

[캡스톤디자인 결과보고서]

■ 과제명

과제명	안구 움직임을 통한 로봇팔 제어시스템	참여학기	2024 년 1 학기
-----	----------------------	------	-------------

■ 강좌정보

과목명	졸업논문(전자공학전공)	학수번호	EE48600
과제기간	2024 년 3 월 2 일 ~ 2024 년 6 월 12 일	학점	0

■ 팀구성

팀명	생투전투		팀구성 총인원	3 명
구분	성명	학번	학부(과)	학년
대표학생	윤하연	2020104108	생체의공학과	4
참여학생	정서윤	2020104123	생체의공학과	4
	안병호	2020104231	전자공학과	4

■ 지도교수 확인

지도교수	성명	김동한	직급	전임교원
	소속	전자정보대학 전자공학과	지도교수 확인	성명 : 김동한 (인)

■ 과제 요약보고서

과제명	안구 움직임을 통한 로봇팔 제어시스템
<p>1. 과제 개요</p> <p>최근 들어, 사회의 고령화로 인해 인적자원을 통한 노년층의 돌봄에 한계가 생겨나고 있다. 또한 팔 움직임이 불편한 사람들도 자유롭게 움직이기에 어려움을 가지고 있다. 따라서, 운동능력이 극도로 떨어진 상태에서도 기본적인 행동의 자유를 보장해야 한다. 즉, 현재 팔과 손으로 대부분의 행동을 하도록 설계되어있는 기기들을 사용할 때, 움직임이 불편하신 분들을 위한 방안을 모색할 필요성이 있다.</p> <p>따라서, 우리의 목표는 식사 상황에서 착용자의 안구 움직임만을 이용해 움직이는 방향을 제어하여 특정 위치에 있는 음식들을 로봇 팔로 집을 수 있도록 하는 것이다. 이는 사용자가 팔을 움직이지 않고도 간편하게 원하는 음식을 가져올 수 있다.</p> <p>구체적으로, eog 센서 착용시 시선 움직임의 방향과 강도에 따른 센서의 값을 실시간으로 받아 아두이노로 보낸다. 그다음, 딥러닝을 사용한 모델을 통해 실시간 데이터가 어느 방향으로 움직</p>	

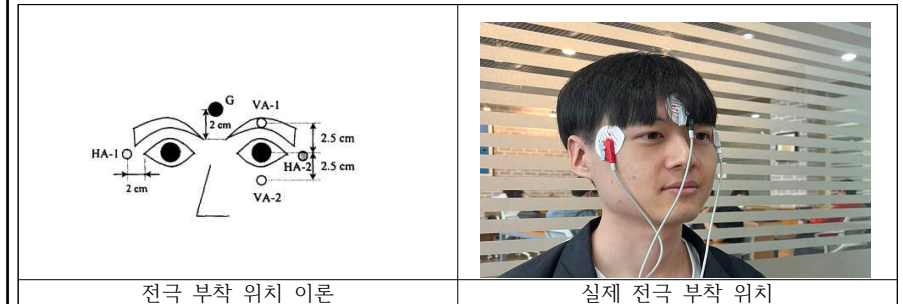
이는지에 대한 확률값을 도출한다. 모델은 eog 데이터를 전처리 후 의미있는 값들만 사용하여 학습을 진행한다. 이때, 확률값이 가장 큰 방향으로 3D 프린터로 출력한 로봇팔을 제어한다.

2. 과제 수행방법

◎ EOG 파트

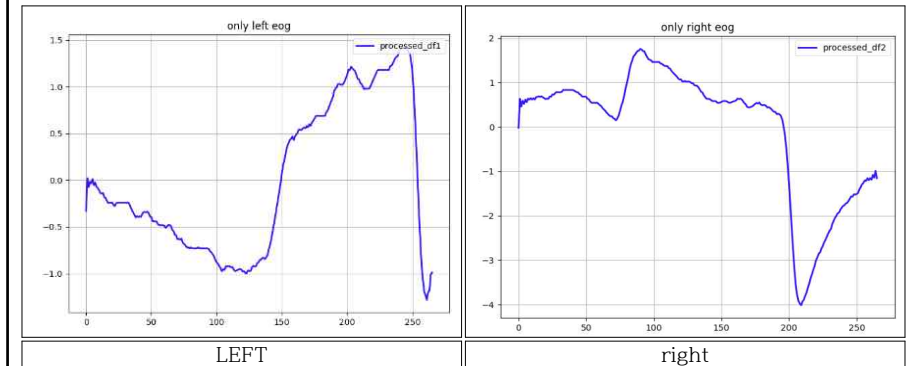
- EOG 수집

EOG란 각막과 망막 간 전위를 측정 결과 발생하는 신호로 눈의 움직임을 기록할 때 주로 사용된다. 피지오 랩사의 PSL EOG센서를 이용하여 안구전도를 측정하였고, 아두이노 나노와 연결하여 아두이노 IDE 및 serial SW를 통해 측정 결과를 확인하였다. 이번 논문에서는 눈의 좌우에 전극을 배치하여 horizontal한 EOG를 얻었다. 전극은 총 3개로 양안의 좌우와 이마 중앙에 부착하여 전압차이를 각각 측정할 수 있다. PSL 센서는 2 channel 신호를 얻을 수 있었으며, 각각 아날로그 신호와 디지털 신호이다. 이 중 아날로그 신호만 사용하였다. EOG 센서는 750V/V 증폭도를 가지며 60Hz notch filter를 사용하여 필터링 하고, 0.05hz cutoff frequency의 high pass filter와 10hz cutoff frequency의 low pass filter를 지니고 있다. 신호의 출력은 0~3.3V 사이로 출력된다



- EOG 데이터 분석

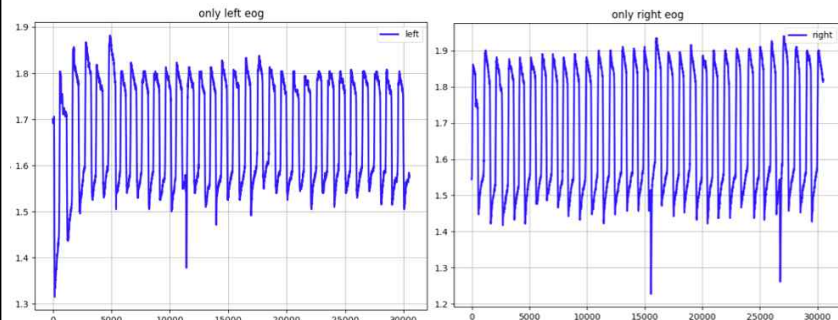
여러 차례의 실험을 통해 먼저 오른쪽과 왼쪽 신호에서의 eog 신호 차이를 알아보았다.



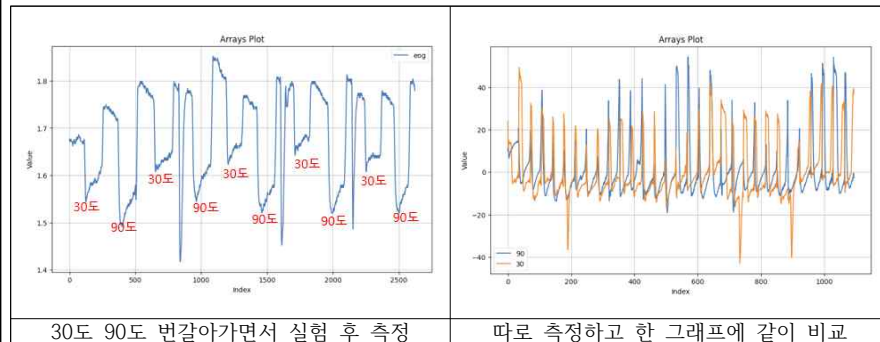
분석을 위해 먼저 데이터 전처리를 수행하였다. sampling frequency를 125hz로 down

sampling하고, 평균 값 제거 및 scale 확대를 통해 데이터를 더 정확히 파악하고자 하였다. 실험 시, 1초 간격으로 정면과 left (또는 right)를 바라봤기 때문에 2초 간격(250 sample)으로 끊어서 eog를 확인하였다. 결과를 보면 왼쪽과 오른쪽을 바라봤을 때의 eog파형은 차이가 있었다. 왼쪽은 중앙에서 아래로 떨어지는 파형이고 오른쪽은 위로 튀는 파형이다.

전체 데이터 셋에서 확인해보면 아래와 같은 파형이다. 특히 지금 측정하는 eog는 안구 움직임의 변화를 측정하기 때문에 왼쪽과 오른쪽 eog 간의 데이터 절대 값 크기는 큰 차이가 없었다. 따라서 threshold를 지정하고 이를 기준으로 분류하기엔 한계가 있음을 확인하였다.



처음 방향 변화가 일어난 순간에만 eog 변화의 기울기가 다른 것을 확인하였다. 따라서 우리는 안구움직임 변화가 일어난 직후 5초간의 eog데이터를 수집하여 이의 미분값으로 데이터셋을 확보하였다.



30도 90도 번갈아가면서 실험 후 측정 따로 측정하고 한 그래프에 같이 비교 번갈아가면서 측정해 본 결과 30도를 바라봤을 때와 90도를 바라봤을 때 약간의 상대적인 차이는 있었지만, 각각 실험한 후 수치로 확인해보았을 때는 큰 결과가 보이지 않았다. 따라서 왼쪽과 오른쪽, 가운데를 분류한 후에 횡수로 각도를 조절하도록 설계하였다.

- 모델 제작

각 데이터셋을 SAMPLES_PER_EOG 값인 5개 샘플로 나눠 데이터 프레임에 저장한다. 각각을 1차원 배열로 변환한 뒤 inputs 리스트에 추가한다.

표) EOG 데이터 셋

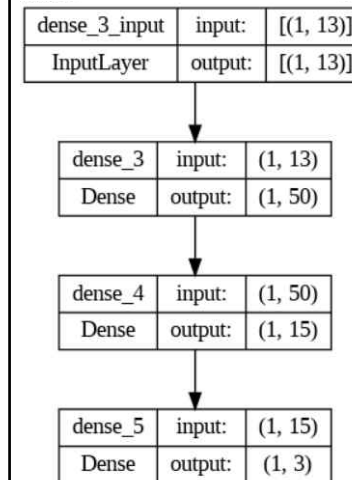
LEFT		RIGHT		CENTER	
Time	EOG	Time	EOG	Time	EOG
08:20.0	0.29	30:45.2	3.52	05:35.6	0.88
08:21.7	-4.79	30:46.6	8.31	05:36.2	0.57
08:22.3	7.92	30:47.3	-5.57	05:37.8	1.24
08:23.4	-1.27	30:48.8	2.52	05:38.1	-0.12
08:24.5	-0.59	30:49.5	1.3	05:39.7	-0.68

해당 세그먼트가 사용하여 “left”, “right”, “center” 세가지 동작 중 어떤 눈동자 움직임 유형에 해당하는지를 나타내는 이진 벡터 One-hot encoding vector는 outputs 리스트에 추가된다.

모델은 3개의 layer로 구성되어있다. 첫번째 50개의 뉴런 relu function으로 input data의 특징을 추출한다. 두번째 15개의 뉴런 relu function으로 중간 단계의 복잡한 패턴을 학습한다. 마지막, 눈동자 움직임 범주 수(NUM_EOG)만큼 뉴런을 가지며 softmax function으로 각 범주에 대한 확률을 출력한다. 이는 가장 높은 확률을 가진 범주를 모델이 예측하도록 한다.

모델은 rmsprop 최적화 알고리즘으로 컴파일되며, 손실함수로는 mse(mean squared error)를, 성능 지표로는 mae(mean absolute error)를 사용한다.

전체 1000개의 데이터 세트는 훈련, 검증, 테스트 세트로 분할된다. 훈련 세트는 전체 데이터의 60%를 차지하며, 모델 학습에 사용된다. 테스트 세트는 전체 데이터의 20%를 차지하며, 모델 성능 평가에 사용된다. 검증 세트는 나머지 20%를 차지하며, 훈련 중 모델의 성능을 평가하는 데 사용된다.



모델은 epochs=600으로 반복 학습하며 batch_size=1로 한번에 하나의 샘플씩 학습 데이터를 처리한다. 이후 validation_data를 통해 각 에폭 후 검증 세트를 사용하여 모델의 성능을 평가한다.

◎ 로봇팔 파트

- 로봇팔 3D 프린팅 및 조립

로봇팔이 복잡하고 정밀한 작업을 수행할 수 있게 6DOF(6Degrees of Freedom) 로봇팔을 만들기 결정하고 3D modeling 하였다. 기저 회전 부분(mg995), 어깨 관절(mg995 2개), 팔꿈치 관절(mg995), 팔목 관절(sg90), 집게 부분(sg90)에 각각 모터를 달아 로봇팔의 자유도를 결정했다. 관절에 모터를 부착하고 모델링한 부품들을 적절히 연결하여 로봇팔 전체 구조를 완성했다.

- 회로 구성

로봇팔의 자유로운 움직임을 위해 각 모터의 전선을 연장하였다. 각 모터들을 제어하기 위해 Arduino 보드의 핀 번호와 맞게 적절히 연결해주었다. 또한 모터에 강한 힘을 주기 위해 5V의 Power Supply를 따로 브레드보드에 연결해주었고, 이를 모터에 인가해주었다. 전력 손실을 최소화하기 위해 점프선은 되도록 짧은 것을 선택하여 사용하였다.

- Arduino 코드

Arduino Nano 33 Ble Sense 보드를 사용했고, arduino 코드를 통해 서보모터들을 제어함으로써 로봇팔의 움직임을 구성했다.

· 로봇팔로 물건을 집기 위한 코드

각 모터들을 arduino 보드의 핀 번호에 맞게 적절히 코드로 연결해주고, 각 모터의 각도를 제어함으로써 로봇의 움직임이 물건을 집도록 설계하였다.

```
// arm2 down
for(pos_mg995_2 = 90; pos_mg995_3 = 10; pos_mg995_2 >= 40 && pos_mg995_3 <= 60; pos_mg995_2 -= 1, pos_mg995_3 += 1)
{
  mg995_2.write(pos_mg995_2);
  mg995_3.write(pos_mg995_3);
  delay(20);
}
delay(500);

// arm1 down
for(pos_mg995_1 = 80; pos_mg995_1 <= 180; pos_mg995_1 += 1)
{
  mg995_1.write(pos_mg995_1);
  delay(20);
}
delay(500);

// wrist down
for(pos_sg90_2 = 0; pos_sg90_2 <= 100; pos_sg90_2 += 1)
{
  sg90_2.write(pos_sg90_2);
  delay(20);
}
delay(500);

// finger grip
for(pos_sg90_1 = 110; pos_sg90_1 >= 0; pos_sg90_1 -= 1)
{
  sg90_1.write(pos_sg90_1);
  delay(20);
}
delay(500);
```

```
// wrist up
for(pos_sg90_2 = 100; pos_sg90_2 >= 0; pos_sg90_2 -= 1)
{
  sg90_2.write(pos_sg90_2);
  delay(20);
}
delay(500);

// arm1 up
for(pos_mg995_1 = 180; pos_mg995_1 >= 80; pos_mg995_1 -= 1)
{
  mg995_1.write(pos_mg995_1);
  delay(20);
}
delay(500);

// arm2 up
for(pos_mg995_2 = 40; pos_mg995_3 = 60; pos_mg995_2 <= 90 && pos_mg995_3 >= 10; pos_mg995_2 += 1, pos_mg995_3 -= 1)
{
  mg995_2.write(pos_mg995_2);
  mg995_3.write(pos_mg995_3);
  delay(20);
}
delay(500);

// finger open
for(pos_sg90_1 = 0; pos_sg90_1 <= 110; pos_sg90_1 += 1)
{
  sg90_1.write(pos_sg90_1);
  delay(20);
}
delay(500);
```

· 방향 전환을 위한 코드

eog 센서를 이용해 방향 전환을 할 때, 그에 맞는 state machine을 설계해 로봇팔이 움직이도록 만들었다.

```
case RIGHT: {
  Serial.println("Right");
  for (reg_pos_mg995_4 = pos_mg995_4 - 40; pos_mg995_4 >= reg_pos_mg995_4; pos_mg995_4 -= 1)
  {
    mg995_4.write(pos_mg995_4);
    delay(15);
  }
  break;
}
```

▲ 오른쪽을 봤을 때 로봇의 기저 시계 방향으로 회전

```
case LEFT: {
  Serial.println("Left");
  for (reg_pos_mg995_4 = pos_mg995_4 + 40; pos_mg995_4 <= reg_pos_mg995_4; pos_mg995_4 += 1)
  {
    mg995_4.write(pos_mg995_4);
    delay(15);
  }
  break;
}
```

▲ 왼쪽을 봤을 때 로봇의 기저 시계 반대 방향으로 회전

```
case CENTER:
{
    Serial.println("Center");
    break;
} //center
```

▲ 정면을 봤을 때 로봇팔에 아무런 변화 없음

3. 실습비 사용내역

- PSL-iEOG2 : 168,960원
- arduino Nano 33 BLE : 59,900원
- TowerProM mg995 모터 4개 : 26000원
- SG-90 모터 2개 : 2,800원
- AA*3 배터리팩 4개 : 4000원
- AA 배터리 5개 : 13500원
- 아두이노 우노 2개 : 19800원
- 배터리 3구 홀더 2개 : 1980원
- breadboard 1개 : 800원
- arduino uno R3 : 26500원
- arduino nano : 29100원
- breadboard Jumper 18개 : 43200원

4. 수행결과

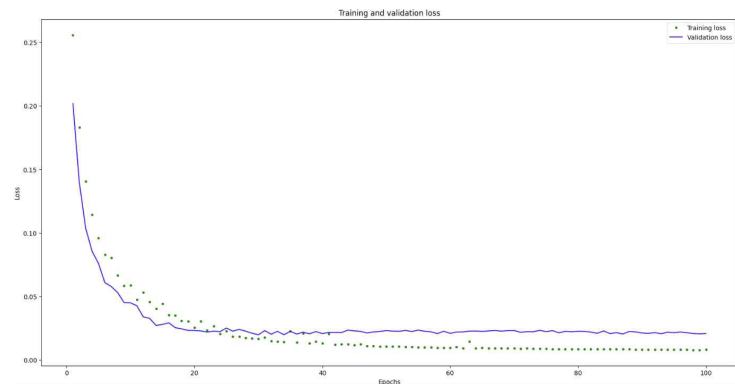
◎ EOG 파트

모델 제작 결과,

Average Validation Loss after skipping first 100 epochs: 0.0392

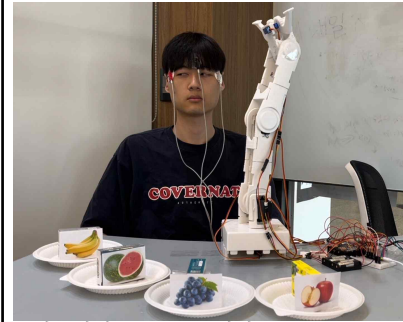
Average Validation MAE after skipping first 100 epochs: 0.0454

Average Validation Accuracy after skipping first 100 epochs: 92.59%

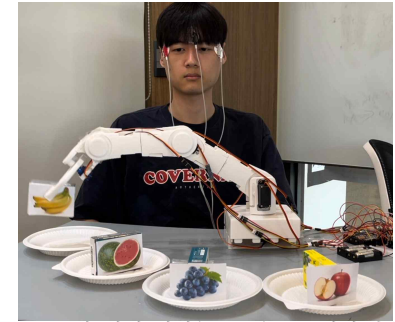


◎ 로봇팔 파트

사용자의 명령에 알맞게 방향 전환 및 물건 집기를 적절히 수행하였다. 각도 조절은 왼쪽 또는 오른쪽 턴오버의 반복을 통해 180도 이내에서 자유롭게 움직일 수 있었다.



▲사용자가 오른쪽을 바라봄



▲로봇이 시계 방향(오른쪽)으로 회전 후 집음

5. 기대효과 및 활용방안

- 기대효과

eog 센서는 빠른 반응 속도를 제공해 사용자의 의도를 즉시 반영할 수 있다. 이를 통해 로봇팔의 실시간 제어를 가능하게 하여 효율성이 높아질 수 있다. 또한 피부에 부착하는 방식이므로, 수술이나 복잡한 설치 과정 없이 몸이 불편한 사용자가 편하게 사용이 가능하여 접근성과 안전성이 높다. 이를 활용하여 산업, 의료, 서비스 등 여러 분야에서 응용 범위를 확장시켜 발전시킬 수 있다.

- 활용방안

신체 일부가 불편한 사람들을 위한 보조기기로 활용될 수 있다. 또한 eog 센서를 이용한 로봇팔 제어는 재활 치료에서 사용자의 자율성을 증진시켜 환자의 회복을 돕는 데 큰 도움을 줄 수도 있다. 이외에도 정밀 작업이 필요한 산업 분야나 카페나 레스토랑과 같이 음료나 음식의 서빙이 필요한 서비스 분야에도 적극 활용될 수 있다.

6. 결론 및 제언

eog 센서를 이용한 로봇팔 제어 기술은 생체 신호를 이용한 정밀하고 신속한 제어를 가능하게 한다. 이 기술은 비침습적인 인터페이스를 통해 사용자의 편의성과 안전성을 보장하며, 다양한 환경과 작업 조건에서 효율적으로 적용될 수 있다. 여러 분야에서의 활용 가능성을 고려할 때, eog 센서를 이용한 로봇팔 제어 기술은 인간의 생활을 더욱 풍요롭게 하고, 새로운 혁신을 이끌어 낼 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 본다. 그러므로 지속적인 연구와 개발, 사용자 중심의 접근, 윤리적 고려와 사회적 수용성을 바탕으로 이 기술이 더욱 발전하고, 우리의 삶에 긍정적인 영향을 미칠 수 있기를 기대한다.

[참고자료]

1.A Method of EOG Signal Processing to Detect the Direction of Eye Movements

Manuel Merino, Octavio Rivera, Isabel Gómez, Alberto Molina, Enrique Dorronzoro

Electronic Technology Department. University of Seville. Seville, Spain

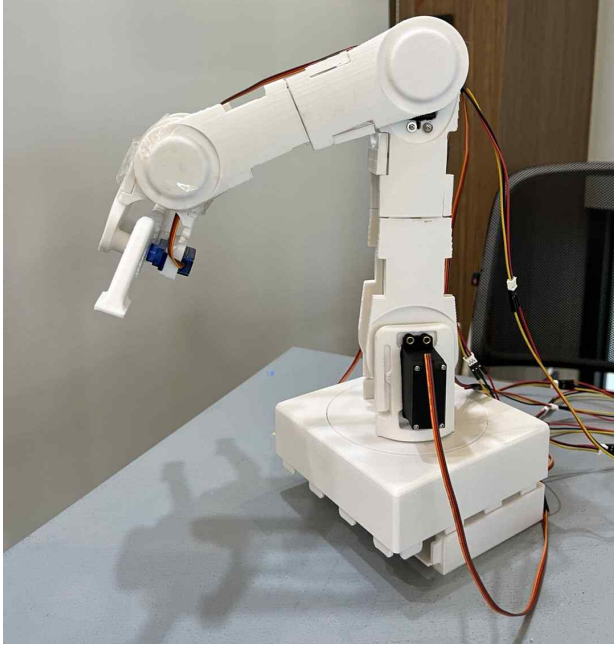
2. ArduinoTensorFlowLiteTutorials/GestureToEmoji

<https://github.com/arduino/ArduinoTensorFlowLiteTutorials/tree/master/GestureToEmoji>

3. AUTODESK Instructables 3D Printed Robot Arm by Beaconsfield

<https://www.instructables.com/3D-Printed-Robot-Arm/>

■ 최종결과물



본 팀은 과제를 성실히 이행하고 이에 따른 결과보고서를 제출합니다.

2024 년 6 월 12 일

팀 대표 : _____ 윤하연 (인)