

FMCW 레이더를 이용한 걸음걸이 기반 신원 식별 및 침입자 탐지 시스템

조희재, 박상윤, 이정훈, 전우진, 전민욱, 김형남*

부산대학교

*hnkim@pusan.ac.kr

Gait-Based Person Identification and Intruder Detection System Using FMCW Radar

Hui Jae Jo, Sang Yun Park, Jeong Hun Lee, Woo Jin Jeon, Min-Wook Jeon,

Hyoung-Nam Kim*

Pusan National Univ.

요 약

최근 주거 침입 범죄의 증가로 인해 많은 가정에서 CCTV (closed circuit television)를 설치하고 있다. 하지만 카메라 기반 시스템은 해킹에 따른 영상 유출과 사생활 침해의 우려가 크다는 한계를 안고 있다. 이에 반해 레이더 센서는 조명 변화와 같은 주변 환경에 영향을 받지 않으며 사생활 침해 측면에서도 제약이 없다. 이러한 장점을 바탕으로 FMCW (frequency-modulated continuous wave) 레이더로 획득한 미세-도플러 스펙트로그램을 이용해 신원 식별을 수행한다. 기존 식별에서는 SVM(Support Vector Machine)과 딥러닝이 사용되어 왔으며, 최근에는 딥러닝이 여러 측면에서 널리 채택되는 추세이다. 그러나 딥러닝 기반 식별 방식은 단일 입력의 확률 최대값으로 클래스를 즉시 결정하는 구조 탓에 짧은 관측 창이나 잡음에 취약하며 침입자를 정상 거주자로 오분류할 위험이 존재한다. 이를 보완하기 위해 본 논문에서는 딥러닝 분류기에 더해 하드보팅 기반 추론 알고리즘을 결합한다. 이는 5개의 입력에 대한 예측을 모아 다수결로 최종 클래스를 결정하고 예측에 대한 의견이 갈리는 경우 침입자로 판별한다. 실험결과, 신원식별에 대해서 93.94 %, 침입자 탐지에 대해 92.86 %의 정확도를 달성하였다. 이러한 결과를 통해 제안하는 시스템은 스마트 홈은 물론 데이터 센터, 연구 시설 등 높은 수준의 실내 보안이 요구되는 환경에서 비접촉, 사생활 보호 침입자 경보 시스템으로 활용될 수 있음을 보여준다.

I. 서 론

현대 감시 시스템은 주로 비디오 카메라를 사용하여 정보를 수집하지만, 이러한 시스템은 급격한 밝기 변화로 인한 화질 저하 및 해킹에 따른 개인 정보 유출 같은 근본적 한계를 지닌다. 특히 프라이버시 보호가 요구되는 실내 공간에서는 사용이 크게 제한된다. 반면에 레이더를 이용하는 시스템은 시각 정보를 수집하지 않아 프라이버시를 보호하면서 조명 환경이나 시야 가림에 영향을 받지 않는다. 이러한 특성에 기반해 FMCW(frequency - modulated continuous wave) 레이더로 획득한 미세-도플러 스펙트로그램을 활용해 신원 식별을 수행한다. 신원 식별에는 다양한 접근이 존재하며, FMCW 기반 분류 연구에서는 SVM(Support Vector Machine) 기반 방법도 사용되어 왔지만 최근에는 딥러닝이 성능과 실용성 측면에서 널리 채택되는 추세다. 하지만 딥러닝 기반 분류는 단일 입력의 소프트맥스 출력의 최대값으로 클래스를 즉시 결정하는 구조

탓에 짧은 관측 창이나 잡음에 취약하며 침입자를 정상 거주자로 오분류할 위험이 있다 [1]. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 하드 보팅 기반 추론 알고리즘을 제안한다. 5개의 입력에 대해 분류기의 예측을 모아 다수결로 최종 클래스를 결정함으로써 순간 잡음에 의한 오분류를 줄이고, 예측 의견이 갈리는 경우에는 침입자로 판단하여 탐지까지 가능하게 한다. 또한, 직접 실측한 데이터에 대한 모의실험을 통해 제안한 알고리즘의 신원 식별 및 침입자 탐지 정확도를 확인하였다.

II. 본 론

2.1 신경망

합성곱 신경망은 입력 이미지에서 다중 계층의 필터를 통해 특징을 추출하고, 추출된 특징을 기반으로 분류를 수행하는 딥러닝 모델이다. ResNet은 잔차 연결(residual connection)을 도입한 합성곱 신경망 계열 아키텍



그림 1. 제안하는 신원 식별 및 침입자 탐지 알고리즘

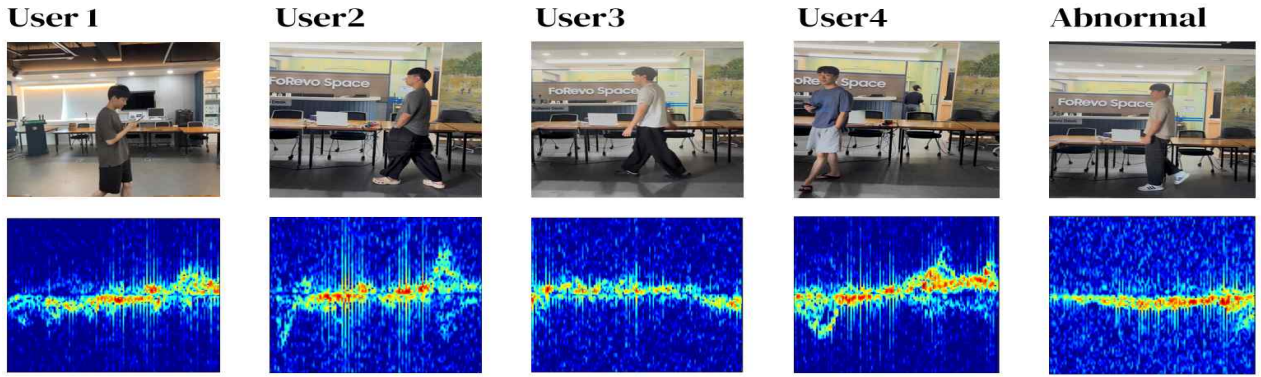


그림 2. 데이터 예시

Normalized Confusion Matrix					
True	JWJ	PSY	LJH	JHJ	abnormal
	97.37%				2.63%
		100.00%			
	10.53%		81.58%		7.89%
				100.00%	
				7.14%	92.86%
Predicted					

그림 3. 혼동 행렬

처로, 깊은 네트워크에서의 기울기 소실을 완화한다. 그중 ResNet-18은 18개의 가중치 계층으로 구성되어 학습 파라미터 수가 비교적 적으면서도 복잡한 미세-도플러 패턴을 안정적으로 학습할 수 있다. 이에 본 논문에서는 ResNet-18을 기본 분류기로 적용하여 정상 거주자의 신원을 식별하였다.

2.2 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 그림 1과 같이 하드 보팅 기반 알고리즘을 도입해 최종 클래스를 결정하고 침입자를 판별한다. 하드 보팅이란 분류기의 예측값들을 다수결 투표해 가장 많은 표를 얻은 예측값을 최종 예측값으로 결정하는 방식이다 [3]. 구체적으로 7.5 초 길이의 레이더 신호에서 윈도우를 2.5 초로 1.25초 간격으로 슬라이딩하여 총 5장의 데이터로 분할한 뒤, 각 윈도우의 STFT 스펙트로그램을 사람별 걸음걸이 특징을 학습한 ResNet에 입력한다. 다섯 번의 예측 결과 가운데 동일 클래스가 3회 이상 반복되면 해당 클래스를 최종 식별 결과로 확정하고, 다수가 클래스 5로 분류되거나 동일 클래스가 3회 미만으로만 나타나는 경우에는 침입자로 판정하도록 알고리즘을 설계하였다.

III. 모의실험

데이터는 TI AWR1642 FMCW 레이더 모듈을 이용해 그림 2와 같이 직접 수집하였다. 수집된 원신호는 Matlab에서 스펙트로그램 형태로 변환한 뒤 제로 도플러 부근 성분을 제거하였다. 정상 거주자 4명의 데이터는 총 3360개, 침입자 후보 6명의 데이터는 총 504개의 비정상 샘플을 확보하였다. 학습 단계에서는 비정상 샘플 가운데 2명의 데이터만 사용하고 나머지 4명의 비정상 데이터는 테스트용으로 사용하였다. 최종 레이블 체계는 정상 4 클래스와 침입자 1 클래스로 총 5 클래스로 정의하였다.

선정된 데이터의 80 %를 학습용, 10 %를 검증용, 10 %를 테스트용으로 분할하고, ResNet-18 모델을 사용해 학습을 수행하였다. 하이퍼파라미터는 Adam 옵티마이저(초기 학습률 1×10^{-3}), mini-batch 16, 30 epoch로 설정하였다 [4]. 그림 3은 테스트 평가 결과를 나타낸 혼동 행렬이다. 결과를 보면 정상 클래스는 93.94 %의 정확도를 나타냈으며, 침입자 (Abnormal) 탐지 정확도는 92.86 %를 기록하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 FMCW 레이더 기반 걸음걸이 스펙트로그램과 ResNet-18 기반 신경망을 활용한 구성원 식별 및 침입자 감지 시스템을 제안하였다. 제안된 모델은 4명의 정상 구성원과 이상 클래스 데이터를 학습하여, 하드 보팅 기반 알고리즘을 통해 정상 93.94%, 이상 92.86%의 정확도를 달성하였다. 향후에는 데이터 증강과 위치 시각화를 통해 실시간 정보 시스템으로의 확장을 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

Put sponsor acknowledgments.

참고 문헌

- [1] Baptist Vandersmissen et al., "Indoor Person Identification Using a Low-Power FMCW Radar.", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (TGRS), 2018.
- [2] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- [3] Hanan Ghali Jabbar et al., "Advanced Threat Detection using Soft and Hard Voting Techniques in Ensemble Learning.", Journal of Robotics and Control (JRC), 2024.
- [4] D. P. Kingma and J. Ba, "ADAM: A Method for stochastic optimization. ", International Conference on Learning Representations (ICLR), 2015.