

# 실내 스포츠를 위한 실시간 자세 분석 및 피드백 모바일 시스템 설계

Design of a Real-Time Posture Analysis and Feedback Mobile System for Indoor Sports

*Seungtaek Lim, Juwan Son, Junhyeon Hwang, Woojin Jang and Keejun Han*

*Hansung University*

## 1. 연구 배경 및 필요성

- 실내 스포츠 수요 증가
- 기존 자세 분석 시스템의 한계

## 2. 연구 목적 및 차별성

- 모바일 기반 실시간 자세 분석
- 자연어 피드백 시스템
- 하이브리드 구조 설계

## 3. 시스템 구조 및 분석 흐름

- 분석 흐름도 및 아키텍처

## 4. 애플리케이션 구성

- 자동 촬영, 분석 요청, 결과 시각화
- 온디바이스 모델 활용 및 구조

## 5. 모델 최적화 및 성능 개선

- W8A8 양자화 및 TFLite 변환
- 성능 개선 결과 (속도/메모리)

## 6. 분석 결과 및 사용자 화면 예시

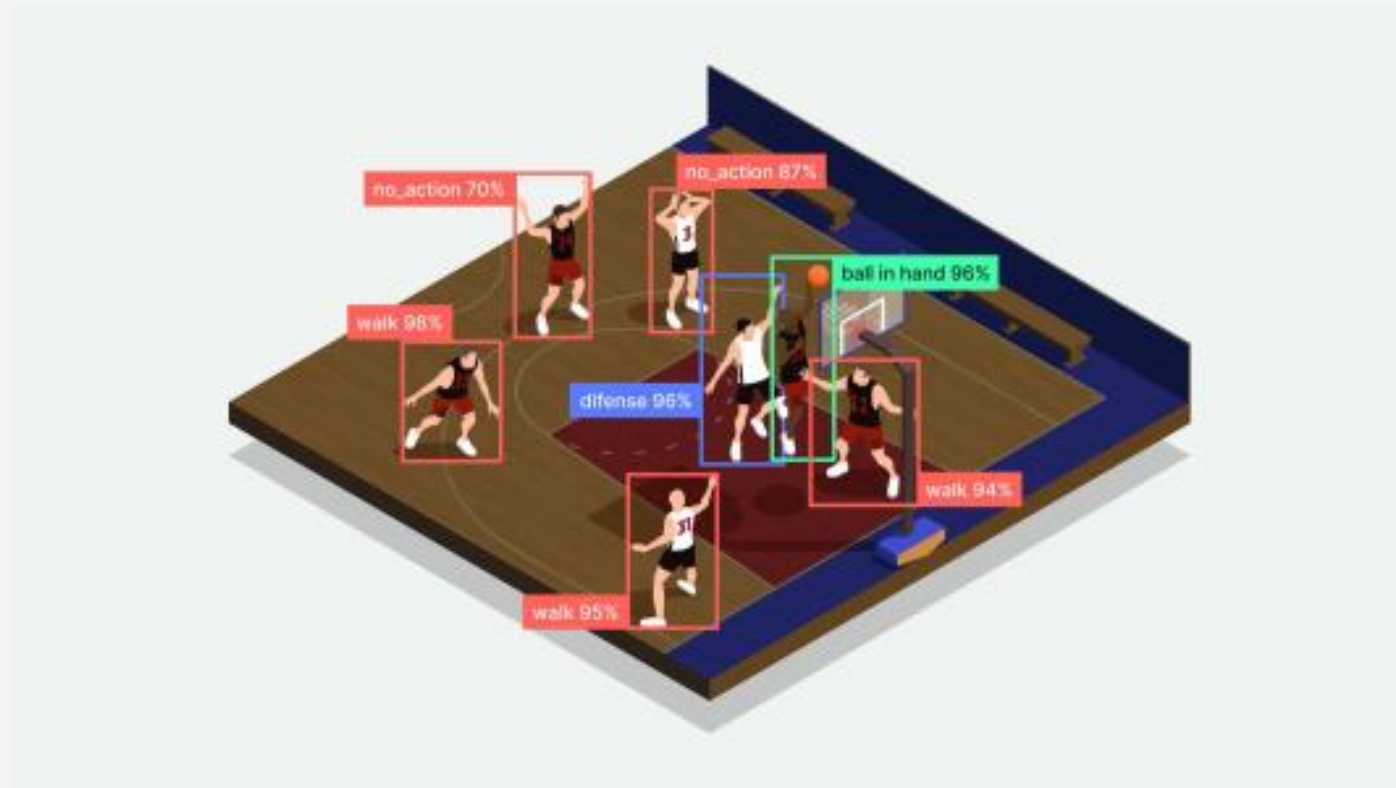
- 점수, 차트, 자연어 피드백 UI
- 사용자 히스토리 및 반복 학습 유도

## 7. 결론 및 향후 연구 방향

## 연구배경 및 필요성

### 실내스포츠의 수요 증가

- 최근 인공지능 기술, 특히 딥러닝 기반의 컴퓨터 비전 기술은 다양한 산업 분야에서 혁신적인 변화를 이끌고 있으며, 스포츠 분야에서도 활발히 응용되고 있다.



- 그중에서도 운동 수행 중의 자세를 정확하게 인식하고 분석하는 기술은 부상 예방, 기술 향상, 운동 효율성 증대 등에서 높은 가치를 지니며, 이에 따라 영상 데이터를 활용한 자세 분석 및 동작 유사도 평가에 관한 시스템 개발이 활발히 이루어지고 있다.



## 연구배경 및 필요성

### 기존 시스템의 문제점



**SSTC 모션 애널리저**  
SSTC가 개발한 스포츠 데이터 분석 소프트웨어



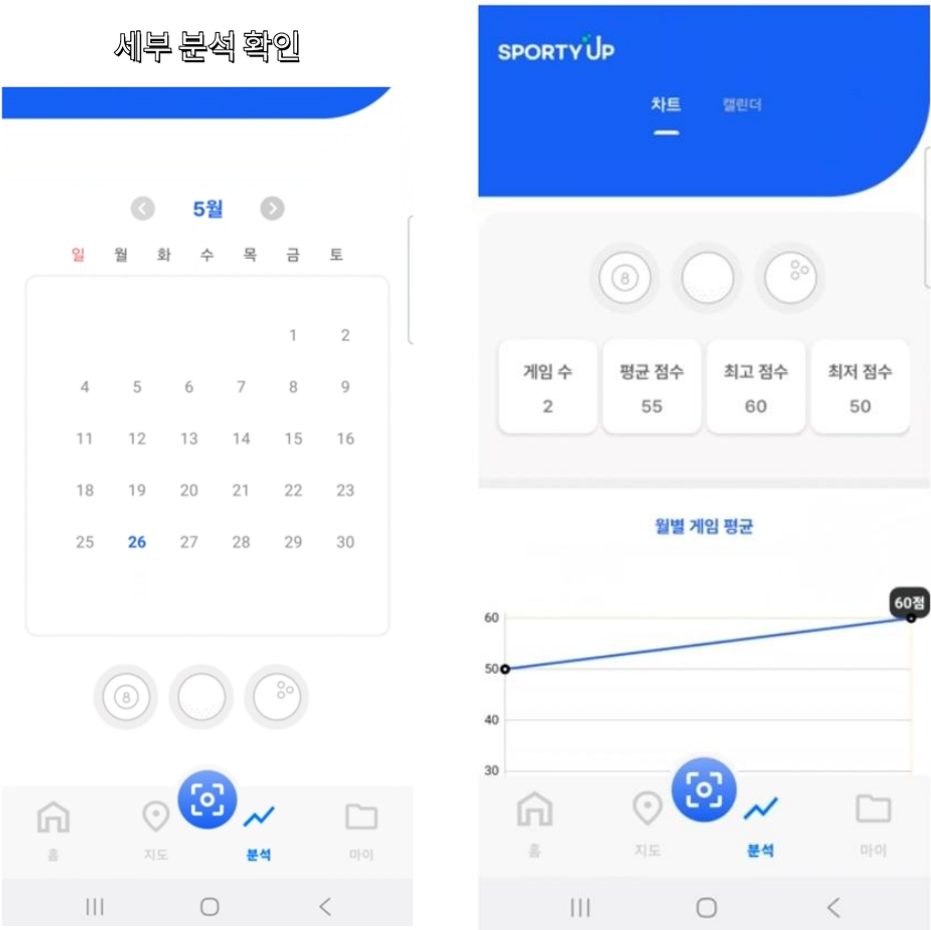
**딥스크라이크 (DeepStrike)**  
Jabbr가 개발한 격투 스포츠용 통계 분석 AI 프로그램

- 기존의 시스템들은 스포츠 동작을 정량적으로 분석하거나 실시간 피드백을 제공함으로써, 운동 보조 기술의 정밀성과 유용성을 입증해왔다.
- 그러나 대부분의 시스템은 단일 디바이스나 서버 중심 구조에 기반하고 있어, 실시간 피드백을 위해 고정된 장비나 비싼 고성능 장비에 의존해야 하는 구조적 한계가 존재한다.

연구 목적 및 차별성

모바일 기반 실시간 자세 분석

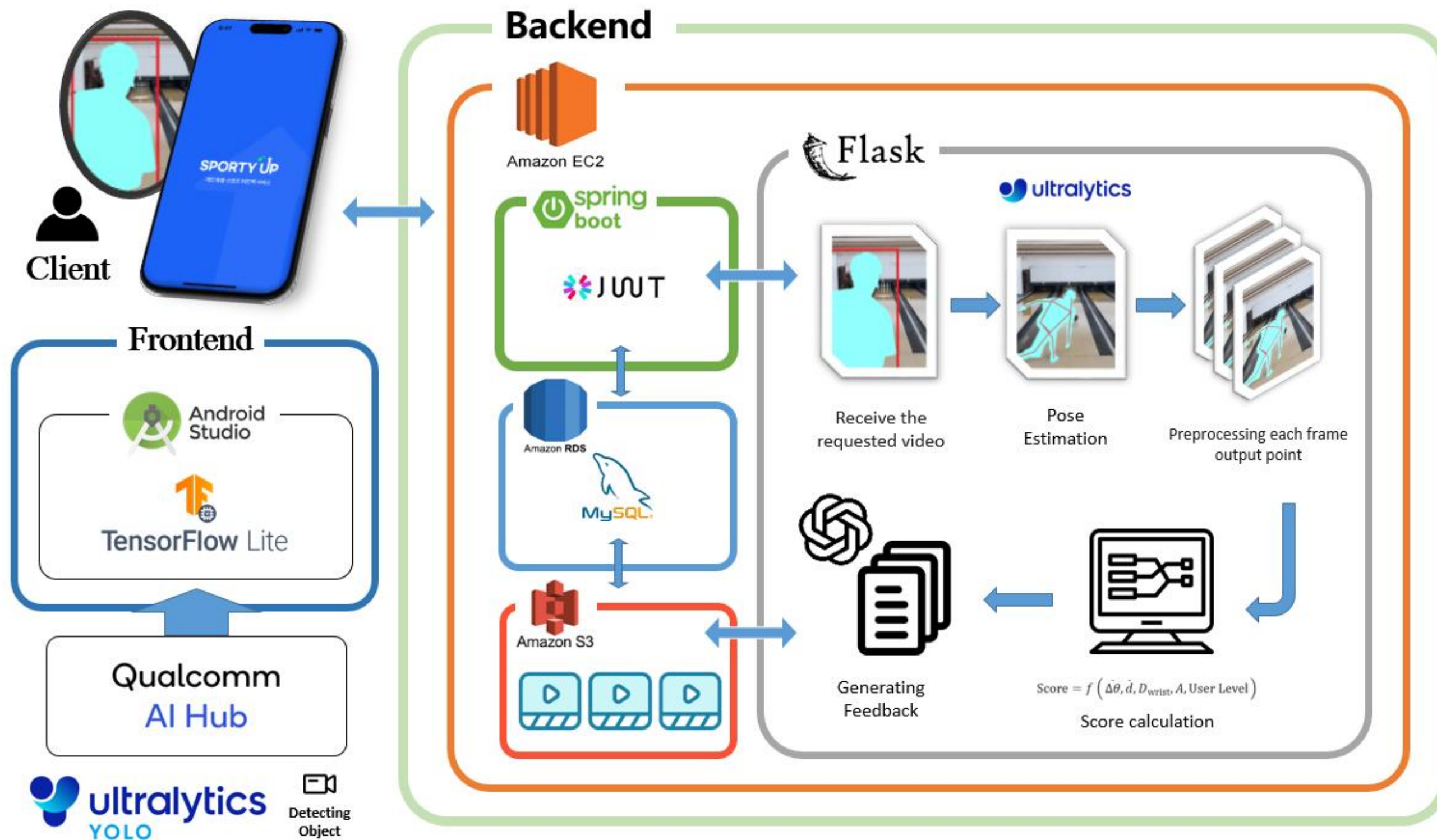
- 모바일 개인 맞춤 스포츠 피드백 시스템





## 시스템 구조 및 분석 흐름

### 분석 흐름도 및 아키텍처



## 시스템 구조 및 분석 흐름

## 분석 흐름도 및 아키텍처

## 1. 어깨 각도 차이

## 정의

오른쪽 어깨 각도는 다음 세 점을 기준으로 정의된다.

- A = Left Shoulder
- B = Right Shoulder
- C = Right Elbow

오른팔 각도는 다음과 같이 계산된다.

$$\theta_{\text{shoulder}} = \min(\angle ABC, \angle CBA)$$

90도 기준 편차는 다음과 같다.

$$\Delta\theta = |\theta_{\text{shoulder}} - 90^\circ|$$

## 평균 어깨 각도 차이

$$\bar{\Delta\theta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta\theta_i$$

## 2. 상체 중심 이동 거리

## 중심 좌표 계산

프레임 (t)에서의 상체 중심은 다음과 같이 계산된다.

$$C_t = \frac{1}{2} \left( \frac{P_{\text{LS}}^t + P_{\text{RS}}^t}{2} + \frac{P_{\text{LH}}^t + P_{\text{RH}}^t}{2} \right)$$

## 정규화된 거리 계산

프레임 (t)와 (t-1) 간의 상체 이동 거리는 다음과 같다.

$$d_t = \sqrt{\left( \frac{x_t - x_{t-1}}{W} \right)^2 + \left( \frac{y_t - y_{t-1}}{H} \right)^2}$$

여기서 (W)는 프레임 너비, (H)는 프레임 높이이다.

## 평균 이동 거리

$$\bar{d} = \frac{1}{N-1} \sum_{t=2}^N d_t$$

## 3. 손목 이동 거리 누적

오른쪽 손목의 누적 이동 거리는 다음과 같다.

$$D_{\text{wrist}} = \sum_{t=2}^N \sqrt{\left( \frac{x_t - x_{t-1}}{W} \right)^2 + \left( \frac{y_t - y_{t-1}}{H} \right)^2}$$

단, (x\_t, y\_t)는 프레임 (t)에서의 오른쪽 손목 좌표이다.

## 4. 발목 위치 변화 횟수

## 조건 정의

프레임 간 발목 y좌표가 다음 조건을 만족할 경우 위치 변화 이벤트로 간주한다.

$$\Delta y_t = |y_t - y_{t-1}|$$

$$\text{Switch}_t = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta y_t > \frac{H}{30} \text{ and } y_t \neq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

## 총 변화 횟수

$$A = \sum_t \text{Switch}_t$$

시스템 구조 및 분석 흐름

분석 흐름도 및 아키텍처

Score = f ( Δθ, d, D<sub>wrist</sub>, A, User Level )

```
# 프롬프트 작성
prompt = f"""
제가 볼링 자세 평가를 완료했습니다. 결과는 아래와 같습니다:

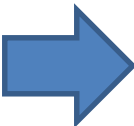
- 평균 어깨 각도 차이 (90도에서): {avg_shoulder_angle_diff}도 → 0~10점 중 {interpretations["shoulder_angle_diff"]}점
- 평균 이동 거리: {avg_movement} → 0~10점 중 {interpretations["movement_distance"]}점
- 손목 이동 거리 총합: {wrist_movement_total} → 0~10점 중 {interpretations["wrist_movement_total"]}점
- 발목 높이 변화 이벤트 수: {ankle_switch_count} → 0~10점 중 {interpretations["ankle_switch_count"]}점

※ 점수는 0점(가장 부족하거나 과한 상태) ~ 10점(가장 부족하거나 과한 상태)까지이며,
5점이 가장 이상적인 자세를 의미합니다.
5점에서 멀어질수록 개선이 필요한 점수이며, 0~3점 또는 7~10점은 많이 개선이 필요한 상태입니다.
4점 또는 6점은 약간의 개선이 필요합니다.

유저의 현재 실력은 {user_level}입니다.
- BEGINNER는 4~6점도 좋은 점수로 간주될 수 있습니다.
- ADVANCED는 반드시 5점에 가까운 점수를 지향해야 합니다.

이 평가 결과를 바탕으로 저의 볼링 자세에 대해 아래 내용을 포함하여 JSON 형식으로 평가해 주세요:

1. 잘한 점
2. 개선이 필요한 점
3. 다음 투구에 대한 짧은 추천
4. 총 점수 (0~100점 사이의 숫자)
"""
```

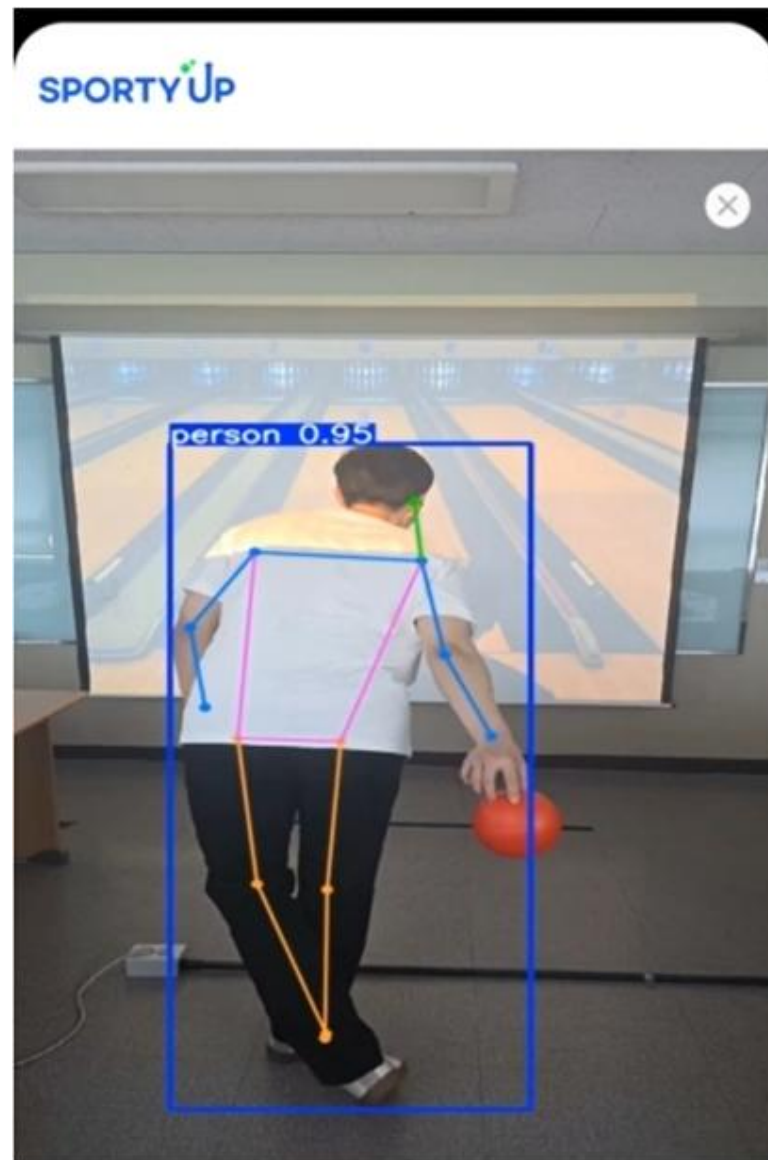




## 시스템 구성

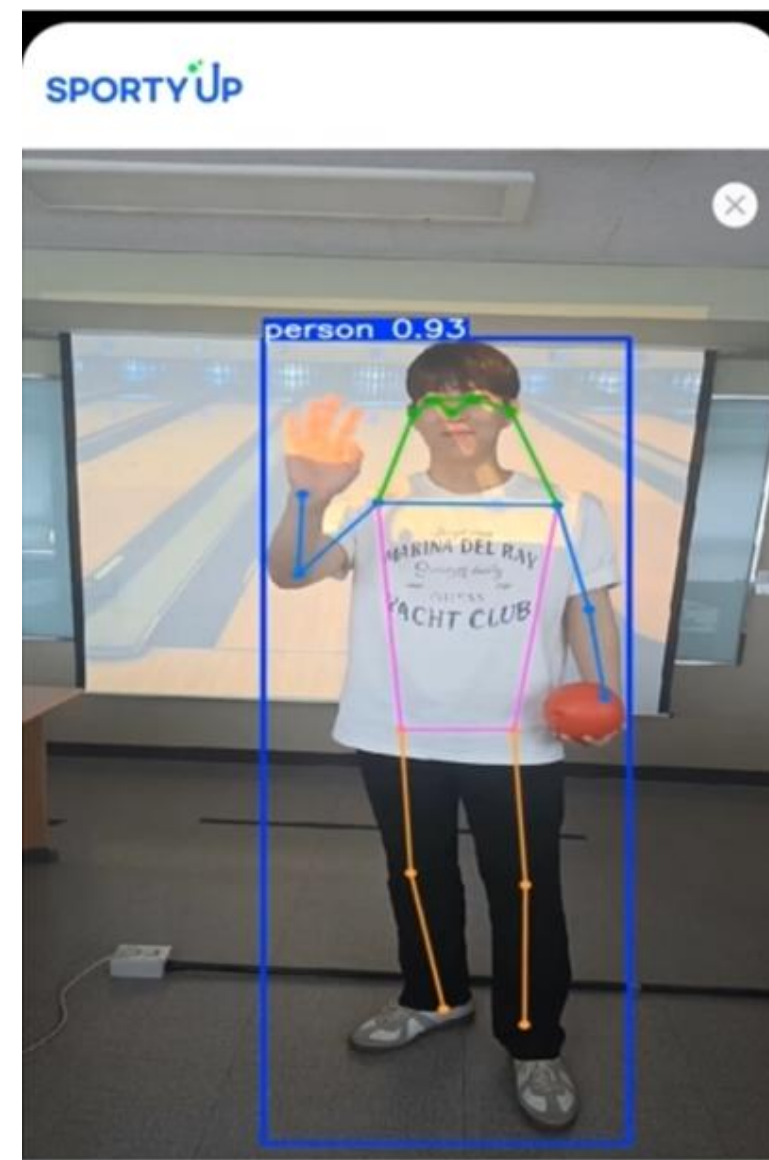
## 자동 촬영, 분석 요청 및 실시간 확인

### 실시간 자세 추정 및 자연어 피드백 생성 및 상세 분석



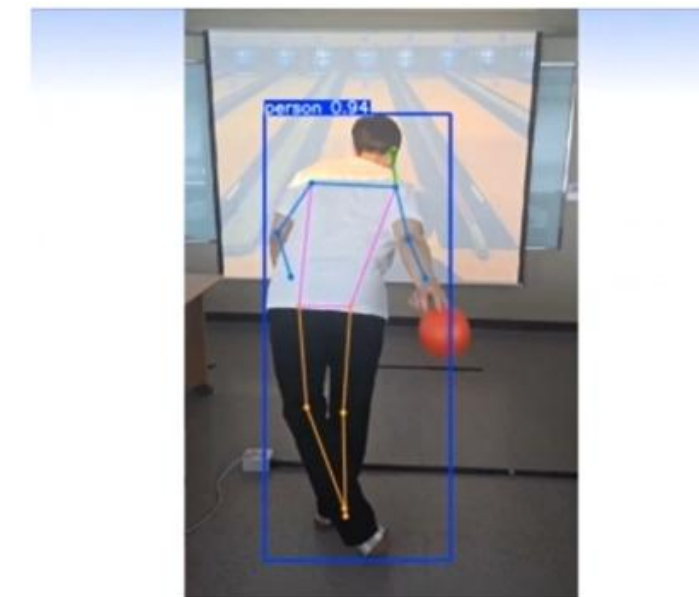
COMMON

다음 투구 시 발목을 더 부드럽고 일관되게 움직이도록 연습하고, 손목을 보다 안정적으로 계하여 스트라이크 확률을 높이세요. 어깨는 현재 상태를 유지하면서 투구 동작을 최적화하세요.



BAD

카메라 위치를 조정하거나 조명을 개선해주세요.



분석 ID: 107

스코어 : 70

shoulder-angle-diff: 4

movement-distance : 3

wrist-movement-total : 3

ankle-switch-count : 2

스코어 : 70

shoulder-angle-diff: 4

movement-distance : 3

wrist-movement-total : 3

ankle-switch-count : 2

COMMON

recommend-pose

다음 투구 시 발목을 더 부드럽고 일관되게 움직이도록 연습하고, 손목을 보다 안정적으로 계하여 스트라이크 확률을 높이세요. 어깨는 현재 상태를 유지하면서 투구 동작을 최적화하세요.

good-point

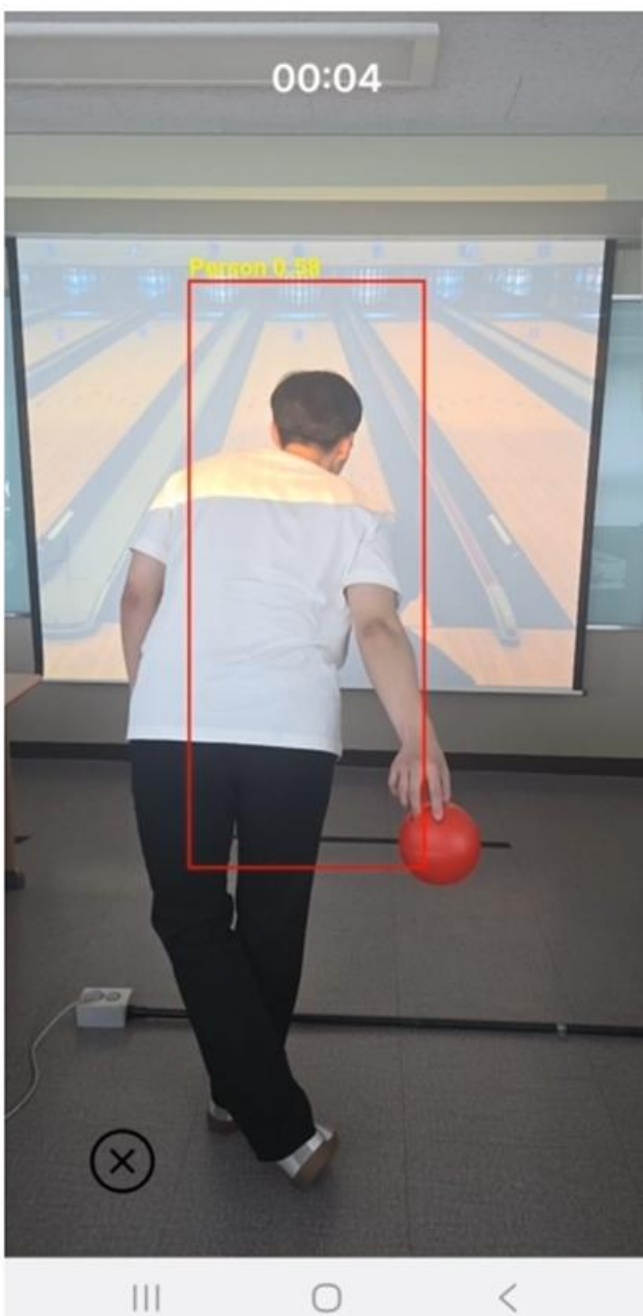
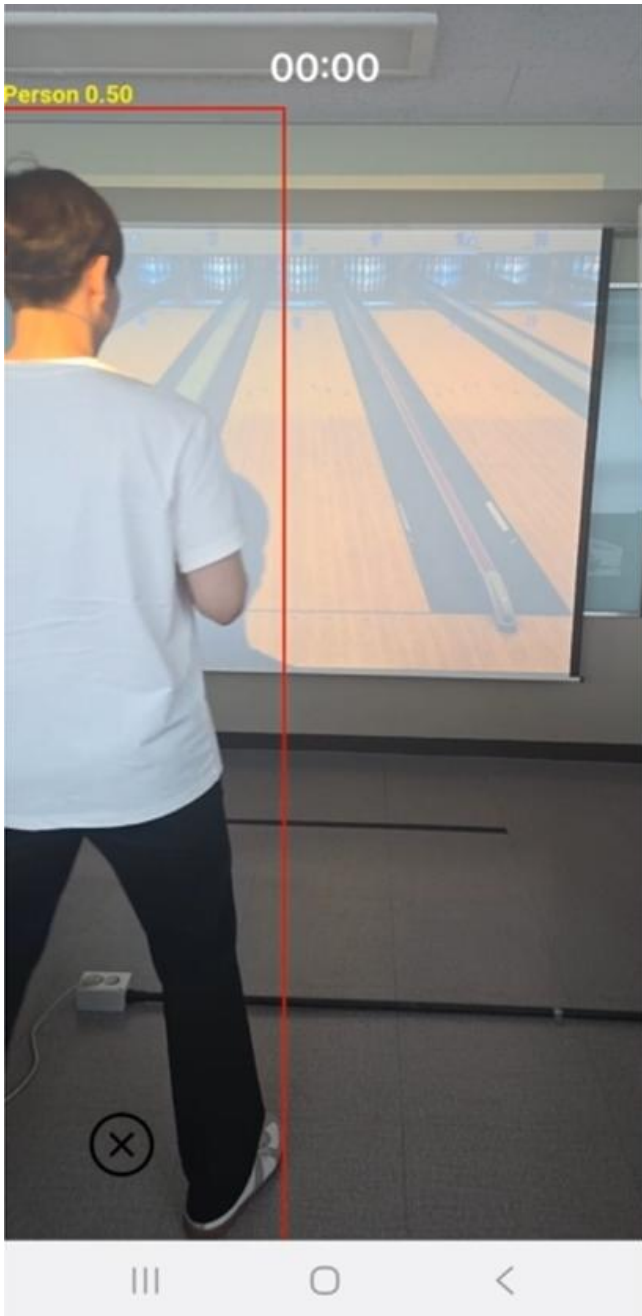
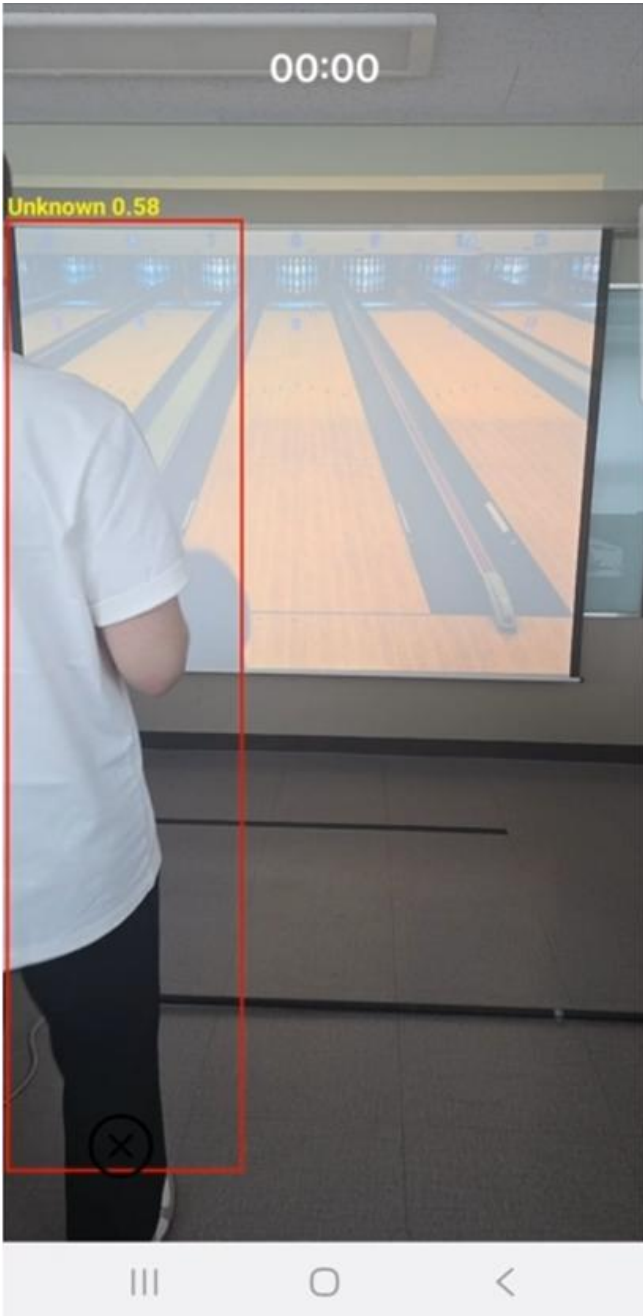
어깨 각도가 비교적 안정적이며, 볼을 던질 때 큰 각도 변화가 발생하지 않아서 안정적인 자세를 유지할 가능성이 높습니다.

bad-point

발목의 높이 변화가 잦으며, 이는 투구의 일관성에 영향을 줄 수 있습니다. 또한 손목 이동 거리가 비교적 큰 편이므로 좀 더 고정적으로 유지할 필요가 있습니다.

모델 최적화 및 성능 개선

자동 촬영, 분석 요청 및 실시간 확인



양자화된 YOLOv11 객체 탐지 모델이 TFLite  
형태로 내장되어 온디바이스에서 촬영  
시점을 판단

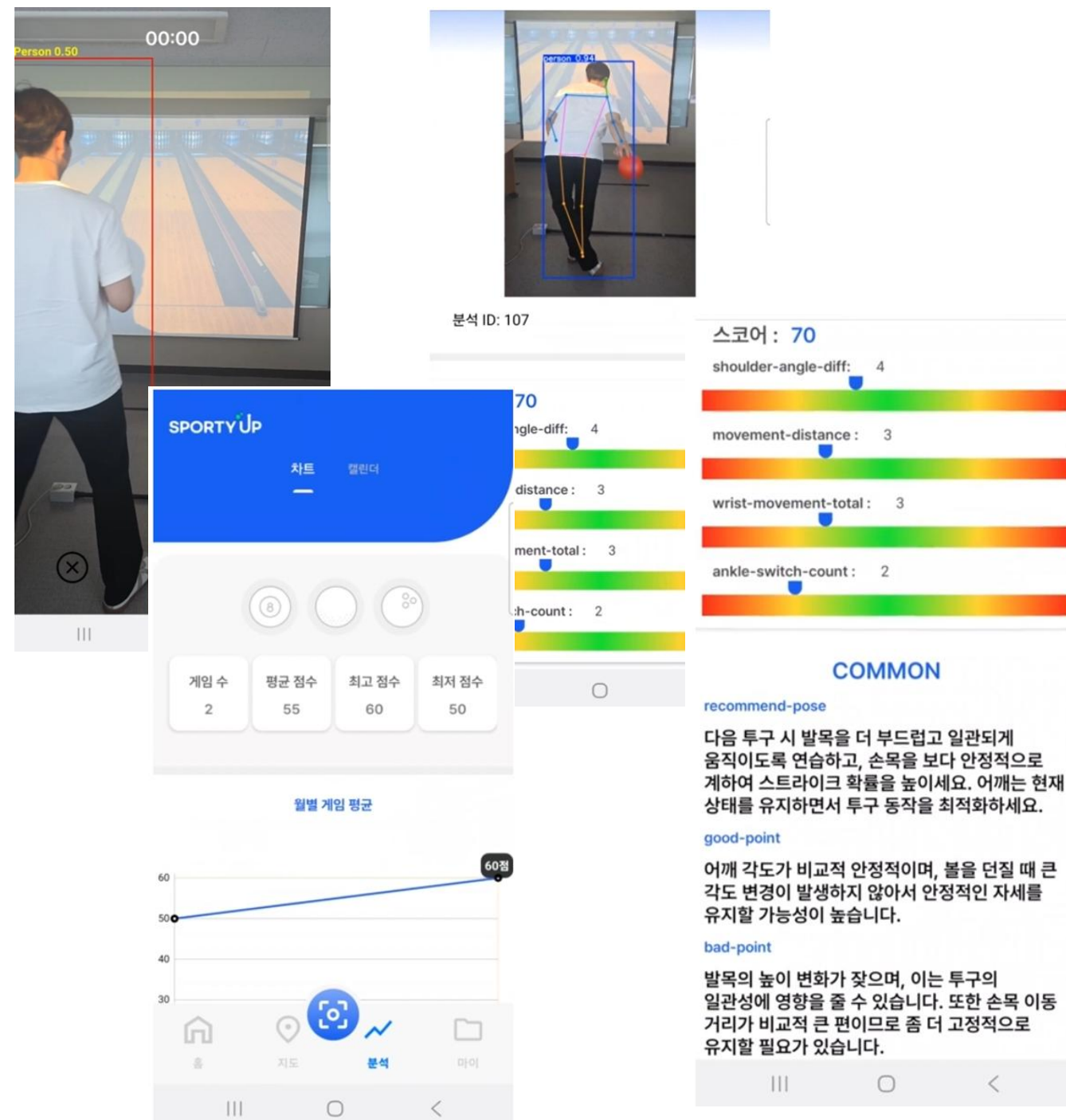
항목	최적화전	최적화후
최소추론시간	4.3ms	1.1ms
평균추론시간	4.5ms	1.1ms
메모리사용량	31MB	26MB
PSNR(정확도)	N/A	37.7

모바일에서 추론 속도는 약 74% 빨라지고, 메모리 사용량은 약 16% 감소



## 결론 및 기대 효과

## 자동 촬영, 분석 요청 및 실시간 확인



- 실시간 자세 분석과 자연어 피드백을 제공하는 모바일 시스템을 성공적으로 구현

- 전문 장비 없이도 누구나 사용할 수 있고, 반복 학습 기반의 자세 교정이 가능한 시스템 설계

- 모바일 환경에서도 빠르고 정확하게 작동함을 확인

향후에는 다양한 스포츠 종목으로 시스템을 확장하고, 사용자 커뮤니티 기반의 맞춤형 피드백 공유 기능도 개발할 예정



# Thank you for listening

---

*Seungtaek Lim, Juwan Son, Junhyeon Hwang, Woojin Jang and Keejun Han*

**Hansung University**