

Sim-to-Real 안면 표정 인식을 위한 기계공학적 AI 접근법

1. 문제 정의 (교수님 피드백)

- 기존 방식의 문제: 지금 우리 계획(이미지 분석)은 CS 학부생도 하는 거라 ME만의 기여가 없다고 지적받았음.
- 우리의 진짜 문제: 편마비 환자는 사람의 눈 또는, 카메라 AI가 환자 감정을 오해함.
- 교수님 과제: "CS 애들이 못하는 (1) FEM 같은 공학 지식이랑 (2) sEMG 같은 하드웨어 써서 너희 ME만의 강점을 보여줘라."

2. 우리의 핵심 전략: "Sim-to-Real"

- Sim (가상) 훈련: 실제 환자 데이터로 AI를 학습시키는 게 아님. 우리가 '기계공학 시뮬레이션 (FEM)'을 돌려서 '가상(합성) 데이터'를 직접 생성하고, 이걸로 AI를 가르칠 거임.
- Real (현실) 테스트: 'sEMG 센서'라는 '하드웨어'로 '실제 물리 신호'를 측정해서, 이 AI가 현실에서도 잘 맞추는지 검증할 거임.

3. 세부 실행 계획 (4단계)

1단계: "가상 sEMG" 데이터 생성 (FEM 돌리기)

- 목표: AI 학습용 "시간-변형률" 1D 그래프 데이터를 수천 개 만들 거임.
- 도구: SolidWorks Simulation
- 우리의 ME 기여 (CS 애들은 이거 모름):
 - 모델링: 3D 얼굴 모델(뼈+피부 2-Layer) 준비했음.
 - 재료역학: '피부' 재질을 '강철(선형)'이 아니라 '초탄성(Hyperelastic) - Mooney-Rivlin' 또는 Neo-Hookean 으로 정의했음. (이게 진짜 피부/고무임)
 - 고체역학: 7가지 감정을 "뼈에서 피부를 당기는" '지정 변위' 하중으로 모델링했음.
 - FEM 해석: '비선형 정적(Non-Linear Static)' 스터디를 선택해서, 'Green-Lagrange Strain'("2차") 방식으로 '진짜' 변형을 계산할 거임.
 - 데이터 추출: '가상 센서' 위치에서 "시간-표면 변형률(Strain)" 1D 그래프를 뽑아낼 거임. (이게 AI 교과서)

2단계: 실제 sEMG" 데이터 측정 (하드웨어)

- 목표: AI 테스트용 "시간-전압" 1D 그래프를 측정할 거임.
- 도구: sEMG 센서 4개 + 아두이노
- 우리의 ME 기여 (CS 애들은 이거 못함):
 - 하드웨어 구축: sEMG 센서 시스템을 우리가 직접 구축함.
 - 측정: 1단계의 '가상 센서'랑 똑같은 얼굴 위치(이마 좌/우, 볼 좌/우)에 실제 전극 붙일 거임.

3. **데이터 확보:** 우리가 직접 7가지 표정을 지으면서 "시간-실제 전압(Voltage)" 1D 그래프를 측정함. (이게 AI 수능 시험지)

3단계: AI 모델 학습 (모델 1)

- **목표:** 1단계에서 만든 '가상 데이터'의 '패턴(리듬)'을 보고 감정을 맞추는 AI를 만들 거임.
- **입력:** "가상 변형률(Strain)" 그래프
- **모델:** 이미지를 보는 2D-CNN이 아니라, **신호(Time-Series)**를 보는 **1D-CNN** 쓸 거임.
- **학습:** AI는 "아, 이렇게 빠르게 속구치는 패턴은 '기쁨'이구나" 하고 '모양'을 외우게 됨.

4단계: 최종 검증 (Sim-to-Real)

- 우리의 핵심 가설 (이게 핵심임): '가상 변형률(Strain)'과 '실제 전압(Voltage)'은 물리적으로(F^2 vs F^3 ?) 다름. 하지만, '근본 원인(근육 수축)'이 같음. 그래서 두 신호를 '정규화'(0~1 스케일링) 하면, 그 '시간 패턴(리듬)'이 매우 비슷할 거라는 게 우리 가설임!
- **테스트:**
 1. '가상 데이터'로만 학습한 AI(모델 1)를 준비함.
 2. 여기에 2단계에서 측정한 '실제 데이터'를 넣음.
 3. AI가 '실제' 감정을 맞추는지 정확도를 볼 거임.

4. 우리의 최종 기여 (결론)

우리 프로젝트는 CS랑 명확히 다름:

1. **FEM 전문성:** 우리는 '선형' 해석이 아니라 '**비선형/초탄성**'이라는 고급 FEM 기술로 '합성 데이터'를 만들었음. (ME 도메인 지식)
2. **하드웨어 융합:** 우리는 '**sEMG 센서**'라는 물리적 하드웨어를 직접 다뤄서 '실제 데이터'를 측정했음. (ME 기술)
3. **핵심 방법론:** 우리는 '**가상(Sim)**'과 '**현실(Real)**'이라는 두 개의 다른 물리 영역을, AI로 연결하는 새로운 "**Sim-to-Real**" 접근법을 제시함.