|  |
| --- |
| **1. 주제**  효율적인 시험 관리를 위한 시험 감독 통합 보조 시스템 모델  나 분반, 4팀, 20253324, 조욱희 |

|  |  |
| --- | --- |
| **2. 요약**  본 프로젝트의 목표는 인공지능을 활용, 시험 중 부정행위나 도움이 필요한 시그널을 자동으로 탐지하는 시스템을 개발하는 것이다. 기술적 원리로는 카메라 영상을 통해 실시간으로 학생의 얼굴과 시선 움직임을 분석하여 다중 인원 감지나 시선 이탈 등 이상 행동을 인식하고, 수치화 하여 위험도를 계산한다. 이 시스템의 기대효과로는 시험 감독관의 부담을 줄이고 보다 더 공정한 시험 환경을 조성하는 데 기여할 것으로 예상된다. 또한 오픈소스로 공개함으로써 교육기관, 온라인 시험 플랫폼, 기업 입사시험 등 다양한 분야에서 활용하여 “AI 윤리 및 보조 기술의 실제 적용 가능성"을 높이는 것이 본 프로젝트의 핵심 가치이다. | **3. 대표 그림**  - 지필고사 시험 중 감독 인원 부족으로 인한 불편함 발생  - 적은 감독 인원으로도 효율적 관리 가능    <그림 1. 시험 감독 통합 보조 시스템 활용  예상 이미지> |

|  |
| --- |
| **4. 서론**  본 프로젝트를 기획하기 전, 대학교에서 중간고사를 실시할 때 30~40명의 학생이 시험을 보지만, 감독 인원은 1명 정도로 배치되어 시험 운영에서 추가 용지나, 부정행위에 관련한 불편함을 겪었었다. 따라서 이러한 문제를 보조적 AI 모델을 사용하여 해결하고자 하였다. 기존에 시험 감독 AI 모델이 없었던 것은 아니다. 코로나19 펜데믹 이후 대학이나 국가시험 등 각종 평가가 온라인으로 전환되면서, 시대적 흐름에 맞춰 AI 기반 시험감독 기술이 빠르게 확산되었다. 이러한 시스템은 웹캠, 마이크, 화면 데이터를 멀티 모달로 분석, 응시자의 시선·얼굴·자세·행동패턴을 감지하고 부정행위 가능성을 자동으로 판단한다.  그러나 기술의 발전만 고려한 결과 해당 AI 모델에는 법적·윤리적 논란이 생기게 되었다. Heckmann (2021)은 *State Examinations in the Livingroom*에서, AI 시험감독이 응시자의 사적 공간에 침투, 헌법상 평등권과 개인정보 보호 문제를 낳는다고 지적하였다. 즉, 감독으로의 인공지능이 감시로의 인공지능으로 변질될 위험성이 존재한다는 것이다. 이러한 문제는 인공지능 시험 보조 도구가 단순히 기술적 문제로서 다룰 것이 아니며, 법적 정당성과 윤리적 설계 원칙이 병행되야 함을 강조한다.  최근 연구들(Coghlan et al., 2021; Nigam et al., 2021; Mutimukwe et al., 2023)은 AI 시험 감독 기술이 다음과 같은 네 가지 윤리적·사회적 한계를 가진다고 본다. 첫째, 프라이버시 침해는 응시자의 얼굴, 음성, 배경 등 민감한 데이터를 실시간으로 수집 및 처리함으로써 발생하는 문제이다. 둘째, 기술적 신뢰성 결여는 오탐 및 누락으로 인한 시스템적 신뢰도 저하 문제이다. 셋째는 감시의 윤리 문제이다. 이는 지속적 모니터링이 응시자에게 공정하지 못한 심리적 압박과 불안감을 유발한다는 것 이다. 넷째, 형평성 저하 문제이다. 응시자의 장비·환경·네트워크 격차로 인한 공정성 침해도 간과하지 못한다.  특히 Coghlan et al. (2021)은 AI 판단에 대한 인간 감독자의 과신을 경계, AI가 인간의 판단을 대체하지 않고 의사결정을 보조하는 수준에 머물러야 한다고 경고한다. 본 프로젝트는 오프라인이라는 차별점을 가지고 있지만, 앞서 서술한 온라인 시험 환경에서 제기된 문제들이 동일하게 재현될 가능성이 있음을 인지한다.    이에 본 프로젝트는 기존 온라인 모델의 한계를 인식하고, 다음 세가지 윤리적 설계 원칙에 기반한 오프라인 AI 시험감독 모델을 제안한다. 핵심은 ‘감시’ 가 아닌 ‘보조’이다.  첫째, 데이터 최소 수집 원칙이다. 얼굴, 손, 자세 등 최소한의 정보만 실시간 분석, 저장은 엄격히 금지한다.  둘째, 로컬 분석 원칙이다. 영상은 서버 전송 없이 현장 단말에서 처리하여 개인정보 노출을 차단한다.  셋째, 감독 보조 원칙이다. AI는 인간 감독을 대체하지 않고, 현장에서 보조하는 의사결정 지원 도구로 한정한다.  본 프로젝트는 이러한 설계를 통해 기존 온라인 감독의 윤리적 문제를 보완, 오프라인 시험장에서도 프라이버시 보호·형평성·신뢰성을 함께 달성하는 AI의 기술의 올바른 발전 방향을 제시하고자 한다. |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **5. 본론**  **5.1. 시스템 개요**  텍스트, 스크린샷, 디자인이(가) 표시된 사진  AI가 생성한 콘텐츠는 부정확할 수 있습니다.  <그림 2. 시스템 작동 예상 흐름도>  **시스템의 핵심 흐름**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **단계** | **기능** | **설명** | | 입력 | 다중 카메라 영상 스트림 | 2~3대의 고정형 카메라를 통해 20~30 FPS 실시간 영상 수집. | | 전처리 & 캘리브레이션 | 동기화 및 뷰 정합 | 시간 동기화(NTP/PTP) 및 Homography를 이용한 좌석 좌표계(Seat ID) 구축. | | 인식 & 추적 | 다중 객체 추적(MOT) | YOLOv8n으로 사람/손/금지 물체를 탐지하고, ByteTrack을 활용하여 뷰 간 연속적인 수험자 ID 유지. | | 분석 | 행동 및 고개 방향 분석 | MediaPipe Pose로 고개 방향(Yaw/Pitch)과 상체 자세를, 손 탐지로 부정행위 가능성 분석. | | 판단 | 이상 행동 판단 | 규칙 기반 엔진을 통해 ‘장시간 고개 이탈’, ‘부정행위 의심 정황’, ‘도움 요청 시그널’ 등 이상 징후를 실시간 포착 | | 출력 | 감독관 대시보드 | 경고를 좌석 Heatmap 및 알림으로 시각화, 로컬 PC 화면에 즉시 표시 |   **5.2. 필요한 기술 요소**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **구분** | **기술 요소** | **설명 및 선택 이유** | | 영상 수집 | 고정형 카메라 (Webcam/CCTV) | 교실 전체 Coverage 확보 및 20 FPS 이상의 안정적인 스트림 제공. | | 좌표계 구축 | Homography (OpenCV) | 다중 카메라 뷰를 하나의 평면 좌석 좌표계로 변환하여 수험자의 정확한 위치(Seat ID) 매핑. | | 객체 탐지 | YOLOv8n (경량) | 사람, 손, 금지 물체(스마트폰, 외부 종이 등)를 빠르고 정확하게 탐지. 로컬 환경에 적합한 경량 모델(n) 선택. | | 다중 객체 추적 | ByteTrack / OC-SORT | 혼잡한 환경에서 ID 스위치를 최소화하고, 카메라 뷰 간 수험자 ID를 지속적으로 유지(Re-ID와 연계). | | 포즈 & 행동 분석 | MediaPipe Pose / HRNet | 상체 관절 및 얼굴 회전(Head Pose) 각도를 분석하여 고개 방향 이탈을 신뢰성 있게 감지. | | 경고 시스템 | Streamlit 기반 대시보드 | 감독자가 사용하기 쉬운 웹 기반 UI/UX 구축 및 실시간 WebSocket 알림 연동. | | 윤리 및 보안 | 로컬 엣지 컴퓨팅 | 모든 AI 처리를 감독관 PC(로컬 장치)에서 수행하여 외부 서버로의 영상 전송 및 저장 원천 차단. |   **5.3. 구현 방법** 5.3.1. 환경 구축 및 캘리브레이션  1. 다중 카메라 설치: 교실 좌석을 최대한 커버하도록 2~3대 카메라 배치, 시야 중첩(Overlap) 30% 이상 확보. 2. 시간 동기화: NTP/PTP 프로토콜을 이용해 모든 카메라 스트림의 타임스탬프를 통일하여 프레임 동기화. 3. 좌표계 매핑 (Homography): 각 카메라 뷰의 특정 지점(좌석 모서리, 교실 바닥)을 공통 평면 좌표계로 변환하는 Homography 행렬 획득. 이를 통해 각 수험자의 바운딩 박스를 특정 좌석(Seat ID) 폴리곤에 매핑.  5.3.2. AI 파이프라인 구축  1. 실시간 스트림 수신: OpenCV 등을 활용하여 모든 카메라 스트림을 동시에 수신. 2. 탐지 및 뷰 내 추적 (Intra-view MOT): 각 스트림에서 YOLOv8n을 이용해 사람/손/물체 탐지 및 ByteTrack으로 뷰 내 ID 추적. 3. 뷰 간 통합 (Inter-view Association): 추적된 바운딩 박스를 Homography로 변환하고, 좌석 폴리곤과의 교차율(IoU)이 가장 높은 Seat ID에 매핑. 일정 시간 동안 동일 Seat ID에 매핑되면 ID를 병합. 4. 행동 분석:    * 고개 방향 분석: MediaPipe Pose의 Yaw (좌우 회전) 및 Pitch (상하 회전) 값을 분석.    * 물체 근접: 수험자의 손 바운딩 박스와 금지 물체(폰/종이) 바운딩 박스 간의 거리 측정.  5.3.3. 이상 행동 판단 및 경고 시스템  1. 규칙 기반 엔진 (Rule-Based Engine):    * 시선 이탈 경고: 고개 방향(Yaw/Pitch)이 3초 이상 특정 임계치(e.g.,±20∘)를 벗어날 경우.    * 물체 접촉 경고: 손이 금지 물체에 2초 이상 근접하거나 접촉할 경우.    * 자리 이탈 경고: Seat ID 폴리곤에서 바운딩 박스가 장시간 벗어날 경우. 2. 대시보드 시각화: Streamlit UI에 교실 좌석도 Heatmap을 표시하고, 경고 발생 시 해당 Seat ID에 빨간색 하이라이트 및 실시간 팝업 알림 전송. 3. 로그 기록: 이벤트 발생 시점, Seat ID, 이벤트 유형, 신뢰도(Score)만 비식별 로그로 로컬 저장.   **5.4. 개발 방향**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 단계 | 목표 | 세부 작업 및 결과물 | | 1단계 (W1–W2) | 핵심 프로토타입 구축 | 단일 카메라 영상 수신 및 로컬 처리 파이프라인 완성 (YOLOv8 + MediaPipe Pose). Streamlit 기반 실시간 경고 팝업 기능 구현. (결과: 단일 뷰 PoC) | | 2단계 (W3–W4) | 다중 카메라 통합 | NTP 동기화 및 Homography를 이용한 좌석 좌표계 매핑. ByteTrack/Re-ID를 통한 뷰 간 ID 통합 및 안정화. (결과: Multi-View ID 추적 및 좌석 매핑) | | 3단계 (W5–W6) | 행동 분석 및 고도화 | Head Pose 기반 고개 방향 이탈 정확도 튜닝. 다양한 이상 행동 규칙 추가(손-물체 근접도, 자세 변화). (결과: 저지연 이상 행동 알림) | | 4단계 (W7) | 성능 및 윤리성 검증 | |  | | --- | | 실제 교실 환경에서 파일럿 테스트 및 감독관 피드백 반영. MOTA, False Alarm Rate, FPS 등 핵심 지표 측정 및 개선. 로컬 처리 및 비식별 로그 저장 구조 최종 검증. (결과: 배포 가능한 시스템 및 윤리 가이드라인) | | |

|  |
| --- |
| **6. 결론**  본 프로젝트는 대학교 지필고사 환경에서 감독자 1인당 30~40명에 달하는 응시자 관리의 한계성과, 감독 사각지대 문제를 해소하고자 ‘감시’ 가 아닌 ‘보조’적 수단으로서의 AI 기반 오프라인 시험 감독 모델의 설계 및 개발 방향을 제시한다.  이에, 기존 온라인 AI 감독 모델이 보유했던 프라이버시 침해, 감시 윤리, 기술적 신뢰성들의 법적·윤리적 한계를 근본적으로 진단하고, 해결하기 위해 다음과 같은 세 원칙을 시스템 전반에 도입하고자 한다.   1. 데이터 최소 수집 원칙 2. 로컬 분석 원칙 3. 감독 보조 원칙   이러한 철학과 함께 기술적으로 시스템은 다중 카메라 Homography 기반 좌석 매핑, YOLOv8과 ByteTrack을 이용한 안정적인 다중 수험자 추적, 그리고 Head pose 분석 기반의 이상행동 감지를 핵심 기술로 채택한다. 이를 통해 시험의 공정성과 AI 윤리성을 동시에 취하는 실용적 기술로 도약하고자 한다.  첫번째 단계인 W1-W2에서는 시스템의 핵심 프로토타입의 구축에 집중할 예정이다. 로컬 처리 환경에서 단일 카메라 기반의 개념 증명, 동시에 핵심 기능의 구현을 목표로 한다.  두번째 단계인 W3-W4에서는 시스템의 확장을 꾀하면서, 멀티뷰 환경을 안정화, ID 통합에 주력한다. 이를 위해 Homography 캘리브레이션을 완료, 다중 카메라 환경을 정렬하고, 연속적인 수험자 ID 추적 기능의 현실화를 목표로 수행한다.  세번째 단계인 W5-W6에서는 시스템의 신뢰성과 공정성을 확보하기 위해 규칙을 고도화한다. 행동 규칙 수정을 통해, 데이터셋을 마련하고 이를 기반으로 튜닝을 진행한다.  마지막 단계인 W7에서는 시스템의 최종 검증 및 실용화를 위한 점검을 수행한다. 이를 바탕으로 마지막 워크플로우 설계와 윤리적 가이드라인을 문서화하여 프로젝트를 성공적으로 마무리한다. |

**7. 출처**

[1] Coghlan, S., Miller, T., & Paterson, J. (2021). Good proctor or “Big Brother”? Ethics of online exam supervision technologies. Philosophy & Technology, 34(4), 1581–1606. https://doi.org/10.1007/s13347-021-00476-1

[2] Heckmann, D. (2021). State examinations in the living room – The legal and ethical limits of AI-supported online proctoring systems. Journal of Constitutional Justice (헌법재판연구), 8(1), 187–220.\* https://doi.org/10.35215/jcj.2021.8.1.006

[3] Mutimukwe, C., Han, S., Viberg, O., & Cerratto-Pargman, T. (2023). Privacy as contextual integrity in online proctoring systems in higher education: A scoping review. In T. X. Bui (Ed.), Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2023) (pp. 5802–5811). University of Hawai‘i at Mānoa. https://doi.org/10.24251/HICSS.2023.010

[4] Nigam, A., Pasricha, R., Singh, T., & Churi, P. (2021). A systematic review on AI-based proctoring systems: Past, present and future. Education and Information Technologies, 26(5), 6421–6445. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10597-x