

# 영상기반의 선수 코칭용 국궁 자세분석 시스템의 설계 및 구현

이현태\*

목원대학교 게임소프트웨어공학과 교수

## Design and Implementation of a Real-Time Visual Feedback System for Posture Analysis in Korean Archery

Hyeun-Tae Lee\*

Professor, Department of Game Software Engineering Mokwon University

**요약** 본 연구는 국궁 훈련에서 선수의 자세와 과녁의 명중 정보를 실시간으로 분석하고 시각적 피드백을 제공하는 영상 기반 코칭 시스템을 설계·구현하였다. 제안 시스템은 과녁 명중을 감지하는 센서 및 고속 트리거 카메라로 구성된 과녁 서브시스템과, 사수의 동작을 촬영·분석하는 사대 서브시스템, 그리고 분석 결과를 직관적으로 제공하는 GUI로 구성된다. 사수 인식에는 YOLO 기반 객체 탐지 알고리즘을 적용하였고, 자세 분석에는 MediaPipe Pose를 활용하여 국궁의 주요 동작 시퀀스인 거궁, 만작, 발시 동작을 자동으로 검출하였다. 또한 네트워크 기반 연동을 통해 사수의 자세 정보와 과녁의 명중 영상을 실시간으로 동기화하여 제공함으로써, 학습자가 자신의 동작과 그 결과를 즉각적으로 연계하여 인식할 수 있도록 하였다. 실험 결과, 현재 구현으로 주요 성능 지표 확인을 통하여 실제 현장에서 적용 가능성을 확인하였다. 본 시스템은 국궁 교육의 효율성과 과학화를 지원하는 실질적 도구로 활용될 수 있으며, 향후 다양한 스포츠 종목으로 확장 적용될 수 있는 가능성을 제시한다.

**주제어** : 국궁, 실시간 피드백, 자세분석, 영상기반 코칭

**Abstract** This study presents a video-based coaching system for Korean traditional archery that provides real-time analysis and feedback on the archer's posture and target hit information. The system comprises a target-hit sensing unit with a high-speed trigger camera, a module for capturing and analyzing the shooter's actions, and a GUI that delivers feedback to users. Leveraging YOLO for shooter detection and MediaPipe Pose, the system automatically recognizes the shooter's action sequence and synchronizes target-board imagery with pose data in real time over the network. Experimental results indicate practical field feasibility based on key performance indicators. The proposed system serves as a practical tool to improve the efficiency and scientific rigor of archery instruction and suggests potential for extension to other sports.

**Key Words** : Korean Archery, Real-time Feedback, Posture Analysis, Video-based Coaching

\*교신저자 : 이현태(htlee55@naver.com)

접수일 2025년 11월 10일

수정일 2025년 12월 02일

심사완료일 2025년 12월 16일

## 1. 서론

최근 스포츠 분야에서는 선수들의 경기력 향상을 위해 과학적 분석과 기술적 지원을 접목하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다[1,2,3]. 특히 영상 기반 코칭 시스템은 선수의 동작을 정밀하게 분석하고 시각적 피드백을 제공함으로써 학습 효과를 높이는 방법으로 주목받는다.

운동 학습에서 피드백은 핵심 요소로, 학습자가 동작을 인지하고 교정하는 데 중요한 역할을 한다[4]. 피드백은 내재적 감각에 의존하는 경우와 외부에서 제공되는 경우로 구분되며, 이 중 시각적·언어적 피드백은 실제 지도 현장에서 가장 널리 활용된다[5]. 그러나 전통적인 코칭 방식은 지도자의 시범과 설명에 크게 의존하여 학습자가 자신의 움직임을 객관적으로 확인하기 어렵다는 한계를 가진다.

이를 보완하기 위해 녹화 영상을 활용한 피드백 방법이 제안되어 왔으나, 편집과 재생 과정을 거치면서 실시간성이 떨어지고 반복 적용이 어렵다는 문제가 있다[6,7]. 따라서 운동 수행 직후, 학습자가 동작을 생생히 기억하고 있을 때 즉각적인 피드백을 제공할 수 있는 새로운 시스템이 요구된다[8,9].

본 연구는 전통 스포츠인 국궁(한국 전통 활쏘기)[11]을 대상으로, 화살의 발사 순간과 과녁 명중(관중) 시점을 자동으로 검출하고 선수의 자세를 분석하여 실시간으로 피드백을 제공하는 영상 기반 코칭 시스템을 제안한다. 또한 학습자와 지도자가 동일한 데이터를 실시간으로 공유할 수 있도록 GUI를 제공하며, 자세 분석과 관중 정보를 통합하여 학습 효율을 극대화하는 관중 모니터링 시스템을 구현한다.

본 연구가 기존 스포츠 코칭 시스템 연구와 구별되는 주요 기여점은 다음과 같다. 첫째, 양궁 중심의 기존 연구와 달리 국궁 고유의 동작 시퀀스(거궁-만작-발사)에 특화된 자세 분석 모델을 설계하여 동작 인식의 정밀도를 제고하였다. 둘째, 자세 분석(사대)과 결과 분석(과녁)으로 이원화된 데이터를 네트워크로 실시간 동기화함으로써, 선수가 자신의 자세와 그에 따른 결과를 즉시 연계하여 파악할 수 있는 통합 피드백 메커니즘을 구현하였다. 셋째, 고가의 상용 장비 대신 범용 IoT 디바이스와 경량화된 알고리즘을 활용하여 일선 국궁장에 보급 가능한 저비용·고효율 시스템의 실증적 가능성을 제시한다.

## 2. 기존 연구의 분석 및 고찰

### 2.1 기본 코칭 방법의 한계 및 필요성

전통적인 스포츠 코칭은 지도자의 경험과 직관에 의존하여 시범과 구두 설명을 중심으로 이루어져 왔다. 그러나 이러한 방식은 몇 가지 구조적 한계를 가진다[12].

첫째, 즉시성과 반복성 부족이다. 학습자는 수행 직후 자신의 동작을 객관적으로 확인하기 어렵고, 영상 피드백이 제공되더라도 녹화·편집·재생 과정으로 인해 실시간성이 떨어져 반복적인 교정에 한계가 있다.

둘째, 정량적 데이터의 부재이다. 구두 평가와 주관적 관찰만으로는 수행 변화를 체계적으로 기록·분석하기 어렵다.

셋째, 피드백의 단일성과 인식 편차이다. 학습자는 내재적 감각에 의존하기 때문에 실제 동작과 차이를 명확히 인식하지 못하며, 화살의 명중 위치 또한 정확히 파악하기 어렵다.

이러한 한계는 정밀성이 중요한 국궁과 같은 종목에서는 더욱 치명적이다. 따라서 학습자의 동작을 즉시 확인할 수 있는 실시간 시각적 피드백, 화살 궤적과 명중 위치의 자동 기록 및 분석, 학습자의 내재적 감각과 외재적 정보를 통합할 수 있는 통합 피드백, 지도자의 정량적 데이터 기반 코칭 지원이 필요하다.

### 2.2 실시간 피드백 시스템의 효과성

피드백은 단순한 정보 제공을 넘어 학습자의 동기 유발, 자기 인식, 수행 개선을 촉진하는 핵심 요인이다. 특히 실시간 피드백(real-time feedback)은 동작 이미지가 기억에 남아 있는 상태에서 즉각적인 정보를 제공하므로 학습 효과를 극대화한다[8,9]. 기존 연구에 따르면 실시간 피드백은 다음과 같은 효과를 보인다[10].

- 자기 인식 능력 강화 - 시각 정보와 감각 정보를 비교하여 자신의 동작을 명확히 이해.
- 반복 학습 효율 향상 - 별도의 재생 과정 없이 즉시 확인 가능해 제한된 시간 내 반복 훈련 가능.
- 정확한 자세 교정 - 화살 궤적 및 명중 위치를 즉각 확인하여 오류 원인 파악 용이.
- 학습 동기 고취 - 즉각적인 발전 확인을 통해 자기 주도적 학습 의욕 향상.
- 개별화 지도 가능 - 누적 데이터를 기반으로 맞춤형 피드백과 장기적 수행 관리 가능.

결론적으로, 실시간 피드백 시스템은 전통적 코칭 방

식의 한계를 보완하며, 코칭의 과학화와 체계화를 가능하게 한다. 특히 정밀성과 일관성이 요구되는 국궁에서 그 필요성과 효과가 더욱 크다고 할 수 있다.

### 3. 영상 기반의 코칭용 모니터링 시스템

#### 설계 및 구현

##### 3.1 시스템 설계 개요

본 연구에서는 국궁 선수의 자세와 화살 관중 정보를 실시간으로 수집하고, 이를 바탕으로 즉각적인 시각적 피드백을 제공하는 ICT 기반 시스템을 설계하였다. 제안된 시스템은 기존의 언어 및 시범 중심 코칭 방식의 한계를 극복하고, 학습자가 자기 수행을 직관적으로 인식할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 한다. 본 장에서는 전체 아키텍처와 구성 요소의 기능 및 상호작용을 기술한다.

##### 3.2 요구사항 분석

효과적인 실시간 피드백 시스템을 구현하기 위해서는 사용자(선수 및 지도자)의 실제 훈련 환경과 피드백 제공 목적에 부합하는 기술적·기능적 요구사항을 명확히 정의해야 한다. 본 연구에서는 국궁 훈련의 특성과 학습자의 요구를 고려하여 다음과 같은 주요 요구사항을 도출하였다.

1) 사용 편의성 (Usability)

자동 동작과 직관적 인터페이스를 제공하여, 추가 장비나 복잡한 조작 없이 훈련 환경에서 쉽게 활용 가능해야 한다.

2) 즉시성 (Real-time Feedback)

발사와 관중 시점을 지연 없이 연동하고, 트리거 기반 자동 영상 캡처를 통해 즉각적인 피드백을 제공해야 한다.

3) 다면적 정보 제공 (Multi-dimensional Feedback)

단순 명중 여부를 넘어 자세, 중심 이동, 궤적, 명중 위치 등 종합적인 분석 정보를 시각적으로 제공해야 한다.

4) 정확성과 신뢰성 (Accuracy & Reliability)

관중 감지와 자세 분석은 높은 정밀도와 일관성을 유지해야 하며, 데이터는 안정적으로 저장·전송되어야 한다.

5) 데이터 기반 분석 기능 (Data-driven Feedback)

수행 이력을 추적·분석하여 학습 추적과 맞춤형 코칭을 지원하고, 통계적 성과 분석과 보고 기능을 제공해야 한다.

이와 같은 요구사항은 실질적인 시스템 설계와 구현의 기준을 제공하며, 사용자 중심의 기능 설계를 위한 핵심

지침이 된다. 본 연구는 이러한 요구사항을 반영하여 선수와 지도자 모두가 손쉽게 활용할 수 있는 영상 기반 실시간 피드백 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다.

##### 3.3 기능 및 시스템 구조 설계

제안 시스템은 국궁 훈련에서 실시간 영상 기반 피드백 제공을 목표로 하며, 주요 기능은 다음과 같다.

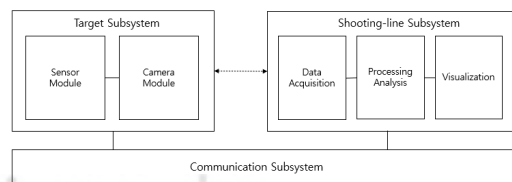
- 자동 영상 캡처 및 동기화: 발사 및 관중 시점을 자동 인식하여 해당 구간 영상을 저장.
- 자세 분석 및 시각화: 포즈 추적을 통해 자세, 중심 이동, 만작 안정도 등을 분석하고 GUI에 표시.
- 관중 감지 및 기록: 화살 궤적과 명중 위치를 실시간 추적하여 정밀하게 기록.
- 실시간 피드백 제공: 분석 결과를 즉시 GUI로 출력하여 학습자와 지도자가 공유.
- 데이터 관리 및 분석: 수행 이력 저장, 비교·분석, 통계 보고 기능 제공.

요구되는 핵심 기능을 실현하기 위한 시스템은 선수의 자세 분석과 화살의 명중 위치(관중) 정보를 실시간으로 취득 및 전달하여 학습자와 지도자가 즉각적인 피드백을 받을 수 있도록 구성된다.

전체 시스템은 크게 다음 세 가지 서브시스템으로 구성된다:

- ① 과녁 서브시스템(Target Subsystem): 과녁에 화살이 명중하는 순간을 감지하고, 해당 순간의 이미지를 획득하여 전송하는 역할을 한다.
- ② 사대 서브시스템(Shooting Stand Subsystem): 사수의 동작을 촬영하여 분석하고 피드백 영상을 시각적으로 표시하고 분석정보를 제공하는 기능을 수행한다.
- ③ 통신 서브시스템(Network Subsystem): 각 서브시스템 간의 데이터 전송을 담당하며, 실시간 연동을 위한 네트워크 인프라를 제공한다.

시스템의 전체 구성도는 Fig. 1에 나타내었다.



[Fig. 1] Proposed System Configuration

### 3.4 시스템 상세 설계 및 구현

#### 3.4.1 과녁 서브시스템(Target Subsystem)

##### 1) 과녁 센서 모듈

과녁의 명중 여부를 실시간으로 판별하기 위해 과녁 후면에 진동 센서를 부착하였다. 센서는 화살이 충돌할 때 발생하는 진동을 감지하고, 이를 기반으로 카메라 트리거 신호를 생성한다. 발생한 트리거 신호는 지연 없이 영상 캡처 장치로 전달되어, 화살이 과녁에 박혀 있는 짧은 시간 동안 이미지를 획득할 수 있도록 한다.

화살의 정지 시간은 운동에너지 보존과 평균 저항력 ( $F$ )의 관계로 계산된다.

$$F_{avg} = \frac{m v_0^2}{2d}, a = \frac{v_0^2}{2d}, t = v_0/a$$

여기서  $v_0$ 는 화살의 초기 속도,  $m$ 은 화살의 질량,  $d$ 는 고무판에 파고드는 깊이,  $a$ 는 감속도,  $t$ 는 정지 시간을 의미한다.

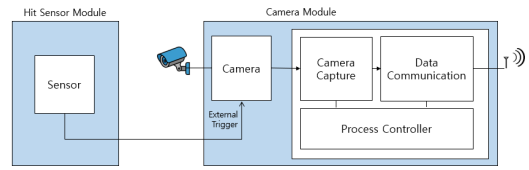
예를 들어,  $v_0 = 50 \text{ m/s}$ ,  $d = 0.5 \text{ cm}$ 일 때 감속도는 약

$250,000 \text{ m/s}^2$ , 정지 시간은 약  $0.2\text{ms}$ 가 된다.

또한, 고무판의 탄성 반발계수가 약 0.1이라고 가정하면, 화살은 약  $5\text{m/s}$ 의 속도로 반발하게 되며  $2\text{cm}$  이동하는 데 약  $4\text{ms}$ 가 소요된다. 따라서 관중 이미지는 트리거 후 약  $4\text{ms}$  이내에 획득해야 명중 위치를 정확히 확인할 수 있다.

##### 2) 카메라 캡처 모듈

센서의 트리거 신호는 고속 카메라에 직접 전달되어, 소프트웨어 지연 없이 수십 마이크로초 이내에 이미지를 캡처할 수 있도록 설계하였다. 이때 카메라 셔터 방식은 움직임이 빠른 물체 촬영에 적합한 글로벌 셔터(Global Shutter)를 적용하였다. 이는 픽셀을 동시에 노출·읽는 방식으로, 라인 단위로 순차적으로 읽는 롤링 셔터에 비해 왜곡 없이 명중 순간을 정확하게 기록할 수 있다. 과녁 카메라는 충돌 위치가 명확히 드러나도록 측면에 설치하였으며, 야간 환경에서도 안정적으로 영상을 확보할 수 있도록 조도 센서를 병행하였다. 조도 센서는 주변 밝기에 따라 카메라의 기본 노출값을 자동 조정하고, 이후 영상 기반 보정을 통해 일정한 화면 밝기를 유지할 수 있도록 제어한다.



[Fig. 2] Target Subsystem Functions

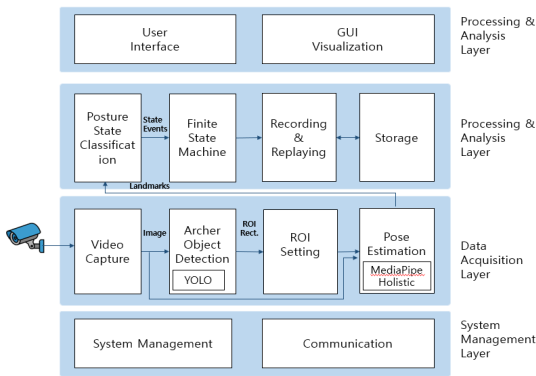
구현된 시제품에는 Arducam사의 AR0234 Global Shutter 센서 기반 카메라[17]를 적용하였으며, 라즈베리파이 4와 CSI/USB 포트를 통해 연결하였다. 관중 감지 모듈은 과녁 후면에 부착되어 트리거 신호를 발생시키며, 이 신호는 최대 10~20 m 거리에서 UTP 케이블을 통해 전송된다. 배선이 어려운 경우 무선 전송도 가능하다.

취득된 관중 이미지는 TCP/IP 기반 네트워크를 통해 사대 서브시스템으로 전송되며, 영상 데이터와 함께 촬영 시점의 타임스탬프, 환경 정보가 포함된다. 사대와 과녁의 거리가 145m임을 고려하여, 무선 네트워크(Wi-Fi) 확장기를 사용해 야외 환경에서도 안정적인 통신 품질을 확보하였다. 또한 keep-alive 메시지를 주기적으로 전송하여 연결 상태와 시스템 동작 여부를 지속적으로 모니터링한다.

#### 3.4.2 사대 서브시스템

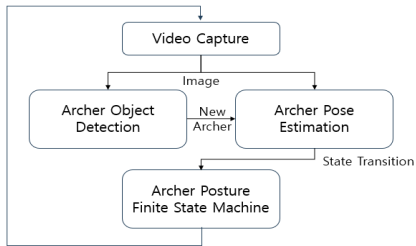
사수 동작 분석 기능은 국궁 훈련에서 학습자 동작을 정량적으로 평가하고 실시간 피드백을 제공하기 위한 핵심 모듈이다. Fig. 3은 해당 기능의 계층적 소프트웨어 구조를 나타낸 것으로, 크게 사수 인식 모듈, 자세 분석 모듈, 동작 상태 판별 모듈(FSM), 발사 트리거 및 영상 저장 모듈, 그리고 시각화 모듈로 구성된다.

- 입력: 고정형 카메라로 촬영한 영상 프레임
  - 처리: 사수 탐지, ROI(Region of Interest) 추출, 관절 좌표 산출, FSM 기반 동작 분류
  - 출력: 이벤트 기반 영상 저장 및 분석 지표 시각화
- 이러한 계층적 설계는 각 기능을 독립적으로 모듈화하여 병렬 처리 및 다중 사수 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있도록 하였다.



[Fig. 3] Shooting-line Subsystem Functions

사수 동작 분석은 크게 사수 인식 모듈과 동작 분석 모듈로 분리된다. 먼저 프레임 내의 사수를 탐지하고 탐지된 사수에 대한 ID를 부여한다. 이후 사수별 ROI를 설정하고, 해당 영역에서 사수의 자세 분석을 수행한다.



[Fig. 4] Archer Object Detection and Pose Detection

1) 사수 인식 (Archer Detection)

자세 분석 모듈은 사수의 발사 자세를 정면에서 촬영한다. 영상 촬영에는 라즈베리파이용 High Quality Camera (Sony IMX477, 4056×3040, 12.3MP)를 사용하였으며, 실험에서는 화면에 표시되는 해상도에 맞추어 1920×1080으로 설정하여 사수 영상을 취득하였다.

사수 인식은 영상 프레임에서 다수의 인원을 탐지하고 개별 사수를 분리하기 위한 단계이다. 이를 위해 YOLOv8 기반 객체 탐지 알고리즘을 적용하여 영상 내 다수의 사수를 탐지하고, 각 사수에게 고유 ID를 부여한다. 이후 ROI(Region of Interest)를 설정하여 불필요한 배경을 제거하고 분석 효율을 향상시킨다. 다중 사수가 존재하는 경우에도 ID 기반 추적이 가능하게 한다.

2) 사수 동작 분석(Pose Estimation)

자세 분석 알고리즘은 주요 관절점 데이터를 추출하고, 이를 바탕으로 사수의 자세를 판단한다.

자세 분석 알고리즘은 카메라 영상으로부터 추출된 사수의 ROI를 입력으로 하여, MediaPipe Pose 기반 관절 좌표(landmark)를 특징 벡터로 산출하고, 이를 동작 상태 천이에 적용하는 방식으로 설계하였다. 각 동작은 어깨-팔꿈치-손목 각도의 기하학적 관계 및 중심 좌표의 시계열 변화를 기준으로 정의하였다. Fig. 5는 사수 자세 분석 알고리즘의 예시이다.

이러한 규칙 기반 검출은 프레임 단위로 추출된 랜드마크 좌표에 적용 가능하며, 체형 차이를 보정하기 위해 거궁 자세에서 힁간의 평균 거리를 기준값으로 활용하였다. 이 기준값은 사수의 체형의 크기와 거리에 따른 차이를 보정할 수 있도록 사용하였다.

```

Input: VideoStream
Output: EventSequence (GEOGUNG, MANJAK, BALSJ)

Procedure:
1. For each frame:
- Detect archer ROI and extract pose landmarks
- Compute features:
  draw_len = distance(wristL, wristR)
  elbow_angle = angle(shoulder, elbow, wrist)
  wrist_vel = velocity(wrist)
  wrist_below_should = (y_wrist > y_should) ? 1 : 0
- Classify state:
  if arm stable AND hand ≥ face → GEOGUNG
  if draw_len ≥ threshold AND variation small → MANJAK
  if draw_len drops fast OR wrist_vel ≥ threshold → BALSJ
2. Apply temporal smoothing (persist across frames)
3. Store detected events and trigger video clip recording
    
```

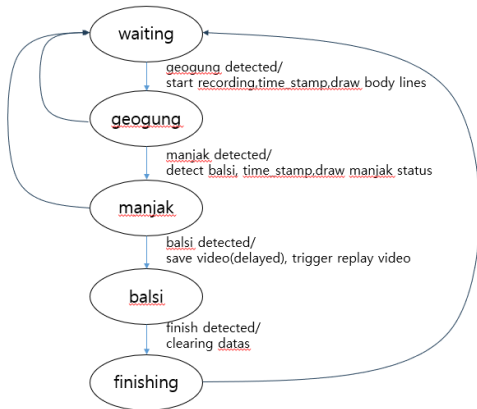
[Fig. 5] Archer Posture Recognition Algorithm

3) FSM 기반 동작 상태 판별

사수의 동작은 일정한 흐름을 가지며, 이를 상태 천이 모델로 정의하여 인식 정확도와 처리 일관성을 향상시켰다. 본 시스템은 다음의 5개 상태와 상태 천이 규칙을 가진 유한 상태 머신(FSM:Finite State Machine)을 기반으로 동작 분석을 수행한다.

- Idle: 사수가 활을 들지 않은 상태
  - 거궁(Geogung): 활을 들어올리는 동작 시작
  - 만작(Manjak): 활을 밀고 당겨 더이상 움직이지 않는 최대 인장에 도달한 상태
  - 발시(Balshi): 발사 동작 발생
  - 잔형 유지(Finishing): 발사 후 자세 유지 상태
- 상태 천이는 관절 좌표 변화율, 팔 길이 변화율, 손목·어깨 이동 패턴에 따라 결정된다. 특히 발시는 손의 급격한 이동과 활시위 위치 변화로 검출되며, 해당 시점의 타임스탬프가 기록된다.

이러한 상태 머신은 노이즈나 잘못된 자세 인식을 일정 수준 필터링하는 효과도 갖는다. 사수의 자세 상태는 자세를 분석하여 상태 변화를 감지하고 이 상태 변화 감지 이벤트를 입력으로 FSM의 상태 천이에 따른 동작이 수행되고 상태 천이가 이루어진다.



[Fig. 6] Archer Posture Finite State Machine

FSM 구조는 일시적인 노이즈나 인식 오류를 억제하는 효과도 제공한다.

거궁이 감지되면 해당 사수의 ROI 영상을 저장하기 시작하며, 발시가 발생하면 이후 2~3초 동안의 동작까지 기록된다. 저장된 영상에는 분석된 자세 상태, 중심축, 만작 안정도 등이 오버레이 형태로 포함되어 GUI에서 시각적으로 제공된다. 또한 다중 사수 환경에서는 ROI 분리 기법을 적용하여 개별 사수의 동작을 독립적으로 추적·분석할 수 있다.

#### 4) 발시 트리거 및 영상 저장/재생

거궁이 검출되면 영상 저장이 시작되며, 발시 이벤트 발생 시점부터 2~3초 동안의 후속 동작까지 기록된다. 저장 파일에는 사수 ID, 발시 시점, 명중 여부 등의 메타 데이터가 포함된다. 또한 분석된 자세 안정성 지표(중심축, 만작 안정도 등)가 프레임 단위로 오버레이되어 단순 기록이 아닌 정량적 피드백 자료로 제공된다. 영상은 GUI를 통해 실시간으로 재생되며, 필요 시 슬로모션 검토가 가능하다.

- 영상 오버레이: 저장되는 영상에는 분석된 동작 상태, 중심축, 만작 상태 안정도 등을 프레임별로 오버레이되어 시각적 피드백이 가능하도록 한다.

이러한 방식은 단순한 전후 촬영보다 정확한 분석 대상을 선별 저장함으로써 저장 공간의 효율성과 분석 시간의 집중도를 높일 수 있다.

### 3.4.3 사용자 코칭을 위한 종합 GUI 설계

본 시스템은 사수의 거궁에서 발시에 이르는 동작 과정을 분석하고, 그 결과를 GUI 상에 직관적으로 제공하여 훈련자가 즉각적인 피드백을 받을 수 있도록 설계되었다. GUI는 동작 영상 제공, 분석 정보 표시, 관중 이미지 표시, 훈련 피드백 및 저장 기능의 네 가지 영역으로 구성된다.

#### 1) 동작 영상 제공

촬영된 영상을 GUI에 실시간으로 표시하여 사수의 동작을 직관적으로 확인할 수 있도록 하였다. 카메라는 일정 프레임 속도(FPS)로 촬영하며, 분석 지연을 최소화하기 위해 프레임 단위로 데이터가 동기화된다. 영상은 사수의 ROI(Region of Interest)를 기반으로 표시되며, 필요 시 특정 시점에 대해 슬로모션 재생을 제공하여 세부 동작 검토가 가능하다.

#### 2) 분석 정보 표시

- 동작 인식 시각화: 사수의 거궁, 만작, 발시 구간이 탐지되면 해당 시점이 타임라인과 함께 GUI에 표시된다. 또한 발시 후 화살의 관중까지 걸린 시간과 관중 위치 이미지를 시각적으로 제공한다.
- 자세 안정성 지표 제공: 중심축, 힘선, 손목 위치 등 주요 자세 지표를 영상 위에 오버레이(overlay) 형식으로 표시하여 사수가 자신의 자세 일관성과 안정성을 객관적으로 평가할 수 있도록 한다.
- 시간 스탬프 동기화: 모든 분석 결과는 타임스탬프 기반으로 영상 데이터와 연동되어, 특정 시점의 동작과 해당 시점의 자세 지표를 동시에 확인할 수 있다.

#### 3) 관중 이미지의 시각화 및 동기화

과녁 서비스시스템에서 획득한 명중 순간의 이미지는 수신 즉시 사수의 발시 영상과 함께 GUI 상에 표출된다. 이때 타임스탬프 정보를 활용하여 사수의 릴리즈 시점(발시)과 화살의 명중 결과를 시계열적으로 동기화하여 보여줌으로써, 학습자가 자신의 자세와 탄착점 간의 인과관계를 직관적으로 파악할 수 있도록 한다.

#### 4) 훈련 피드백 및 저장

GUI는 단순 시각화에 그치지 않고, 사용자 맞춤형 코칭을 위한 피드백 기능을 포함한다. 또한 훈련 결과는 데이터베이스에 저장되어 사수별 누적 기록을 관리할 수 있으며, 모바일 기기와 연동하여 원격 피드백도 가능하다.

4) 구현 예시

Fig. 7은 사대에 설치된 촬영 장치와 GUI의 통합 화면을 보여주며, Fig. 8은 실제 훈련 상황에서 GUI를 활용하는 사례를 나타낸다. 이를 통해 훈련자는 자신의 동작을 직관적으로 인식하고, 정량적 지표와 함께 개선 방향을 확인할 수 있다.



[Fig. 7] Shooting-line Subsystem GUI



[Fig. 8] Shooting-line

3.4.4 통신 및 데이터 연동

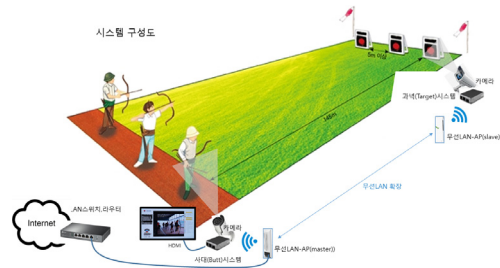
서브시스템 간 통신은 TCP/IP 기반 네트워크를 통해 이루어진다. 사대 서브시스템은 과녁 서브시스템으로부터 수집된 데이터를 통합하여 처리하며, 클라이언트(과녁 서브시스템)와 서버(사대 서브시스템) 간 연결 상태는 지속적으로 모니터링된다. 연결이 실패할 경우 자동 재접속과 세션 복구 기능이 수행되어 안정적인 데이터 흐름을 보장한다.

국궁장의 공간적 특성을 고려하여, 본 시스템은 무선 네트워크 기반 전송을 지원한다. 이를 통해 반(半)야외 환경이나 실제 경기장에서도 원활한 데이터 교환이 가능하다.

본 구현에서는 사대 서브시스템과 과녁 서브시스템을

Wi-Fi 기반 무선 네트워크로 상호 연결하였다. 두 서브시스템은 각각 독립적으로 동작하면서도 무선 통신을 통해 실시간 데이터 전송 및 동기화를 수행한다. 특히, 상용 Wi-Fi 확장기를 활용하여 국궁장의 넓은 공간에서도 안정적이고 지속적인 통신 품질을 확보하였다.

이러한 네트워크 구성은 설치 편의성과 시스템 확장성을 동시에 고려한 것으로, 실제 국궁장 운영 환경에서도 적용 가능한 실질적인 구현 방식을 제공한다.



[Fig. 9] Archery Range Environment and Network Configuration

3.4.5 구현 환경

각 서브시스템은 목적에 맞게 하드웨어와 소프트웨어 환경을 구성하였다. 서브시스템의 구체적인 구현 환경은 <Table 1>에 요약하였다.

<Table 1> Implementation Environment of Subsystems

Category	Target Subsystem	Shooting-line subsystem
Hardware	Raspberry Pi 4, Arducam AR0234 Global Shutter Camera	Raspberry Pi 5 Raspberry Pi HQ Camera (Sony IMX477, 12.3MP)
OS	Raspberry Pi OS	Raspberry Pi OS
Tools	Python, OpenCV	Python, OpenCV Mediapipe, YOLOv8

4. 실험 결과 및 분석

본 장에서는 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 과녁 서브시스템에서 수신한 관중 영상의 명중 순간 포착 여부를 분석하고 사수 동작 감지 정확도를 분석 하였다.

관중 탐지 성능은 관중의 위치를 정확히 나타낼 수 있는지와 관중 탐지를 정확히 하는 지를 평가하였다.

제안한 관중 시스템의 동작 감지 성능을 다양한 조건에서 실험적으로 평가하고, 그 결과를 분석하였다. 실험은 실험 환경에서 촬영한 영상을 기반으로 수행되었으

며, 조명 조건(실내, 야외), 배경 색상(자연 야외, 고정, 흰색 크로마키), 그리고 사수의 체형 차이를 고려하여 체형이 다른 사수를 실험 대상으로 선정하였다.

실험은 다양한 조명 조건에서 진행되었으며, 사수는 초급자부터 숙련자까지 총 5명으로 구성하였다.

#### 4.1 실험 결과

##### 4.1.1 관중 탐지 성능

###### 1) 관중 위치 정확도

과녁 서브시스템은 진동 센서의 트리거 신호를 기반으로 카메라를 동작시켜 명중 순간의 영상을 획득한다. 실험 결과, 시스템은 화살이 과녁 고무판에 충돌하여 정지하고 충돌 후의 짧은 반발 운동(3~4ms)까지 영상을 획득할 수 있는지 실험을 통하여 확인하였다.

획득된 영상은 실제 관중 위치와 육안 확인 결과가 시각적으로 일치하였으며, 주야간 환경 모두에서 명중 순간을 확인할 수 있었다. 다만, 야간 촬영시에 노출 시간이 길어져 화살에 움직임 방향으로 블러(blur)가 관찰되었다. <Fig. 10>는 야간에 관중 순간 촬영된 이미지 예시를 보여준다.



[Fig. 10] Captured frame showing the arrow's impact on the target

###### 2) 관중 탐지 정확도

실험은 총 5명의 사수가 15발씩 발사하여 측정하였다.

실험은 시스템의 신뢰성을 검증하기 위해 총 5명의 사수가 각각 15발씩, 총 75발을 발사하여 측정된 데이터를 기반으로 분석하였다. Table 2는 관중 탐지 실험에서 얻어진 혼동행렬(confusion matrix)을 기반으로 계산된 성능 지표를 제시한다.

실험 결과, 제안한 시스템은 정확도 98.7%, 정밀도 97.7%, 재현율 100%를 기록하여 관중 발생 여부를 매

우 신뢰성 있게 탐지할 수 있음을 확인하였다. 발생한 단 1회의 오탐(False Positive)은 화살이 과녁 주변 모래를 타격하면서 발생한 진동이 관중 신호로 오인된 사례이다.

<Table 2> Performance Results by Target Hit

Detection	Real
TP(True Positive)	43
TN(True Negative)	31
FP(False Positive)	1
FN(False Negative)	0

정확도(Accuracy) =  $(TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) = 0.987$   
 정밀도(Precision) =  $TP / (TP + FP) = 0.977$   
 재현율(Recall) =  $TP / (TP + FN) = 1.0$

##### 4.1.2 사수 동작 감지 성능

###### 1) 동작 감지 성능

본 실험에서는 동작을 FSM의 특정 상태에 따라 동작을 제어하는 디자인 패턴에서 FSM이 가질 수 있는 상태(state)가 있고 천이(transition)은 특정 조건이 충족되었을 때 다음 상태로 천이되는 게이팅 특성을 반영하여 성능을 평가한다. 먼저, 동작별로 TN(True Negative)를 사용하지 않는 정의에서 정밀도(Precision), 재현율(Recall)을 산출한다. 정밀도는 예측한 것 중에 실제로 맞은 비율이고 재현율은 실제로 있어야 할 것 중 찾아낸 비율이다. 이어 FSM 인식 지표로서 거궁,만작,발시 단계의 활성률( $A_M, A_B$ )과 조건부 적중률( $H_{M|act}, H_{B|act}$ )을 분리하여 산출한다. 활성률은 앞단계로 다음 단계를 시도할 수 있었던 비율이고 조건부 적중률은 활성화된 상태에서 그 단계를 실제로 맞춘 비율이다. 그리고 이들의 곱으로 추정 시퀀스 성공률(Pseq)을 산출한다.

$$P_{seq} = Recall_G \times H_{M|act} \times H_{B|act}$$

그리고 시퀀스 성공율을 실제 시퀀스 일치율(Sequence Exact-Match)과 비교하였다. 추정 시퀀스 성공률은 단계별 성공을 곱해 본 이론적 기대치이고 실제 시퀀스 일치율은 예측 톤큰열이 정답 톤큰 열과 완전히 동일한 비율이다.

마지막으로 실패 유형을 게이트 실패, 활성화 후 미적중, 잘못된 분기로 분해하여 개선 방향을 도출하였다.

<Table 3>은 정적 배경이 있는 실내 환경에서 측정된 동작 감지 성능이다.

〈Table 3〉 Performance Results by Motion Stage

Motion	Precision	Recall
Geogung	1.0000	1.0000
Manjak	0.9855	0.9189
Balsi	0.9344	0.8143

Motion	Activation(A)	Hit/Activated
Manak	1.0000	0.9189
Balsi	0.9143	0.8906

Sequence	Pseq	Seq-EM
Rate	0.8184	0.7600

〈Table 4〉 Failure Mode

Failure Mode	n	% of all shots
Gate failure at G	0	0
Miss M after activation	6	8
Miss B after activation	8	10.1
Wrong branch at G	1	1.3
Wrong branch at M	3	3.9

2) 환경별 성능

정적 배경의 실내 환경과 흰색 배경에서는 높은 성능을 기록하였다. 그러나 역광이 있는 야외에서는 조명 대비의 영향으로 인식률이 떨어지는 경향을 보였다.

〈Table 5〉 Performance under different environments

Motion	Indoor	Outdoor	Chroma key
G Recall	1.0000	1.0000	1.0000
M Recall	0.9189	0.8493	0.9333
B Recall	0.8143	0.6901	0.8133
Activation(B)	0.9143	0.8451	0.9333
H{Blact}	0.8909	0.8167	0.8714
Seq-EM	0.7600	0.6533	0.8133

4.2 결과 분석

동작 분석 성능 평가 결과, 정적인 자세 유지가 주를 이루는 거궁과 만작 단계에서는 높은 인식률을 보였다. 반면, 발시(Balsi) 단계의 재현율은 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 발시가 0.1초 내외의 매우 짧은 순간에 이루어지는 고속 동작이기 때문이다. 현재 구현된 시스템은 CPU 기반의 연산 처리로 인해 초당 프레임 수(FPS)가 약 5fps 수준으로 제한적이다. 이로 인해 손이 급격하게 이동하는 발시 순간의 프레임을 놓치는 현상이

발생하였으며, 이것이 시퀀스 성공률 저하의 주된 원인으로 분석된다. 이는 향후 GPU 가속기 도입을 통한 프레임 레이트 확보로 충분히 개선 가능한 문제이다. 또한, 역광이 존재하는 야외 환경에서의 시퀀스 일치율(Seq-EM)은 0.6533으로, 실내 환경(0.7600) 대비 약 10% 이상의 성능 저하가 관찰되었다. 이는 역광으로 인한 광량 불균형이 사수의 실루엣과 배경의 경계를 모호하게 하여, MediaPipe Pose의 관절 좌표 추출 정밀도를 저하시켰기 때문으로 분석된다. 역광 환경에서의 성능 저하는 조명 변화에 강인한 전처리 알고리즘 적용의 필요성을 시사한다.

그리고, 사수의 체격이나 사대에서의 거리에 따라 성능의 차이를 보여주었고 사수의 비정형적인 동작이나 시퀀스에 대해서 성능이 저하됨을 확인하였다.

향후 개선 방향으로는 사수의 동작 감지를 위한 안정도 높은 감지 알고리즘의 개선이 요구된다.

GUI 시각화 모듈은 각 단계별 동작 상태를 실시간으로 표시하여 사수와 지도자가 즉각적인 피드백을 받을 수 있도록 지원하였다. 이는 기존의 주관적 관찰 중심 훈련과 달리 정량적이고 반복 가능한 훈련 도구로 활용될 수 있다는 점에서 교육적 가치가 크다.

4.3 종합 논의

실험 결과, 제안한 관중 시스템은 실시간 처리 능력과 안정적으로 제어된 모니터링 환경에서는 전체 시퀀스 정확도를 76% 정도를 현재 구현으로 실현할 수 있음을 확인하였고 실제 훈련 환경에서 적용 가능성을 확인하였다. 그러나 제어되지 않은 야외 환경에서의 성능 저하는 뚜렷하게 나타났으며, 이는 향후 개선의 핵심 과제로 제시된다.

동작 인식 성능은 정적인 동작(거궁, 만작)에서는 안정적이었으나, 동적인 발시 단계에서는 현재 구현에서 성능 저하가 발생하였다. 또한 사수 개개인 간 성능 차이가 나타났으며, 이는 촬영 거리와 신체적 크기 차이의 영향을 최소화하는 방안이 필요함을 시사한다.

환경적 요인 가운데 감지 성능에 영향이 큰 조건을 제어하고 극복할 수 있는 추가적인 기법이 요구된다.

하드웨어적 측면에서도 개선 필요성이 확인되었다. 현재 시스템은 CPU 기반 처리환경에서 구현되어 연산 처리에 제약이 있었으며, 초당 약 5프레임 수준의 처리 속도를 보였다. 이는 객체 및 자세 인식의 정밀도 향상에 한계를 주는 요소이다. 따라서 GPU가 탑재된 프로세서로의 전환 및 성능 개선이 요구된다.

## 5. 결론 및 향후 연구

### 5.1 결론

본 연구는 국궁 훈련 환경에서 사수의 주요 동작인 거궁, 만작, 발시를 자동으로 인식하고, 발사된 화살의 관중 정보를 실시간으로 연동하여 시각적 피드백을 제공하는 통합 코칭 시스템을 제안하고 구현하였다. 제안된 시스템은 사대에 설치된 카메라와 자세 인식 알고리즘을 통해 사수의 동작을 분석하고, 이를 과녁 서브시스템과 무선 네트워크로 연계함으로써 사수와 지도자에게 즉각적인 피드백을 제공한다.

실험적 평가 결과, 제어된 환경에서 발사 동작 시퀀스에 대한 전체 시퀀스 일치율은 약 76% 수준을 보였으며, 실내 및 균일한 배경 조건에서 가장 안정적인 성능을 나타냈다. 반면, 역광이나 야외 환경에서는 조명 조건과 프레임 처리 속도의 한계로 인해 성능 저하가 관찰되었다. 이러한 결과는 본 시스템이 실시간 국궁 훈련 보조 도구로서 실용적인 가능성을 지니고 있음을 보여주는 동시에, 환경적 요인에 대한 추가적인 개선 필요성을 시사한다.

본 연구의 주요 기여는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 국궁 고유의 동작 시퀀스에 특화된 자세 분석 모델을 설계하여 자동 동작 인식의 가능성을 실증하였다. 둘째, 사수의 자세 분석과 화살의 관중 정보를 실시간으로 연동하는 통합 피드백 구조를 구현하였다. 셋째, 고가의 상용 장비 대신 범용 IoT 디바이스와 경량 알고리즘을 활용하여 실제 국궁장에 적용 가능한 저비용·고효율 시스템의 가능성을 제시하였다.

이러한 접근법은 국궁 훈련뿐만 아니라 스포츠 코칭, 안전 모니터링, 자동 기록 시스템 등 다양한 응용 분야로 확장될 수 있음을 보여준다.

### 5.2 향후 연구

본 연구에서는 국궁 훈련 환경에서 동작 인식과 관중 피드백을 통합한 시스템의 가능성을 확인하였으나, 향후 개선이 필요한 과제도 존재한다. 첫째, 동작 인식 알고리즘의 고도화가 요구된다. 본 연구에서는 MediaPipe 기반 랜드마크 추출과 규칙 기반 분류 방식을 적용하였으나, 사수 개개인의 체형 및 비정형적 동작을 충분히 반영하는 데에는 한계가 있었다. 향후에는 머신러닝 또는 딥러닝 기반 모델을 도입하여 데이터 적응적이고 개인화된 동작 인식 성능을 확보할 필요가 있다.

둘째, 환경적 요인에 대한 강건성 확보가 필요하다. 실내 및 균일 배경에서는 안정적인 성능을 보였으나, 역광이나 야외 환경에서는 성능 저하가 뚜렷하였다. 이를 개선하기 위해 조명 보정, 배경 정규화, 카메라 센서 제어 및 하드웨어 가속 기반 처리 기법의 적용이 요구된다.

셋째, 실제 국궁 선수 및 지도자와의 협업을 통한 현장 실증 연구가 필요하다. 장기간의 훈련 데이터를 기반으로 학습 효과와 경기력 향상 정도를 분석함으로써, 스포츠 과학적 관점에서 시스템의 유용성을 검증할 수 있을 것이다. 이러한 후속 연구를 통해 본 시스템은 보다 기능적이고 체계적인 국궁 훈련 지원 플랫폼으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] F. Ihsan, A. Nasrulloh, S. Nugroho, and R. Yuniana, "A review of the use of technology in sport coaching: current trends and future directions," *Health, Sport, Rehabilitation*, Vol.11, No. 1, pp.85-101, 2025.
- [2] S.C. Nath, A. Das, D. Nath, R.O. Bhutia, and R.D. Choudhury, "Technology integration in sports coaching: Innovations and challenges," *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, Vol.11, No. 2, pp.38-42, 2024.
- [3] Jeong Ok Yang, Jook Sook Lee, "Utilization of Artificial Intelligence in the Sports Field", *Korean Journal of Sport Biomechanics*, pp.69-79, 2022.
- [4] J. Hattie and H. Timperley, "The Power of Feedback," *Review of Educational Research*, Vol.77, No.1, pp.81-112, 2007.
- [5] R. Kobal, L. Carvalho, E. C. Carmo, and R. Barroso, "The effect of real-time visual feedback and verbal encouragement on repetition velocity of squat, bench press and deadlift exercises in competitive powerlifters," *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2024.
- [6] A. Nimmerichter, N. J. R. Weber, K. Wirth, and A. Haller, "Effects of video-based visual training on decision-making and reactive agility in adolescent football players," *Sports*, Vol.4, No. 1, pp.1-11, 2015.
- [7] J. Kim, "The effects of visual feedback training on archery performance: An experimental study," *Journal of Coaching Development*, Vol.27, No.3, pp.112-124, 2022.
- [8] M. Geisen, T. Baumgartner, N. Riedl, and S. Klatt, "Real-time visual feedback on sports performance in an immersive training environment: Presentation of a study concept," *German Sport University Cologne Technical Report*, pp.1-6, 2020.

- [9] H. Park and S. Choi, "Effects of real-time video feedback on skill acquisition in archery," Korean Journal of Sport Science, Vol.33, No.2, pp.56-68, 2023.
- [10] Y. Liu and S. Lee, "Exploring the Impact of Real-Time Feedback on Archery Performance and Training Efficiency," Proceedings of the International Conference on Engineering and System Science (ICES), 2023.
- [11] C. Kim, S. Min, Y. Zhou, D. Park, K. Kim, W. Jeong, H. Kim, and K. Lee, "Analysis of Muscle Activity During Shooting Motion of Korean Traditional Archers," Korean Journal of Sport Science, Vol.32, No. 1, pp.1-12, 2021.
- [12] R. Lindsay and M. Spittle, "The adaptable coach - a critical review of the practical implications for traditional and constraints-led approaches in sport coaching," International Journal of Sports Science & Coaching, Vol. 16, No. 2, pp.356-368, 2021.
- [13] C. Lugaresi, J. Tang, H. Nash, et al., "MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines," arXiv preprint arXiv:1906.08172, 2019.
- [14] Google AI Edge - Gemini API, "Pose landmark detection guide," 2025. [Online].
- [15] M. Yaseen, "What is YOLOv8: An In-Depth Exploration of the Internal Features of the Next-Generation Object Detector," arXiv preprint arXiv:2408.15857, 2024.
- [16] G. Jocher, A. Chaurasia, J. Qiu, et al., "Ultralytics YOLOv8," version 8.0.0, 2023. [Online].
- [17] Arducam, "Jetvariety AR0234 Global Shutter Camera with External Trigger Function," [Online].

이 현 태(Hyeun-Tae Lee)

[정회원]



- 1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1986년 3월 ~ 1997년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1997년 9월 ~ 현재 : 목원대학교 게임소프트웨어공학과 교수

<관심분야>

사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 빅데이터, 웹서비스