

AI 유아 안전 모니터링 및 실시간 대응 시스템 개발

강승엽*, 홍지성*, 박관호*, 김용빈*, 김민규*, 이승욱*, 이한용**

Development of an AI-Based Infant Safety Monitoring and Real-Time Response System

Kang SeungYeop*, Hong JiSung*, Park KwanHo*, Kim YongBin*, Kim MinGyu*, Lee SeungWook*, Lee HanYong**

요 약

유아 안전사고는 높은 비율로 발생하고 있으며 특히 낙상과 인원 초과 사고에 대한 지속적인 모니터링의 필요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 유아 시설 내 안전 관리를 위해 넘어짐 사고와 시설 이용 인원 초과를 실시간으로 탐지하고 울음소리를 감지하는 자동 모니터링 시스템을 개발한다. 시스템은 객체 인식과 음성 분석을 통해 이상 상황을 즉각 식별하며 사고 발생 시 알림 전송과 영상 저장 기능을 제공한다. 해당 시스템은 관리 인력이 부족한 유아 시설에서도 효율적인 안전 관리를 지원하도록 구성한다.

Abstract

Early childhood safety accidents occur at a high rate, and the need for continuous monitoring of falls and accidents exceeding personnel is especially emphasized. In this study, for safety management in infant facilities, an automatic monitoring system is developed that detects falls accidents and excess number of facility users in real time and detects cries. The system immediately identifies abnormal situations through object recognition and voice analysis, and provides notification transmission and video storage functions in case of an accident. The system is configured to support efficient safety management even in infant facilities that lack management personnel.

Key words

AI Monitoring, Crying Detection, Fall Detection, Real-Time Monitoring

1. 서 론

최근 유아 안전사고는 여전히 높은 비율을
보이며 특히 유아 시설에서의 낙상사고와 인원

초과로 인한 사고 위험이 강조되고 있다.
소비자위해감시시스템에 따르면 14세 이하 유아
안전사고는 총 22,371건으로 전체 안전사고의
28.2%를 차지하며[1], 소방청에 따르면 유아

* 경기대학교 소프트웨어 경영대학 AI컴퓨터공학부 인공지능전공 학사 - Email: rkdtmdduq137@kyonggi.ac.kr

** 경기대학교 소프트웨어 경영대학 AI컴퓨터공학부 지도교수 (교신저자) - Email: caehyl210@kyonggi.ac.kr

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학지원사업의 연구결과로 수행되었음
(2021-0-01393)

안전사고의 약 40%는 유아 시설에서 발생하고 있다[2]. 또한 국민재난안전포털에서는 놀이기구를 이용할 때 인원 초과 시 사고 확률이 급증한다고 경고하고 있다[3].

한편, 2025년까지 인건비가 15% 증가할 것으로 예상되며, 유아 시설 운영자들은 인력 확보에 어려움을 겪고 있다[4]. 이에 따른 관리 인력의 부족으로 이어져 실시간 감지와 즉각적인 대응이 어려운 상황을 가져오고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 AI 기반의 자동 감지 시스템 도입이 필요하다. 본 연구는 AI 기술을 활용하여 유아 시설 내 이상 상황 및 위험 상황을 실시간으로 탐지하고, 사고 발생 시 빠르게 대응할 수 있는 시스템을 개발하여 관리 인력의 부담을 줄이고, 유아 안전을 강화하는 것을 목표로 한다.

II. AI기반 유아 안전 모니터링 시스템 설계

본 연구에서 제안하는 유아 시설 안전 모니터링 시스템은 실시간 영상 수집, AI 기반 이상 상황 및 위험 상황 탐지, 영상 저장 및 알림 전송, 사용자 영상 열람의 네 가지 단계로 구성된다(그림 1).

먼저, 유아 시설 내 CCTV를 통해 실시간으로 영상을 수집한다. CCTV는 RTSP(Real-Time Streaming Protocol)를 이용하여 영상 스트림을 전송하며[5], 전송받은 스트림은 클라우드 서버에 저장된다. 실시간 영상은 AI 서버로 전달되며, OpenCV를 활용하여 프레임 단위로 분할 처리된다[6].

AI 서버에서는 객체 탐지 및 울음소리 탐지 기술을 이용하여 이상 상황을 실시간으로 감지한다. 객체 탐지 모델의 경우 넘어짐 사고와 시설 이용 인원 초과를 탐지하고, 울음소리 탐지 모델의 경우 울음소리를 식별한다. 실시간 영상에서 이상 상황이 탐지될 경우, 감지 시점의 타임스탬프를 기준으로 해당 영상 구간을 추출하여 저장된다. 이 과정은 FFmpeg 기술을 이용하여 자동화되고[7], 추출된 영상은 서버 파일에 저장된다. 저장된 영상 파일의 URL은 별도로 데이터베이스에 등록된다.

이상 상황이 발생하면, 시스템은 모바일 애플리케이션 사용자에게 즉각적으로 푸시 알림이 전송된

다. 사용자가 앱을 통해 영상을 열람하고자 할 경우, 앱은 사용자 정보와 영상 URL을 함께 백엔드 서버(Spring Boot)에 전송된다. 백엔드 서버는 이를 검증한 후, 해당 영상을 스트리밍하거나 다운로드할 수 있도록 제공한다. 이러한 과정을 통해 사용자는 실시간으로 이상 상황을 확인하게 되고 즉각적인 대응이 가능해진다.

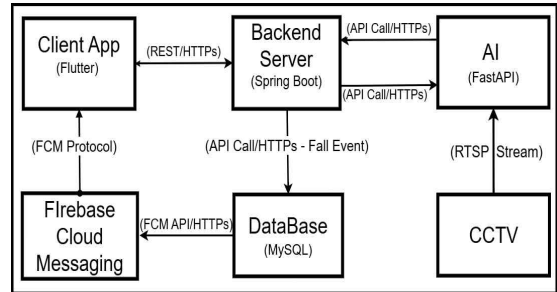


그림 1. 시스템 흐름도

Fig 1. System flowchart

2.1 넘어짐 감지 및 인원 초과 탐지

본 연구에서는 사람이 넘어지거나 공간 내 인원이 과도하게 몰리는 등의 이상 상황을 자동으로 인식할 수 있는 감지 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 사람을 인식하고 자세를 추정한 뒤, 시공간적인 골격 정보를 바탕으로 이상 여부를 판단하는 이진 분류기까지 일련의 파이프라인 구조로 구성된다.

우선, 원본 동영상 프레임에서 YOLO를 사용하여 영상 내 모든 사람 인스턴스를 추출하고[8], 동시에 감지된 인원수를 실시간으로 계산한다. 이러한 과정을 통해 영상 속 인원수를 지속적으로 추적할 수 있다.

YOLO로 검출된 각 사람 인스턴스는 SPPE(Single Person Pose Estimation)[9] 모듈로 전달되어 2D 관절점 좌표를 추출한다. 이렇게 얻어진 관절점들은 연속 프레임 간의 시공간적 관계를 반영하여 골격 그래프 구조로 변환된다.

변환된 골격 그래프는 Spatial-Temporal Graph Convolutional Network(ST-GCN)에 입력되어 시공간적 특징을 학습한다[10]. ST-GCN은 관절 간의 공간적 연결과 프레임 간의 시간적 흐름을 동시에 고려

함으로써, 골격 움직임의 미세한 변화를 효과적으로 포착할 수 있다. 이후 ST-GCN의 출력 특징은 전역 풀링 및 이진 분류 층으로 전달되어 넘어짐 여부를 최종 판단한다.

본 시스템의 유효성을 검증하기 위해, 사전 학습된 YOLO와 ST-GCN 모델을 활용하여 총 100개의 테스트 영상 클립(각 10초)을 대상으로 실험을 수행하였다. 해당 영상에는 넘어짐 상황 50건과 일반 움직임 50건이 포함되어 있다. 실험 결과, 넘어짐 상황을 92%의 정확도로 분류하였으며, 민감도(Recall)는 90%, 정밀도(Precision)는 93%를 기록하였다. 이를 통해 사전 학습된 모델만으로도 실시간 이상 상황 탐지가 가능함을 보여준다.

다음은 넘어짐 감지에 대한 실제 실험 결과이다. (그림 2) (그림 3).



그림 2. 넘어짐 미감지
Fig 2. Fall Not Detected



그림 3. 넘어짐 감지
Fig 3. Fall Detected

2.2 울음소리 감지

본 연구에서는 유아 울음소리 감지를 위해 TensorFlow 기반의 YAMNet 모델을 전이 학습(fine-tuning)하여 활용하였다. YAMNet은 다양한 환

경 소리를 분류할 수 있도록 사전 학습된 오디오 분류 모델로, 경량화된 MobileNet V1 아키텍처를 기반으로 한다[11][12]. 본 연구 목적에 맞추어 YAMNet을 전이 학습하여 울음소리 감지에 특화된 형태로 수정하였다[13].

우선, 원본 오디오 데이터에 대한 전처리 과정을 수행하였다. 오디오 신호는 일정 시간 단위로 분할하고, 볼륨 크기를 정규화하여 모델 입력에 적합한 형태로 변환하였다. 전처리된 오디오는 YAMNet을 통과하여 1024차원의 임베딩(embedding) 벡터로 변환되었으며, 이후 별도로 구축한 이진 분류기에 입력되었다.

울음소리 여부를 판별하기 위한 분류기는 다음과 같이 구성하였다. 입력층(InputLayer)을 통해 1024차원의 임베딩을 받아들이며, 두 개의 Dense 층과 Batch Normalization, Dropout(0.6)을 적용하여 과적합을 방지하였다[14]. 각 Dense 층에는 ReLU 활성화 함수와 L2 정규화(L2 regularization)를 추가하여 일반화 성능을 향상시켰다[15]. 마지막 출력층에서는 Sigmoid 함수를 사용하여 울음소리 유무를 이진 분류한다.

모델 학습은 Adam 옵티마이저와 이진 크로스 엔트로피(binary cross-entropy) 손실 함수를 사용하여 진행하였다. 다음은 크로스 엔트로피 손실함수에 대한 수식이다.

$$L_{BCE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(p_i) + (1 - y_i) \log(1 - p_i)] \quad (1)$$

EarlyStopping기법과 ReduceLROnPlateau 스케줄러를 적용하여 검증 손실(validation loss)이 개선되지 않을 경우 학습을 조기 종료하고 [16][17], 학습률을 점진적으로 감소시켰다. 학습은 최대 20 epoch 동안 수행되었으며, 배치 크기는 32로 설정하였다 (그림 4).

학습 완료 후, 모델의 최종 테스트 성능은 다음과 같다.

Test Loss: 0.279

Test Accuracy: 0.883

본 모델은 실시간으로 수집되는 오디오 스트림에 대해 신속하고 정확한 울음소리 감지를 가능하게 하며, 넘어짐 탐지 기능과 연계하여 이상 상황 판

단의 신뢰도를 향상시키는 데 기여한다.

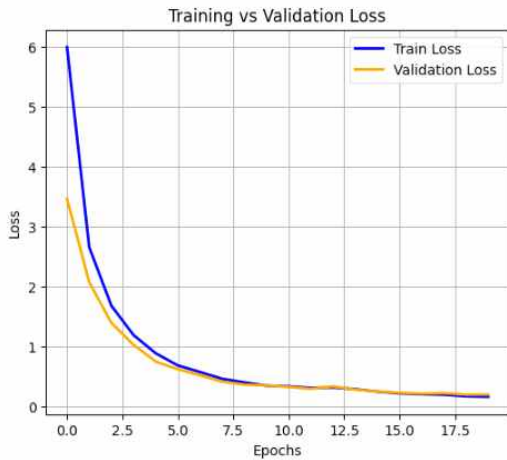


그림 4. 훈련, 검증 로스
Fig 4. Train, Val Loss

2.3 이상 상황 알림 및 영상 처리

본 연구에서는 유아 시설 내에서 발생할 수 있는 이상 상황을 실시간으로 탐지 후에 관리자가 빠르게 대응할 수 있도록 알림과 영상 열람 기능을 제공한다. 알림 시스템은 두 가지 조건에 의해 전송된다.

① 인원 초과 알림 : YOLO 기반 객체 탐지 모델을 사용하여 시설 내 인원수를 실시간으로 감지한다. 감지된 인원수가 설정된 기준값을 초과하면 즉시 알림이 전송된다. 이 알림은 위험을 사전 예방을 위한 역할을 한다.

② 울음 및 넘어짐 동시 탐지 알림 : 울음소리와 넘어짐이 동시에 감지될 경우에도 알림을 전송한다. 이는 어린이가 넘어지면서 울음을 동반할 때 발생할 수 있는 심각한 상황을 빠르게 인식하고, 관리자가 즉각적으로 대응하여 2차 피해를 최소화하기 위한 역할을 한다.

이 알림은 모바일 애플리케이션을 통해 푸시 알림으로 전달된다 (그림 5). 푸시 알림은 사고의 위치, 시간, 상황에 대한 정보를 포함하여 효율적인 대응을 지원한다.

영상 열람 기능은 관리자 권한을 가진 사용자만 이용할 수 있으며, 사고 발생 후 AI 서버에서 제공하는 영상 URL을 통해 확인 가능하다 (그림 6). 이

과정은 FASTAPI를 통해 사용자 요청을 처리하며, 영상 파일은 서버에 저장된 후 DB에 URL 형태로 기록된다.

이 시스템은 관리자가 로그인한 후 권한을 확인하고, 필요한 영상만 열람할 수 있도록 하여, 시스템의 보안과 안전성을 강화한다.

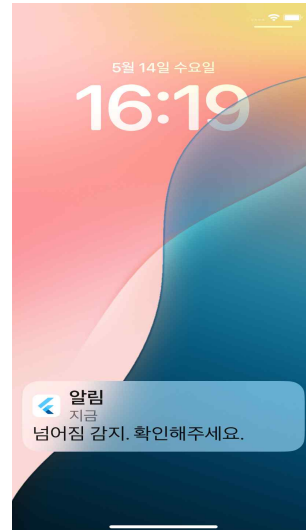


그림 5. 푸시 알람 예시 UI
Fig 5. Push Alarm Example UI

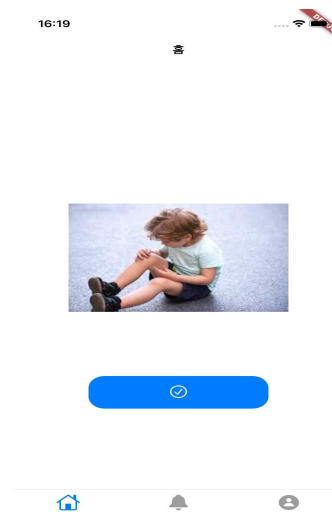


그림 6. 영상 확인 예시 UI
Fig. 6. Video Confirmation Example UI

III. 결 론

본 연구에서는 유아 시설 내 안전사고 예방을 위한 AI 기반 자동화 모니터링 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 실시간 객체 탐지 및 울음소리 탐지 기술을 통해 낙상 사고, 인원 초과, 울음소리와 같은 위험 상황을 즉각적으로 탐지하고, 관리자에게 실시간 알림을 제공함으로써 신속한 대응을 가능하게 한다.

이러한 자동화 시스템은 관리자의 상시 감시 부담을 줄이고, 인력 운영 비용 절감에 실질적으로 기여할 수 있으며, 특히 관리 인력이 제한된 환경에서 효과적인 대안이 될 수 있다.

또한, 본 연구에서 개발한 시스템은 유아 시설 외에도 노인 요양시설, 병원 등 다양한 안전 관리가 요구되는 환경에 적용 가능하며, 전체적인 안전 수준을 향상시키는 데 기여할 수 있다.

향후 연구에서는 경고 수준의 세분화, 울음소리의 정서적 분석, 다양한 센서 융합을 통해 모니터링 정확도와 시스템 범용성을 더욱 보완할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 한국소비자원 소비자위해감시시스템(CISS), 「2023 위해정보 분석 결과」, 2024.
- [2] 소방청, 「2022 어린이 안전사고 현황」, 2023.
- [3] 국민재난안전포털, 「놀이시설 안전수칙 안내」, 2024.
- [4] 고용노동부 최저임금위원회, 「2025년 적용 최저임금 결정」, 2024.
- [5] H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier, "Real Time Streaming Protocol (RTSP)," RFC 2326, Internet Engineering Task Force (IETF), 1998.
- [6] Gary Bradski, "The OpenCV Library," Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.
- [7] Fabrice Bellard, "FFmpeg," FFmpeg Developers, 2000.
- [8] Redmon, J. et al., "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," CVPR, 2016.
- [9] Cao, Z. et al., "OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," TPAMI, 2019.
- [10] Yan, S. et al., "Spatial Temporal Graph Convolutional Networks for Skeleton-Based Action Recognition," AAAI, 2018.
- [11] A. Howard et al., "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications," arXiv preprint arXiv:1704.04861, 2017.
- [12] S. Hershey et al., "CNN Architectures for Large-Scale Audio Classification," in Proc. IEEE ICASSP, 2017.
- [13] S. J. Pan and Q. Yang, "A Survey on Transfer Learning," IEEE TKDE, 2010.
- [14] N. Srivastava et al., "Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting," JMLR, 2014.
- [15] A. Krogh and J. A. Hertz, "A Simple Weight Decay Can Improve Generalization," NIPS, 1992.
- [16] L. Prechelt, "Early Stopping — But When?" in Neural Networks: Tricks of the Trade, Springer, 1998.
- [17] I. Loshchilov and F. Hutter, "SGDR: Stochastic Gradient Descent with Warm Restarts," arXiv:1608.03983, 2016.