

# How Does the Day-to-day Variability in Brain Activity Affect P300-based Brain-Computer Interface(BCI)?

Dojin Heo and Sung-Phil Kim

Department of Biomedical Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST), Ulsan, Republic of Korea



bci.unist.ac.kr

## Abstract

- This study examined how P300-based BCI performance was affected by day-to-day variability from the unstable brain activity regarding to mental and physical (e.g., misalignment of sensors) drift.
- Each participant was conducted 5 times experiment in different day.
- The Support Vector Machine (SVM) classifier was trained by a dataset of the same day with a test dataset (same day train) or by of the 1st-day dataset (cross day train) and those performances were compared offline.
- Its variance of the performance between days seems to be gradually increased in training cross day.
- The performance degradation seems to appear like the shape of the ERP obtained using only the support vectors(SVs) or the spatial pattern of the SNR changes.

## Introduction

- P300 기반 BCI는 연속적으로 자극을 제시했을 때, 자주 제시되지 않는 자극이 나타난 275 에서 600 ms 이후로 부터 나타나는 Event-related Potential (ERP) 중 하나인 P300 뇌파 특성을 사용하여 외부 기기를 제어하는 시스템이다 [1].
- 실험실 환경에서의 P300-based BCI와는 다르게 실생활에서의 사용은 매일 사용될 수 있으며, 이러한 사용 환경의 영향이 고려되어야 한다.
- 기존 연구들에서 P300이 session 내 반복적인 사용 [2]과 motivation의 변화[3] 등으로 변할 수 있으며, 이러한 뇌파 변동성으로 반복적인 classifier 훈련에 대한 문제점을 해결하기 위한 연구를 하고 있다 [4,5].
- 하지만, day-to-day 의 뇌파 변동성이 어떻게 P300 기반 BCI 성능에 영향을 주는지에 대한 연구는 이루어진 바가 적다.

## Research Objective

- In this study, we aimed to estimate how P300-based BCI performance was affected by the day-to-day variability in brain activity.

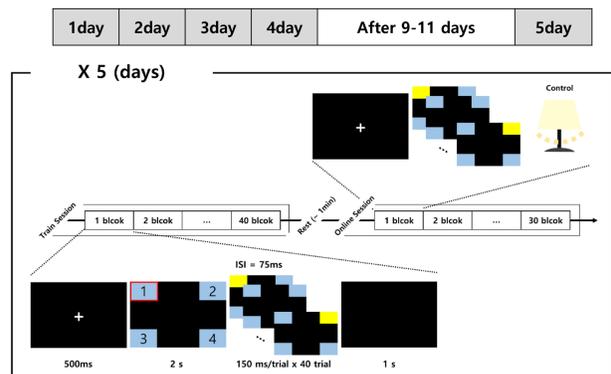
## Methods

### Participants

- 본 연구는 총 8명 (남 : 3 여 : 5)의 신체 건강한 일반인을 대상으로 수행되었으며, 참가자들의 평균 나이는  $24.38 \pm 1.85$  이었다.
- 모든 피험자들은 실험 혹은 뇌파에 영향을 줄 수 있는 정신 질환이 없는 피험자들로 모집 하였으며, task를 수행하기에 문제가 없도록 모두 정상 또는 정상 교정시를 가진 사람을 모집하였다.
- 해당 실험이 진행되는 기간동안 유사한 BCI 실험 참여를 하지 못하도록 하였다.

### Experimental Setup

- 피험자마다 다른 날 총 5번의 반복적인 실험을 진행했으며, 각 날마다 실험이 진행되는 시간은 고정하였다.
- 4번의 실험은 연속으로 4일동안 진행됐으나 마지막 실험은 9-11일 정도의 휴식을 가진 후 진행되었다.
- Task는 시각 자극물을 통해 target과 nontarget이 1:3 비율로 제시되었으며, Train 과 online test session으로 진행되었다.

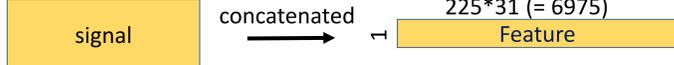


### Pre-processing

- High-pass filter (0.5Hz, n=4),
- Bad channel rejection(평균 2.6개 제거),
- Interpolation,
- Common Average Reference (CAR),
- Low-pass filter (50 Hz, n=4),
- Artifact Subspace Rejection (ASR) (cutoff : 5),
- Low-pass filter (12Hz, n=4).

### Classification

- 자극이 제시된 후 150-600ms의 signal을 epoch한 후 이를 feature로 사용했다. 225 point (150-600 ms) linearly concatenated → 225\*31 (= 6975)



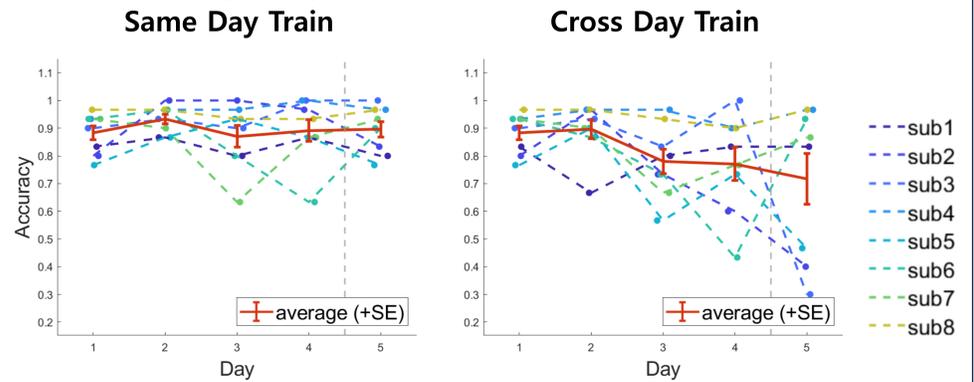
- SVM classifier (kernel:linear, C=1)을 사용하여 분류하였다.
- Test dataset과 같은 날 (same day train) 또는 1 day의 (cross day train) dataset을 사용하여 classifier을 훈련하였다.

## Acknowledgment

- This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF), under 2021 Project BK21 Four

## Results

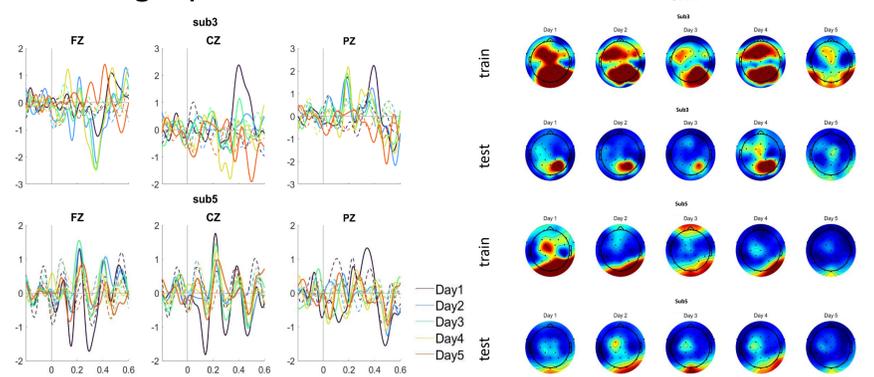
### Same vs cross day train performance



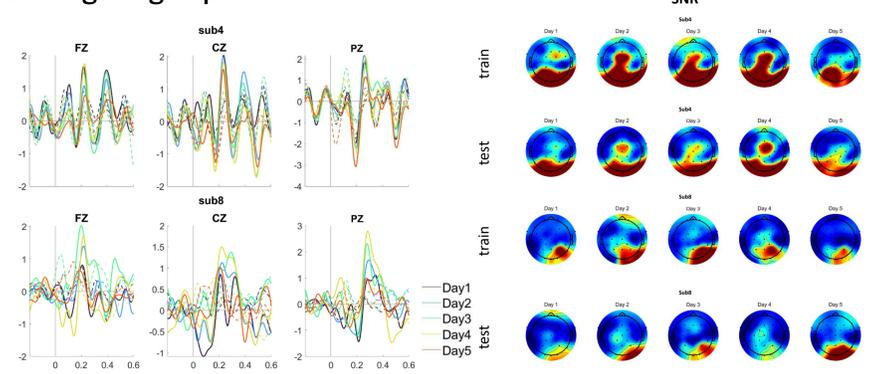
- Same day 와 Cross day trained classifier 성능은 조건(day) 간 유의미한 차이가 나타나지 않았다 (Mann-Whitney U-test :  $p > 0.05$ ).
- 등분산 검정 (Levene's test) 결과 same day trained classifier 성능의 분산은 조건 간 유의미한 차이가 없었으나 ( $p > 0.05$ ), cross day trained classifier 성능의 분산은 조건 간 유의미한 차이가 있었다 (\*\* $p < 0.001$ ).

### ERP 와 Signal-to-Noise (SNR)

- Case : bad group



- Case : good group



## Discussion & Conclusion

- Cross day trained classifier의 성능이 날이 갈수록 분산이 커지는 것으로 확인되었으며, Day5에서 성능이 악화된 그룹 (sub2,3,5) 과 유지되는 그룹 (sub1,4,5,7)으로 나뉘지는 경향이 확인됐다.
- 성능이 악화되는 그룹과 유지되는 그룹의 support vectors (SVs) 만 사용하여 그린 ERP와 SNR을 비교해보았을 때, ERP의 모양이 다른 날과 달라지거나, 또는 SNR의 spatial pattern이 다른 날과 상이하게 나타남으로써 cross day train의 성능이 악화되는 것으로 보인다.
- Day-to-day의 뇌파 변동성으로 인한 반복적인 classifier 훈련에 대한 문제점을 해결하기 위해서 ERP의 모양이나 spatial pattern을 조정함으로써 해결할 수 있는 것으로 보여진다.

## Reference

- Donchin, E.; Ritter, W.; McCallum, C. Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In Event-Related Brain Potentials in Man; Callaway, E., Tueting, P., Koslow, S.H., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 1978; pp. 349–411, doi:10.1016/B978-0-12-155150-6.50019-5.
- Barry RJ, Steiner GZ, De Blasio FM, Fogarty JS, Karamacoska D, MacDonald B. Components in the P300: Don't forget the Novelty P3! Psychophysiology. 2020 Jul;57(7):e13371. 10.1111/psyp.13371. Epub 2019 Mar 28. PMID: 30920012.
- Nijboer F, Birbaumer N, Kübler A. The influence of psychological state and motivation on brain-computer interface performance in patients with amyotrophic lateral sclerosis- a longitudinal study. Front Neurosci. 2010 Jul 21;4:55. 10.3389/fnins.2010.00055. PMID: 20700521; PMCID: PMC2916671.
- Barachant A and Congedo M 2014 A plug&play P300 BCI using information geometry (arXiv:1409.0107)
- Morioka, Hiroshi & Kanemura, Atsunori & Hirayama, Jun-ichiro & Shikauchi, Manabu & Ogawa, Takeshi & Ikeda, Shigeyuki & Kawanabe, Motoaki & Ishii, Shin. (2015). Learning a common dictionary for subject-transfer decoding with resting calibration. NeuroImage. 111. 10.1016/j.neuroimage.2015.02.015.