

다중 압력분포 기반의 착석 자세 분류를 위한 CNN 모델 구현

서지윤¹, 노윤홍², 정도운^{1*}

¹동서대학교 컴퓨터공학과, ²부산디지털대학교 컴퓨터공학과

Implementation of CNN Model for Classification of Sitting Posture Based on Multiple Pressure Distribution

Ji-Yun Seo¹, Yun-Hong Noh², Do-Un Jeong^{1*}

¹Department of Computer Engineering, Dongseo University

²Department of Computer Engineering, Busan Digital University

요약 근골격 질환은 착석 자세로 업무 및 학업을 장시간 진행하거나 잘못된 자세 습관으로 발생하는 경우가 많다. 일상생활에서 근골격 질환을 예방하기 위해서는 실시간 착석자세 모니터링을 통해 잘못된 자세를 바른 자세로 유도하는 것이 가장 중요하다. 본 논문에서는 의자에 밀착된 착석 정보를 무 구속적으로 검출하기 위하여 다채널 압력센서 기반의 자세 측정 시스템과 사용자의 착석 자세 분류를 위한 CNN 모델을 제안한다. 제안된 CNN 모델은 착석 자세 정보를 기반으로 압력분포에 따른 사용자의 5가지 자세 분석이 가능하다. 필드테스트를 통한 자세 분류 신경망의 성능평가를 위하여 10명의 피실험자를 대상으로 분류결과에 대한 정확도, 재현율, 정밀도 및 조화 평균을 확인하였다. 실험 결과, 99.84%의 accuracy, 99.6%의 recall, 99.6%의 precision, 99.6%의 F1을 확인하였다.

• 주제어 : 근골격 질환, 자세 교정, 압력분포, 실시간 모니터링, CNN

Abstract Musculoskeletal disease is often caused by sitting down for long period's time or by bad posture habits. In order to prevent musculoskeletal disease in daily life, it is the most important to correct the bad sitting posture to the right one through real-time monitoring. In this study, to detect the sitting information of user's without any constraints, we propose posture measurement system based on multi-channel pressure sensor and CNN model for classifying sitting posture types. The proposed CNN model can analyze 5 types of sitting postures based on sitting posture information. For the performance assessment of posture classification CNN model through field test, the accuracy, recall, precision, and F1 of the classification results were checked with 10 subjects. As the experiment results, 99.84% of accuracy, 99.6% of recall, 99.6% of precision, and 99.6% of F1 were verified.

• Key Words : Musculoskeletal disease, Posture correction, Pressure distribution, Real-time monitoring, CNN

Received 25 April 2020, Revised 05 May 2020, Accepted 26 June 2020

* Corresponding Author Do-Un Jeong, Department of Computer Engineering, Dongseo University, 47, Jurye-ro, Sasang-gu, Busan, Korea.
E-mail: dujeong@dongseo.ac.kr

I. 서론

대부분의 시간을 업무와 학업 등으로 좌식생활을 보내고 있는 현대인들에게 근골격계 질환의 발병률이 높아지고 있다. 근골격계 질환은 착석 자세로 업무 및 학업을 장시간 진행하거나 잘못된 자세 습관으로 발생하는 경우가 많다[1]. 장시간 앉아있을 경우 바른 자세 일지라도 서 있는 자세보다 3배, 누워 있는 자세보다 7배 이상 허리에 부담을 준다. 하지만 대부분의 현대인들은 잘못된 자세 및 장시간 앉아 있을 경우 척추에 무리를 주고 근골격계 질환, 당뇨, 비만, 등 각종 질환을 가져온다는 사실을 인지하고 있지만 이를 간과하고 있는 경우가 많다. 또한 잘못된 자세는 신체적 문제뿐만 아니라 낮은 집중력으로 인해 산만, 주의력결핍 등의 정서적 문제로 이어질 수 있기 때문에 업무 및 과제에 대한 효율성과 성과를 위해서는 착석 습관 개선을 통한 바른 자세 유지가 필수적으로 요구된다. 본 논문에서는 의자에 밀착된 사용자의 착석 정보를 무구속적으로 검출하기 위하여 다채널 압력센서 기반의 자세 측정시스템과 사용자의 착석 자세 분류를 위한 CNN 모델을 제안한다. 제안된 자세 측정 시스템은 방식형태로 설계되어 의자 및 소파와 같은 전통적인 착석 제품에 적용이 가능하며, 무구속적으로 착석 정보 측정이 가능하기 때문에 일상생활에서 사용하기 용이하다. 또한, CNN 모델을 활용하여 착석 자세에 따른 압력분포를 기반으로 정자세를 포함한 5가지 착석 자세 분석이 가능하다.

II. 관련 연구

기존 사용자의 착석 자세 계측 및 모니터링을 위한 연구로는 로드셀[2], 압력 센서[3], 가속도 센서[4] 등을 이용하여 착석자의 무게 중심 및 기울기를 산출 후 자세를 분석하는 전통적인 수치 기반의 알고리즘 방식과 키넥트 센서 및 카메라를 이용하여 착석 자세에 따른 신체 기울기 및 각도를 3차원 상에서 연산 및 모션을 캡처하여 착석 자세를 분석하는 영상처리, 이미지 분석 그리고 컴퓨터 비전에 관한 연구들이 수행되어 왔다[5,6]. 하지만 기존 연구 대부분은 구속적인 측정 방식과 단순 모니터링 기능만 있으며, 컴퓨터 비전의 경우 측정을 위하여 피사체 몸에 부착된 여러 개의 모션 추적 카메라와 마커로 구성된 고비용 및 고성능의

계측 환경이 필요하기 때문에 일상생활에서 개인이 사용하기는 용이하지 않다. 최근에는 컴퓨팅 성능, 빅 데이터, 클라우드 서비스 등이 발전함에 따라 사용자의 무게, 기울임, 생체신호 등 단편적인 정보를 바탕으로 사용자 착석 자세 정보를 분석 및 모니터링 하는 기존 연구에서 발생하는 문제점들을 해결하기 위하여 딥러닝을 활용한 연구 방법들이 수행되고 있다[7]. 딥러닝은 여러 비선형적인 변환기법의 조합을 통해 다량의 데이터나 복잡한 자료들 속에 핵심적인 내용 또는 특징을 분석하는 기법으로 컴퓨터 비전, 음성인식, 자연어 처리 등 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 특히, 딥러닝에서 가장 널리 사용되는 CNN(convolutional-neural-network) 모델[8]은 여러 개의 작은 합성곱 필터가 입력된 데이터 위를 돌아다니며 특징을 추출하는 동작을 하며, 기존 패턴인식 및 영상처리 기술과는 다르게 별도의 추가적인 검출 과정이 필요하지 않고 적은양의 데이터만으로 높은 정확도의 특정 패턴을 검출할 수 있다. 본 논문에서는 무구속적인 상태에서 착석자의 체중 정보를 기반으로 무게 중심 분포를 통해 착석자의 자세 변화를 분석을 위하여 다채널의 압력센서와 CNN 모델을 활용하여 착석 자세에 따른 압력분포를 분석하는 연구를 수행하였다.

III. 자세 분류를 위한 2D CNN 모델 설계

3.1 압력분포 기반의 데이터 세트 구성

본 논문에서는 사용자의 착석 자세 분류가 가능한 CNN 모델 훈련을 위한 데이터 세트 구성을 위하여 다채널 압력센서 기반의 자세 분석 시스템을 구현하였으며, 피실험자 5명을 대상으로 5가지 착석 자세(정자세, 좌기울임, 우기울임, 앞기울임, 뒤기울임)에 따른 압력분포를 측정하였다. 자세 분석 시스템은 착석자세의 압력분포 측정을 위하여 총 30개의 PCB 타입의 압력센서(QA3040P, Marveldex Co.)를 6x5 array형태로 구성된 계측부와 ATmega 328 기반의 프로미니 보드를 사용한 제어부로 구성되어 있다. 표 1에 데이터 세트 구성을 위한 피실험자 프로토콜과 그림 1에 구현된 자세 분석 시스템의 구성도를 나타내었다.

Table 1. Information of the subjects participating in the experiment

Configuration	Information
Number of subjects	5
Gender	M:3, F:2
Age	25.3 ± 1.8
Height	170.1 ± 4.58
Weight	58.7 ± 6.5

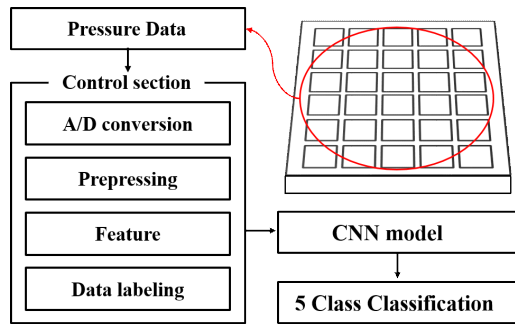


Fig. 1. Configuration of the entire system

초기에 계측된 압력 데이터는 압력센서로부터 30개의 압력 값이 시계열로 구성되어 있다. 따라서 2D CNN 모델에 사용하기 위해서는 이미지 형태로 변환이 필요하다. 최종적인 압력분포 이미지 구성을 위하여 시계열 압력 데이터를 0~100으로 정규화 과정을 수행하였으며, 6x5 사이즈의 히트맵 이미지로 변환하였다. 이후, 변환된 이미지에 쌍선형 보간법을 적용하여 600x500 사이즈의 확장된 히트맵 이미지를 생성하였다. 쌍선형 보간법은 수식 1과 같이 수직선상에 있는 두 점 사이에 존재하는 임의의 값을 산출하기 위한 선형 보간법을 2차원적으로 확장하여 계산한 것으로 평면을 이루는 네 꼭지점 안에 있는 임의의 위치 값을 산출하여 데이터에 나타나지 않은 임의의 데이터를 추정하기 용이하다. 최종적으로 보간법이 적용된 이미지를 이진 gray 과정을 거쳐 자세 분류를 위하여 각 클래스별로 2,000개씩 총 10,000개의 착석 자세 이미지를 데이터 세트로 사용하였다. 그림 2에 쌍선형 보간법을 이용한 최종 압력분포 생성 일례를 나타내었으며, 그림 3에 훈련 데이터의 전처리 과정 일례를 나타내었다.

$$A = a_{12}(1-x) + a_{13} * x \tag{1}$$

$$B = a_7(1-x) + a_8 * x$$

$$C = a_{12}(1-y) + a_{13} * y$$

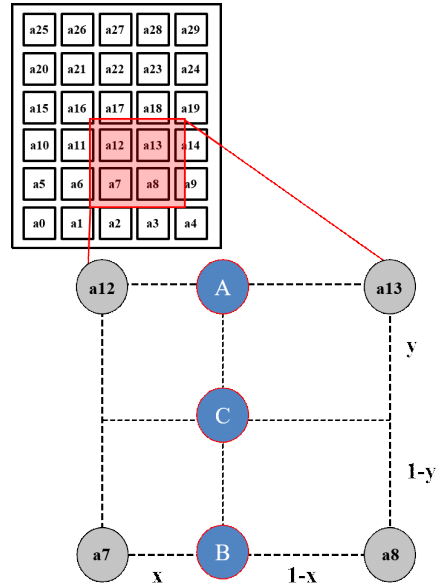
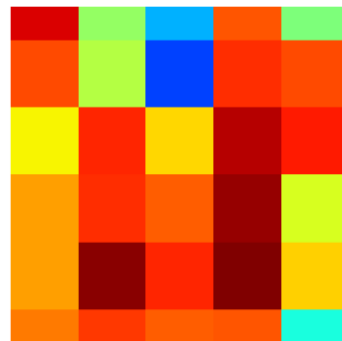


Fig. 2. An example of creating a pressure distribution using bilinear interpolation

```
[[ 92, 53, 30, 82, 50],
 [ 83, 57, 19, 86, 83],
 [ 65, 87, 68, 95, 88],
 [ 74, 86, 81, 98, 61],
 [ 74, 99, 87, 100, 69],
 [ 78, 85, 81, 82, 38]]
```

1 step : Pressure distribution array data



2 step : Array data visualized image

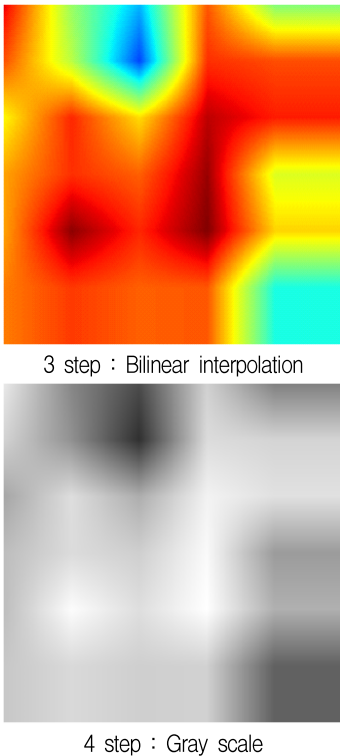


Fig. 3. Example of the preprocessing training dataset

3.2 자세 분류를 위한 CNN 기반의 훈련 모델

본 논문에서는 사용자의 착석 자세에 따른 입력분포를 기반으로 자세 분류를 위하여 CNN 모델을 활용하였다. 구현된 신경망은 합성곱, 풀링을 포함한 6개의 합성곱 레이어와 3개의 Dense 레이어로 구성되어 있다. 합성곱 레이어는 3x3 크기의 특징 맵을 통해 입력 데이터의 특징을 추출하며, 출력단의 활성화함수로 ReLU 함수를 활용하였다. Dropout을 사용하여 학습의 효율, 과적합, 경사 소실 문제를 해결하였다. Dense 레이어는 이전 레이어와 연결 및 최종 출력 역할을 하며, 출력 함수로 softmax 함수를 사용하였다. 딥러닝 모델 훈련 환경으로 CPU는 Intel i5-9400F, GPU는 GTX 1060 6GB, OS는 Windo 10 Pro, Cuda는 10.0 ver., 그리고 1.15.0 ver.의 Tensor를 사용하였다. 또한, 오버피팅을 예방하기 위하여 early stop 기능을 추가하였다. 마지막으로, 모델 검증을 위한 데이터세트의 훈련데이터와 검증데이터의 비율을 9:1로 설정하여 훈련을 진행하였다. 구현된 신경망의 구조를 그림 4에 나타내었으며, 표 2에 훈련 모델의 파라미터와 그림 5에 훈련의 결과를 나타내었다.

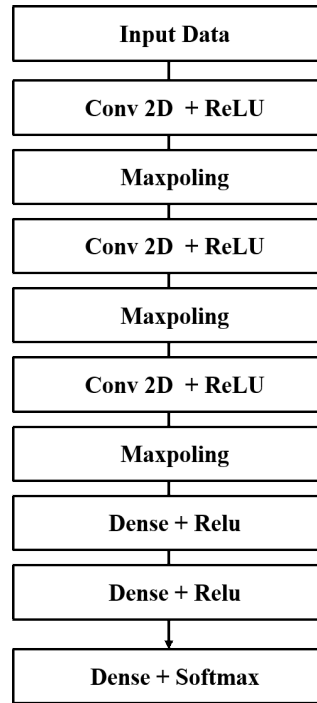
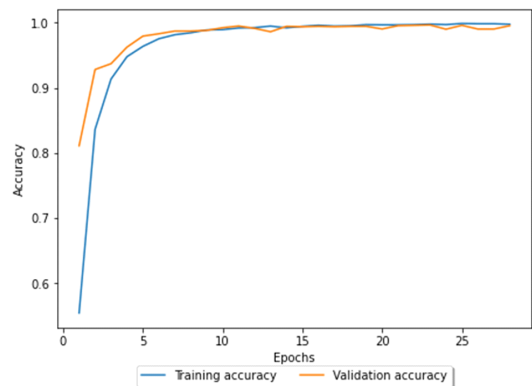


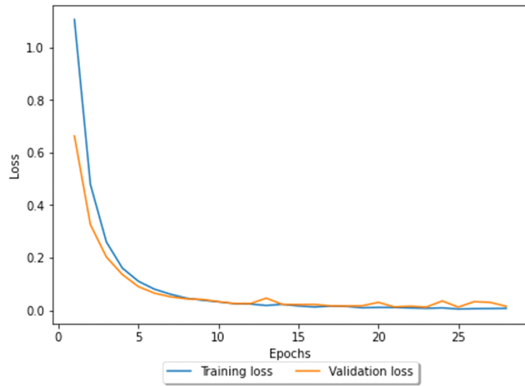
Fig. 4. Architecture of the CNN model

Table 2. CNN model training parameter

Configuration	Information
Optimizer	Adam
Batch	32
Learning late	0.0001
Stride	1
Filter size	16, 32, 64
Other	Dropout, early stop



(a) Result of the accuracy



(a) Result of the loss

Fig. 5. Result of the training model

IV. 실험 및 결과

구현된 2D 기반의 착석 자세 분류 모델의 분류 정확성 성능평가를 위하여 10명의 피실험자를 대상으로 그림 5와 같이 각 클래스별로 500개의 평가용 데이터 세트를 획득하였다. 이후, 획득한 평가용 데이터 세트를 활용하여 훈련 모델의 자세 분류 성능을 평가하는 실험을 진행하였다. 실험은 모델의 5가지 클래스 분류 결과에 대한 Confusion matrix를 통해 TP, TN, FP, NP를 산출하여 수식 2를 통해 정확도(accuracy), 재현율(recall), 정밀도(precision), 조화율(F1)을 확인하였다. accuracy는 전체 데이터에서 맞게 예측한 데이터 수, recall은 실제 True인 데이터에서 True라고 예측한 데이터 수, Precision은 True라고 예측한 데이터 중에서 실제 True인 데이터 수, F1은 Precision과 Recall의 조화평균을 의미한다.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

실험 결과, 99.84%의 accuracy, 99.6%의 recall, 99.6%의 precision, 99.6%의 F1을 확인하였다. 구현된

훈련 모델의 분류 Confusion matrix와 실험 결과를 표 3에 나타내었다.

Table 3. Result of the training model classification with confusion matrix

		Predicted				
		N	L	R	F	B
T r u e	N	0.99	0	0	0.01	0
	L	0	1	0	0	0
	R	0	0	1	0	0
	F	0.01	0	0	0.99	0
	B	0	0	0	0	1
accuracy		99.84	99.6	99.6	99.6	99.6

V. 결론

본 논문에서는 의자에 밀착된 착석 정보를 무 구속적으로 검출하기 위하여 다채널 압력센서 기반의 자세 측정 시스템과 사용자의 착석 자세 분류를 위한 CNN 모델을 제안한다. 제안된 CNN 모델은 착석 자세 정보를 기반으로 압력분포에 따른 사용자의 5가지 자세 분석이 가능하다. 훈련데이터 획득을 위하여 다채널의 압력센서 기반의 자세 분석 시스템을 구현하였으며, 5 종류의 착석 자세에 따른 압력분포를 계측하였다. 계측된 압력분포 데이터를 전처리 과정을 거쳐 총 10,000 개의 착석 자세 이미지를 모델 훈련을 위한 데이터셋으로 사용하였으며, 99.54%의 분류 정확성을 확인하였다. 또한 필드테스트를 통한 자세 분류 신경망의 성능 평가를 위하여 10명의 피실험자를 대상으로 평가용 데이터 세트를 획득하였으며, 정확도, 재현율, 정밀도 및 조화 평균을 확인하였다. 실험 결과, 99.84%의 accuracy, 99.6%의 recall, 99.6%의 precision, 99.6%의 F1을 확인하였다. 향후 사용자의 착석 자세를 시간 영역별로 분석 및 모니터링하기 위한 영상 처리 기법과 효율적인 자세 교정을 위하여 다양한 자세 클래스를 추가된 고성능의 신경망 모델 구현하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2018R1D1A1B07045337)과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW 중심 대학 지원 사업(2019-0-01817) 및 사회 맞춤형 산학협력선도대학(LINC+)의 연구 결과물임.

REFERENCES

- [1] S. H. Kim, J. G. Kim, "The effects of stretching exercise on the musculoskeletal pain relief of workers in small workplaces," *Journal of Coaching Development*, vol. 21, no. 4, 129-137, 2019.
- [2] C. S. Kim, I. C. Choi, D. C. Kim, "A study on characteristics of a weighing system based on three-point load cells," *Journal of Agriculture & Life Science*, vol. 56, no. 1, 127-134, 2019.
- [3] M. S. Kim, J. Y. Seo, Y. H. Noh, D. U. Jeong, "Implementation of cushion type posture discrimination system using FSR sensor array," *The Korea Institute of Convergence Signal Processing*, vol. 20, no.2, 99-104, 2019.
- [4] Y. J. Shin, H. Y. Joo, J. H. Yang, "A study on the monitoring technique for musculoskeletal safety management and implementation of the system," *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, vol. 13, no. 3, 267-276, 2020.
- [5] K. H. Kim, W. S. Lee, G. H. Oh, "A research on serious game for self-rehabilitation of patients with shoulder injury," *Journal of Korea Game Society*, vol. 19, no. 3, 87-99, 2019.
- [6] D. W. Kim, H. J. Nam, S. Y. Lee, Y. K. Haam, O. S. Seo, H. J. Lee, "Multi-user home-training healthcare system using kinect sensor and wearable devices," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 44, no. 4, 719-727, 2019.
- [7] G. J. Park, B. Binayak, "Railway facility real-time intruder monitoring system using computer vision and deep learning," *The Korean Society For Railway*, vol. 23, no. 1, 35-44, 2020.
- [8] J. Y. Han, J. H. Park, "Turtle neck syndrome posture correction service using CNN-based learning model," *The Korea CONTENTS Society*, vol. 20, no. 7, 47-55, 2020.

저자 소개

서 지 윤 (Ji-Yun Seo)



2019년 2월 : 동서대학교
유비쿼터스 IT(공학석사)
2019년 2월~현재 : 동서대학교
컴퓨터공학과 박사과정

노 윤 홍 (Yun-Hong Noh)



2010년 2월 : 동서대학교
유비쿼터스 IT(공학석사)
2013년 2월 : 동서대학교
유비쿼터스 IT(공학박사)
2017년 12월~현재 :
부산디지털대학교 조교수

정 도 운 (Do-Un Jeong)



2002년 2월 : 부산대학교
의공학(공학석사)
2005년 8월 : 부산대학교
의공학(공학박사)
2005년 3월~현재 : 동서대학교
컴퓨터공학부 교수