|  |
| --- |
| **1. 주제**  실시간 눈 깜빡임 모니터링 기술 개선 및 경고 시스템 개발  **분반, 팀, 학번, 이름**  나반 6팀, 20223152, 이서현 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **2. 요약**  본 프로젝트는 현대인의 디지털 기기 사용 증가로 인해 발생하는 안구 건조증을 예방하기 위해, 사용자의 눈 깜빡임 횟수를 실시간으로 측정하고 적절한 시점에 경고 알림을 보내는 시스템을 개발하고자 한다.  별도의 특수 장비 없이 컴퓨터 웹캠과 오픈소스 라이브러리 OpenCV, MediaPipe를 사용하여 사용자의 얼굴에서 눈의 특징점을 탐지한다. 또 눈의 개폐 상태를 나타내는 눈 종횡비(Eye Aspect Ratio, EAR) 값을 계산한다. 이 때 고정된 임계값 방식 대신 사용자마다 개인화된 적응형 임계값(Adaptive Threshold) 알고리즘을 적용하여 정확도를 향상시킨다. 눈 깜빡임을 감지하여 분당 깜빡임 횟수(Blinks Per Minute, BPM)를 추적한다. 정상 범위보다 낮은 BPM이 지속될 경우 사용자에게 알림을 보낸다.  이 시스템은 MediaPipe의 정밀성과 적응형 임계값의 유연성을 결합하여 사용자 환경(카메라와의 거리, 개인의 눈 모양) 변화에도 효과적으로 기능할 수 있다. 또한 사용자에게 무의식적으로 눈을 깜빡이는 횟수가 줄어드는 것을 인지시켜 안구 건조증 및 컴퓨터 시각 증후군(근시 유발 등)을 예방하도록 돕는다 | **3. 대표 그림**  텍스트, 만화 영화, 폰트이(가) 표시된 사진  AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다.  그림 1. MediaPipe 및 적응형 임계값 기반 눈 깜빡임 모니터링 및 경고 시스템   |  |  | | --- | --- | | 스케치, 그림, 패턴, 일러스트레이션이(가) 표시된 사진  AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다. | 텍스트, 지도, 도표, 폰트이(가) 표시된 사진  AI 생성 콘텐츠는 정확하지 않을 수 있습니다. |   그림 2. dlib과 MediaPipe의 특징점 비교  (왼쪽: 기존 연구에서 사용된 dlib의 68개 특징점은 눈 주변에 적은 수의 포인트를 사용함.  오른쪽: MediaPipe의 468개 3D 특징점은 눈 주변을 촘촘하게 감지하여 훨씬 정밀한 EAR 계산이 가능함)  기존 눈 깜빡임 모니터링 연구에서 사용된 dilb와 고정된 임계값을 사용하는 알고리즘은 사용자의 눈 깜빡임을 정밀하게 측정하는 데에 한계가 있다. 본 프로젝트에서 사용하는 MediaPipe와 개인화 적응형 임계값은 이러한 한계를 보완하고 시스템의 정확도를 높일 것으로 예상된다. |

|  |
| --- |
| **4. 서론**  현대 사회는 스마트폰, 컴퓨터 등 디지털 기기의 스크린에 대한 의존도가 매우 높다. 원격 근무, 온라인 학습 등 많은 활동이 디지털화 되면서 사람들의 스크린 타임은 급격히 증가했다. 이러한 생활 패턴의 변화는 컴퓨터 시각 증후군이라는 새로운 건강 문제로 이어졌고, 그 중 가장 대표적인 증상은 안구 건조증이다.  연구에 따르면 사람은 평상시 분당 평균 15회~20회 눈을 깜빡이지만, 스크린에 집중할 때는 그 횟수가 50% 이하로 급감한다. 눈 깜빡임은 눈물을 안구 표면에 고르게 분포하게 하여 눈을 촉촉하고 건강하게 유지하는 핵심적인 역할을 하므로 눈 깜빡임 횟수가 감소하는 것은 안구 건조, 피로, 흐릿한 시야 등을 유발한다. 시중에는 인공 눈물과 같은 일시적인 해결책이 존재하지만, 근본적인 원인인 눈 깜빡임 습관을 개선하는 것이 중요하다.  이 문제를 해결하기 위해 웹캠을 이용한 눈 깜빡임 감지 기술이 연구되어 왔다. 그 중 Youwei Lu(2023)의 연구는 dlib 라이브러리의 얼굴 특징점과 눈 종횡비(EAR)를 사용하여 실시간 감지 시스템을 구현하였다. 하지만 이 연구는 다음과 같은 한계점들을 가진다. 첫째, 시스템의 정확도가 고정된 EAR\_THRESHOLD 값에 의존한다. 이 임계값은 사용자의 고유한 눈 모양, 안경 착용 여부, 카메라와의 거리에 따라 최적값이 달라지기 때문에, 고정된 값은 오작동으로 이어질 수 있다. 둘째, dlib의 68점 랜드마크 모델은 눈 주변 특징점의 수가 적어 미세한 움직임 감지에 한계가 있다. 따라서 조명이나 얼굴 각도의 미세한 변화에도 EAR 값이 불안정해질 수 있다.  본 프로젝트는 위 문제들을 다음과 같은 아이디어를 도입하여 극복하고자 한다. 우선 dlib 모델 대신 Google의 MediaPipe Face Mesh를 사용한다. 이 모델은 468개의 3D 얼굴 특징점을 제공하여 눈 주변을 훨씬 조밀하고 정밀하게 추적할 수 있다. 이는 EAR 계산의 안정성과 정확도를 근본적으로 향상시킨다. 또한 고정된 임계값을 사용하는 대신, 사용자 개인에게 최적화되는 적응형 임계값을 도입한다. 시스템 시작 시 사용자에게 몇 차례 눈을 깜빡이도록 요청하여 개인의 평균 EAR 최소값을 측정하고, 이를 기반으로 동적인 임계값을 설정한다. 이 방식은 기존 기술의 가장 큰 약점이었던 유연성 부족 문제를 해결하여 시스템의 robustness을 보장한다. |

|  |
| --- |
| **5. 본론**  본 프로젝트는 시스템이 실시간 영상 입력을 기반으로 사용자의 눈 깜빡임 빈도를 분석하고, 이에 대한 피드백을 제공하도록 설계하였다. 주요 처리 절차는 영상 입력, 특징점 검출, EAR 계산, 적응형 임계값 설정, 깜빡임 감지 및 결과 출력의 순서로 이루어진다.    그림 3. 시스템 개요  시스템은 내장 웹캠으로부터 초당 프레임 단위의 영상 데이터를 수집하고, 각 프레임에 MediaPipe Face Mesh 모델을 적용하여 468개의 3차원 얼굴 특징점을 검출한다. 이후 양쪽 눈의 윤곽점 좌표를 이용해 눈 종횡비(EAR)를 산출한다. 시스템 초기화 단계에서는 사용자의 고유한 눈 깜빡임 패턴을 분석하여 개인화된 동적 임계값(adaptive threshold)을 설정함으로써, 기존의 고정 임계값 방식이 가지는 한계를 보완하였다. EAR 값이 임계값 이하로 하락하는 구간을 깜빡임으로 판정하고, 이를 기반으로 분당 깜빡임 횟수(BPM)를 계산하여 GUI를 통해 시각적으로 피드백을 제공한다.  본 시스템을 위해 필요한 기술들은 다음과 같다. 얼굴 검출 및 특징점 추적에는 Google의 MediaPipe Face Mesh 모델을 사용한다. 본 모델은 468개의 3차원 얼굴 특징점을 제공하여, 기존 dlib 68점 모델 대비 높은 정밀도와 안정성을 확보한다. 특히 눈 주변의 조밀한 특징점은 EAR 계산 시 발생할 수 있는 노이즈를 효과적으로 감소시켜 신뢰도를 향상시킨다. 눈의 개폐 상태 분석에는 Soukupová와 Čech(2016)이 제안한 EAR 공식을 적용한다. EAR은 눈의 수직 및 수평 랜드마크 간의 비율로 계산되며, 눈이 열린 상태에서는 일정한 값을 유지하다가 깜빡임 시 급격히 감소하는 특성을 갖는다. 또한 EAR 기반 깜빡임 감지의 한계로 지적된 고정 임계값 문제를 개선하기 위해 적응형 임계값 알고리즘(Adaptive Threshold Algorithm)을 도입한다. 시스템 초기화 시 약 5~10초간의 보정(calibration) 구간 동안 사용자의 평균 EAR 분포를 수집하고, 이를 바탕으로 개인별 동적 임계값을 설정한다. 해당 알고리즘은 눈 모양, 카메라 거리, 조명 조건 등 환경적 요인에 능동적으로 대응함으로써 시스템의 강인성과 정확도를 동시에 확보한다.  개발은 총 네 단계로 수행될 예정이다. 먼저 Python을 기반으로 OpenCV 및 MediaPipe 환경을 구축하고, 웹캠으로부터 안정적인 비디오 스트림 수신 및 얼굴 특징점 검출 기능을 구현한다. 다음으로, 검출된 468개 특징점 중 눈 영역에 해당하는 좌표를 추출하여 EAR 값을 프레임 단위로 계산하는 데이터 처리 모듈을 개발한다. 이후 적응형 임계값 설정 및 깜빡임 감지 알고리즘을 구현하여, 수집된 EAR 분포로부터 개인화된 임계값을 생성하고 이를 이용해 깜빡임을 판정한다. 마지막 단계에서는 Tkinter 또는 PyQt 기반의 GUI를 설계하여 BPM 및 경고 메시지를 실시간으로 표시하고, 전체 시스템이 최소한의 자원으로 동작하도록 최적화한다. 최종적으로는 사용자가 손쉽게 실행할 수 있는 독립형 애플리케이션 형태로 패키징할 예정이다. |

|  |
| --- |
| **6. 결론**  본 제안은 기존의 고정 임계값 기반 눈 깜빡임 감지 기술의 문제점을 분석하고, MediaPipe Face Mesh와 적응형 임계값이라는 새로운 기술을 도입하여 이를 해결하는 방안을 설계했다. 이를 통해 다양한 사용자와 환경에서 높은 정확도를 유지하는 안구 건조증 예방 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.  향후 초기 보정(Calibration) 단계를 자동화하고, 실시간으로 임계값을 미세 조정하는 로직을 개발하여 적응형 임계값 알고리즘을 고도화할 것이다. 이후 시스템이 백그라운드에서 최소한의 자원으로 동작하도록 최적화하고, 사용자에게 거부감 없는 형태의 알림 방식을 연구하여 사용자 경험(UX)를 최적화할 것이다. |

**7. 출처**

[1] Lu, Y. (2023). Real-time eye blink detection using general cameras: a facial landmarks approach. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(5), 1-8.

[2] Soukupová, T., & Čech, J. (2016). Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks. *21st Computer Vision Winter Workshop*.

[3] Google, "MediaPipe Face Mesh," Google AI. [Online]. Available: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/face_mesh.html>

[4] Sagonas, C., et al. (2016). 300 Faces In-The-Wild Challenge: database and results. *Image and Vision Computing*, 3-18.