

CNN을 이용한 FSR 센서 기반 수면 자세 분류

송채영¹, 이강현¹, 조현호¹, 최상호^{1*}

광운대학교 컴퓨터정보공학부¹

Sleep posture classification based on FSR sensor using CNN

Chaeyoung Song¹, Kanghyun Lee¹, Hyeonho Jo¹, Sang Ho Choi^{1*}

School of Computer and Information Engineering, Kwangwoon University, Korea

*Shchoi@kw.ac.kr

Abstract

Monitoring sleep posture is essential for identifying potential health risks, improving sleep quality, and preventing conditions such as musculoskeletal pain, respiratory issues, and sleep-related disorders. Patchy devices, the existing sleep monitoring method, cause inconvenience to sleep, and the camera has several limitations such as concerns about invasion of privacy. To solve this problem, using the Force Sensitive Resistor (FSR) sensor, it is possible to effectively distinguish four sleeping postures of supine, left, right, and prone with only some sensors, not the entire bed. In this study, we propose Convolutional Neural Networks (CNN) model for classifying sleep posture using 28 FSR sensors installed on a bed. The experiment was conducted on 60 adults, and the weight difference between participants was normalized through z-score method. The model proposed in this study achieved an accuracy of 82% for the four-class classification of supine, left lateral, right lateral, and prone positions, and an accuracy of 86.44% for the three-class classification, where the supine and prone positions were combined.

1. 연구 배경

최근 압력 감지 센서 Force Sensitive Resistor(FSR)을 기반으로 한 수면 자세 분류 기술이 주목받고 있다. 특히, 장기간 침대에 누워 있는 환자들에게는 압력 궤양 또는 욕창으로 불리는 pressure sore가 쉽게 발생할 수 있으며, 이는 적절한 자세 변경이 이루어지지 않을 때 발생한다. 욕창의 예방 방법은 환자의 자세를 수동으로 정기적으로 변경하는 것이지만, 이 방법은 인력이 많이 소요된다. 따라서 자동으로 수면 자세를 인식하고 조정할 수 있는 장비의 필요성이 대두되고 있다.[1]

현재 수면 자세 인식 기술은 크게 세 가지로 나눌 수 있다: 1) 머신 비전 기반 기술, 2) 착용형 동작 센서 기반 기술, 3) 외부 압력 센서 기반 기술. 머신 비전 기술은 많은 연구에서 성공을 거두었지만, 넓은 영역이 가려지는 상황에서는 정상적으로 작동하기 어렵다. 착용형 센서는 사용자가 착용해야 하므로 불편함을 초래할 수 있다. 반면, 외부 압력 센서는 침대에 간단히 장착하여 신호를 수집할 수 있어 이러한 문제에서 자유롭다. 따라서 외부 압력 센서를 기반으로 한 수면 자세 인식 기술이 더 큰 응용 가능성을 가지고 있다.[2][3]

FSR기반 수면 자세 인식 연구가 활발히 진행되고 있으며, 무구속 모니터링의 이점도 강조되고 있다. 유연한 압력 센서를 매트리스에 내장함으로써, 다양한 신체 부위에서 압력 분포에 대한 포괄적인 데이터를 수집할 수 있으며, 이로 인해 사용자 편안함을 유지할 수 있다. 이 비침습적 접근 방식은 불편함을 줄일 뿐만 아니라 추가 장치를 착용하지 않아도 되므로 개인 정보에 대한 우려를 완화한다.[2]

본 연구에서는 28개의 압력 센서를 사용하여 수면 자세를 분류하고, 정상 자세, 왼쪽으로 누운 자세, 오른쪽으로 누운 자세, 및 엎드린 자세 등 네 가지 자세를 구분한다.

2. 연구 방법

실험 환경은 침대 매트리스 위에 설치된 FSR 센서 배열을 기반으로 하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이, FSR 센서

배열은 4개의 채널에 각각 7개의 센서가 장착되어 있어, 총 28개의 FSR 센서가 수면 자세를 실시간으로 모니터링할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해 정상 자세, 왼쪽으로 누운 자세, 오른쪽으로 누운 자세, 엎드려 누운 자세 등 4가지 구체적인 자세를 측정하였으며, 각 자세는 15분 동안 기록되어 총 1시간의 데이터 수집이 이루어졌다. FSR 센서 데이터는 초당 10프레임(fps)으로 수집되었다.

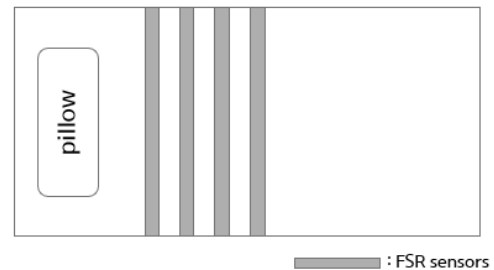


그림 1. 실험 환경

총 60명의 성인 피험자(남성 40명, 여성 20명)가 실험에 참여했다. 각 피험자는 지정된 자세를 취하도록 안내 받아 데이터 수집 과정의 일관성을 보장하였다.

본 연구는 광운대학교 기관윤리위원회의 승인을 받아 실시하였다 (IRB no. 7001546-202300831-HR(SB)-008-03).

피험자 간의 신체 체중 차이를 줄이기 위해 수식 1, z-score 기법을 적용하였다.

$$z = \frac{(X - \mu)}{\sigma}$$

수식 1. Z-score

그림 2는 FSR 센서 배열에서 수집된 데이터에 z-score 정규화 기법을 적용한 결과이다. 데이터는 4개의 채널로 구성되어 있고, 각 채널에는 7개의 센서가 포함되어 있어 총 4x7

의 크기로 이루어져 있다. 그림 2의 왼쪽은 원본 데이터, 오른쪽은 z-score 방법을 적용하여 정규화 된 데이터를 나타낸다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 정규화를 통해 피험자의 체중의 영향을 줄일 수 있다.

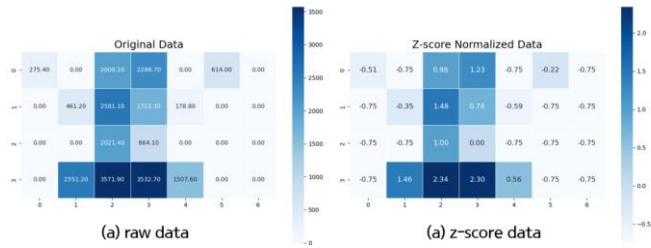


그림 2. FSR 측정 데이터 시각화
(a) raw data, (b) z-score data

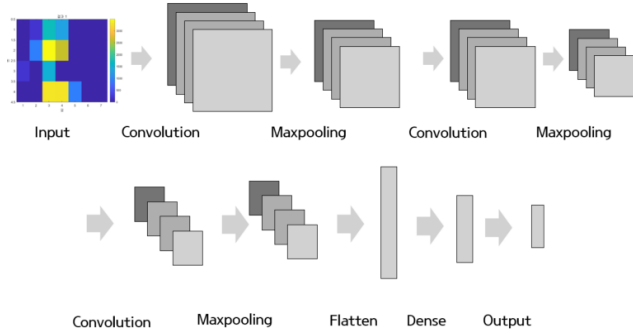
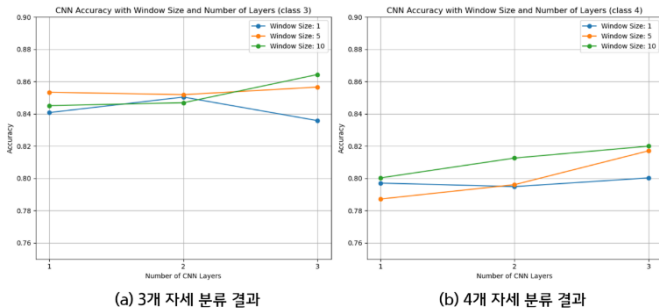


그림 3. 수면 자세 분류 CNN 모델 구조

본 연구에서 제안한 2D CNN 모델의 구조는 그림 3과 같다. 모델은 3개의 convolution layer로 구성되어 있다. 첫 번째 layer에는 16개의 필터가 있고 그 다음에는 32개 및 64개의 필터가 있는 layer가 있다. 각 convolution layer는 커널 크기 2x2와 stride 1을 사용하며 입력의 공간 차원을 유지하기 위해 패딩이 적용된다. 각 convolution layer 다음에는 2x2 Max Pooling layer가 다운샘플링에 사용된다. Dense block은 64, 32, 16개 단위로 구성된 fully connected layer로 구성되어 최종적으로 4개의 class의 분류 출력으로 이어진다.

3. 연구 결과

60명의 참여자로부터 데이터를 수집하였고, 그 중 불완전하거나 오류가 있는 데이터를 제외하고 50명을 데이터 분석에 사용했다. 이 데이터 세트 내에서 10명의 데이터는 test dataset으로, 40명의 데이터를 train의 dataset으로 활용했다.



(a) 3개 자세 분류 결과 (b) 4개 자세 분류 결과

그림 4. 윈도우 크기에 따른 모델 정확도

(a) 3개 자세 분류 결과, (b) 4개 자세 분류 결과

그림 4는 CNN 레이어 수(1, 2, 3 레이어)의 변화와 함께 1초,

5초, 10초의 window 크기를 사용하여 데이터 세트 생성을 기반으로 한 정확도를 비교한 것이다. 그림의 왼쪽은 정자세, 왼쪽, 오른쪽으로 누운 자세 이렇게 세 가지 클래스로 분류한 결과이며, 그림의 오른쪽은 엷드린 자세를 포함한 네 가지 클래스로 분류한 결과이다. 3개의 클래스만을 구분하고, 10초의 윈도우 크기가 3개의 레이어 모두를 사용했을 때 약 86.44%의 성능을 보이는 것을 확인할 수 있으며, 같은 조건에서 4개의 클래스의 경우 약 82%의 성능을 보였다.

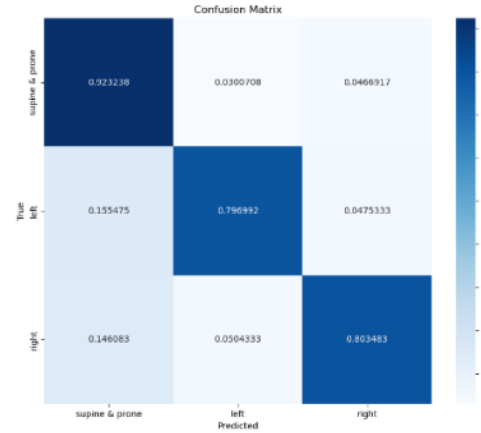


그림 5. Confusion matrix result

그림 5는 그림 4에서 가장 좋은 성능을 보인 분류 결과에 해당하는 모델에 대한 confusion matrix이다. 윈도우 사이즈를 10초, convolution layer를 3개층을 사용하고, 정자세와 엷드린 자세를 합쳐 3개의 class로 분류했을 때 가장 최적의 성능을 보였다.

4. Acknowledgements

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업과 (IITP-2024-RS-2022-001562-25) 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (P0017124, 2024년 산업혁신인재성장지원사업)

5.참고 문헌

- [1] Georges Matar, Jean-Marc Lina and Georges Kaddoum, "Artificial neural network for in-bed posture classification using bed-sheet pressure sensors", IEEE journal of biomedical and health informatics, vol. 24, no. 1, pp. 101-110, 2019.
- [2] Gao, H.; Wei, D.; Yang, F. Recognition of Human Sleep Pressure Posture Image Using Deep Residual Networks. In Proceedings of the 2022 4th International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE), Shenzhen, China, 27–29 May 2022; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: Piscataway, NJ, USA, 2022; pp. 164–169, ISBN 978-1-6654-9848-7.
- [3] Q. Wan, H. Zhao, J. Li, and P. Xu, "Human Sleeping Posture Recognition Based on Sleeping Pressure Image," IEEE Sensors Journal, vol. 23, no. 4, pp. 4069-4077, Feb. 15, 2023.