

# 근육병 환자를 위한 단일 카메라 기반 시선 추적 연구

김시원

아주대학교

소프트웨어학과

kimsiw42@ajou.ac.kr

이대호

아주대학교

인공지능융합학과

daeho5000@ajou.ac.kr

곽세현

아주대학교

인공지능융합학과

boring1230@ajou.ac.kr

박정훈

아주대학교

인공지능융합학과

stevejobs@ajou.ac.kr

**Abstract** – 기술의 발전은 인류가 직면한 난제들을 해결하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 특히, 의료 분야에서의 기술 혁신은 우리의 삶을 크게 개선할 수 있는 가능성을 제시한다. 이 연구는 루게릭병, 파킨슨병 등과 같은 근육병 환자들의 의사소통에 대한 효과적인 방법을 모색하고자 한다. 기존의 시선 추적 기술은 고가의 웨어러블 장비나 높은 성능의 컴퓨팅 자원이 필요했다. 그러나 본 연구에서는 단일 카메라만을 이용하여 홍채를 촬영하고 홍채 타원의 모양 변화를 분석하여 시선의 변화를 감지했다. 이를 통해 단일 카메라를 제외한 별도의 추가 장비 없이 낮은 성능의 컴퓨팅 자원에서도 비교적 정확한 시선 추적 알고리즘을 제안한다. 이러한 기술은 환자들이 편리하게 이용할 수 있도록 도와줄 뿐만 아니라, 의사소통과 일상생활에 대한 독립성을 향상할 수 있다. 또한, 머리의 위치나 방향 변화를 보정하는 추가 알고리즘을 통해 머리가 계속 흔들리는 환경에서도 적용할 수 있었다. 이러한 방법론은 근육병 환자만이 아니라, 일반인에게도 적용 가능한 기술적 해결책을 제공함으로써 의료 분야에 도움이 될 것으로 기대한다.

**Keywords** – 루게릭병, 시선추적, 실시간처리, 영상처리, Calibration

## I. 서론

근육병은 신체의 근육을 쇠약 시키는 질병으로, 일상생활에서의 기능과 의사소통에 큰 어려움을 겪는 환자들이 많다. 독일에서 진행된 연구에 따르면 루게릭병 환자의 46%가 의사소통을 위한 기기를 필요로 하는 것으로 나타났다(A. Funke et al., 2018). 따라서, 노인 또는 몸이 불편한 환자를 대상으로 원활한 의사소통을 돕는 연구가 많이 진행되고 있다. 그 중, 루게릭병 환자를 대상으로는 눈을 통해 의사소통을 돕는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Spataro et al., 2018). 그들이 마지막까지 사용할 수 있는 유일한 근육이 안구

근육이기 때문이다. 다만, 지금까지 연구되어 온 방법은 별도의 웨어러블 장비 또는 장치를 필요로 하거나, 높은 가격의 시스템을 요구한다는 한계점이 있다.

이에 본 연구에서는 단일 웹 카메라만을 사용하여 저 비용 시스템에서도 효율적으로 실시간 시선 추적이 가능한 Gaze estimation 방법론을 제시한다. 우리의 주요 기여를 다음과 같이 요약한다:

**Contributions:** (1) 기존의 동공 추적 기반의 영상처리 알고리즘을 사용한 Gaze estimation 연구를(Wan et al., 2022) 흑색 홍채를 보유한 사람에게 쉽게 적용할 수 없었던 한계점을 개선한 홍채 타원 기반의 시선 추적 방법론을 제시한다. (2) 실시간 처리가 어려운 한계점을 지닌 딥 러닝 기반의 시선 추적 방식(Jalilian et al., 2021)과 별도의 웨어러블 장비 및 추가 장치를 요구하는 Corneal Reflection 방식(Park et al., 2015)의 한계점을 상호보완하는 성능의 시선 추적 방식을 제안한다. (3) 더욱 효율적인 실시간 처리를 위해 Head position 을 보정하는 알고리즘을 adaptive 하게 적용하는 방법론을 제시한다.

## II. 관련 연구

**Electrooculography:** 고전적인 시선 추적 연구는 Electrooculography(EOG)라는 기계적 기록 방식으로부터 시작되었다. 각막과 망막은 양전하와 음전하의 서로 다른 전하를 가지고 있다. 이로 인해 전위차가 발생하는데, 안구가 움직일 때 전위의 차이가 바뀌게 된다. 이에 따라 수직, 수평 움직임을 기록하는 연구가 진행되었다(Ford et al., 1959). 하지만, 높은 정확성을 가져오기 어려웠다.

**Requiring Additional Equipment based Gaze Estimation:** 고전적인 방법으로는 정확도 문제를 해결할 수 없었기에 머리에 안경과 같은 장비를



<그림 1> 데이터 수집을 진행한 실험 환경

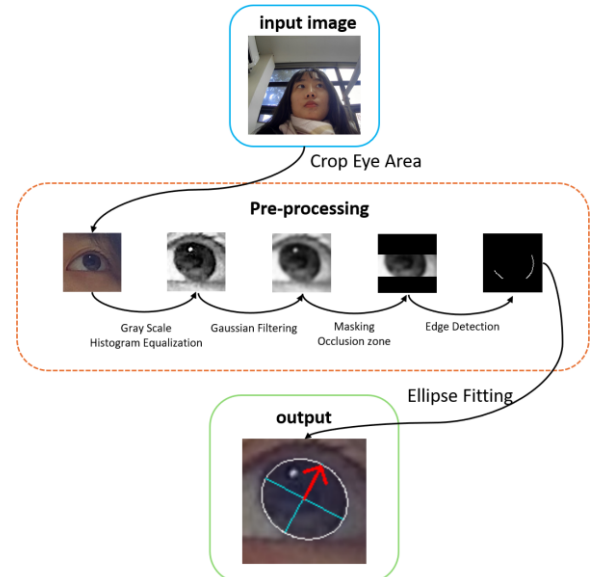
장착하는 Head Mount System 기반의 시선 추적 연구가 진행되거나(Cheng et al., 2021), 외부에 IR LED 와 적외선 카메라를 두어 시선추적을 하는 방식이 많이 연구되었다(Li et al., 2021). 그러나 이러한 방법론은 추가적인 장비 구매를 위한 금전적 부담이 따르며, 추가 장비를 부착한다는 점이 육체적 피로로 작용한다는 한계점이 있다.

**Deep Learning based Gaze Estimation:** 추가적인 장비를 요구한다는 한계점을 보완하기 위해 회귀 모델과 CNN 모델을 사용해 정확도를 높이는 연구가 많이 진행되었다(Jalilian et al., 2021). 그러나 이러한 방법론은 딥 러닝 모델의 실행을 위해 높은 시스템 자원이 필요하며 저비용 시스템에서는 실시간 추적을 어렵게 한다는 한계점이 있다.

### III. 연구방법

우리는 앞선 관련 연구의 한계점을 개선하기 위해 딥 러닝보다 빠른 영상처리 알고리즘을 사용해 높은 정확도와 빠른 추론 시간의 목표를 동시에 달성하고자 했다. 이러한 목표를 달성하기 위해 동공을 기반으로 한 연구가 진행되었지만, 일반적인 웹 카메라에서 홍채와 동공의 구분이 어려운 흑색 홍채를 가진 사람에게 이를 적용할 수 없었다. 따라서 우리는 홍채 타원 모양을 기반으로 시선을 추적하는 연구를 진행하였다.

먼저 입력된 영상에서 눈 영역을 찾아야 한다. 머신러닝 방법론으로는 OpenCV 의 dlib 이나 Google 의 Mediapipe 를 많이 사용한다. 그러나 우리의 환경에서 더욱 정확한 검출을 위해 정확도와 실시간 처리 면에서 모두 우수한 YOLO 모델을 사용하여 우리의 데이터에 맞춰 학습했다. 눈 검출 이후에는 Gray Scale 로 변환하여 Histogram Equalization 을 적용한다. 이를 통해 어두운 영역과



<그림 2> 제안하는 시선 추적 방법의 순서도

밝은 영역의 대비를 더욱 강조할 수 있으며, 홍채 경계선 부분을 추출하는 것에 도움을 준다. 이후 Gaussian Filtering 을 적용해 노이즈를 제거하여 노이즈가 경계선으로 추출되는 것을 방지한다. 이후 눈꺼풀 영역에서 생기는 오인식 영역을 Masking 하는 작업을 거친 후 최종적으로 Canny Edge Detector 를 사용하여 홍채의 경계를 추출한다. 추출된 경계를 통해 타원 모양을 예측하고 해당 홍채 타원의 장축과 단축을 기준으로 시선 벡터의 방향과 크기를 결정한다.

머리의 방향을 고려하지 않은 시선 벡터가 일차적으로 계산되었지만, 머리의 흔들림에도 강인한 시선 추정을 위해 Head Pose Estimation 을 적용해 이를 보완하였다. 이를 위해 얼굴의 움직임을 계산할 때 요(yaw), 피치(pitch), 롤(roll) 각도를 통해 현재 얼굴의 각도와 방향을 고려하여 Calibration 과정을 진행하였다. 영상의 매 프레임마다 이를 적용하면 더욱 높은 정확도를 얻을 수 있겠지만, 이는 많은 계산을 요구하므로 처리 속도가 느려지게 된다. 이러한 방법은 저비용 시스템에 적용하기에는 부담스러운 작업이다. 이를 보완하기 위해 Adaptive 하게 Head Position 을 갱신하는 방법론을 추가로 적용했다:

$$MSE_{headpose} = (yaw_{after} - yaw_{before})^2 + (roll_{after} - roll_{before})^2 + (pitch_{after} - pitch_{before})^2$$

$$timestamp_{update} = (1 + a) * timestamp_{before} + (-a) * MSE_{headpose}$$

과거 시점에 계산되었던 yaw, pitch, roll 값을 현재 시점의 값과 MSE(Mean Squared Error)값으로 계산한다. 그렇게 구해진 MSE 값과 timestamp 를 계산하는 주기를 업데이트하기 위한 파라미터  $\alpha$ 를 추가하여 MSE 값이 커질수록 더 자주 head position 을 업데이트하며, MSE 값이 작을수록 time stamp 를 점점 늘려서 head position 을 업데이트하기 위한 계산 량을 더욱 줄일 수 있다.

이렇게 계산된 얼굴 방향의 벡터를 사용하여 얼굴이 바라보는 방향의 Plane 을 정의할 수 있다. 이를 사용하는 기기의 화면과 평행한 위치가 되도록 시선 벡터를 보정하여 얼굴 방향에 의한 시선 벡터의 왜곡을 보정하였다.

이를 통해 각 Calibration Point 에 대한 시선 벡터를 계산하였다. 다만, 안구는 구의 형태로 이루어져 있어 움직이는 거리가 선형적이지 않고, 경로가 사람마다 다르다는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 개인의 안구 움직임이 어느 정도의 가중치를 가지고 이동하는지 계산하는 파라미터를 추가한 interpolation 알고리즘을 추가로 적용하였다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 신체가 불편한 환자를 위해 적용할 수 있는 단일 카메라 기반의 시선 추적 방법을 제시하였다. 기존의 시스템들과 대비하여 웨어러블 장비를 사용하지 않으면서도 준수한 정확도를 가지며 기존 방법들의 한계점을 상호보완 함을 확인하였다. 또한, 머리의 흔들림에도 강건한 시선 추적을 위한 알고리즘을 적용하면서도 빠른 추론을 위해 adaptive 하게 적용하는 식을 제안하였으며, 홍채 타원 모양을 기반으로 하는 시선추적 방법 또한 제안하였다. 우리가 제안하는 시선추적 방법론을 통해 루게릭병, 근육병 등의 환자들이 시선 추적 기술에 가볍게 접근할 수 있으며, 더욱 손쉽게 의사소통할 수 있을 것으로 기대한다.

#### V. 참고문헌

- Cheng, Y., Wang, H., Bao, Y., & Lu, F. (2021). Appearance-based Gaze Estimation With Deep Learning: A Review and Benchmark. doi.org/10.48550/arXiv.2104.12668
- Ford, A., White, C. T., & Lichtenstein, M. (1959). Analysis of Eye Movements during Free Search. Journal of the Optical Society of America, 49(3), 287. doi.org/10.1364/JOSA.49.000287
- Funke, A. et al. (2018). Provision of assistive technology devices among people with ALS in Germany:

a platform-case management approach. Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration, 19(5-6), 342-350. doi.org/10.1080/21678421.2018.1431786

Jalilian, E., Karakaya, M., & Uhl, A. (2021). CNN based off angle iris segmentation and recognition. IET Biometrics, 10(5), 518-535. doi.org/10.1049/bme2.12052

Li, Z., Guo, P., & Song, C. (2021). A Review of Main Eye Movement Tracking Methods. Journal of Physics: Conference Series. 1802(4), 42-66. doi.org/10.1088/1742-6596/1802/4/042066

Park, J., Jung, T., & Yim, K. (2015). Implementation of an Eye Gaze Tracking System for the Disabled People. 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications. doi.org/10.1109/AINA.2015.286

Spataro, R., Ciriaco, M., Manno, C., & La Bella, C. (2013). The eye-tracking computer device for communication in amyotrophic lateral sclerosis. Acta Neurologica Scandinavica. 130(1), 40-45. doi.org/10.1111/ane.12214

Wan, Z., Xiong, C., Chen, W., Zhang, H. & Wu, S. (2022). Pupil-Contour-Based Gaze Estimation With Real Pupil Axes for Head-Mounted Eye Tracking. 18(6), 3640-3650. doi.org/10.1109/TII.2021.3118022.