

온디바이스 AI 기반 웨어러블 스토킹 방지 시스템

안제혁¹, 이재민², 김동성*

금오공과대학교 IT융복합공학과^{1,2,*}, 주식회사 엔에스랩 기술연구소*

{wpgur2018¹, ljmpaul², dskim*}@kumoh.ac.kr

Wearable Anti-Stalking System Based On-Device AI

Je-Hyeok Ahn¹, Jae-Min Lee², and Dong-Seong Kim*

Kumoh National Institute of Technology Dept. of IT Convergence Eng.^{1,2,*}

NSLab Co., Ltd. Technology Research Institute*

요약

본 논문은 웨어러블 카메라·센서로부터 수집한 데이터를 토대로 온디바이스(on-device)에서 추론을 수행하고 이를 모바일 앱과 연동하여 스토킹 상황을 실시간 탐지·증거 수집하는 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 후방 인체 탐지와 스켈레톤-실루엣 융합 기반 보행 패턴 분석으로 스토킹범 재식별, 데이터베이스의 등록 ID와 유사도가 임계값을 초과할 경우 증거 버퍼 저장 및 사용자에게 경고 및 신고를 연계한다. 실제 환경에서 사용 시, 이동식 영상정보처리기기 촬영으로 인해 초상권 등 권리가 침해될 가능성이 있다. 따라서, 원본 영상을 직접 전송하거나 활용하지 않고, 영상으로부터 추출된 비식별화 데이터인 스켈레톤과 실루엣만을 모바일 앱에 스트리밍한다. 모든 추론 과정은 이 비식별화 데이터를 기반으로 온디바이스에서 수행되므로, 프라이버시 침해 위험을 최소화하고 피해자 보호에 기여한다.

I. 서론

스토킹 행위는 목적과 유형이 다양하며, 행위자가 범죄 인식을 못한 채 지속·반복하는 사례가 많다. 이에 따라 수사관의 적극적 개입으로 피해자가 증거를 신속·정확하게 수집·제출할 수 있도록 지원해 2차 피해 이전에 신속한 수사가 이루어져야 한다. 그러나 전담 인력이 제한적이어서 실시간 대응과 피해자 보호에는 구조적 한계가 있다. 가해자의 접근 사실을 입증하려면 피해자 본인이 증거를 확보해야 하는데, 이는 현실적으로 어렵다. 보완책으로 거주지 CCTV 설치, 스마트워치 지급 등이 시행되지만, CCTV는 촬영 범위·사각지대 탓에 이동 상황에 취약하고, 스마트워치는 GPS 오차와 수동 신고 의존 제약이 있다[1,2]. 기존 관련 연구로는 얼굴 인식 기술을 활용하는 경우가 많다. 하지만 실제 스토킹 상황에서 확보되는 영상은 대부분 저해상도에 흐릿하며, 가해자의 얼굴을 정면으로 선명하게 포착하는 것이 거의 불가능하여 명확한 한계가 존재한다. 이러한 이유로 사람 재식별(Person Re-ID) 기술은 얼굴이 잘 보이지 않는 상황에서도 신체나 걸음걸이 같은 단서로 동일인을 찾아내는 방향으로 발전해 왔다. 또한, 얼굴과 같은 민감 정보를 통해 학습·추론하는 접근은 프라이버시 위험과 규제 준수 부담을 수반한다[3].

본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 온디바이스 AI 기반 웨어러블 스토킹 방지 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 기존의 얼굴 인식 중심 접근이 가지는 한계를 보완하기 위해, 개인 식별성을 제거한 실루엣-스켈레톤 기반 데이터 송출과 온디바이스 추론 방식을 채택하였다. 이를 통해 저해상도·비정면 환경에서 발생하는 성능 저하 문제를 완화하는 동시에, 민감한 원본 영상 노출을 최소화하여 프라이버시 위험을 줄인다. 웨어러블 카메라의 후방 영상은 기기 내에서 비식별화되어 실시간 추론에 사용되고, 스토킹으로 판별되면 RTSP(Real Time Streaming Protocol)로 비식별 데이터만 앱에 전송되며 자동 신고·증거 수집이 연계된다. 이러한 시스템을 구축하여 피해자 보호에 기여할 수 있다.

II. 딥러닝 기반 동일 인물 재식별 기술 분석

모델 / 기법	데이터셋	지표	성능
CentreFace	MegaFace	Rank-1 정확도	65.2%
CentreFace	SurvFace	Rank-1 정확도	29.9%
VDSR + CentreFace	SurvFace	AUC	35.1%
CentreFace (baseline)	SurvFace	AUC	37.3%

그림 1 기존 얼굴 인식 기반 동일 인물 재식별 기술 성능 비교표

사람 재식별(Person Re-ID)은 여러 카메라 뷰나 연속된 프레임 속에서 동일 인물이 사라졌다 다시 나타날 경우, 동일 인물을 식별하는 기술로, 감시·보안 분야에서 중요한 역할을 한다. 기존 Person Re-ID 연구는 주로 얼굴 인식에 기반해 발전했으며, CentreFace와 같은 모델은 정제된 대규모 고화질 얼굴 데이터셋을 학습해 얼굴 특징을 벡터로 변환하고 이를 비교하여 동일인 여부를 판별한다. 이러한 방식은 정면에 가까운 선명한 얼굴 이미지가 주어졌을 때 높은 성능을 보인다. 예를 들어, CentreFace는 MegaFace 벤치마크에서 65.2%의 Rank-1 정확도를 기록하였다. 그러나 실제 스토킹 범죄와 같은 비제어 환경에서는 성능이 유지되지 못한다. 실제 감시 환경을 반영한 SurvFace 데이터셋으로 검증한 결과, CentreFace의 Rank-1 식별률은 65.2%에서 29.9%로 급락해 54% 이상 저하되었으며, 이는 저해상도·모션 블러·비정면 포즈 등 열악한 이미지 품질 때문이었다. 이를 개선하기 위해 초해상도(Super-Resolution, SR) 기법이 도입되었으나, 대표 모델인 VDSR(Very Deep Super-Resolution) 적용 시에도 성능 지표 AUC는 37.3%에서 35.1%로 오히려 하락해 판별력 향상에 실패하였다. 즉, SR은 유용한 특징을 복원하지 못하고 오히려 노이즈를 생성해 성능을 저하시킬 수 있다[4]. 따라서 이러한 접근은 실제 감시·스토킹 환경의 저품질 영상에 적합하지 않으며, 얼굴 의존도를 줄이고 신체나 보행 패턴을 활용하는 사람 재식별(Person Re-ID) 방식이 요구된다[5]. 본 논문은 위와 같은 한계를 극복하기 위해 실루엣과 스켈레톤 기반 보행 패턴을 활용하는 Person Re-ID 접근을 제안한다.

III. 온디바이스 AI 기반 웨어러블 스토킹 방지 시스템

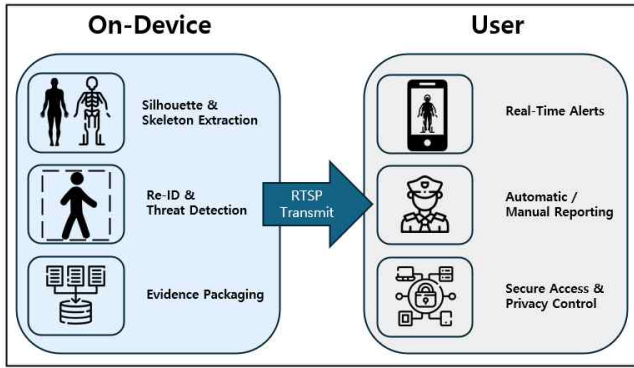


그림 2 온디바이스 AI 기반 웨어러블 스토킹 방지 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 온디바이스 AI 기반 웨어러블 스토킹 방지 시스템 구조는 그림2와 같이 구성된다. 제안하는 시스템은 웨어러블 기기에서 영상을 비식별화하여 실루엣·스켈레톤 추출, 사람 재식별 및 위협 탐지, 증거 패키징을 수행하고, 결과를 RTSP(Real Time Streaming Protocol)를 통해 사용자 앱으로 전송한다. 사용자는 앱에서 실시간 알림을 받고, 필요 시 자동·수동 신고를 실행하며, 관리자 허가를 통해 원본 영상에 접근할 수 있다. 따라서 이러한 시스템 구조를 기반으로 스토킹 상황에서 피해자 근처를 지속적으로 따라오는 스토킹범의 외형 변화(마스크, 옷)나 저해상도에서도 강건하게 탐지하기 위해 실루엣·스켈레톤 기반 보행 패턴 분석을 통한 사람 재식별(Person Re-ID) 기법을 적용한다. 기존 얼굴인식 방식은 저해상도·비정면 환경에서 성능 저하가 크므로, 본 시스템은 웨어러블 카메라를 통해 취득한 후방 영상을 실루엣·스켈레톤 추출 및 보행 패턴 임베딩으로 변환해 개체를 구분한다. 시스템은 사전에 등록된 인물의 보행 특징과 실시간 입력 영상을 비교하며, 일정 임계치 이상의 유사도가 반복적으로 검출될 경우 스토킹으로 판단한다. 사용자가 웨어러블 기기를 착용하고, 이와 연결된 CSI 카메라를 통해 후방 영상을 실시간으로 촬영한다. 영상은 GStreamer 파이프라인으로 하드웨어 가속 디코딩되어 RGB 프레임으로 변환된 뒤 추론 스레드로 전달된다. 프레임은 전처리를 거쳐 배경 제거와 인체 분할을 통해 실루엣 마스크를 생성하고, OpenPose 기반 키포인트 검출로 17개 관절 좌표를 기반으로 스켈레톤 맵을 산출한다. 60프레임 입력을 45프레임으로 샘플링해 실루엣과 스켈레톤 시퀀스를 구성한 뒤 SkeletonGait++ 모델에 입력한다. 모델은 두 모달을 융합해 256차원 보행 임베딩 벡터를 생성한다. 마지막으로, 추출된 임베딩은 데이터베이스에 등록된 ID와 코사인 유사도를 비교하여 기준 임계값 0.8 이상을 만족할 경우 동일 인물로 인식한다. 그림 3은 제안 시스템의 동작 결과를 예시적으로 나타낸 것이다. 좌측 상단 텍스트 영역에는 인식된 인물의 정보가 표시되며, 추론 결과 ID=1(안재혁)으로 인식되었고, 유사도는 89.1%, 버퍼 크기는 120/120 프레임, 스켈레톤 품질은 0.667로 기록되었다. 중앙 화면에서는 식별된 사람 영상 위에 스켈레톤 키포인트가 시각화되었으며, 우측 상단에는 해당 인체의 실루엣 마스크가 출력되었다. 이를 통해 제안 기법이 저해상도 환경에서도 안정적으로 보행 임베딩을 산출하고 동일 인물을 0.89 이상의 신뢰도로 정확히 재식별함을 확인할 수 있었다.

따라서 본 논문에서 제안한 기법은 저품질 영상 및 비정면 보행 상황에서도 동일인을 효과적으로 재식별할 수 있음을 보여준다. 특히 얼굴 기반 인식이 어려운 조건에서도 실루엣·스켈레톤 기반 보행 임베딩은 높은 강건성을 유지하며, 피해자의 후방 카메라에서 동일 인물이 마스크 착용이나 의복 변화와 같은 외형 변화를 보이더라도 보행 패턴을 통해 스토킹범을 조기에 탐지할 수 있음을 시사한다.



그림 3 SkeletonGait++을 이용한 보행패턴 인식

IV. 결론

본 논문에서는 실제 환경에서 발생할 수 있는 스토킹 상황에 대응하기 위해 온디바이스 AI 기반 웨어러블 스토킹 방지 시스템을 제안하였다. 제안 기법은 실루엣·스켈레톤 기반 보행 패턴 재인식을 활용하여, 기존 얼굴 인식 방식이 가지는 저해상도·비정면 환경에서의 취약성을 효과적으로 극복하였다. 실험 결과, 동일한 재식별 과정에서 0.89 이상의 유사도를 달성함으로써 저해상도 영상 및 비정면 보행 상황에서도 높은 강건성을 입증하였다. 그러나 현재 추론 시간이 약 1.8초로 실시간성에는 제약이 존재하였다. 이에 따라 향후 연구에서는 정확도를 유지하면서도 경량화된 최적화 모델 설계 및 하드웨어 가속 기법을 적용하여 실시간 탐지가 가능한 시스템으로 발전시키는 것을 목표로 한다. 또한 이러한 시스템의 성능은 OpenGait 등 대규모 공개 데이터셋과 자체 수집 데이터를 병행하여 검증하고, Precision, Recall, ROC-AUC 등 다양한 성능 지표를 통해 다각적으로 평가할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국 정부(MSIT)가 지원하는 IITP 지원금의 지역 지식화를 위한 혁신적 인적자원 개발 프로그램(IITP-2025-RS-2020-II201612, 25%)과 MEST가 지원하는 NRF의 우선연구센터 프로그램(2018R1A6A1A03024003, 25%), ITRC 지원 프로그램(IITP-2025-RS-2024-00438430, 25%) 및 한국 정부(과학기술정보통신부)의 지원을 받아 IITP(정보통신기술기획평가원)-ICAN(ICT Challenge and Advanced Network of HRD)의 지원을 받아 수행되었음(IITP-2025-RS-2022-00156394, 25%).

참 고 문 헌

- [1] E.-A. Sun, "A Study on the Prevention and Blockade of Stalking Crimes under the Act on the Prevention of Stalking and Protection of Victims", Public Land Law Review, vol. 109, pp. 335-358, Feb. 2025.
- [2] H.-Y. Lee, "A study on stalking crime: Case analysis and victim protection measures", M.S. thesis, Dept. of Police Administration, Soonchunhyang Univ., Asan, Republic of Korea, pp. 1-79, Feb. 2022.
- [3] S. Bhardwaj, D.-S. Kim, "Federated learning-based resource allocation for V2X communications", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 26, pp. 382-396, Jan. 2025.
- [4] Z. Cheng, X. Zhu, and S. Gong, "Face re-identification challenge: Are face recognition models good enough?", Pattern Recognition, vol. 107, pp. 1-12, Nov. 2020.
- [5] C. Fan, S. Hou, J. Liang, C. Shen, J. Ma, and D. Jin, "OpenGait: A Comprehensive Benchmark Study for Gait Recognition Toward s Better Practicality", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1-18, Jun. 2025.