Journal of Korean Institute of Intelligent Systems
Vol. 26, No. 1, February 2016, pp. 070-075
http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2016.26.1.070

ISSN(Print) 1976-9172
ISSN(Online) 2288-2324

JKIIS

Cascade 안면 검출기와 컨볼루셔널 신경망을 이용한 얼굴 분류

Face Classification Using Cascade Facial Detection and Convolutional Neural Network

유제훈 · 심귀보†
Je-Hun Yu and Kwee-Bo Sim†

중앙대학교 전자전기공학과
Department of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

요 약

머신비전을 사용하여 사람의 얼굴을 인식하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 머신비전은 기계에 시각을 부여하여 이미지를 분류 혹은 분석하는 기술을 의미한다. 본 논문에서는 이러한 머신비전 기술을 적용한 얼굴을 분류하는 알고리즘을 제안한다. 이 얼굴 분류 알고리즘을 구현하기 위해 컨볼루셔널 신경망(Convolution neural network)과 Cascade 안면 검출기를 사용하였고, 피험자들의 얼굴을 분류하였다. 구현한 얼굴 분류 알고리즘의 학습을 위해 한 피험자 당 이미지 2,000장, 3,000장, 40,00장을 10회와 20회 컨볼루셔널 신경망에 각각 반복하여 학습과 분류를 진행하였고, 학습된 컨볼루셔널 신경망과 얼굴 분류 알고리즘의 실효성을 테스트하기 위해 약 6,000장의 이미지를 분류하였다. 또한 USB 카메라 영상을 실험 데이터로 입력받아 실시간으로 얼굴을 검출하고 분류하는 시스템을 구현하였다.

키워드 : 머신비전, Convolutional Neural Network, Cascade 안면 검출기, 인간-로봇 상호작용

Abstract

Nowadays, there are many research for recognizing face of people using the machine vision. the machine vision is classification and analysis technology using machine that has sight such as human eyes. In this paper, we propose algorithm for classifying human face using this machine vision system. This algorithm consist of Convolutional Neural Network and cascade face detector. And using this algorithm, we classified the face of subjects. For training the face classification algorithm, 2,000, 3,000, and 4,000 images of each subject are used. Training iteration of Convolutional Neural Network had 10 and 20. Then we classified the images. In this paper, about 6,000 images was classified for effectiveness. And we implement the system that can classify the face of subjects in realtime using USB camera.

Key Words : Machine vision, Convolutional Neural Network, Cascade face detector, Human-robot interaction

Received: Jan. 7, 2016
Revised : Feb. 11, 2016
Accepted: Feb. 11, 2016
†Corresponding author
kbsim@cau.ac.kr

1. 서 론

인공지능이 발전함에 따라 머신비전을 통해 사람의 얼굴을 인식하는 연구가 주목받고 있다. 이러한 연구는 인간-로봇 상호작용(human-robot interaction, HRI)을 구현하기 위한 중요한 과정이며, 영상처리와 패턴인식, 기계학습에 대한 포괄적인 연구를 필요하다 [1].

머신비전은 기계에 시각을 부여하여 이미지를 분류 혹은 분석하는 기술을 의미한다. 머신비전은 사람의 시각으로 인지하고 판단하는 기능이 필요한 분야에서 주로 적용 되는데, 예를 들면 제품의 분류, 외관 검사 영상처리 등 다양한 분야에서 머신비전이 사용되고 있다. 이러한 머신비전 기술을 적용하면, 작업 속도나 오분류 등에서 개선이 되기 때문에 생산성의 효율성이 높아진다는 장점이 있다 [2].

본 논문에서는 이러한 머신비전의 기술을 사용하여 얼굴을 분류하였다. 얼굴은 성별, 나이, 인종 등 다양한 정보를 포함하고 있기 때문에 얼굴을 추적하고 분류하는 기술은 머신비전에서 오랫동안 연구되어왔다. 이러한 연구의 결과로 얼굴 인식을 이용한 다양한 시스템들이 개발되고 있다. 대표적으로 얼굴 인식을 통한 보안 시스템을 말할 수 있고, 범죄자

본 논문은 본 학회 2015 춘계학술대회에서 선정된 우수논문입니다.
본 논문은 한국연구재단 중견연구자지원사업 (No. 2012-000872)에서 지원하여 연구하였으며, 연구비 지원에 감사드립니다.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

대조, 신원조회, 더 나아가 표정인식 등 다양한 분야에 얼굴 인식이 사용되고 있다 [3].

얼굴을 인식하기 위해서는 얼굴 영역을 따로 추출하는 것이 필요하다. 이렇게 얼굴 영역을 따로 추출하기 위해서 안면 검출기 알고리즘을 적용해야 하는데, 안면 검출기 알고리즘으로는 SURF (Speeded Up Robust Feature)와 가우시안 혼합 모델, SIFT (Scale-invariant Feature Transform), Haar 유사 특징 기반 에이다부스트 알고리즘, Cascade 안면 검출기 등이 있다 [4-7]. 본 논문에서는 얼굴 영역을 검출하기 위해 Cascade 안면 검출기를 사용하였다.

얼굴을 분류하는 방법 역시 기존의 연구를 통해 다양한 알고리즘이 제안되었다. 대표적으로 LDA (Linear Discriminant Analysis), Fisherface, SVM(Suppport Vector Machine), Eigenface, PCA(Principal Component Analysis), WPA(Waveket Packet Analysis) 등이다 [8-11]. 하지만 이러한 알고리즘들은 외부의 환경에 의해 인식률이 크게 감소하거나 외부에 덜 민감하더라도 전체적인 얼굴 윤곽에 대한 정보를 온전히 입력으로 받을 수 없어 인식률이 감소하는 단점이 있다 [10-12].

이러한 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 다양한 표정과 장소에서 찍은 이미지와 영상에서 사람의 얼굴 영역를 추출하여 학습하고, 인식하는 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘을 구현하기 위해 얼굴 영역 추출은 Cascade 안면 검출기를 사용하였고, 컨볼루셔널 신경망(Convolutional Neural Network)을 사용하여 분류하였다. 그리고 Matlab을 이용하여 제안 알고리즘의 실효성을 테스트하였다.

2. 이론적 배경

2.1 Cascade 안면 검출기

Cascade 안면 검출기는 Viola-Jones 검출기에 Cascade 분류기를 추가하여 검출기의 성능을 높인 이론이다. Viola-Jones 알고리즘은 이미지의 특징을 찾는데 빠른 처리 속도와 높은 검출률을 보이기 때문에 물체나, 얼굴, 눈, 코, 입 등을 추출할 때 주로 사용된다 [13].

그림 1은 Cascade 안면 검출기의 알고리즘과 Cascade 분류기의 구조를 나타낸다. 하-모양 특징으로 특징 값을 계산하고, 적분 영상을 적용한다. 그리고 아다부스트를 이용하여 약분류기 중 물체 검출에 크게 기여하는 강 분류기를 만들고, 여러 개의 강 분류기를 사용하여 Cascade 구조로 구성한다. 그리고 조건에 만족하는 이미지를 분류하여 조건에 맞지 않을 경우 버리고, 조건이 맞는다면 다음 조건으로 넘어간 뒤 최종 검출로 출력하는 내용이다[14].

본 논문에서는 Cascade 안면 검출기를 사용하여 학습과 테스트에 필요한 얼굴 이미지를 검출하였다. 이는 외부의 배경 및 밝기와 같은 외부의 환경에 인한 인식률 감소 원인을 줄여줄 것이다.

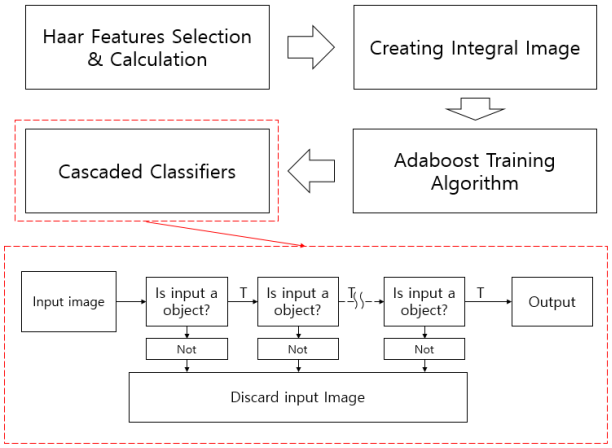


그림 1. Cascade 안면 검출기 알고리즘 및 Cascade 분류기 구조

Fig. 1. Cascade facial detector and structure of cascade classifier

2.2 컨볼루셔널 신경망

컨볼루셔널 신경망은 1998년 Yann LeCun, Bengio 등에 의해 제안된 신경망 구조이다. 당시 컨볼루셔널 신경망은 높은 분류율에 비해 학습의 속도가 느리다는 큰 단점이 있었다. 하지만 현재 병렬처리 프로세서인 GPU(Graphic Process Unit)의 발달로 다시 주목받고 있는 이론이다 [15].

컨볼루셔널 신경망의 전체적인 구성을 설명하기에 앞서 이미지의 convolution과 subsampling에 대해서 간략히 설명하겠다. convolution은 이미지 처리에서 주로 쓰이는 이론으로 필터를 사용해 이미지의 효과를 변경하거나, 이미지의 특징을 찾을 때 주로 사용한다. subsampling은 중요한 정보를 손실하지 않고 이미지를 축소하는 것이 필요하기 때문에 이미지 처리에서 중요한 부분이다. subsampling 방법으로는 max pooling 방식과 average pooling 방식, stochastic pooling 방식 등이 있다.

이러한 convolution과 subsampling은 컨볼루셔널 신경망에서 중요한 역할을 한다. convolution과 subsampling 과정은 이미지의 특징을 추출하기 위해 사용이 되며, 컨볼루셔널 신경망의 앞부분에 위치하고 있다. 컨볼루셔널 신경망에서는 커널을 이용하여 convolution 연산을 진행한 뒤 연산의 결과에 subsampling을 적용한다. 그 다음 다시 반복하여 이미지의 특징들이 여러 개 나올 수 있도록 한다.

컨볼루셔널 신경망에서의 forward propagation와 backward propagation은 인공신경망의 학습 혹은 테스트 방법과 유사하다. backward propagation은 forward propagation으로 부터의 출력값과 원하는 출력값을 비교하여 나타난 오차함수를 이용하여 가중치를 수정하는 알고리즘이다. 그림 2는 컨볼루셔널 신경망의 forward propagation과 backward propagation을 설명한다. 컨볼루셔널 신경망의 fully-connected층의 경우 그림 2의 마지막 단과 유사하게 구성되어있다.

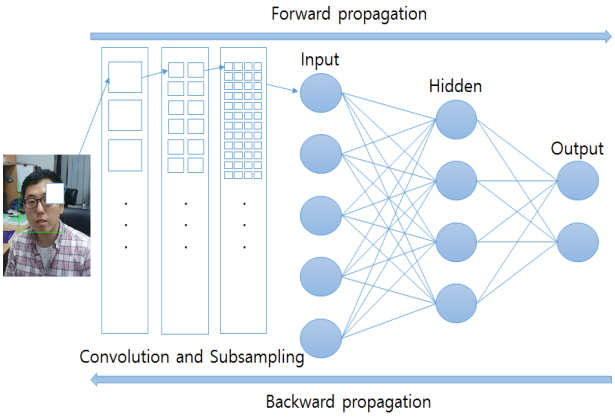


그림 2. 컨볼루셔널 신경망에서의 Forward propagation과 backward propagation의 예시
Fig. 2. Example of forward propagation and backward propagation in CNN

컨볼루셔널 신경망에서 사용되는 활성함수로는 Rectified linear unit과 sigmoid function, softmax 등의 방법이 있다. 본 논문에서 사용된 활성함수로는 softmax 방식을 사용하였다. softmax는 식 (1)과 같이 정의되어 있다.

$$p_j = \frac{e^{x_j}}{\sum_{k=1}^{K} e^{x_k}} \quad where\ j = 1, 2, \cdots, K \qquad (1)$$

여기서 p_j는 확률로 나타나는 노드의 출력이고, x_j는 j번째 노드의 입력을 나타낸다. 이를 이용하여 출력을 나타냈다.

컨볼루셔널 신경망은 전체적인 구성은 convolution 층과 subsampling 층, fully-connected 층으로 구성되어 있고, 컨볼루셔널 신경망에서는 convolution 층과 subsampling 층을 거쳐 특징을 추출한다. 추출한 결과를 가지고 fully-connected 층에서 실질적인 분류가 진행된다 [16-19]. 이러한 방법을 사용하기 때문에 컨볼루셔널 신경망에서는 이미지에 맞는 특징 추출 방법을 각각 적용하지 않아도 정확한 분류를 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 입력으로 사용할 이미지에서 배경으로 인한 손실을 최소화하기 위해 이미지 전체를 사용하지 않고 Cascade 안면 검출기를 사용하여 얼굴 이미지를 따로 추출하였다. 이러한 방식을 이용하여 추출한 얼굴 이미지를 컨볼루셔널 신경망에 학습하고, 분류하였다.

3. 제안기술

실험은 Matlab을 기반으로 한 Cascade 안면 검출기와 컨볼루셔널 신경망을 사용하여 구현하였다. 실험에 사용한 이미지는 피험자 3명의 얼굴이 들어가 있는 사진 12,000장을 이용해 학습을 진행하였고, 사진은 시간과 장소, 피험자의 표정을 바꿔가면서 촬영하였다. 또한 테스트를 할 이미지 역시 시간과 장소, 피험자의 표정을 바꿔가면서 촬영하였다. 본 실험에서 사용한 테스트 이미지는 학습 이미지와 다른 약 12,000장의 이미지와 USB 카메라를 사용한 실시간 영상이다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 전체 시스템의 블록다이어그램이다. 먼저 컨볼루셔널 신경망의 학습 데이터로 사용할 이미지를 선택하고, 이미지의 얼굴 영역을 Cascade 안면 검출기를 사용하여 추출한다. 컨볼루셔널 신경망의 입력 크기에 맞게 사이즈를 변경한 다음 컨볼루셔널 신경망에서 미리 지정한 반복 횟수만큼 학습을 진행하다. 테스트의 경우 학습과 마찬가지로 테스트를 위해 피험자들의 영상이나 이미지를 선택하고, 영상 혹은 이미지의 얼굴 영역을 Cascade 안면 검출기를 사용하여 추출한다. 추출한 데이터는 학습된 컨볼루셔널 신경망의 테스트 이미지로 사용되고 분류되는 내용이다.

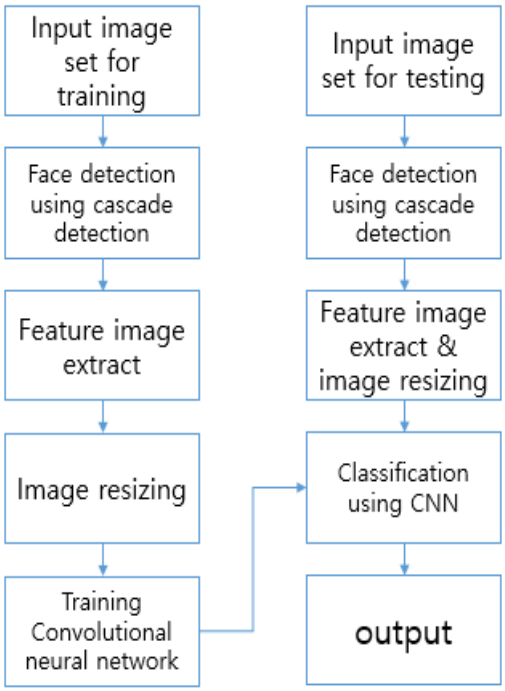


그림 3. 전체 시스템 블록도
Fig. 3. Overall system block diagram

4. 실험 결과 및 분석

4.1 컨볼루셔널 신경망 입력 데이터

기존 방식으로 컨볼루셔널 신경망을 학습시킬 때는 원본 이미지를 축소하여 컨볼루셔널 신경망의 입력데이터로 사용하였다. 하지만 본 논문에서는 6,000장, 9,000장, 12,000장의 사진을 컨볼루셔널 신경망의 입력 데이터로 사용할 때 Cascade 안면 검출기를 사용하여 피험자들이 포함되어 있는

이미지에서 얼굴 영역을 따로 추출하였다. 그리고 컨볼루셔널 신경망의 입력 맞게 100×100으로 크기를 변경하였고, 학습 혹은 테스트를 위해 크기를 변경한 이미지를 이용하여 컨볼루셔널 신경망 입력 데이터로 사용하였다. 그림 4는 컨볼루셔널 신경망 학습에 사용된 입력 이미지들과 전처리 과정인 Cascade 안면검출기를 사용하여 얼굴 영역을 추출한 결과이다. 이 방법으로 이미지를 학습하지 않을 경우 원하지 않는 이미지까지 학습 및 테스트에 사용되기 때문에 분류율이 낮아진다.

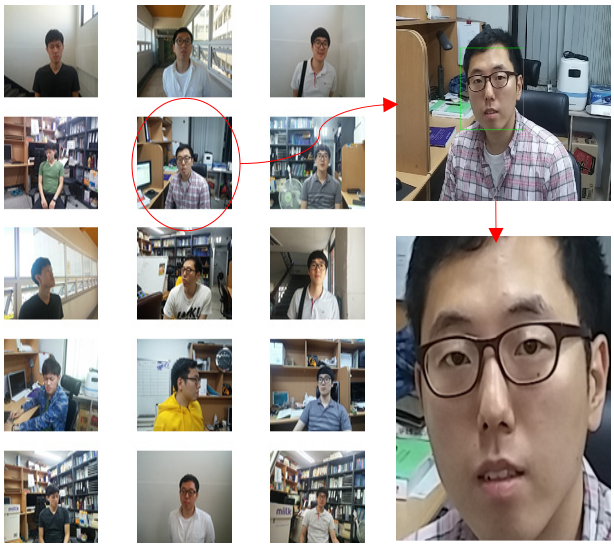


그림 4. 컨볼루셔널 신경망 학습을 위한 이미지 전처리과정
Fig. 4. Image preprocessing for CCN training

4.2 컨볼루셔널 신경망의 층 구성과 학습 데이터

실험에 사용한 컨볼루셔널 신경망의 구조는 LeCun의 LeNet-5를 응용하여 재구성하였다 [18]. 100×100 크기의 RGB 입력 이미지를 5×5 크기의 커널을 사용하여 96×96 크기의 convolution 층을 구성한다. 그리고 4×4 subsampling을 통하여 크기를 줄인다. 다시 convolution과 subsampling을 반복한 다음 fully connected 층에서 convolution과 subsampling을 통해 특징 추출한 데이터를 분류한다. 그림 5는 실험에 사용한 컨볼루셔널 신경망 구조를 나타낸다. 여기서 기존의 LeNet-5와 다른 점은 100×100의 입력을 사용한다는 점과 4×4의 subsampling 커널을 사용하여 이미지를 축소하는 점이다. 이러한 방법은 기존의 방법인 32×32의 크기로 subsampling을 하는 것보다 축소로 인한 이미지의 정보 손실이 줄어들기 때문에 convolution층과 subsampling층에서 보다 많은 이미지의 정보들을 포함할 수 있다.

실험에서 사용한 subsampling 방법은 max pooling 방법으로 진행하였다. 그리고 출력을 얻기 위한 방식으로는 softmax 방법을 사용하였다. softmax 방식은 출력 노드들의 확률을 얻어 최댓값으로 분류하는 방식이다.

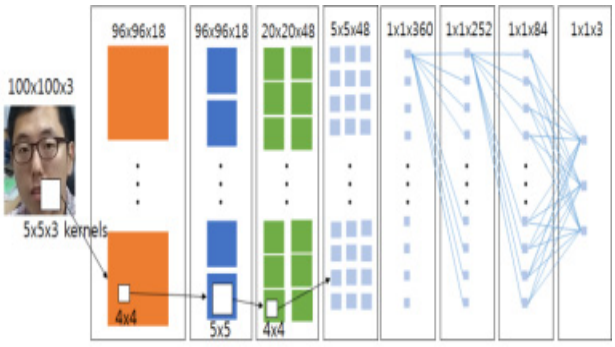


그림 5. 실험에 사용된 CNN 구조
Fig. 5. Structure of convolutional neural network in experiment

4.3 컨볼루셔널 신경망 분류 결과

각 피험자의 얼굴을 분류하기 위해 6,000장, 9,000장, 12,000장의 이미지를 10번과 20번 각각 반복하여 학습하였다. 그리고 학습한 컨볼루셔널 신경망의 성능을 테스트하기 위해 약 12,000장의 학습데이터와 다른 이미지를 사용하여 분류하였다. 그림 6은 10번 반복하여 학습한 CNN을 사용하여 피험자들의 테스트 이미지를 분류한 결과이고, 그림 7은 20번 반복하여 학습한 컨볼루셔널 신경망을 사용하여 분류한 결과이다.

위 그림 6과 7의 결과로부터 9,000개의 이미지를 20번 반복 학습하여 분류한 결과가 가장 높은 분류율을 보였다. 이는 학습 이미지 개수도 중요하지만 학습 반복 횟수 역시도 중요하다는 것을 의미한다. 그리고 이미지가 많아질수록 과도 적합이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그림 8은 USB 카메라를 통해 들어오는 이미지를 실시간으로 얼굴 분류하는 내용이다.

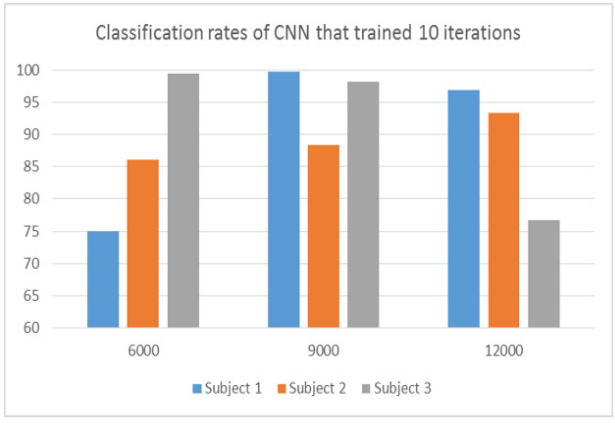


그림 6. 10번 반복하여 학습한
CNN의 학습 이미지의 수에 따른 피험자별 분류율
Fig. 6. Classification rates of each subjects depending on a number of images using CNN that trained 10 iterations.

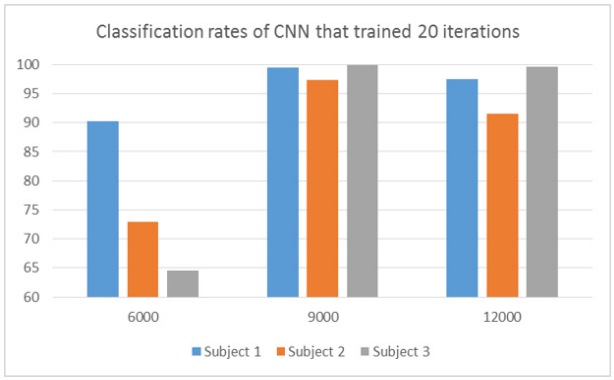


그림 7. 20번 반복하여 학습한
CNN의 학습 이미지의 수에 따른 피험자별 분류율
Fig. 7. Classification rates of each subjects depending on a number of images using CNN that trained 20 iterations.

그림 8. USB 카메라를 이용한 얼굴 분류
Fig. 8. Face classification using USB camera

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 Cascade 안면 검출기를 이용하여 사진이나 영상에서 얼굴 영역을 추출하고, 컨볼루셔널 신경망을 사용하여 분류하는 방법을 제안하였고, Matlab을 사용하여 그 실효성을 테스트하였다. 그 결과 이미지 9000장을 20번 반복하여 학습 한 경우 99.43%와 97.32%, 99.86%의 분류율을 얻을 수 있었다.

하지만 학습의 이미지의 개수나 주변 환경 따른 결과가 조금씩 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 다양한 환경에서 찍은 사진이 많다고 해서 높은 분류율을 보장받을 수 없음을 의미한다. 실험 중에 컨볼루셔널 신경망의 학습을 위한 초기 뉴런 값들도 분류에서 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 또한 학습이미지의 수가 많아질수록 신경망의 각 가중치 값이 학습이미지에 적합하도록 학습되어 테스트 이미지에 낮은 확률이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

앞으로의 연구는 본 논문에서 제시한 방법을 통해 다양한 이미지의 과도 적합을 방지할 수 있는 방법과 뉴런의 초깃값의 설정에 대한 연구를 진행할 계획이다. 또한 더 많은 피험자들의 사진을 사용하여 얼굴을 분류하는 내용의 실험도 진행할 계획이다. 이 연구의 결과는 로봇 비전 혹은 머신 비전이 들어간 모든 산업에서 핵심적인 기술로 적용될 수 있을 것이다.

References

[1] K. E. Ko and K. B. Sim, "A Study on Human-Robot Interface based on Imitative Learning using Computational Model of Mirror Neuron System", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 6, pp. 565-570, 2013

[2] A. Kumar, "Computer-Vision-Based Fabric Defect Detection: A Survey", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, pp. 348-363, 2015

[3] K. M. Jeong and J. H. Kim, "Face classification and analysis based on geometrical feature of face", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, pp. 1495-1504, 2012

[4] Y. Sun, X. Wang and X. Tang, "Deep Convolutional Network Cascade for Facial Point Detection", *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3476-3483, 2013.

[5] S. Berretti, B. B. Amor, M. Daoudi and A. Del Bimbo, "3D facial expression recognition using SIFT descriptors of automatically detected keypoints", *The Visual Computer*, vol. 27, pp. 1021-1036, 2011.

[6] J. Wang, R. Xiong and J Chu, "Facial feature points detecting based on Gaussian Mixture Models", *Pattern recognition letters*, vol. 53, pp. 62-68, 2015.

[7] E. Owusu, Y. Zhan and Q. R. Mao, "An SVM-AdaBoost facial expression recognition system", *Applied Intelligence*, vol. 40, pp. 536-545, Apr 2014.

[8] H. J. Go, H. B. Kim, D. H. Yang, J. H. Park and M. G. Chun, "Face Recognition Under Ubiquitous Environments", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 14, no. 4, pp. 431-437, 2004

[9] J. Y. Kim and Y. S. Kim, "Face Tracking and Recognition in Video with PCA-based Pose-Classification and (2D)^{2}PCA recognition algorithm", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 5, pp. 423-430, 2013

[10] S. I. Choi, C. H. Kim and C. H. Choi, "Shadow Compensation in 2D Images for Face Recognition", *Pattern Recognition*, vol. 40, no. 7, pp. 2118-2125, 2007.

[11] S. I. Choi, "Construction of Composite Feature

Vector Based on Discriminant Analysis for Face Recognition", *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 18, no. 7, pp. 834-842, 2015.

[12] C. M. Ma, S. H. Yoo and S. K. Oh, "Design of Face Recognition Algorithm based Optimized pRBFNNs Using Three-dimensional Scanner", *Journal of Korea Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no.6, pp. 748-753, 2012.

[13] P. Viola and M. Jones "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 511-518, 2001.

[14] A Jain, J Bharti and MK Gupta, "Improvements in OpenCV's Viola Jones Algorithm in Face Detection-Tilted Face Detection", *International journal of Signal and Image Processing*, vol. 5, pp. 21-28, 2014

[15] W. Wang, J. Yang, J. Xiao, S. Li and D. Zhou, "Face Recognition Based on Deep Learning", *Human Centered Computing*, vol. 8944, pp. 812-820, 2015.

[16] Y. Bengio, "Learning deep architectures for AI", *Foundations and Trends® in Machine Learning*, vol. 2, pp. 1-127, Jan 2009.

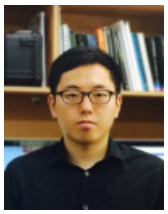
[17] R. Hecht-Nielsen, "Theory of the backpropagation neural network", *International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 1, pp. 593-605, 1989

[18] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition", *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no 11, pp. 2278-2324, 2015.

[19] D. M. Kwak, S. W. Park and H. N. Lee, *Machine Learning to Deep Learning*, PubPle, Seoul, 2015.

[20] J. H. Yu, S. M. Park, K. E. Ko and K. B. Sim, "Face classification using cascade facial detection and convolutional neural network", *Proceeding of Korean Institute of Intelligent Systems Fall Conference*, vol. 25, no. 2, pp. 157-159, 2015

저 자 소 개



유제훈(Je-Hun Yu)

2015년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사

2015년~현재 : 중앙대학교 대학원 전자전기공학과 석박사통합과정.

관심분야 : 뇌-컴퓨터 인터페이스, 의도인식, 감성인식, 지능로봇, 지능시스템, 사물인터넷(IoT), 빅데이터 등.

Phone : +82-2-820-5319

E-mail : yjhoon651@cau.ac.kr

심귀보(Kwee-Bo Sim)

1990년 : The University of Tokyo 전자공학과 공학박사

1991년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

2006년~2007년 : 한국지능시스템학회 회장

관심분야 : 인공생명, 뇌-컴퓨터 인터페이스, 감정인식, 의도인식, 유비쿼터스 지능형로봇, 지능시스템, 컴퓨테이셔널 인텔리전스, 지능형 홈 및 홈 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅 및 센서 네트워크, 소프트 컴퓨팅(신경망, 퍼지, 진화연산), 다개체 및 자율분산 로봇시스템, 인공면역시스템, 지능형 감시시스템, 사물인터넷(IoT), 빅데이터 등.

Phone : +82-2-820-5319

E-mail : kbsim@cau.ac.kr

Homepage URL : http://alife.cau.ac.kr