

An Analysis of Requirements in Image Reconstruction From EEG Brain Signals



Graduate Project 1 (3183) - Karpjoo Jeong
Team 7, EEmage – Advisor : Eun Yi Kim
Computer Science and Engineering 201811218 Hyun Woo Lee
Computer Science and Engineering 201811182 Wonjun Park
Computer Science and Engineering 201911193 Esan Woo

Abstract

이 보고서는 EEG (Electroencephalography) Brain Signals로부터 인간의 시각 이미지를 재현하는 연구의 요구사항 분석서입니다. EEG data는 Brain-Computer Interface (BCI) 분야에서 각광받고 있는 데이터 중 하나로, 이를 통해 시각을 재현할 수 있다는 것은 기정사실화 되어 가고 있습니다. 이 보고서에서는 다섯 가지 측면에서 요구사항을 분석합니다.

I. Introduction

본 연구 프로젝트는 현재 “인간의 시각 체계가 형성되는 데에는 Supervision이 필요하지 않다”는 가설을 토대로 하고 있습니다. 이 가설을 통해 시각 이미지 재현 프레임워크 중 인간의 시각 체계에 해당하는 인코딩 방법에 Supervised Learning을 사용하는 것이 실제 인간과 맞지 않다고 생각하여 탈피하고자 합니다.

결과적으로 본 프로젝트는 A Universal EEG Encoder를 제안합니다. 이를 통해 시각 재현뿐만 아니라 청각 재현 등의 다른 도메인에 대해서도 재현이 가능할 것으로 기대합니다.

II. Requirements

A. EEG Sensors

EEG 센서의 종류는 크게 두 가지로 나눌 수 있습니다. 머리에 고무캡을 쓰고, electrodes를 연결하여 측정하는 방법 [1]과 헤드셋 같이 생긴 기계 [2]를 착용하는 방법입니다. 현재는 지도교수님의 연구실에서 사용할 수 있는 센서를 사용하는 것을 고려하고 있습니다. 하지만 데이터셋을 모으는 것은 또 다른 연구주제가 될 수 있기 때문에 프로젝트 scope의 조절이 필요할 수 있습니다.

B. Data Collection, Preprocessing and Validation

데이터 수집은 각 EEG 센서의 종류에 알맞은 방법을 사용하여 **실험을 설계**해야 합니다. ICASSP 2024의 Auditory EEG Challenge [3]의 경우, 85명의 참가자를 대상으로 90분에서 150분 정도의 Auditory Stimuli를 주어 데이터셋을 만들었습니다. 결과적으로 168시간 규모의 데이터셋, SparrKULee [4]는 총 11개로 라벨링된 Auditory Stimuli의 조합으로 이루어졌습니다. 이 실험에서 연구자들은 **피실험자에게 데이터셋을 공개하는데 한 동의서와 자신들의 건강 정보를 사용한다는 동의서** 등을 받았습니다.

데이터 전처리에는 Filtering, Downsampling, Amplifying, Shifting 등의 기법이 사용됩니다. 위의 연구자 [5]들은 Python을 이용하여 **Filtering**과 **Downsampling**을 하여 전처리를 하였습니다.

모든 데이터셋은 타당성 검토를 거쳐야합니다. SparrKULee는 Linear forward/backward modeling [6]과 Match-mismatch paradigm [7]을 이용하여 데이터셋을 검증하였습니다.

C. A Self-supervised Encoder

자가학습 인코더로는 Autoencoder나 Transformer 등의 기법을 사용할 수 있습니다. T. Wen and Z.Zhang [8]은 Autoencoder를 이용하여 EEG의 특성을 학습했습니다. Piao, Zhenyu, et al. [9]은 ICASSP 2023의 Auditory EEG Challenge에서 Transformer를 이용한 Encoder로

Goal 2 부문에 대해 1등의 성적을 거두었습니다.

D. A Generative AI Decoder

기존 시각 재현에서는 실제 시각과 똑같은 것을 재현하기 위해 GANs를 사용하고자 했습니다. 하지만 청각 재현에서도 GANs이 필요한 지에 대해서는 아직 자료조사 중에 있습니다. 따라서 **GANs** [10] 이외에도 Diffusion [11], U-Net [12], WaveNet [13] 등의 다른 **Probabilistic Generative Models** 들도 고려 대상입니다.

E. Performance Evaluation

성능 평가 지표는 여럿이 있습니다. 가장 대표적으로 알려진 것들은 accuracy, precision, recall, f1-score 등이 있습니다. Auditory EEG Challenge에서는 **Match-mismatch classification accuracy** [14]와 **Pearson correlation**을 사용합니다.

III. Conclusion

본 프로젝트에서 제안하고자 하는 방법은 Autoencoder를 이용한 Self-supervised Learning과 Transfer Learning을 이용한 Feature Vector 추출, 그리고 GAN을 이용한 이미지 재구성입니다. 이는 시각 이미지에 국한하지 않고, 청각 등의 재현에도 사용 가능합니다. 자가학습은 많은 데이터를 필요로 하기 때문에 가능한 많은 데이터를 사용하는 것이 요구됩니다. Auditory EEG Challenge에 참여하는 것은 본 연구의 Encoder에 학습되는 데이터를 늘릴 수 있는 계기가 될 것입니다. 이를 통해 뇌의 비밀을 푸는 것과 Brain-Computer Interface (BCI) 발전에 기여할 수 있기를 기대합니다.

Reference

- [1] "EEG Sensor." *NeuroSky*, <https://neurosky.com/biosensors/eeg-sensor/biosensors/>.
- [2] "Data Acquisition." *University of Oslo - Human Time Data*. <https://www.sv.uio.no/psi/english/research/projects/human-time-data/documents/data-lifecycle/eeg/4.%20data-acquisition/>.
- [3] "Auditory EEG Challenge 2024." *ICASSP 2024 SP Grand Challenges*, <https://exporl.github.io/auditory-eeg-challenge-2024/>.
- [4] Accou, Bernd, et al. "SparrKULee: A Speech-evoked Auditory Response Repository of the KU Leuven, containing EEG of 85 participants." *bioRxiv* (2023): 2023-07.
- [5] exporl. "auditory-eeg-dataset." GitHub, <https://github.com/exporl/auditory-eeg-dataset>. Accessed Oct. 29 2023.
- [6] Crosse, Michael J., et al. "Linear modeling of neurophysiological responses to speech and other continuous stimuli: methodological considerations for applied research." *Frontiers in neuroscience* 15 (2021): 705621.
- [7] de Cheveigné, Alain, et al. "Multiway canonical correlation analysis of brain data." *neuroimage* 186 (2019): 728-740.
- [8] T. Wen and Z. Zhang, "Deep Convolution Neural Network and Autoencoders-Based Unsupervised Feature Learning of EEG Signals," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 25399-25410, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2833746.
- [9] Piao, Zhenyu, et al. "Happyquokka System For Icassp 2023 Auditory Eeg Challenge." *ICASSP 2023-*

2023 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2023.

[10] Khare, Sanchita, et al. "NeuroVision: perceived image regeneration using cProGAN." *Neural Computing and Applications* 34.8 (2022): 5979-5991.

[11] Singh, Prajwal, et al. "EEG2IMAGE: Image reconstruction from EEG brain signals." *ICASSP 2023-2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. IEEE, 2023.

[12] Zeng, Hong, et al. "DCAE: A dual conditional autoencoder framework for the reconstruction from EEG into image." *Biomedical Signal Processing and Control* 81 (2023): 104440.

[13] B. Van Dyck, L. Yang and M. M. Van Hulle, "Decoding Auditory EEG Responses Using an Adapted Wavenet," *ICASSP 2023 - 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Rhodes Island, Greece, 2023, pp. 1-2, doi: 10.1109/ICASSP49357.2023.10095420.

[14] de Cheveigné, Alain, et al. "Multiway canonical correlation analysis of brain data." *neuroimage* 186 (2019): 728-740.