

편마비 환자를 위한 Sim to Real 1D CNN sEMG 프로젝트

1. 프로젝트 개요

이 프로젝트는 편마비 환자의 얼굴 sEMG 신호를 이용해 표정을 평가하는 연구이다.

문제점

- 실제 환자 데이터를 확보하기 어렵다
- 편마비 환자는 좌우 근육 활성의 불균형 때문에 표정 인식이 어렵다.

해결 방법

- 가상 sEMG 데이터를 만들어 학습하고, 실제 환자 데이터를 이용해 Sim to Real 전이를 검증했다.
- 좌우 대칭이동(mirroring) 처리 여부가 모델의 성능에 어떤 영향을 주는지 분석하는 것이다.

즉, 대칭이동을 했을 때와 하지 않았을 때의 모델을 비교하여 편마비 환자의 표정 평가에서 어떤 접근이 더 타당한지를 검증했다.

2. 데이터 종류

종류	설명
합성 데이터	실제 생리 범위의 전압, 주파수, 노이즈 등을 반영해 수학적으로 생성한 sEMG
환자 데이터	편마비 환자의 실제 sEMG (팀 내 환자 포함, 이후 고대 안암병원 or 브레인요양 병원)
정상인 데이터	정상인의 실제 sEMG (센서 환경 및 노이즈 적응력 검증용)

3. 데이터 세트 구성

세트	데이터	목적
Train	합성 데이터 중심 (필요 시 정상인 일부 포함)	기본 패턴 학습

세트	데이터	목적
Validation	팀 내 환자 1명(김민성)	Sim to Real 적응 검증, 하이퍼파라미터 조정
Test P	여러 환자	최종 임상 성능 평가
Test H	정상인 4명	현실 하드웨어 및 노이즈 적응 성능 검증

4. 대칭이동 실험 설계

① 두 가지 버전의 데이터

버전	설명
비대칭 버전	실제 sEMG 그대로 사용하여 마비 쪽의 약한 신호 유지
대칭이동 버전	좌우 채널을 서로 교환하여 인위적으로 균형 잡힌 신호로 변환

② 학습 방식

두 버전 모두 **동이한 1D CNN** 구조를 사용했다.
합성 데이터로 사전 학습한 뒤 환자 데이터를 이용해 fine tuning을 진행했다.
이후 동일한 환자(Test P)를 대상으로 두 모델의 성능을 비교했다.

③ 평가 지표

정확도, macro F1, confusion matrix를 사용해 두 모델의 정량적 차이를 비교했다.
또한 Grad CAM을 통해 모델이 어느 쪽 얼굴 근육에 주목하는지 시각적으로 분석했다.

④ 해석 기준

결과	해석
비대칭 모델 성능이 높음	편마비 특성이 중요한 신호이므로 원본 비대칭 신호 보존이 필요함
대칭 모델 성능이 높음	좌우 균형 패턴이 일반화에 유리하므로 대칭이동 보정이 효과적임
성능이 비슷함	CNN이 내부적으로 좌우 차이를 학습하므로 별도의 대칭 보정이 필요하지 않음

5. 데이터 처리 및 라벨링

sEMG 신호는 20에서 450 Hz 대역통과 필터를 적용하고 60 Hz 노치를 사용했다.
신호를 250 ms 윈도우로 나누고 50% 겹치게 했다.
표정 시작과 끝은 RMS가 기준선 평균보다 3표준편차 이상 증가하거나 감소한 시점으로 자동 탐지했다.
근육 반응 지연을 고려해 라벨을 0.5~1초 뒤로 시프트했고, 경계 구간은 0.3초 정도 neutral로 처리했다.
대칭이동 데이터는 각 채널의 좌우를 교환한 뒤 동일한 전처리를 적용했다.

6. 실험 순서

- 1. 합성 데이터 생성 및 전처리
- 2. 합성 데이터로 CNN 학습
- 3. 환자 1명으로 Validation 수행 (Sim to Real 전이 확인)
- 4. 환자 여러 명으로 Test P 평가
- 5. 비대칭 모델과 대칭이동 모델의 성능 비교
- 6. 필요 시 정상인 Test H로 노이즈 강건성 보조 검증

7. 기대 결과와 의의

합성 데이터로 학습한 CNN이 실제 환자 데이터에서도 작동한다면 Sim to Real 전이가 성공한 것이다.
또한 대칭이동 실험을 통해 좌우 균형 보정이 편마비 환자 평가에 필요한지, 혹은 비대칭 신호 자체를 유지하는 것이 더 의미 있는지를 정량적으로 판단할 수 있다.
결과적으로 모델이 어떤 방식으로 좌우 차이를 처리해야 임상적으로 신뢰할 수 있는 표정 평가가 가능한지 근거를 제시한다.

8. 전체 요약

항목	내용
목표	편마비 환자 표정 평가에서 대칭이동 보정의 필요성 검증
Train	합성 데이터 (필요 시 정상인 일부 포함)
Validation	팀 내 환자 1명
Test P	여러 환자
Test H	정상인 4명 (선택)
핵심 비교	비대칭 모델 vs 대칭이동 모델
기대 효과	대칭 보정의 임상적 유효성 판단 및 Sim to Real 전이 성능 검증

이 프로젝트는 합성 sEMG로 학습한 CNN을 실제 편마비 환자에게 적용하여,
좌우 대칭이동 처리의 효과를 정량적으로 검증하고 Sim to Real 전이의 한계를 분석하는 연구이다.