H. Im. "Development of an Online Home Appliance Control System Using Augmented Reality and an SSVEP-Based Brain-Computer Interface." in *IEEE Access*, 7, 163604-163614, 2019
- [2] K. Spiegelhalder, S. Ohlendorf, W. Regan, B. Feige, L. Tebartz van Elst, C. Weiller, J. Hennig, M. Berger, O. Tuschler. "Interindividual synchronization of brain activity during live verbal communication" in *Behavioural Brain Research*, 258, 75-79, 2014
- [3] X. Chen, Y. Wang, M. Nakanishi, X. Gao, T.P. Jung, and S. Gao. "High-speed spelling with a noninvasive brain-computer interface," in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, no. 44, pp. E6058-E6067, 2015
- [4] W. Yan, G. Xu, M. Li, J. Xie, C. han, S. Zhang, and C. Chen. "Steady-state motion visual evoked potential (SSMVEP) based on equal luminance colored enhancement" in *PLoS one*, 12(1), e0169642, 2017
- [5] X. Chen, Y. Wang, S. Gao, T.P. Jung, and X. Gao "Filter bank canonical correlation analysis for implementing a high-speed SSVEP-based brain-computer interface," in *Journal of Neural Engineering*, vol. 12, no. 4, Aug 2015