

다중주파수 시각자극을 통한 피험자 맞춤형 SSVEP 주파수 탐색

김정희¹, 김상수¹, 김도원^{1,2,3*}

전남대학교 바이오메디컬공학협동과정¹

전남대학교 의공학과²

전남대학교 헬스케어메디컬공학부³

Personalized SSVEP frequency selection using multi-frequency visual stimuli

Jeong Hui Kim¹, Sang Su Kim¹, Do-Won Kim^{1,2,3*}

¹Interdisciplinary Program of Biomedical Engineering, Chonnam National University, Yeosu

²Department of Biomedical Engineering, Chonnam National University, Yeosu

³School of Healthcare and Biomedical Medical Engineering, Chonnam National University, Yeosu

*down.kim@jnu.ac.kr

Abstract

Steady-state visual evoked potential-based brain-computer interface (SSVEP-BCI) is one of the most studied types of BCI that uses neural responses generated by gazing at a visual stimulus that blinks at a specific frequency. However, the response to each frequency varies greatly among participants, some people might not show any response to a certain frequency. Therefore, it is important to select the best frequency combination for each user to maximize the performance of SSVEP-BCI, however, it is often a time-consuming procedure to find and select the best frequency combination for each individual. In this study, we developed the multi-frequency visual stimuli that can evaluate four distinct frequencies with one stimulus and validated whether the stimulus is valid to find the best frequency combination for each individual.

1. 연구 배경

뇌-컴퓨터 인터페이스(brain-computer interface, BCI)는 뇌신경신호만을 이용하여 사용자의 의도를 파악해 외부 기기를 제어하거나 의사소통 하는 기술을 통칭한다. 초기의 BCI 기술은 근위축성측색경화증과 같은 신경계 질환이나 외상으로 수의근의 조절로 일반적인 의사소통이 불가능한 환자를 대상으로 사용되어왔으나, 현재는 일반인들도 일상생활에서 사용할 수 있는 다양한 방법들이 제시되고 있다.

현재까지 개발된 다양한 BCI 시스템 중, 대다수의 연구는 동시에 여러 의도를 분류할 수 있으며 사용자들이 훈련 없이도 사용할 수 있고 정보전달률(information transfer rate) 등의 성능이 우수한 안정상태시각유발전위(steady-state visual evoked potential, SSVEP) 반응을 기반으로 한 시스템이 대다수를 차지한다. 하지만 사용자마다 주어진 시각자극의 주파수에 따라 SSVEP 반응의 편차가 크게 나거나 자극에 대한 반응이 없는 경우도 있어[1,2] 사용자별 시스템이 달라지기 때문에 사용자별 최적 자극 주파수의 탐색이 필요하다.

일반적으로 자극 탐색에 사용되는 방법은 직접 각 주파수의 자극을 보여주고 반응 유무에 따라 사용자에게 적합한 자극을 선정하는 것이다. 이는 가장 직관적이면서 쉬운 방법이지만, 모든 가능한 주파수를 보여주면서 반응을 확인해야 하기 때문에 자극 선정에 걸리는 물리적인 시간을 단축시키에는 어렵다.

본 연구에서는 이전 학술회에서 시각자극의 점멸을 다양한 주파수를 가지는 정현파의 합으로 깜빡이거나, 서로 다른 주파수를 가지는 색상자극을 섞어 깜빡이게 함으로써 한 시각 자극을 이용하여 다양한 주파수의 반응을 확인한

연구결과를 발표하였다. 이번 연구에서는 여기에서 나아가 해당 자극의 반응이 단일 주파수로 점멸하는 자극을 실제로 대체할 수 있는지 canonical correlation analysis를 통하여 확인해보고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 피험자

본 연구는 총 13명(남 12, 여 1)의 신체 건강한 일반인을 대상으로 수행되었으며, 실험 참가자의 평균 나이는 23.23 ± 1.83 세였다. 모든 피험자들은 실험 혹은 뇌파에 영향을 줄 수 있는 신경 질환이 없는 건강한 피험자들로 모집되었으며, 모두 정상 혹은 정상 교정시를 가지고 있었다.

2.2 실험 방법

본 연구에서는 피험자에게 모니터(주사율: 240Hz)를 통해 시각 자극을 제시하였으며 모든 피험자들은 모니터에서 60 cm 떨어진 의자에 앉아 실험이 진행되었다.

먼저 피험자별 단일주파수 SSVEP자극에 대한 반응을 측정하기 위하여 12개의 서로 다른 주파수(5.45, 6, 6.7, 7.27, 7.5, 8, 8.89, 9.6, 10, 10.91, 12.63, 14.12 Hz)를 가지는 체커보드 자극을 제시하였다.

다중 주파수 시각 자극은 단일 주파수 시각 자극 실험에서 사용된 12개의 주파수 중 4개를 선정하여 개발하였으며, 총 6개({5.3 Hz + 7.3 Hz + 8.9 Hz + 10.9 Hz}, {6 Hz + 7.5 Hz + 9.6 Hz + 12.6 Hz}, {6.7 Hz + 8 Hz + 10 Hz + 14.1 Hz}, {5.3 Hz + 7.5 Hz + 8.9 Hz + 10.9 Hz}, {6 Hz + 8 Hz + 9.6 Hz + 12.6 Hz}, {6.7 Hz + 7.3 Hz + 10 Hz + 14.1 Hz})의 서로 다른 주파수 조합을 갖는 다중 주파수 자극을 개발하였다. 다중 주파수 시각 자극은 선정된 4개의 주파수를 통해 사인파의 합으로

만들어졌으며 생성된 사인파를 통해 gray scale을 변화시키는 시각 자극을 개발하였다. 모든 자극은 피험자에게 20번씩 제시되었다.

각 자극은 5초간 피험자에게 제시되었으며, 자극 간 간격은 2초로 설정되었다. 시각 자극의 순서는 무작위로 제시되었으며, 각 자극 당 10번씩 제시하였다. [그림 1]

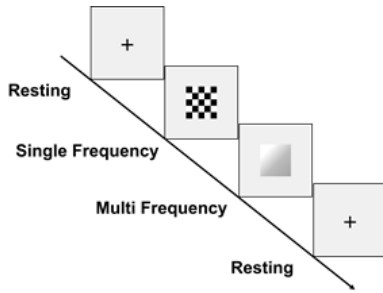


그림 1. 실험절차에 대한 모식도

2.3 뇌파 측정 및 분석

피험자의 뇌파 신호 측정과 tACS 인가는 Starstim R-32(Neuroelectrics, Barcelona, Spain) 장비를 통해 진행되었으며, extended International 10-20 system에 따라 총 32개의 전극을 부착하였다. 뇌파 증폭기의 샘플링 주파수는 500 Hz로 설정하였다.

SSVEP 반응실험에서 측정된 뇌파는 별도의 전처리를 과정 없이 시간 영역의 분석을 수행하였다. 모든 데이터는 자극 제시 시점을 기준으로 5초의 데이터로 epoching 되었다. Epoching 된 데이터는 주파수 분석 및 정준상관분석 (canonical correlation analysis, CCA)을 통해 분석이 진행되었다. 단일 주파수 시각 자극 데이터의 경우 제시한 자극 주파수 에폭과 동일한 주파수의 레퍼런스 신호를 통해 정준상관분석이 진행되었으며, 다중 주파수 시각 자극 데이터의 경우 제시한 자극 주파수가 포함된 에폭에 대해 동일한 주파수의 레퍼런스 신호를 통해 정준상관분석이 수행되었다. 연산된 12개의 단일, 다중 주파수 시각 자극 데이터의 정준상관계수는 내림차순으로 각각 정렬하여 정렬된 자극의 일치율을 확인하였다.

3. 연구 결과

3.1 다중 주파수 자극에 대한 SSVEP 반응

[그림 2]는 본 실험에 사용된 다중 주파수 시각 자극에 대한 반응의 예시를 나타낸다. 각 주파수별 반응과 함께 각 고유주파수의 합주파수에 의한 반응이 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있다.

3.2 다중 주파수 자극에 대한 SSVEP 반응

[표 1]은 다중 주파수 시각 자극 데이터의 전체 epoch를 사용하여 내림차순으로 정렬 후 단일과 다중 주파수 시각 자극 데이터의 일치율을 확인한 결과이다. 4개의 주파수 선정에 있어 피험자 9,10을 제외하고 50 % 이상의 일치율을 확인할 수 있었다.

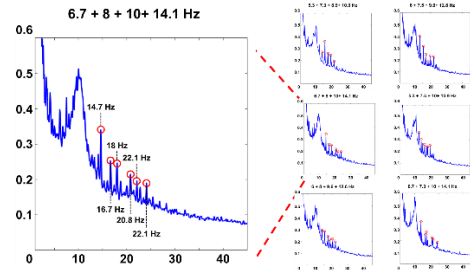


그림 2. 다중 주파수 시각자극에 대한 특정 피험자의 SSVEP 주파수 반응 예시

표1. 다중 주파수 자극으로 산출된 각 주파수의 CCA 크기와 단일 주파수의 CCA 크기 순서의 일치율

# of Stim	Matching Rate											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sub 01	0%	50%	33%	75%	80%	83%	85%	75%	77.78	80%	90%	100%
Sub 02	0%	0%	66%	50%	40%	66%	57%	62%	66%	80%	90%	100%
Sub 03	0%	0%	33%	50%	80%	83%	100%	87%	77.78	90%	100%	100%
Sub 04	100%	50%	100%	100%	100%	83%	85%	75%	77.78	90%	100%	100%
Sub 05	0%	0%	0%	50%	40%	50%	71%	75%	77.78	80%	90%	100%
Sub 06	0%	0%	33%	50%	40%	33%	57%	62%	66%	80%	90%	100%
Sub 07	100%	50%	33%	75%	60%	66%	71%	75%	88%	90%	90%	100%
Sub 08	0%	0%	33%	50%	80%	83%	71%	75%	88%	80%	90%	100%
Sub 09	0%	0%	0%	25%	60%	66%	71%	62%	77%	80%	90%	100%
Sub 10	0%	0%	0%	0%	20%	33%	42%	62%	77%	80%	90%	100%
Sub 11	0%	50%	33%	50%	60%	66%	71%	62%	66%	80%	90%	100%
Sub 12	0%	0%	33%	50%	60%	50%	71%	75%	77%	90%	100%	100%
Sub 13	0%	0%	33%	75%	80%	83%	85%	87%	100%	100%	100%	100%
Average	15.38	15.38	33.33	53.85	61.54	65.38	72.53	72.12	78.63	84.62	93.71	100

4. 연구 고찰

본 연구에서는 연구진이 개발한 다중 주파수 시각 자극을 이용하여 사용자 맞춤형 시각 자극 주파수를 선정하는 것이 임의의 주파수를 사용하는 것보다 우수한 성능을 보였으며, 개별 주파수를 사용하는 것보다 시간을 절반으로 단축할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구 결과는 신속한 사용자 맞춤형 주파수 선정을 통하여 BCI 시스템의 범용화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

5. Acknowledgements

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 신진연구 사업 (NRF-2019R1C1C100%6561)의 지원을 받아 수행된 연구임.

6.참고 문헌

[1] B. Z. Allison and C. Neuper, "Could Anyone Use a BCI?". In: Tan D., Nijholt A. (eds) Brain-Computer Interfaces. Human-Computer Interaction Series. Springer, London, 2010

[2] C. Vidaurre and B. Blankertz, "Towards a Cure for BCI Illiteracy,"Brain Topography, vol.23(2), 194-198, 2010

[3] 김상수, 엄태영, 김도원, "안정상태시각유발전위 반응 예측을 위한 다중 주파수 시각 자극 개발", 2019 년 대한의용생체공학회 춘계학술대회, 대한의용생체공학회, 여수, 대한민국, 2019.05.10

[4] 김상수, 김도원, "안정 상태 시각 유발 전위 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스를 위한 다중 주파수 색채 시각 자극 개발", 2019 년 제 50 회 대한전기학회 하계학술대회, 대한전기학회, 고성, 대한민국, 2019. 07. 10