

# 영상 기반 낙상 및 배회 행동 예측을 위한 복합 AI 모델 설계

조한흠, 최혜림, 전희주, 오건근\*

동양미래대학교 웹응용소프트웨어공학과

e-mail: cooper13210@gmail.com, hariharihari0708@gmail.com,  
hlue5585@gmail.com, Sgalaxy12345@naver.com

## A Hybrid AI Model for Video-Based Fall and Wandering Behavior Prediction

Hyerim Choi, Huiju Jeon, Geongeun Oh, Hanheum Jo\*

Dept of Web Application Software Engineering, Dongyang Mirae Univ.

### 요약

고령화 사회의 진행과 함께 낙상 및 배회와 같은 이상행동으로 인한 안전 사고가 증가하고 있다. 기존의 웨어러블 센서 기반 감지 방식은 착용 부담과 환경적 제약으로 인해 실사용에 한계가 존재한다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 영상 기반 낙상 및 배회 행동을 예측하는 복합 AI 모델을 제안한다. 제안하는 방식은 객체 검출 모델과 자세 추정 모델을 결합하여 사용자의 신체 상태를 정밀하게 분석하고, 시간적 변화 패턴을 기반으로 이상행동을 예측한다. 낙상 예측은 인체 주요 관절의 위치 변화, 신체 기울기, 누워 있는 상태의 지속 비율을 종합적으로 고려하여 수행되며, 배회 예측은 이동 궤적의 시계열 패턴을 분석하여 판별한다. 제안된 모델은 비접촉식 방식으로 실시간 적용이 가능하며, 실제 응급 대응 시스템에 활용 가능한 확장성을 가진다.

키워드: 영상 기반 이상행동 예측, 낙상 감지, 배회 감지, 자세 추정, 딥러닝

### I. 서론

고령화 사회의 진행으로 노약자 및 재가 환자의 안전 관리에 대한 중요성이 증가하고 있다. 특히 낙상은 노인에게 빈번하게 발생하는 사고로, 신속한 대응이 이루어지지 않을 경우 심각한 신체 손상으로 이어질 수 있다. 또한 치매 환자나 거동이 불편한 환자의 배회 행동은 실종이나 2차 사고로 이어질 가능성이 있어 지속적인 관리가 요구된다.

기존의 낙상 및 이상행동 감지 연구는 주로 웨어러블 센서를 활용해 왔으나, 착용 부담과 미착용 시 감지 불가능하다는 한계를 가진다. 이러한 제약으로 인해 실제 생활 환경에서의 지속적인 활용에는 어려움이 있다.

최근에는 카메라 영상을 활용한 비접촉식 감지 방식이 주목받고 있으며, 객체 검출과 자세 추정과 같은 딥러닝 기술을 통해 사람의 위치와 자세 변화를 분석할 수 있다. 그러나 단일 프레임 기반 판단은 일시적인 동작으로 인한 오탐 가능성이 있으며, 배회와 같은 행동을 정확히 판단하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 영상 데이터를 기반으로 낙상 및 배회 행동을 예측하는 AI 모델을 제안한다. 제안한 모델은 객체 검출과 자세 추정을 통해 사람의 상태를 분석하고, 이동 궤적을 시계열 데이터로 구성하여 시간적 특성을 반영한다. 본 연구의 목적은 비접촉식 방식으로 실시간 적용이 가능한 이상 행동 예측 모델을 제시하는 데 있다.

### II. 전체 AI 시스템 구조

본 연구에서 제안하는 시스템은 실시간 영상 입력을 기반으로 사람의 상태를 분석하고, 낙상 및 배회와 같은 이상행동을 감지하는 구조로 설계되었다. 시스템은 사람 영역 인식, 자세 분석, 특징 추출, 행동 판단의 단계로

구성되며 각 단계는 순차적으로 동작한다.

입력된 영상 프레임에서 객체 검출 모델을 이용해 사람 영역을 인식한 후, 자세 추정 모델을 적용하여 인체 주요 관절 정보를 추출한다. 추출된 관절 정보는 낙상 감지를 위한 자세 변화 분석에 활용되며, 사람의 위치 정보는 시간 순서대로 누적되어 이동 궤적을 형성한다.

낙상 감지는 자세 변화와 시간 누적 특징을 기반으로 수행되며, 배회 감지는 이동 궤적의 시계열 패턴을 분석하여 판단한다. 최종 감지 결과는 모바일 애플리케이션 알림과 웹 기반 모니터링 시스템으로 전달되어 사용자가 실시간으로 상황을 확인할 수 있도록 구성하였다.

### III. AI 기반 이상행동 감지 및 시스템 구현

본 장에서는 제안한 낙상 및 배회 감지 AI 모델의 핵심 개념을 간략히 설명하고, 이를 실제 환경에서 활용하기 위해 구현한 모바일 애플리케이션 및 웹 기반 모니터링 시스템을 중심으로 서술한다. 본 연구는 이상행동을 단순히 인식하는 데 그치지 않고, 사용자가 즉각적으로 상황을 확인하고 대응할 수 있도록 하는 실용적인 시스템 구현을 목표로 한다.

#### 3.1 인체 정보 추출 과정

입력 영상 프레임에 대해 객체 검출 모델을 적용하여 사람 영역을 인식하고, 해당 영역을 대상으로 자세 추정 모델을 적용한다. 자세 추정을 통해 인체 주요 관절의 좌표를 추출하며, 이 좌표 정보는 낙상 감지를 위한 자세 변화 분석에 사용된다. 각 프레임에서 추출된 관절 좌표는 다음과 같이 정의된다.

$$Pt = (xt(k), yt(k))k = 1, , K$$

수식 (1). 영상 프레임에서 추출된 인체 관절 좌표 집합

또한 객체 검출 결과로부터 사람의 위치는 바운딩 박스의 중심 좌표로 정의되며, 해당 정보는 이동 경로 분석에 활용된다.

### 3.2 낙상 및 배회 감지 판단 로직

낙상 감지는 인체 관절 좌표를 기반으로 신체 중심 높이 변화와 자세 유지 상태를 분석하여 수행된다. 신체 중심 높이는 선택된 관절들의 세로 좌표 평균으로 계산되며, 낙상 상황에서는 짧은 시간 내에 급격한 하강이 발생하는 특징을 보인다. 이러한 특징을 시간적으로 누적하여 계산한 점수가 사전에 설정된 임계값을 초과할 경우 낙상 상황으로 판단한다.

배회 감지는 시간에 따른 이동 경로의 반복성과 이동 패턴을 기준으로 수행된다. 사람의 위치 좌표를 시간 순서대로 누적하여 이동 궤적을 생성하고, 해당 궤적을 시계열 모델에 입력하여 배회 가능성을 계산한다. 모델 출력은 0과 1 사이의 확률 값으로 표현되며, 일정 수준 이상일 경우 배회 상황으로 판단한다.

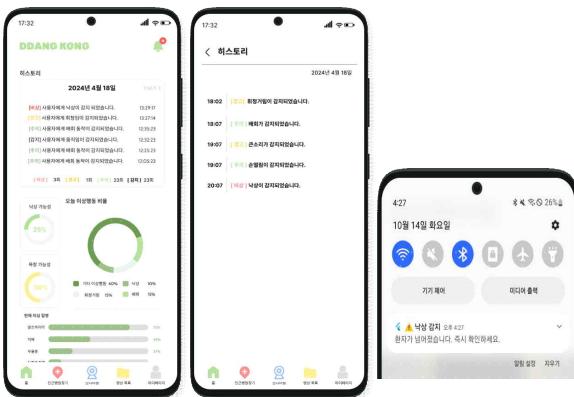
$$p(\text{wander}) = \text{sigmoid}(Wh(t) + b)$$

수식 (2). 이동 패턴 기반 배회 발생 확률 계산 수식

### 3.3 모바일 애플리케이션 알림 시스템

낙상 또는 배회 상황이 감지될 경우, 해당 이벤트는 실시간으로 기록되며 모바일 애플리케이션을 통해 사용자에게 즉시 알림 형태로 전달된다. 낙상 감지 시에는 긴급 알림이 제공되어 보호자 또는 관리자가 즉각적으로 상황을 확인할 수 있도록 하였으며, 배회 감지의 경우에도 위험 수준에 따라 경고 알림이 제공된다.

모바일 애플리케이션에서는 낙상 및 배회 발생 이력, 발생 시간, 위험도 비율 등을 대시보드 형태로 확인할 수 있으며, 이를 통해 사용자의 상태를 직관적으로 파악할 수 있도록 구성하였다.



[그림 1] 모바일 앱을 통한 낙상 및 배회활동 감지

### 3.4 웹 기반 실시간 모니터링 시스템

본 연구에서는 모바일 환경뿐만 아니라 관리자가 다수의 사용자를 동시에 확인할 수 있도록 웹 기반 모니터링 시스템을 함께 구현하였다. 웹 모니터링 화면에서는 실시간 상태 정보와 함께 낙상 및 배회 발생 여부를 한눈에 확인할 수 있으며, 비상 상황 발생 시 시작적 표시를 통해 즉각적인 인지가 가능하도록 설계하였다.

특히 낙상과 같은 응급 상황이 감지될 경우 웹 모니터링 화면에서도 즉시 상태 변화가 반영되며, 이를 통해 관리자는 현장 상황을 빠르게 파악하고 추가적인 조치를 취할 수 있다. 이러한 웹 기반 모니터링 구조는 요양 시설이나 다중 사용자 환경에서 효율적인 안전 관리가 가능하다는 장점을 가진다.



[그림 2] 웹을 통한 실시간 비상상황 모니터링 관제시스템

### IV. Conclusion

본 논문에서는 영상 데이터를 기반으로 낙상 및 배회 행동을 예측하기 위한 AI 모델 구조를 제안하였다. 제안한 모델은 객체 검출과 자세 추정 결과를 활용하여 사람의 자세 변화와 이동 패턴을 분석하고, 이를 시간 누적 방식으로 처리함으로써 단일 프레임 기반 판단의 한계를 보완하였다.

낙상 예측에서는 인체 관절 좌표로부터 신체 중심 높이와 자세 변화를 계산하고, 임계값 기반 판단 방식을 적용하여 일상 동작과 실제 낙상을 구분하였다. 또한 배회 예측에서는 객체 검출 결과로부터 생성된 이동 궤적을 시계열 데이터로 구성하고, LSTM 모델을 통해 이동 패턴의 시간적 특성을 반영하였다.

제안한 방법은 웨어러블 기기를 사용하지 않는 비접촉식 방식으로 실시간 적용이 가능하며, 실제 생활 환경에서 노약자 및 재가 환자의 안전 관리에 활용될 수 있는 가능성을 가진다. 향후에는 다양한 환경에서의 데이터 확장과 추가적인 행동 유형에 대한 분석을 통해 모델의 활용 범위를 넓히는 연구가 필요할 것이다.

### REFERENCES

- [1] Park, J., & Lee, E. (2022). Intelligent Activity Recognition based on Improved Convolutional Neural Network. *Journal of Korea Multimedia Society*, 25(6), 807-818.
- [2] KWAK YONG TAE, YoungSoon Yang and Min-Seong Koo. (2015). Wandering in Dementia. *Dementia and Neurocognitive Disorders*, 14(3), 99-105.
- [3] Yeom, J., "Falls among Korean Older Adults: A Study of Recovery, Disability, and Death," *Korea Journal of Population Studies*, vol. 43, no. 2, pp. 103 - 127, Jun. 2020.
- [4] Lee, J.-H., Kim, G.-H., and Park, M.-C., "Implementation of a Wearable Device for Monitoring the Health Status of the Elderly Living Alone," *Journal of the Korea Institute of Information Security & Cryptology*, vol. 29, no. 5, pp. 39 - 46, 2024.
- [5] Lee, M.-H., Jung, G.-S., and Jeong, D.-M., "Design of the Patient Monitoring System Based on Wearable Device for Multi-biosignal Measurement," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 54, no. 7, pp. 103 - 109, 2017.