

# 웨어러블 디바이스 착용자의 신변 보호를 위한 PPG 신호 처리 및 위협 감지 알고리즘 개발

유소희<sup>1</sup>, 황규원<sup>2</sup>, 유재현<sup>3</sup>

<sup>1</sup>성신여자대학교 서비스디자인공학과 학부생

<sup>2</sup>성신여자대학교 AI융합학부 학부생

<sup>3</sup>성신여자대학교 AI융합학부 교수

20200867@sungshin.ac.kr, 20211421@sungshin.ac.kr, jhyoo@sungshin.ac.kr

## Threat Detection Algorithm for Wearable Device User based on PPG Signal Processing

Sohee Yoo<sup>1</sup>, Gyuwon Hwang<sup>2</sup>, Jaehyun Yoo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Services and Design Engineering, Sungshin Women's University

<sup>2</sup>School of AI Convergence, Sungshin Women's University

<sup>3</sup>School of AI Convergence, Sungshin Women's University

### 요약

웨어러블 디바이스 착용자의 PPG 신호 데이터로 위협 상황을 감지하는 알고리즘을 개발한다. 본 논문에서는 외부 환경에 예민한 PPG 센서에 최적화된 전처리 알고리즘을 제안하고 긍정 및 부정 영상 시청 실험을 통해 얻은 PPG 신호 데이터를 이용하여 위협 상황과 안전한 상황을 구분하는 정확도 96.87%의 1D-CNN 모델을 개발한다.

### 1. 서론

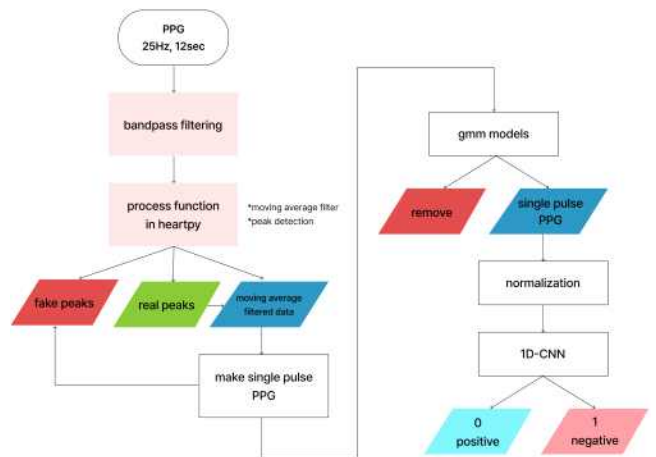
최근 웨어러블 기기는 건강상태를 파악하는 데 활용되고 있다. 특히 PPG는 빛을 이용하여 심박수, 산소포화도, 혈압 등을 측정하며 이를 활용한 감성 인식 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

본 연구는 웨어러블 기기에서 수집된 PPG 신호의 노이즈를 효과적으로 제거하는 기술과 단일 채널 PPG 신호를 사용하여 1D-CNN 모델을 통해 사람의 감정을 분석하여 위협상황임을 감지하는 기술을 제안하고자 한다.

### 2. PPG 신호 전처리 및 위협 감지 알고리즘

PPG 센서의 경우 움직임이나 외부 환경 등의 영향을 쉽게 받아 부정확한 신호를 제거할 필요성이 있으므로 대역 통과 필터를 사용하여 이를 제거한다 [1]. PPG 신호 데이터는 긍정 및 부정영상에 따라 파일을 나누어 모든 PPG 데이터를 저장한 뒤 데이터를 12초 단위로 나눈다. 나뉜 데이터는 특정 주파수 성분을 추출하기 위해 차단 주파수 0.5Hz부터 8Hz를 가진 대역 통과 필터(Band-pass filter)를 거친다. 노이즈로 인한 PPG 신호의 피크 검출 어려움 문제를 해결하고자 피크 수를 기반으로 유효 데이터

를 판단한다. 이 과정을 거친 12초 단위의 유효 데이터 내에서 피크를 검출하고, 측정된 피크를 중심으로 13개 이전 및 14개 이후의 신호를 추출하여 1.1초 범위를 나타내는 특성 벡터로 변환한다[2].



(그림 1) PPG 신호 전처리 과정과 예측 알고리즘 시각화.

또한, 신호에서 긍정 및 부정 감정의 특징을 파악하기 위해 가우시안 혼합 모델(GMM)을 학습한다. 긍정 및 부정 감정 피크에 대해 각각의 GMM 모델을 구축한 후, 이를 이용하여 피크를 긍정 또는 부정 감정으로 분류한다. 별도로 학습된 모델의 결과에서 한 벡터가 어느 감정에도 속하지 않으면 이상

치로 판단 후 제거하고 최소-최대 정규화를 거쳐 전처리를 완료한다. 테스트 데이터의 경우 피크 개수를 통해 유효 데이터를 판단하는 과정을 거치지 않고, 대역 통과 필터만 사용하여 시계열을 유지하고 GMM을 통한 피크 특징만을 추출한다. 이후 훈련 데이터와 테스트 데이터를 일정 비율로 나누어 PPG 신호 학습에 최적 모델인 1D-CNN 모델의 학습에 사용한다[2].

<표 1> PPG 신호를 학습한 1D-CNN 모델 구조

Layer(type)	Shape	
	Input	Output
Input (Input Layer)	[(None, 27, 1)]	[(None, 25, 32)]
conv1d_0 (Conv1D)	(None, 25, 32)	(None, 25, 32)
conv1d_1 (Conv1D)	(None, 25, 32)	(None, 23, 32)
max_pooling1d_0 (MaxPooling1D)	(None, 23, 32)	(None, 11, 32)
conv1d_2 (Conv1D)	(None, 11, 32)	(None, 9, 32)
conv1d_3 (Conv1D)	(None, 9, 32)	(None, 7, 32)
max_pooling1d_1 (MaxPooling1D)	(None, 7, 32)	(None, 3, 32)
Conv1d_4 (Conv1D)	(None, 3, 64)	(None, 1, 64)
flatten (Flatten)	(None, 1, 64)	(None, 64)
dense (Dense)	(None, 64)	(None, 8)
dropout (Dropout)	(None, 8)	(None, 8)
dense_1 (Dense)	(None, 8)	(None, 4)
dropout_1 (Dropout)	(None, 4)	(None, 4)
dense_2 (Dense)	(None, 4)	(None, 1)
dropout_2 (Dropout)	(None, 1)	(None, 1)

마지막 출력 layer를 제외한 모든 layer에서 ReLU 활성화 함수를 사용하였다. 마지막 출력값은 감정 정도를 측정하기 위해 sigmoid 함수를 사용한다.

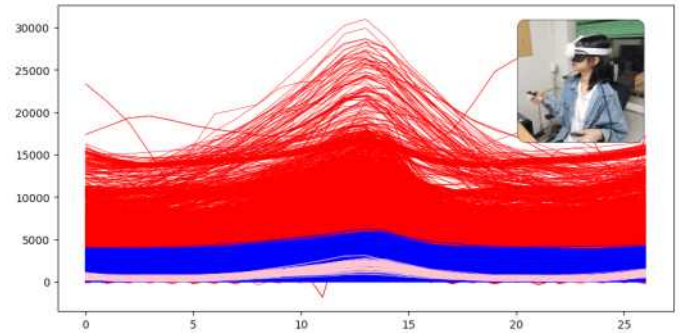
### 3. 실험 결과

연구에 사용된 데이터 셋의 경우 피험자가 긍정적인 영상과 부정적인 영상을 보는 각각의 PPG 신호를 수집하였다. 실험에 참여한 20대 여성 12명은 1시간 30분으로 구성된 긍정 영상을 시청했고, 이후 1세트가 10~20분으로 이루어진 5세트의 부정 영상을 시청했다. PPG 신호는 갤럭시 워치5를 참가자들의 손목에 착용시켜 자체 개발한 어플로 수집하였다.

실험에서 수집된 PPG 신호 데이터는 전처리 후 81,270개의 피크로 구성된다. 이 중 39,609개는 부정 피크, 41,661개는 긍정 피크이며 전체 데이터 중 랜덤한 20%가 테스트에 사용되었다. 1D-CNN 모델은 0.01의 learning rate와 50번의 epoch를 통해 학습 결과 정확도 96.87%의 성능을 보여준다.

그림 2는 20대 여성이 VR 기기로 긍정적인 영상을 시청하면서 얻은 PPG 신호의 피크를 분홍색으로 시각화한 것이다. 긍정 및 부정 영상을 시청한 데이

터에 전처리 알고리즘을 적용하여 파란색과 빨간색으로 표시된 결과를 배경으로 한다.



(그림 2) train 데이터와 vr 테스트 데이터 시각화.

전처리 결과 분홍색은 예상대로 파란색 피크 범위에 포함된 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문은 PPG 신호의 노이즈 처리를 위한 알고리즘 개발과 웨어러블 기기 착용자의 PPG 데이터를 활용하여 위협상황임을 판단하는 1D-CNN 모델의 성능을 평가하였다. 그 결과 정확도 96.87%로 최적의 모델을 구축하였고, PPG 신호만을 사용하여 인간의 감정을 분류할 수 있음을 확인하였다. 다만 감정은 복잡하기 때문에 위협상황과 부정적인 감정은 다를 수 있다. 향후 연구에서는 Valence-arousal 감정 차원을 도입하여 더 정확한 감정을 이해하고, 다양한 위협 시나리오를 설계하여 실생활에 적용할 수 있도록 해야 한다.

### ACKNOWLEDGEMENT

이 논문은 경찰청이 지원한 '사회적 약자 보호 강화 기술 개발(www.kipot.or.kr)'의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다. [과제명: 저전력 복합측위, 근접탐색 기술 기반 범죄피해 안전조치 대상자 위치추적 통합관제 플랫폼 개발 / 과제번호: RS-2023-00236101]

### 참고문헌

[1] Pollreisz, D., TaheriNejad, N., "Detection and Removal of Motion Artifacts in PPG Signals", Mobile Netw Appl 27, pp 728 - 738, 2002.  
 [2] Lee, Min, Lee, Yun, Pae, Dong, Lim, Myo Taeg, Kim, Dong Won, Kang, Tae-Koo. "Fast Emotion Recognition Based on Single Pulse PPG Signal with Convolutional Neural Network", Appl. Sci. 9, 3355, pp 1-11, 2019.