

스마트 인솔과 Mediapipe를 활용한 실시간 자세 분석 서비스 구현

이가은, 곽윤지, 박수정, 전주은, 신상욱

국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부

{cherisher20, mia4177, qkrtnwjd4212, dudwns0423, shinsu}@pukyong.ac.kr

Real-time Posture Analysis Service using Smart Insoles and Mediapipe

Sujeong Park, Jueun Jeon, Gaeun Lee, Yunji Kwak, Sang Uk Shin

Pukyong Univ.

요약

본 논문은 운동 시 부상 위험과 효과 저하 문제를 해결하기 위해 스마트 인솔과 Mediapipe를 활용한 실시간 자세 분석 서비스를 제안한다. 제안하는 시스템은 AI(Google Mediapipe)와 스마트 인솔을 통합한 하이브리드 방식을 사용한다. 이를 통해 사용자의 전신 자세 정보 및 족저압 분포를 통합한 데이터를 효과적으로 분석하여, 단일 시스템의 한계를 보완하고 정확한 자세 교정 피드백을 제공한다. 잘못된 자세 감지 시 시각 및 음성 피드백을 제공하고, 자동 횟수 카운팅, 운동 기록 관리 등 다양한 편리한 기능들을 제공한다.

I. 서론

최근 개인 건강 관리에 대한 관심이 증대됨에 따라 홈트레이닝이 대중화되었으나, 대부분의 상용 피트니스 앱은 실시간 자세 교정 기능이 부재한 실정이다. 특히 스쿼트는 부정확한 자세로 수행할 경우 운동 효과 저하 및 부상 위험을 초래할 수 있으므로, 사용자가 자신의 자세를 객관적으로 점검하고 교정할 수 있는 시스템의 필요성이 높다.

기존의 자세 교정 시스템은 명확한 한계를 가진다. 고가의 전문 장비는 일반 사용자의 접근성이 낮다는 문제가 있으며, 보편적으로 활용되는 단일 시스템 중 카메라 비전 기반 시스템은 사용자의 무게중심 이동이나 족저압 분포 등 핵심적인 생체역학적 데이터의 측정이 불가능하다. 반면, 스마트 인솔 기반 시스템은 족저압 데이터에만 의존하므로 전신 자세의 종합적인 맥락을 파악하는 데 어려움이 있다.[1]

이에 본 연구에서는 상기한 한계점들을 극복하고자, 비전 인식 AI(Google MediaPipe)와 스마트 인솔의 압력 센서를 결합한 하이브리드 방식의 자세 측정 및 교정 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 카메라로 전신 관절의 동적 정보를, 스마트 인솔로 족저압 분포 데이터를 각각 실시간으로 측정하고 이를 통합적으로 분석한다. 이러한 접근법은 단일 시스템의 한계를 보완하여 보다 정확하고 입체적인 자세 평가를 가능하게 한다. 시스템은 분석 결과를 바탕으로 부정확한 자세를 감지할 시 즉각적인 시청각 피드백을 제공하여 사용자의 자가 교정을 유도한다.

II. 실시간 자세 분석 서비스

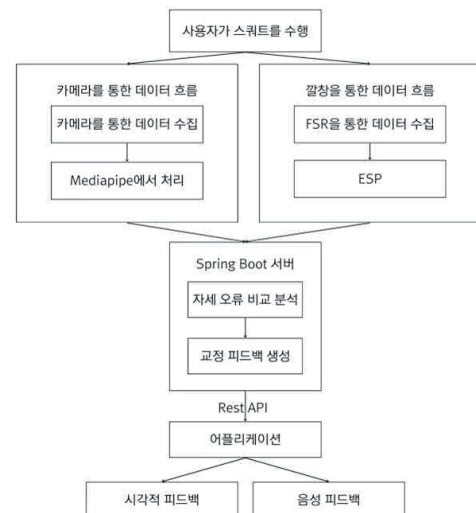
1. 시스템 개요 및 아키텍처

본 연구에서 제안하는 '자세 측정 및 교정 시스템'은 사용자 자세 데이터를 수집, 분석하여 실시간으로 교정 피드백을 제공한다. 시스템의 하드웨어는 사용자의 자세 영상을 입력받는 스마트폰 내장 카메라와, 발바닥의 압력 데이터를 수집하는 스마트 인솔로 구성된다. 스마트 인솔은 ESP32 DevKitC WROOM-32U 보드와 6개의 FSR400 압력 센서를 활용하여 구현되었다.

소프트웨어는 iOS 모바일 플랫폼을 기반으로 개발되었으며, AI 프레임

워크로는 Google Mediapipe를 사용하여 실시간 동작 추적 및 관절 좌표 추출에 활용된다. 백엔드 시스템은 Spring 프레임워크 기반으로 데이터 저장, 사용자 인증 및 복잡한 데이터 처리를 담당한다.

전체 데이터 흐름은 다음과 같다. 사용자가 스쿼트를 수행하면 스마트폰 카메라와 스마트 인솔을 통해 사용자의 자세 데이터가 입력된다. 이 데이터는 서버의 자세 분석 모듈로 전달되어 Mediapipe 기반 AI 분석 및 압력 센서 데이터 분석을 거친다. 분석 결과로 올바른 자세와의 오차가 산출되고, 이를 바탕으로 피드백 생성 모듈에서 자세 교정 피드백이 생성된다. 최종적으로 이 피드백은 사용자 인터페이스를 통해 시각 및 음성 형태로 사용자에게 실시간으로 제공되어 즉각적인 자세 교정을 돕는다.



[그림 1] 전체 시스템 흐름도

2. AI 기반 실시간 자세 분석

AI 자세 분석은 Google MediaPipe 프레임워크를 사용하여 실시간 자세 분석 및 스쿼트 동작 횟수 카운팅을 수행한다. 자세 분석을 위한 흐름은 다음과 같다.

먼저, 카메라를 통해 사용자 자세를 입력받는다. 사용자는 카메라를 기준으로 측면에서 서서 전신이 보이도록 자세를 잡는다. 입력된 실시간 영상은 MediaPipe 프레임워크를 통해 처리되며, 이 과정에서 주요 관절 지점의 2D 좌표가 추출된다. 추출된 좌표를 바탕으로 백터의 내적 및 크기를 계산하여 무릎, 엉덩이, 허리 등 주요 관절의 각도를 산출하고 이를 실시간으로 추적한다. 나아가, 어깨와 엉덩이와 무릎의 위치 좌표를 분석하여 입력 영상이 사용자의 좌측면인지 우측면인지를 자동으로 구분한다. 이를 통해 사용자는 별도의 설정 과정 없이 편리한 환경에서 일관성 있는 자세 분석을 제공받을 수 있다.

다음으로, 관절 위치와 각도 데이터를 기반으로 스쿼트 동작을 'Start', 'Sit', 'Rising', 'Stand' 네 가지 상태로 구분한다.[2] Start 상태에서는 개인별 신체 정보를 기준으로 저장하며, 허리와 무릎이 곧게 펴져있는지 확인한다. Sit 상태에서는 엉덩이가 하강과 허리 및 무릎 굽힘 정도를 분석하며, 일정 시간 자세 유지 여부를 확인한다. Rising 상태에서는 무릎과 등의 정렬 상태를 확인하여 사용자가 올바른 자세로 일어나고 있는지 판단한다. 마지막으로 무릎이 펴지고 엉덩이가 기준값 근처까지 올라오면 Stand 상태로 전환되고 스쿼트 횟수를 1회 증가시킨다. 각 상태별 분석 결과를 바탕으로 점수를 도출하고, 반복 횟수별 평균 점수 산출에 활용한다.

분석 결과는 Spring 서버로 전달되며, 여기에는 사용자의 스쿼트 동작 상태 정보, 누적된 스쿼트 횟수, 평균 점수 및 자동 생성된 피드백 정보가 포함된다. 실시간으로 전송되는 이 데이터는 사용자에게 즉각적인 피드백을 제공하는 데 활용될 뿐만 아니라 스마트 인솔에서 수집된 데이터와 통합되어 보다 정밀하고 신뢰성 높은 분석 결과를 산출하는 기반이 된다.

3. 스마트 인솔의 압력 데이터 측정 및 분석

스마트 인솔은 한 짝당 6개의 FSR 센서와 데이터 처리를 위한 ESP32 보드로 구성된다. 모든 부품은 만능기판에 납땜으로 직접 연결하여, 브레드보드 기반 프로토타입에 비해 회로 안정성을 크게 향상시켰다. 이를 통해 사용자가 운동 중 움직이더라도 센서 연결 불량이나 데이터 측정 오류를 최소화하여 피드백의 정확성을 확보했다. 센서는 족저압 분석 자료들을 기반으로, 스쿼트 운동 시 압력이 집중되는 전족부(3개), 중족부(1개), 후족부(2개)에 전략적으로 배치하였다[3].

데이터 처리 과정에서 ESP32는 각 FSR 센서에서 측정된 족저압을 바탕으로, 발 전체 압력 대비 각 센서가 차지하는 압력 비율을 실시간으로 계산한다. 이렇게 계산된 압력 비율 데이터는 Wi-Fi를 통해 1초마다 Spring Boot 서버로 전송된다.

서버는 수신된 데이터를 두 가지 방식으로 처리한다. 첫째, 웹소켓 통신을 통해 어플리케이션으로 실시간 압력 비율을 즉시 스트리밍하여 사용자가 현재 압력 분포를 시각적으로 확인할 수 있도록 한다. 둘째, 10초간의 족저압 데이터를 종합적으로 분석하여 무게중심의 좌우 비대칭, 전후 균형 등을 판단하고, 이를 바탕으로 생성된 자세 교정 피드백을 어플리케이션으로 전달한다. 이렇게 스마트 인솔을 활용하여, 카메라 기반 분석만으로는 파악하기 어려운 심층적인 족저압 정보를 제공하고 부상 예방에 기여할 수 있다.

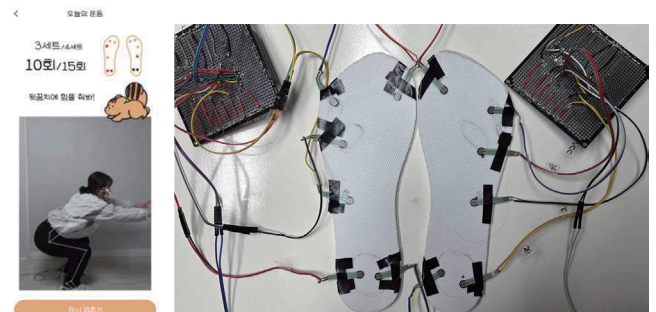
4. 맞춤형 피드백 시스템

먼저, 스마트 인솔과 영상 인식 AI 시스템을 모두 사용하는 경우, 앱은

스마트 인솔의 압력 데이터와 카메라 영상 데이터를 모두 서버로 전송한다. 서버는 이 두 가지 데이터를 통합적으로 분석하여 피드백을 생성한 후 클라이언트에 전송한다. 이러한 하이브리드 방식은 전신 자세 분석과 족저압 분석을 결합하여, 자세 역학과 체중 분산에 대한 더욱 정확하고 포괄적인 피드백을 제공한다.

다음으로, 영상 분석 AI 기능만 단독으로 사용하는 경우도 존재한다. 스마트 인솔이 없는 환경에서는 앱이 카메라 영상 데이터만을 서버로 전송한다. 서버는 실시간 영상 데이터를 기반으로 Google Mediapipe를 활용하여 사용자의 자세를 분석하고 피드백을 생성하여 클라이언트에 전송한다. 이 방식은 스마트 인솔이 없더라도 사용자가 AI 기반의 자세 교정 서비스를 이용할 수 있도록 하여 높은 접근성을 보장한다.

두 가지 경우 모두 잘못된 자세가 감지되면 음성 및 텍스트 안내, 시각적 오류 표시로 실시간 교정을 돕는다. 또한 스쿼트 횟수 자동 카운팅, 사용자 맞춤 운동 루틴 설정이 가능하다.



[그림2] 스마트 인솔/AI를 모두 사용하는 경우의 화면과 스마트 인솔 회로

III. 결론

본 논문은 홈트레이닝 시 정확한 자세 교정의 어려움을 해결하기 위해 스마트 인솔과 Mediapipe를 활용한 자세 측정 및 교정 앱을 개발하였다. 제안된 앱은 카메라를 활용한 AI 비전 분석과 스마트 인솔의 압력 센서를 통합한 하이브리드 자세 분석 시스템을 통해, 기존 앱들의 한계점을 해결하고 사용자에게 실시간으로 다중 피드백을 제공한다. 이를 통해 사용자는 안전하고 효율적으로 운동하며 부상을 예방하고 운동 효과를 극대화할 수 있다. 향후 연구는 AI 고도화(다각도 자세 인식, Mediapipe 오류 보정 및 피드백 구체화) 및 인솔 연동 강화, 다양한 운동 레퍼토리로의 확장, 딥러닝 기반 개인 맞춤형 코칭 시스템 개발 등을 포함한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2025년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업 지원을 받아 수행되었음(2024-0-00018).

참 고 문 헌

- [1] Yejin Kwon, and Dongho Kim. "Real-Time Workout Posture Correction using OpenCV and Mediapipe." 한국정보기술학회논문지 20.1 (2022): 199-208.
- [2] 유민형, "다각도 영상을 지원하는 스쿼트 운동의 자세 분석 및 카운팅 시스템 설계 및 구현", 영남대학교 대학원 석사학위논문, 경상북도, 2023.
- [3] 구세진, "신체균형능력 측정 및 개선을 위한 스마트인솔과 기능성 콘텐츠 개발", 한국산업기술대학교 일반대학원 석사학위논문, 2020