

시선 트래킹 기반 이러닝 집중도 측정 시스템

서정민⁰, 박상근

경희대학교 소프트웨어융합학과

balljm@khu.ac.kr, sk.park@khu.ac.kr

E-learning Concentration Recording System Based on Eye Tracking

Jeongmin Seo⁰, Sangkeun Park

Department of Software Convergence, Kyung Hee University

요약

COVID-19로 인해 비대면 학습이 대중화되면서, 학습자의 집중도 파악 및 관리의 중요성이 대두되고 있다. 기존 연구들은 표정, 눈 감김 여부 등을 통해 집중도를 평가했지만, 얼굴이 정면을 향하고 있음에도 불구하고 집중하지 않는 경우에는 집중도를 정확하게 측정하기 어렵다는 한계가 있다. 본 연구는 눈 비율(EAR)과 동공의 수평 비율을 활용해 학습자의 시선 중앙, 시선 이탈, 눈 감김, 자리 이탈에 기반한 집중도 평가를 제공하며, 학습자가 실시간으로 피드백을 받아 집중도를 향상할 수 있는 시선 기반 집중도 측정 시스템을 제안한다. 이를 통해 학습자의 학습 태도를 개선하고 집중도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론¹

COVID-19로 인해 비대면 학습이 주된 교육 방식으로 자리 잡으며, 이러닝(e-Learning)과 에듀테크(EduTech)에 대한 관심이 커졌다. 교수자가 학생의 시선을 관찰하고 직접 상호작용을 통해 집중도를 유지하는 오프라인 강의와 달리, 온라인 강의에서는 이러한 통제와 관리가 어려워 학습자 스스로 집중력을 유지하는 데 문제가 발생하고 있다.

이를 해결하기 위해, SW를 활용한 비대면 온라인 교육에서 학습자의 집중도를 파악하려는 다양한 연구가 진행되고 있다. 학습자의 집중도를 측정하기 위해 감정, 표정, 눈 감김 여부, 고개 회전 각도 등 다양한 요소를 활용한 연구가 있었으며 [1, 2, 3, 4], 교수자가 학습자의 집중도를 관리할 수 있는 모니터링 시스템 연구도 수행되었다 [2, 5, 6]. 그러나 기존 연구는 학습자의 얼굴이 정면을 향해 있지만 집중하지 않을 때의 집중도 측정에 한계가 있으며, 학습자를 위한 피드백 제공보다는 교수자의 학습자 모니터링에 집중하고 있다.

본 연구에서는 학습자가 고개를 정면으로 하고 있으나

집중하지 않는 상황에 대해서도 집중도를 평가할 수 있으며, 학습자 스스로 집중도에 대한 피드백을 받을 수 있는 시선 기반 집중도 측정 시스템을 제안한다. 본 시스템은 눈 비율(EAR: Eye Aspect Ratio)과 동공의 수평 비율을 계산하여 눈 감김과 시선 이탈 여부를 파악할 수 있어, 학습자의 집중도를 보다 정확하게 측정할 수 있다. 이를 통해, 본 시스템은 학습자가 자신의 학습 집중도를 인지하고 보다 학습에 집중할 수 있는 긍정적인 행동 변화를 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 관련 연구

2-1. 학습 집중도 파악

온라인 학습 시 학습자의 집중도를 파악하기 위한 다양한 연구가 수행되었다. 학습자의 감정을 기반으로 집중도를 측정하기 위한 연구로, 입, 이마, 눈의 위치를 추적하여 학생의 감정을 분석해 집중도 파악에 반영한 연구[1], 학습자가 무관심하거나 지루한 표정을 짓고 있을 때 집중하지 않은 것으로 추론하고 이를 기반으로 집중도를 평가한 연구[2] 등이 있다. 학습자의 시선을 기반으로 집중도 측정을 시도한 연구도 있다. [3]은 눈 감김 여부 데이터를 수집해 학습자가 눈을 감고 있을 때 집중하지 않는 상황으로 평가했으며, [4]는 눈이 아닌 고개의 회전 각도에 집중해서 일정 각도 이상 고개를 돌리면

* "본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 2024년도 SW중심대학사업의 결과로 수행되었음"(2023-0-00042)

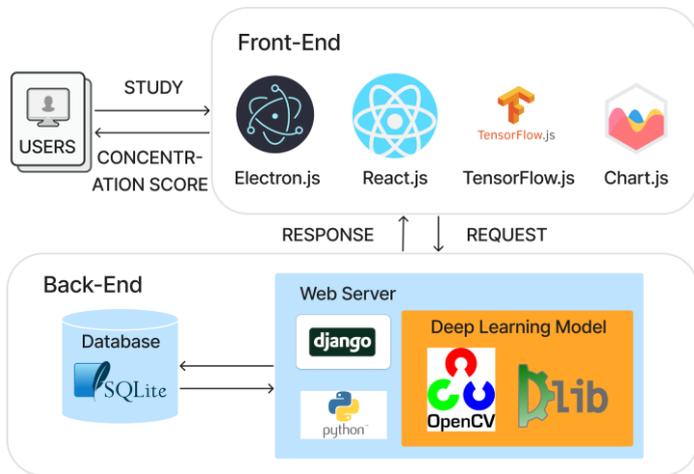
이를 시선 이탈로 간주하고 집중도 평가에 반영했다. 기존 연구는 다양한 요소를 기반으로 집중도를 평가했지만, 눈 감김을 중립 상태로 인식하거나 고개가 정면을 향하면 시선이 다른 곳을 향하더라도 집중하고 있다고 가정하는 한계가 있다. 본 연구에서는 학습자의 눈의 움직임에 집중한 시선 추적을 기반으로, 집중도를 보다 정확하게 평가한다.

2-2. 학습 집중도 피드백

온라인 학습에서 학습자의 집중도를 높이기 위해 피드백을 제공하는 다양한 연구가 수행되었다. 교수자가 학습자의 집중도 상태를 모니터링하는 연구로, 교수자에게 전체 학생 중 몇 퍼센트가 집중 상태인지 제공하는 연구[5], 교수자에게 집중도가 낮은 학생이 누구인지 실시간으로 알려주는 연구[6] 등이 있다. 학습 이후 피드백을 제공하는 연구도 있다. [2]는 수업 후 교수자에게 학습자의 눈 감김 여부에 대한 보고서를 제공했다.

기존 연구는 교수자에게 학습자의 집중도에 대한 피드백을 제공하는데 집중되어 있으며, 학습자 본인에게 피드백을 제공하는 방법 및 효과에 대한 연구는 상대적으로 덜 주목받았다. 본 연구에서는 교수자가 아닌 학습자에게 집중도에 대한 피드백을 제공하여, 학습자가 스스로 집중도를 관리할 수 있도록 한다.

3. 시스템 설계 및 구현



[그림 1] 시스템 아키텍처

본 연구에서 제안하는 시선 트래킹 기반 이러닝 집중도 측정 시스템²의 구조는 [그림1]과 같다. 사용자가 본 연구진이 Electron.js³로 개발한 윈도우 애플리케이션을 실행하고 학습을 진행하면 카메라를 통해 사용자의 시선 트래킹이 시작된다. 윈도우 애플리케이션은 카메라 영상에서 TensorFlow.js로 사용자의 얼굴을 검출하고, 이미지 프레임을 2초 단위로 Django 서버에 전송한다. 서버에서는 OpenCV와 얼굴 랜드마크

검출에 사용되는 라이브러리인 Dlib⁴을 활용해 사용자의 얼굴에서 눈의 상태를 추적하고, 이를 기반으로 집중도를 측정한다. 측정된 점수는 실시간으로 윈도우 애플리케이션에 표시되며, 집중하지 못하는 상황이 발생하면 경고음이 출력된다. 본 시스템은 학습자의 상태를 시선 중앙, 시선 이탈, 눈 감김, 자리 이탈, 네 가지로 구분해서 집중도를 측정한다. 동공의 수평 비율을 계산해서 시선이 화면의 중앙을 향하고 있는지(시선 중앙) 또는 시선이 정면의 학습 자료가 아닌 다른 방향을 향하고 있는지(시선 이탈) 판단할 수 있다. 동공의 수평 비율은 동공의 위치를 눈의 가로 길이의 중간값으로 나누어 계산한다. 양쪽 눈의 수평 비율을 평균하여 최종적으로 0.0에서 1.0 사이의 값을 반환하는데, 0.0에 가까울수록 시선은 오른쪽을, 1.0에 가까울수록 시선은 왼쪽을 향하고 있는 것을 의미한다. 수평 비율의 값이 0.35 이하라면 시선이 오른쪽으로, 0.65 이상이라면 시선이 왼쪽으로 이탈하였다고 판단한다. 반면, 0.35에서 0.65 사이의 값이 출력된다면 학습자의 시선은 정면을 향하고 있음을 의미한다⁵. EAR(Eye Aspect Ratio) [7]을 활용해 눈의 가로 길이와 세로 길이의 비율을 계산하면 눈 감김을 판단할 수 있다. 왼쪽과 오른쪽 눈 각각의 EAR을 계산하고, 두 값의 평균이 0.24 이하일 때, 눈이 감겨 있음을 의미한다 [2]. 만약 카메라에 얼굴이 감지되지 않으면 자리 이탈로 판단한다.

[표 1] 학습 태도 기반 집중도 판단 예

학습 태도 예시	Case I	Case II
시선 중앙 비율	0.66	0.09
시선 이탈 비율	0.30	0.91
눈 감김 비율	0.04	0.00
자리 이탈 비율	0.00	0.00
집중도 점수	83점	55점

집중도 점수 계산 방식은 다음과 같다. 학습자가 본 시스템을 실행하고 학습하는 동안 시선 중앙 비율이 높을수록, 시선 이탈, 눈 감김, 자리 이탈 비율이 낮을수록 집중도가 높은 것으로 평가된다. 집중도 점수는 아래와 같이 계산했다.

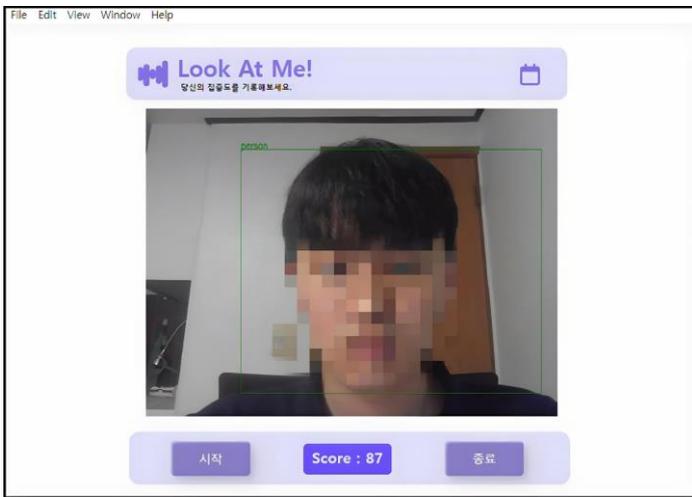
$$(1 \times \text{시선 중앙 비율} + \frac{1}{2} \times \text{시선 이탈 비율} + \frac{1}{2} \times \text{눈 감김 비율} + \frac{1}{2} \times \text{자리 이탈 비율}) \times 100$$

² <https://www.youtube.com/watch?v=RasdOmBOi9A>
³ <https://www.electronjs.org/>

⁴ <http://dlib.net/>
⁵ <https://github.com/antoinelame/GazeTracking>

시선 중앙의 가중치는 1로 설정하고, 시선 이탈, 눈 감김, 자리 이탈은 시선 중앙의 절반인 0.5의 가중치를 부여했다. 학습 시간 동안 시선이 계속 중앙만 향하고 있다면 집중도 점수가 100점이 되며, 전체 학습 시간 대비 눈 감김, 시선 이탈, 자리 이탈이 발생할수록 그만큼 시선 중앙 비율이 낮아지면서 전체 집중도 점수는 내려가게 된다. [표1]을 예로 들면, Case I에서 시선 중앙 비율은 0.66, 시선 이탈 비율 0.30, 과 눈 감김 비율 0.04, 자리 이탈은 발생하지 않아서 집중도 점수는 83점으로 계산된다. 만약 Case II와 같이 학습자가 시선을 자주 이탈하거나 눈 감김 및 자리 이탈이 잦을 경우 집중도는 Case I에 비해 상대적으로 낮게 평가된다.

4. 학습 집중도 기반 피드백 시스템



[그림 2] 시선 트래킹 기반 이러닝 집중도 측정

해당 시스템을 실행하면 학습자의 시선을 기반으로 집중도 측정이 시작된다 [그림2]. 본 시스템은 학습자의 집중력에 기반하여 1) 실시간 집중도 점수 제공과 2) 집중도 위험 경고음의 두 가지 피드백을 제공한다.

2초 단위로 갱신되는 실시간 집중도 점수를 기반으로, 본인이 얼마나 시선을 중앙에 두고 컴퓨터 화면에 집중하고 있는지 스스로 확인할 수 있다. 또는 눈 감김 및 자리 이탈이 10초 이상 발생하면 즉각적으로 경고음을 발생시켜 학습자가 정신을 차리고 다시 학습에 집중하도록 돕는다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 학습자의 이러닝 학습 시 집중도를 관리하기 위한 시선 트래킹 기반 이러닝 집중도 기록 시스템을 개발했다. EAR과 동공의 수평 비율을 계산하여 눈 감김과 시선 이탈 여부를 측정함으로써, 학습 중 고개는 정면을 향하지만 시선이 다른 곳을 향할 때 집중하고 있다고 가정하는 한계점을 극복했다. 더불어 교수자가 아닌 학습자에게 직접적인 피드백을

제공해 학습자 스스로 집중도를 관리할 수 있도록 했다. 이후 2가지 경우에서 학습 태도 별 집중도 점수를 측정했다. 이를 통해, 학습자가 자신의 학습 집중도를 인지하고 보다 학습에 집중할 수 있는 긍정적인 행동 변화를 유도할 수 있는 가능성을 제시하였다. 본 연구는 각 학습 태도에 임의의 가중치를 부여했다는 한계점이 있다. 향후 연구에는 집중하고 있는 상황과 학습 태도별 상관관계를 기반으로 각기 다른 가중치를 부여해 집중도 점수의 타당성을 높이고자 한다.

6. 참고 문헌

[1] Nandish Amish Shah, Meenakshi K., Aditya Agarwal, and Sidhdharth Sivasubramanian. "Assessment of Student Attentiveness to E-Learning by Monitoring Behavioural Elements", 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI -2021), 2021, DOI: 10.1109/ICCCI50826.2021.9402283

[2] D.Deepa, S.Selvaraj, D.M.Vijaya Lakshmi, Sarneshwar S, VigneshBalaji N, and Vikash M. "Web Application to Track Student Attentiveness during Online Class using CNN and Eye Aspect Ratio", Sixth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC 2022), 2022, DOI: 10.1109/ICCMC53470.2022.9753863

[3] 이종수, 문성호, 박상언, 이덕기. "Deep Learning을 활용한 비대면 강의 집중도 향상", 2021년 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, pp 1888-1889

[4] 여동훈, 라이언, 황병일, 김동주, 황도경. "딥러닝 기반 안면 상태 감지 모델을 통한 학습자 강의 집중도 분석 시스템", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.60, NO.1, January 2023, DOI: 10.5573/ieie.2023.60.1.37

[5] Mustafa Uğur Uçar and Ersin Özdemir. "Recognizing Students and Detecting Student Engagement with Real-Time Image Processing", Electronics 2022, 11, 1500. <https://doi.org/10.3390/electronics11091500>

[6] Yi-Ting Lai and Meng-Shiuan Pan. "A Concentration Judgment System for Online Courses: Design and Implementation", 2023 VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS), 2023, DOI: 10.1109/APWCS60142.2023.10234058

[7] Tereza Soukupová and Jan Čech. "Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks", 21st Computer Vision Winter Workshop, Rimske Toplice, Slovenia, February 3-5, 2016