

# AI 영상 기반 인체 쓰러짐 조기 감지 알고리즘에 관한 연구

강효진, 곽동걸, 최신형, 길민식\*  
 강원대학교, \*(주)투비시스템

## A Study on Early Detection Algorithms for Human Falls Based on AI Video Analysis

Hyo-Jin Kang, Dong-Kurl Kwak, Shin-Hyeong Choi, Min-Sik Ghil\*  
 Kangwon National University, \*TOBESYSTEM co.

### ABSTRACT

대형시설의 이용자 안전은 매우 중요한 이슈이다. 시설관리 주체의 안전관리 소홀에 대한 법적 책임이 강화되는 시점에 안전사고를 조기에 감지하여 신속하게 대응할 수 있는 시스템의 필요성이 증가하고 있다. 최근 딥러닝 기술의 발전으로 CCTV 영상 기반 인체 행동 분석 기술이 크게 향상되었으며, 이를 활용한 다양한 응용 분야가 연구되고 있다. 특히, 영상에서 인체의 자세를 정확하게 추정하고 이를 기반으로 행동을 인식하는 기술은 안전 모니터링 시스템에서 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 영상 기반 인체 행동 감지, 다중 객체 실시간 추적, 이상 행동 감지 기술의 최근 동향을 조사하고, 이러한 기술들을 조합하여 작업 환경에서 발생하는 인체 쓰러짐 등의 이상 행동을 조기에 감지할 해낼 수 있는 시스템의 최적의 알고리즘 조합을 분석하였다. 적절한 비용으로 운영 가능한 실시간 이상 행동 감지 시스템으로 인체 행동 감지에는 YOLO Pose를 다중 객체 실시간 추적은 ByteTrack, 이상행동 감지는 키포인트 추적 방법을 활용하여 구현하고 가능성을 검증하고자 한다.

### 1. 서론

물류센터, 공장, 쇼핑몰, 공항 등과 같은 대형 시설에서 작업자나 방문객의 안전은 매우 중요한 이슈이며, 이러한 환경에서 안전사고 발생 건에 대해 관리주체의 안전관리 소홀에 대한 법적 책임이 강화되고 있어 안전사고를 조기에 감지하여 신속하게 대응할 수 있는 시스템의 필요성이 증가하고 있다.

최근 딥러닝 기술의 발전으로 CCTV 영상 기반 인체 행동 인식 기술이 크게 향상되었으며, 이를 활용한 다양한 응용 분야가 연구되고 있다. 특히, 영상에서 인체의 자세를 정확하게 추정하고 이를 기반으로 행동을 감지하는 기술은 안전 모니터링 시스템에서 중요한 역할을 한다. 하지만 군중과 같은 다중 객체를 실시간으로 추적하고 이상행동을 미리 감지하는 것은 여전히 도전적인 과제로 남아 있다.

본 연구에서는 영상 기반 인체 행동 감지, 다중 객체 실시간 추적, 이상 행동 감지 기술의 최근 동향을 조사하고, 이러한 기술들을 조합하여 시설 환경에서 발생하는 인체 쓰러짐 등의 이상 행동을 조기에 감지할 해낼 수 있는 시스템의 최적의 알고리즘 조합을 연구하고자 한다. 특히, 적절한 비용으로 운영 가능한 실시간 이상 행동 감지 시스템을 설계 및 구현하고 가능성을 검증하고자 한다.

### 2. 인체 쓰러짐 조기 감지 알고리즘 설계

#### 2.1 인체 행동 감지

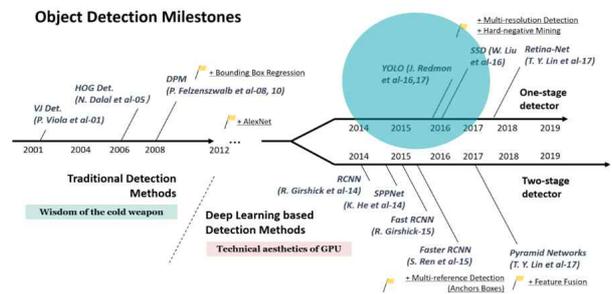


그림 1 객체 감지 이정표

Fig. 1 Object Detection Milestones

컴퓨터 비전 분야에서 객체 인체 행동 인식과 자세 추정은 오랫동안 연구되어 온 주제이며, 최근 딥러닝의 발전으로 그 정확도와 효율성이 크게 향상되었다.<sup>[1]</sup>

객체를 검출하는 알고리즘 방법은 그림 1과 같이 딥러닝의 발전 이후에 크게 Two-Stage Detector와 One-Stage Detector의 두 가지 방법으로 분류할 수 있다. 객체 인식 초기에 두각을 나타내던 R-CNN이나 Fast R-CNN 등은 Two-Stage Detector 방법으로 물체를 식별하는 Classification과 물체를 찾는 Location이 나뉘어 있던 방식으로 각 파트들의 개선들이 이뤄지면서 정확도에서 많은 발전이 있었으나, 상대적으로 작업량이 많아 객체를 검출하는데 시간이 다소 걸리는 문제가 있어 인체감지나 자율주행 자동차 등과 같은 실시간 사물 위치가 파악되어야 하는 작업에 적절치 않았다.

실시간 검출을 해결하기 위해 Classification과 Location을 한 번에 처리하여 기존 방식에 비해 모델 학습 과정이 단순하고 실시간 처리에 적합 One-Stage Detector 방식인 YOLO (You Only Look Once)가 등장하였다. YOLO는 다중 객체 인식 및 빠른 속도와 높은 정확도로 실시간 객체 탐지가 필요한 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다.<sup>[1]</sup>

우수한 성능으로 인해 최근 많은 커뮤니티를 보유한 YOLO는 목표로 하는 인체 행동 인식에 활용 가능한 인체 포인트 데이터 셋으로 학습된 YOLO Pose 모델을 시스템 사양에 따라 운영 가능하도록 제공되고 있어 본 연구의 실시간 인체 행동 감지에 적절한 방법으로 분석된다.

## 2.2 다중 객체 추적

다중 객체의 실시간 추적을 위해서는 객체의 위치와 ID를 지속적으로 추적하는 알고리즘이 필요하다. 기존의 SORT(Simple Online and Realtime Tracking)와 DeepSORT는 객체의 위치 정보와 추가적인 특징 정보를 활용하여 추적을 수행하지만, 검출기의 신뢰도에 크게 의존한다.

기존의 객체 추적 알고리즘의 한계를 극복하고자 최근 개발된 ByteTrack은 저신뢰 검출 결과까지 활용하여 추적 성능을 향상시킨 알고리즘으로, 기존의 추적 알고리즘들과 비교하여 더욱 간단한 구조를 가지면서도 높은 정확도와 빠른 처리 속도를 제공하여 실시간 다중 객체 추적에 효과적이므로 이상 행동 징후 포착에 활용하기 좋은 방법으로 판단된다.<sup>[2]</sup>

## 2.3 이상 행동 감지

이상 행동 감지는 정상적인 행동 패턴에서 벗어난 행동을 식별하는 것으로, 주로 지도 학습과 비지도 학습 방법이 사용된다. 지도 학습 방법은 사전에 정의된 이상 행동 데이터셋이 필요하지만, 현실적으로 다양한 이상 행동을 모두 수집하기 어렵다.<sup>[3]</sup> 따라서 본 연구에서는 시스템의 가능성 연구이므로 인체의 자세 변화와 키포인트 정보를 활용하여 쓰러짐과 같은 이상 행동을 감지하는 방법을 우선 적용한다.

## 2.4 시스템의 설계와 원리

본 연구에서는 YOLO Pose와 ByteTrack을 결합하여 실시간으로 인체의 자세를 추정하고 다중 객체를 추적하는 시스템을 제안한다. 전체 구조와 알고리즘의 원리는 다음과 같다.

1. 영상 입력: 영상파일 또는 비디오캠으로 영상을 입력
2. 인체 검출 및 자세 추정: YOLO Pose를 활용하여 영상 내의 모든 인체에 대해 키포인트를 추정한다.

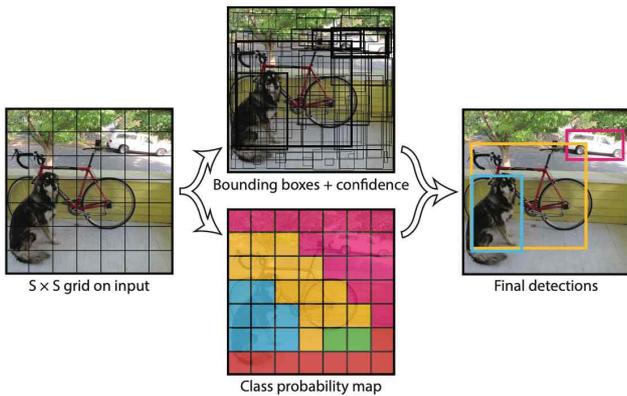


그림 2 YOLO 통합 감지  
Fig. 2 YOLO Unified Detections

YOLO의 원리는 이미지가 입력되면 그림 2와 같이  $S \times S$  그리드로 분할하고 각 그리드 셀에서 어디에 사물이 존재하는지 박스 그리고 신뢰도 점수를 예측한다.<sup>[4]</sup> 신뢰도가 높을수록 굵은 박스를 그려주고 Class probability map에서와 같이 어떤 사물인지에 대한 Classification 작업이 동시에 진행된다. 그러면 굵은 박스만 남기고 사물 존재 확률이 낮은 것은 지운다. 최종 박스는 NMS (Non-Maximum Suppression) 알고리즘을 이용해 선별하면 빠른 검출이 가능하다.<sup>[1]</sup>

3. 다중 객체 추적: ByteTrack 알고리즘을 통해 연속된 프레임에서 동일한 객체를 추적한다. ByteTrack은 높은 신뢰도의 검출 결과뿐만 아니라 낮은 신뢰도의 결과도 활용하여 추적 성능을 향상시킨다. ByteTrack의 핵심 아이디어는 식 1 처럼 각 프레임에서 검출된 객체를 신뢰도 임계값  $\tau$ 에 따라 고신뢰도 집합  $D_{high}$ 와 저신뢰도 집합  $D_{low}$ 로 나눈다.

$$D_{high} = \{d_i | C_i \geq \tau\}, D_{low} = \{d_i | C_i \leq \tau\} \quad (1)$$

먼저  $D_{high}$ 를 이용하여 객체를 추적하고, 그 외 추적되지 않은 객체에 대해  $D_{low}$ 를 활용하여 추가로 연계하는 방식을 적용한다.<sup>[5]</sup>

4. 이상 행동 감지: 추정된 키포인트를 기반으로 인체의 자세 변화를 분석하여 쓰러짐과 같은 이상 행동을 감지한다. 이를 위해 인체의 중심점과 각 관절의 위치 변화를 시간에 따라 모니터링하고, 급격한 자세 변화가 발생하면 이상 행동으로 판단한다. 예를 들어, 식 2와 같이 인체의 중심점  $(x_c, y_c)$ 의 이동 속도  $v$ 와 가속도  $a$ 를 계산하여 쓰러짐을 감지할 수 있다.

$$v = \frac{\Delta_s}{\Delta_t}, a = \frac{\Delta_v}{\Delta_t} \quad (2)$$

여기서  $\Delta_s$ 는 위치 변화,  $\Delta_t$ 는 시간 간격이다. 일정 임계값 이상으로  $a$ 가 증가하면 쓰러짐으로 인식한다.

## 3. 실험 결과

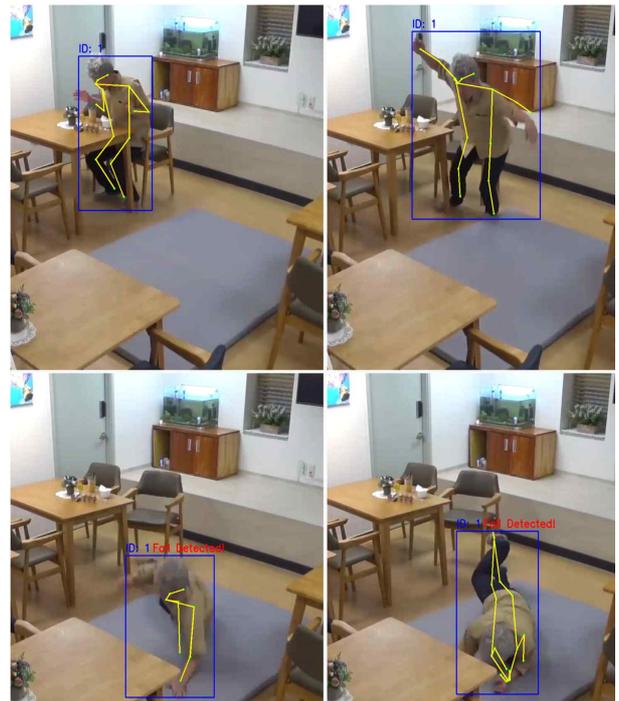


그림 3 자세 추정, 추적, 이상 감지  
Fig. 3 Pose Detection, Tracking, Abnormal Detection

### 3.1 실험 방법

실험구성은 YOLO Pose와 ByteTrack Python 라이브러리와 키포인트 감지코드 조합하여 영상파일 또는 비디오캠 입력에서 실시간 이상 행동 감지하도록 시스템을 구현하였다.

실험은 실제 상황을 모사한 영상을 활용하여 실험을 진행하였다. 실험에는 그림 3과 같이 노인이 식사 후 일어나다가 쓰러지는 장면이 담긴 영상이 사용되었으며<sup>[6]</sup>, 행동 인식 및 추적 영상 중 총 4장의 주요 프레임을 캡처하였고 분석 프로세서는 다음과 같다.

- 식사 후 일어남: 정상적인 동작을 나타내는 프레임 1,2
- 쓰러지는 순간: 쓰러짐 발생하는 프레임 3 (Fall Detected)
- 쓰러진 후 상태: 쓰러진 후의 프레임 4 (Fall Detected)

### 3.2 실험 결과 및 분석

YOLO Pose와 ByteTrack의 조합을 통해 영상 내의 노인을 정확하게 검출하고 키포인트를 추정할 수 있었다. 식사 후 일어나는 정상 동작에서는 인체의 키포인트들이 안정적으로 추정되었으며, ByteTrack을 통해 동일 객체로 지속적으로 추적되었다. 이는 정상적인 행동에 대한 모델의 신뢰도를 보여준다.

쓰러지는 순간의 프레임에서 인체의 중심점과 관절 각도의 급격한 변화가 포착되었으며, 상체와 하체의 각도가 비정상적으로 변화하면서 인체의 균형이 무너지는 패턴이 확인되었다. 제안한 시스템은 이러한 패턴을 이상 행동으로 인식하여 인체 쓰러짐(Fall Detected) 알림을 표시하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 대형 시설에서 발생할 수 있는 인체 쓰러짐과 같은 안전사고를 조기에 감지하기 위한 실시간 이상 행동 감지에 적절한 알고리즘을 비교 분석 후 적합한 시스템을 구현하였다. YOLO Pose와 ByteTrack을 결합하여 인체의 자세 추정과 다중 객체 실시간 추적을 효과적으로 수행하였으며, 이를 통해 쓰러짐과 같은 이상 행동을 신속하게 감지할 수 있었다.

실험 결과에서 제안하는 알고리즘 조합은 기존 방법에 비해 여러 비교적 보통 사양의 시스템에서도 우수한 성능을 나타내며, 실제 환경에서의 사용할 수 있음을 입증하였다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

1. One-Stage 방식의 실시간 시스템 구현: 이전 Two-Stage 방식의 복잡한 파이프라인 방식을 대신하여 End-to-End 방식의 YOLO 알고리즘을 적용함으로써 모델의 복잡성을 줄이고 실시간 처리가 가능하도록 하였음.

2. 최적의 알고리즘 조합 제안: YOLO Pose와 ByteTrack의 조합을 통해 인체 자세 추정과 다중 객체 추적의 성능을 동시에 향상시켰음.

3. 이상 행동 감지의 효율성 증대: 키포인트 기반의 자세 분석을 통해 쓰러짐과 같은 이상 행동의 효과적 감지를 가능하게 하였음.

본 연구는 제한된 데이터셋과 환경에서 실험이 진행되었기 때문에, 다양한 실제 상황에서의 활용을 위해 추가적인 개선이 필요하다. 조명 변화, 복잡한 배경, 다수의 인원이 존재하는 환경 등에서의 운용 가능하도록 성능 향상이 요구되며, 이상 행동의 범위를 확대하여 다양한 안전사고에 대응할 수 있도록 개선이 필요하다.

향후 연구에서는 인체 행동을 더욱 세분화하여 다양한 행동

패턴을 인식하고, 행동의 전후 맥락을 고려한 이상 행동 예측 감지기술의 고도화를 목표로 한다. 딥러닝 모델의 개선 학습을 통해 시스템의 정확도와 신뢰성을 향상시킴으로써 안전 관리 시스템 개발에 실질적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 2024년 국립대학육성사업 프로그램 지원을 받아 수행되었음.

## 참 고 문 헌

- [1] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, 1-9
- [2] Yifu Zhang, Peize Sun, Yi Jiang, et al. (2021). ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box. arXiv preprint arXiv:2110.06864.
- [3] Poppe, R. (2007). Vision-based human motion analysis: An overview. Computer Vision and Image Understanding, 108(1-2), 4-18.
- [4] Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., et al. (2018). OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43(1), 172-186.
- [5] Sun, K., Xiao, B., Liu, D., & Wang, J. (2019). Deep High-Resolution Representation Learning for Human Pose Estimation. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 5693-5703.
- [6] <https://aihub.or.kr>, “시니어 이상행동 영상 이미지”, 2023.