

고차원 국부이진패턴과 결합베이시안 알고리즘을 이용한 얼굴인증 임베디드 시스템 구현

김동주¹ · 이승익² · 강석근^{3*}

Implementation of a Face Authentication Embedded System Using High-dimensional Local Binary Pattern Descriptor and Joint Bayesian Algorithm

Dongju Kim¹ · Seungik Lee² · Seog Geun Kang^{3*}

¹Information Research Lab., Pohang University of Science and Technology, Gyeongbuk 37673, Korea

²Department of Smart Software, Yonam Institute of Technology, Gyeongnam 52821, Korea

^{3*}Department of Semiconductor Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam 52828, Korea

요 약

본 논문에서는 고차원 국부이진패턴과 결합베이시안 알고리즘을 이용한 얼굴인증 임베디드 시스템을 제안한다. 또한, 제안된 알고리즘에 대한 임베디드 시스템을 라즈베리파이 3을 이용하여 구현한 결과를 제시한다. 제안된 얼굴인증 알고리즘에 대한 평가는 500명의 얼굴 데이터가 저장된 데이터베이스를 이용하여 수행하였다. 여기서 각각의 얼굴 데이터는 학습용과 테스트용 이미지로 구성하였다. 성능평가를 위한 척도로는 주성분분석법의 차원에 따른 스코어 분포와 얼굴인증 시간을 이용하였다. 그 결과, 최적화된 임베디드 환경에서 우수한 얼굴인증 성능을 가지는 임베디드 시스템을 상대적으로 저렴한 비용으로 구현할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, an embedded system for face authentication, which exploits high-dimensional local binary pattern (LBP) descriptor and joint Bayesian algorithm, is proposed. We also present a feasible embedded system for the proposed algorithm implemented with a Raspberry Pi 3 model B. Computer simulation for performance evaluation of the presented face authentication algorithm is carried out using a face database of 500 persons. The face data of a person consist of 2 images, one for training and the other for test. As performance measures, we exploit score distribution and face authentication time with respect to the dimensions of principal component analysis (PCA). As a result, it is confirmed that an embedded system having a good face authentication performance can be implemented with a relatively low cost under an optimized embedded environment.

키워드 : 임베디드시스템, 신호처리, 얼굴인증, 국부이진패턴, 라즈베리파이

Key word : Embedded system, signal processing, face authentication, local binary pattern, Raspberry PI

Received 31 July 2017, Revised 07 August 2017, Accepted 16 August 2017

* Corresponding Author Seog Geun Kang (E-mail: sgkang@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-1737)

Department of Semiconductor Engineering and Engineering Research Institute (ERI), Gyeongsang National University, Gyeongnam 52828, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1674>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

최근 생체정보를 이용한 보안시스템이 부각되면서 다양한 생체기술을 이용한 보안연구가 진행되고 있다. 주로 이용되는 생체정보로는 얼굴, 음성, 홍채, 지문, 서명, 정맥 등이 있다. 최근 들어 하드웨어 기술 및 인식기술의 발달로 실시간으로 생체정보를 처리하여 사용되는 분야가 확대됨에 따라 휴대폰이나 노트북 등과 같은 다양한 응용분야에 사용되고 있다. 특히, 얼굴 인식은 카메라를 통한 생체 정보를 비접촉식으로 획득하여 사용가능하므로 다양한 분야에 사용되고 있다[1].

얼굴인식은 동일한 사람의 얼굴이라도 조명, 표정, 포즈 등의 변화에 따라 매우 다른 영상으로 표현되므로 인식 성능이 저하되는 문제점이 있다. 특히, 다양한 조명 변화 환경에서 얼굴인식 시스템이 좋은 성능을 가지도록 하는 것은 쉽지 않다. 따라서 조명의 변화에 의한 영향을 줄이기 위한 연구가 수행되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 접근 방법은 크게 조명의 영향에 독립적인 얼굴 영상을 얻는 조명 정규화 전처리 방법, 조명 변화에 강인한 특징추출 방법 및 얼굴 3차원 모델을 이용하는 방법 등이 있다[2].

최근 조명 변화에 강인한 얼굴인식 방법 중 하나로 가버 영상과 국부이진패턴(local binary pattern, LBP) 히스토그램을 이용한 방법도 소개된 바 있다[3]. 이는 조명변화에 강인한 전처리 방법으로 얼굴인식 및 표정인식 분야에서 주로 소개되었으며, 중앙이진패턴(centralized binary pattern, CBP)[4] 및 중앙대칭 국부이진패턴(center symmetric LBP, CS-LBP)[5] 등과 같은 다양한 이진패턴 변환 방법으로 발전하였다. 또한, 최근에는 다양한 크기의 영상 스케일에 따라 국부이진패턴 특징을 추출하고, 이를 결합하여 특징을 표현하는 고차원 국부이진패턴(high-dimensional LBP, HD-LBP) [6]이 소개되어 얼굴인식에 적용된 바 있다.

본 논문에서는 고차원 국부이진패턴 기술자와 결합베이지안(joint Bayesian) 알고리즘[7]을 기반으로 하는 얼굴인증 임베디드 시스템을 제안한다. 우선, 입력영상에서 AdaBoost[8] 및 능동형태모델(active shape model, ASM)[9] 알고리즘을 이용하여 얼굴영역을 획득하고, 고차원 국부이진패턴을 이용하여 얼굴의 특징을 추출한다. 이와 같은 방법으로 생성된 얼굴 특징은 차원이 높아지므로 계산량도 증가된다. 따라서 여기서는 실시

간 임베디드 시스템의 구현을 위하여 주성분분석법(principal component analysis, PCA)[10]을 이용하여 차원을 축소하여 결합베이지안 알고리즘으로 두 얼굴영상의 유사도를 비교하여 얼굴인증을 수행한다. 제안한 얼굴인증 알고리즘은 라즈베리파이3 모델 B를 이용하여 실시간 임베디드 시스템을 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이은 II절에서는 얼굴영역 획득, 특징 추출 및 인증, 시스템 구현 등 제안한 방법에 대하여 자세히 소개한다. III절에서는 모의 실험과 결과에 대한 분석을 제시한다. 마지막으로 IV절에 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 제안방법

본 논문에서 제안하는 얼굴인증 알고리즘의 블록도는 그림 1과 같다. 먼저, 입력영상에서 AdaBoost 및 능동형태모델 알고리즘으로 정밀한 얼굴영역을 획득하고, 고차원 국부이진패턴을 이용하여 얼굴의 특징을 추출한다. 이러한 방법으로 추출된 얼굴의 특징점은 차원이 높아 계산량이 증가되는 문제점이 발생할 수 있으므로 주성분분석법을 이용하여 차원을 축소하는 과정이 필요하다. 최종적으로 결합베이지안 알고리즘으로 두 얼굴영상의 유사도를 비교하여 본인 또는 타인인지를 판단한다.

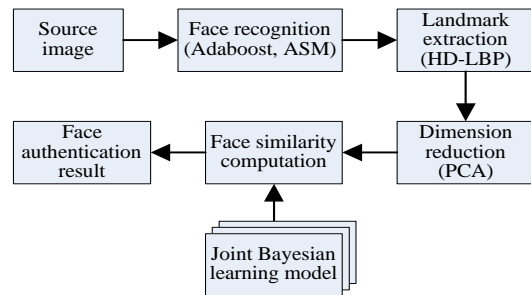


Fig. 1 A system block diagram for the proposed method.

2.1. 얼굴영역 획득

본 논문에서는 얼굴인증을 위한 정밀한 얼굴영역 획득을 위하여 능동형태모델 특징점(landmark)을 이용하였다. 일반적으로 능동형태모델은 통계적인 모델을 이용하여 특징점을 추출하는 방법으로 검출 속도가 빠르

고, 형태 모델의 여러 가지 변형을 잘 표현할 수 있으며, 조명변화에 덜 민감한 방법으로 알려져 있다. 능동형태 모델에서 형태모델을 만드는 학습 과정은 학습 데이터로부터 라벨링된 특징점들을 이용하여 평균 형태를 구한다. 이와 같은 형태의 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$x \approx \bar{x} + Pb, \quad (1)$$

여기서 \bar{x} 는 평균 형태 벡터이고, P 는 형태의 공분산에 대한 고유벡터 열로 구성된 행렬이며, b 는 형태 파라미터를 원소로 하여 구성된 벡터이다.

학습된 형태 모델을 이용하여 특징점을 추출하는 과정은 초기의 모양을 형태 모델과 입력 영상을 이용하여 조정한다. 다음으로 b 를 구하여 제한 조건 범위 밖에 있으면 재조정 후, b 의 모든 값들이 제한조건 범위를 만족할 때까지 반복하여 입력영상에 대한 형태를 구한다. 그림 2는 능동형태모델을 이용하여 검출한 9개의 얼굴 특징점과 특징점의 위치 정보를 보여준다.

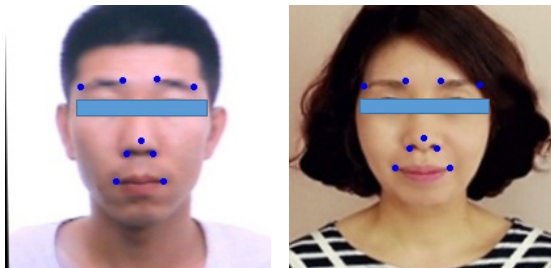


Fig. 2 ASM-based face landmark extraction.

2.2. 특징 추출

본 논문에서는 얼굴의 특징 파라미터로 고차원 국부이진패턴을 사용하였다. 일반적으로 국부이진패턴은 높은 식별력과 조명의 변화에 대한 내구성과 간단한 연산 때문에 시력검사, 이미지와 영상의 복구, 생체 이미지 분석, 대기의 이미지 분석과 센싱, 얼굴 영상 분석 및 인식 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 국부이진패턴은 수식 (2)와 같이 표현되며, 현재 위치의 화소값과 이웃 화소값의 차이를 0과 1의 값으로 나타낸다. 여기서 P 와 R 은 각각 인접 화소의 수와 원의 반지름을 의미하며, g_c 와 g_p 는 중심 화소의 화소값 및 이웃 화소의 화소값을 각각 의미한다. 그림 3은 다양한 P 와 R 에 대한 국부이진패턴의 예를 나타낸다.

$$LBP(P, R) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c)2^p, \quad (2)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

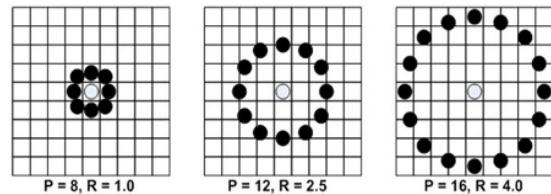


Fig. 3 Three examples of LBP.

고차원 국부이진패턴은 그림 3의 두 번째와 세 번째 예와 같이 비교할 점들의 위치가 중심 픽셀에 인접한 점이 아닌 두 칸 또는 그 이상 떨어진 곳의 점들과 비교하여 생성된 모든 패턴들을 연결한 특징을 의미한다. 본 논문에서는 서로 다른 5개의 R 의 값에 따라 국부이진패턴의 특징을 추출하고 이를 연결하여 얼굴인증에 사용하였다. 또한, 국부이진패턴 기술자는 능동형태모델을 이용하여 추출된 9개의 특징점에 대하여 각각 적용되며, 실제 얼굴에 각 특징점에 대하여 적용한 예를 그림 4에 나타내었다.

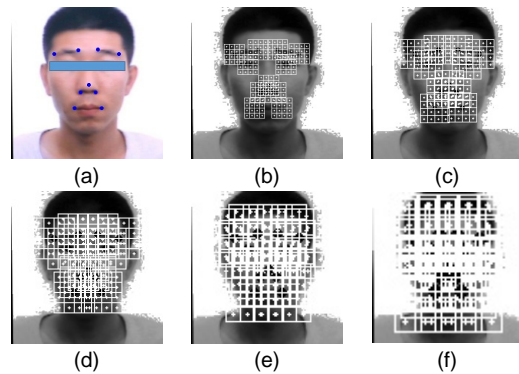


Fig. 4 The region of LBP feature extraction with respect to the variation of R (a) the original image (b) $R = 1$ (c) $R = 1.5$ (d) $R = 2$ (e) $R = 2.5$ (f) $R = 3$.

2.3. 얼굴인증

일반적으로 고차원 국부이진패턴을 이용하여 추출된 얼굴 특징은 연산량을 증가시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 주성분분석법을 이용하여 특징의 차원을

축소하였다. 이후, 두 얼굴의 유사도 비교는 축소된 특징과 결합베이지안 알고리즘으로 수행된다. 결합베이지안 모델은 얼굴의 특징 벡터가 얼굴의 내재적 특성과 외재적 특성의 합으로 나타난다는 가정에서 출발한다. 내재적 특성은 모든 사람들이 공통적으로 가지는 특성이고, 외재적 특성은 사람들을 구분할 수 있는 특성을 의미한다. 임의의 얼굴 특징 벡터 x 는 다음과 같이 외재적 특성 μ 와 내재적 특성 ϵ 의 합으로 나타낸다고 가정한다.

$$x \approx \mu + \epsilon, \quad (3)$$

여기서 μ 와 ϵ 는 서로 독립인 정규분포를 가지며, 각 속성은 $\mu \sim N(0, S_\mu)$, $\epsilon \sim N(0, S_\epsilon)$ 와 같이 공분산으로 표현되는 것으로 가정한다. 따라서 x 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x \sim S_\mu + S_\epsilon. \quad (4)$$

최종적으로 두 얼굴의 특징벡터 x_1 과 x_2 에 대한 유사도 $r(x_1, x_2)$ 는 다음과 같이 조건부 결합확률밀도함수 (conditional joint probability density function)의 비를 이용하여 계산된다.

$$r(x_1, x_2) = \log \frac{P(x_1, x_2 | H_I)}{P(x_1, x_2 | H_E)}, \quad (5)$$

여기서 H_I 는 x_1 과 x_2 가 동일한 사람의 얼굴이라는 가정(hypothesis)이며, H_E 는 서로 다른 사람의 얼굴이라는 가정을 의미한다.

2.4. 임베디드 시스템 구현

제안한 얼굴인증 모델 알고리즘의 시스템 구현을 위하여 본 논문에서는 라즈베리파이 3 모델B를 이용하여 실험하였다[11]. 라즈베리파이는 비교적 저렴한 가격임에도 우수한 성능을 가지므로 높은 가격대비 성능비가 요구되는 다양한 분야의 임베디드 시스템 구현에 활용되고 있다. 이러한 라즈베리파이3 모델B의 사양 및 그림은 표 1 및 그림 5에 나타내었다.

표 1에서 제시된 바와 같이 비교적 제한적인 리소스를 가지는 하드웨어를 이용한 얼굴인증 시스템의 구현에서는 연산량과 알고리즘의 복잡도를 고려하여 실시간 처리가 가능하도록 설계하는 것이 중요하다. 따라

서 실시간 얼굴인증을 위한 최적화된 임베디드시스템을 구현하기 위하여 본 논문에서는 주성분분석법의 차원에 따른 얼굴인증 시간을 측정하여 제안한 알고리즘의 성능평가를 실시하였다.

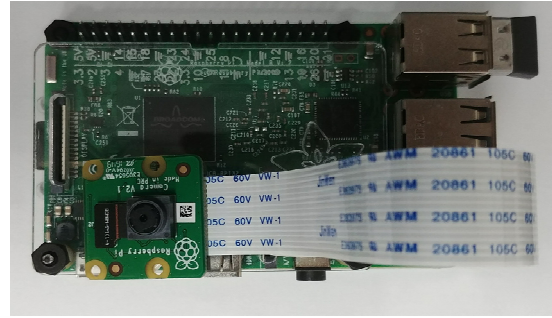


Fig. 5 The Raspberry Pi 3 Model B for system implementation.

Table. 1 Some typical specifications of the Raspberry Pi 3 model B.

Term	Specification
CPU	1.2GHz QUAD Core Broadcom BCM2837 64-bit ARMv7 processor
Wi-Fi	BCM43438
Bluetooth	BLE(Bluetooth low-power)
RAM	1GB
GPIO	40 pins
Video output	HDMI/RCA
USB	4 ports

III. 실험 및 결과

제안하는 얼굴인증 방법의 성능평가는 CASIA-WebFace dataset[12], LFW(Labeled Faces in the Wild Home)[13], CelebA(Large-scale CelebFaces Attributes Dataset)[14], CK(Cohn-Kanade AU Coded Facial Expression Database)[15], Face-Place Face Database [16] 등의 공개 데이터베이스에서 동양인에 대한 얼굴을 추출하고, 500명으로 이루어진 얼굴 데이터베이스로 재구성하여 실험에 사용하였다. 각각의 사람마다 학습용과 테스트용으로 2장의 얼굴 영상데이터를 사용하여 모의실험을 수행하였다. 얼굴 데이터베이스에서 실험에 사용된 학습용 및 테스트용 데이터의 샘플영상을

그림 6에 제시하였다. 초상권 침해 등의 문제가 야기될 수 있으므로 얼굴 데이터에서 눈 영역은 가리고 나타내었다.

얼굴인증 실험은 고차원 국부이진패턴의 특징을 주성분분석 알고리즘을 이용하여 차원을 축소시킨 다음 결합베이지안 알고리즘을 적용하여 유사도를 측정하고 얼굴인증에 실패한 동일오률(equal error rate, EER)을 계산함으로써 성능평가를 수행하였다. 또한, 임베디드 시스템의 계산 복잡도를 고려하여야 하므로 주성분분석법의 차원을 100차, 300차, 500차 등으로 축소하여 이에 따른 성능을 평가하였다.

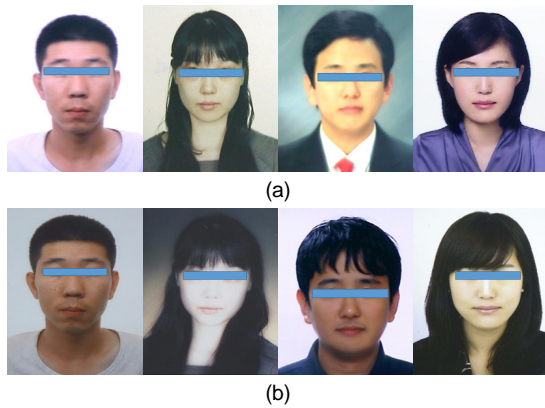


Fig. 6 The sample face images (a) training images (b) test images.

주성분분석법의 차원 변화에 따른 동일인 및 타인에 대한 유사도 분포 실험결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 고차원 국부이진패턴의 특징과 유클리디언 거리를 사용하였을 경우의 유사도 분포를 나타내며, 그림 7(b)~7(d)는 결합베이지안 알고리즘을 적용하고 주성분분석법의 차원이 각각 100차, 300차, 500차일 경우에 대한 유사도 분포이다. 최종적으로 얼굴인증 결과는 고차원 국부이진패턴 특징과 유클리디언 거리를 사용하였을 경우에는 동일오률은 19.2%로 나타났다. 이에 비하여 주성분분석법을 이용하는 경우 차원이 100차, 300차, 500차로 변화됨에 따라 동일오률은 각각 8.3%, 4.7%, 2.3%으로 나타났다. 따라서 주성분분석법의 차원이 증가됨에 따라 동일오률은 낮아지므로 얼굴인증율은 높아지는 것을 알 수 있다. 하지만 실시간 임베디드시스템 적용시 계산량이 증가하는

문제점이 발생할 수 있다. 따라서 실시간 임베디드 시스템 구현시 사용목적과 환경에 맞는 얼굴인증의 정확도와 주성분분석법의 차원에 대한 적절한 설정이 필요한 것으로 사료된다.

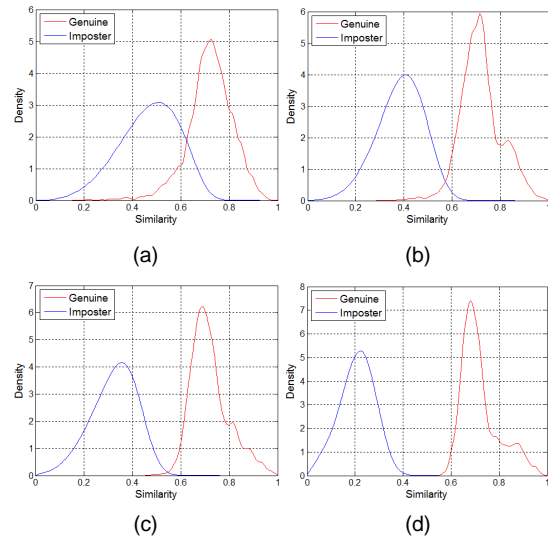


Fig. 7 The simulation results of score distribution (a) the original distribution (b) PCA 100 dimension (c) PCA 300 dimension (d) PCA 500 dimension.

또한, 이와 같은 결과를 이용하여 최적화된 임베디드 시스템을 구현하기 위하여 주성분분석법의 차원에 따른 얼굴인증 시간을 측정하여 그림 8에 나타내었다. 실험에 사용된 얼굴 영상은 320x240 해상도로 가지는 것으로 하였고, 서로 다른 3명의 얼굴 데이터를 이용해 얼굴인증 시간을 측정하였다.

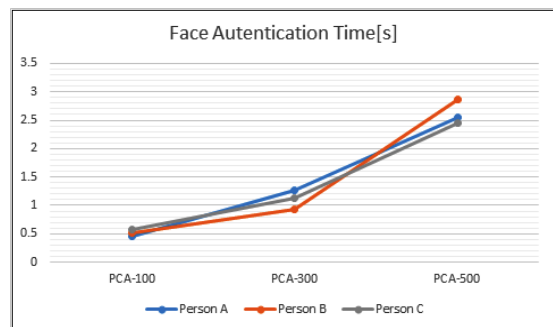


Fig. 8 The measured face authentication time.

주성분분석법의 차원이 높아짐으로 동일오율은 감소되지만 입력영상에서 얼굴영역을 검출하는 단계부터 얼굴인증까지 요구되는 시간은 그림 8과 같이 증가되는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 실시간 얼굴인증 임베디드시스템을 구현하는 경우 시스템의 활용 분야와 특성 그리고 요구되는 인증 성공률 등에 대한 적절한 조정이 필요한 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 고차원 국부이진패턴 기술자와 결합 베이지안 알고리즘을 이용한 얼굴인증 임베디드 시스템을 제안하였다. 또한, 라즈베리파이를 이용하여 제안된 알고리즘에 대한 임베디드 시스템을 구현하였다. 성능분석을 위한 척도로는 주성분분석법의 차원 변화에 따른 스코어 분포와 얼굴인증 시간의 측정값을 이용하였다. 구현된 시스템을 이용한 실험결과, 제안된 얼굴인증 기법은 비교적 우수한 얼굴인증 성능을 가지는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 라즈베리파이 기반 임베디드 시스템은 상대적으로 저렴하게 제안된 시스템을 구현할 수 있는 방법인 것으로 확인되었다.

ACKNOWLEDGMENTS

A part of this work was supported by Business for Cooperative R&D between Industry, Academy, and Research Institute funded Korea Small and Medium Business Administration in 2016 (Grant No. C0442450). And this work was also supported in part by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation (NRF) of Korea funded by the Ministry of Education (MOE) (No. 2015R1D1A1A01060057).

REFERENCES

[1] P. Jeong and Y. Cho, "A real-time electronic attendance-absence recording system using face detection and face recognition," *Journal of the Korea Institute of Information*

- and Communication Engineering*, vol. 20, no. 8, pp. 1524-1530, Aug. 2016.
- [2] H. Han, S. Shan, X. Chen, and W. Gao, "A comparative study on illumination preprocessing in face recognition," *Pattern Recognition*, vol. 46, pp. 1691-1699, June 2013.
- [3] C. Shan, S. Gong, and P. W. McOwan, "Facial expression recognition based on local binary patterns: A Comprehensive study," *Image and Vision Computing*, vol. 27, no. 6, pp. 803-816, May 2009.
- [4] X. Fu and W. Wei, "Centralized binary patterns embedded with image euclidean distance for facial expression recognition," in *Proceeding of the 4th International Conference on Natural Computation*, Jinan, China, vol. 4, pp. 115-199, Oct. 2008.
- [5] S. Ren, X. Cao, Y. Wei, and J. Sun, "Face alignment at 3000 fps via regressing local binary features," in *Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Columbus, OH, pp. 1685-1692, June 2014.
- [6] D. Chen, X. Cao, F. Wen, and J. Sun, "Blessing of dimensionality: High-dimensional feature and its efficient compression for face verification," in *Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Portland, OR, pp. 3025-3032, June 2013.
- [7] D. Chen, X. Cao, L. Wang, F. Wen, and J. Sun, "Bayesian face revisited: A joint formulation," in *Proceeding of European Conference on Computer Vision*, Firenze, Italy, pp. 566-579, Oct. 2012.
- [8] W. Yu, J. Xiu, C. Liu, and Z. Yang, "A depth cascade face detection algorithm based on adaboost," in *Proceeding of IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*, Beijing, China, pp. 103-107, Sep. 2016.
- [9] K.-M. Jenog 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, no. 7, pp. 1495-1504, July 2012.
- [10] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for recognition," *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 3, no. 1, pp. 71-86, 1991.
- [11] The Raspberry Pi Foundation Homepage [Internet]. Available: <http://www.raspberrypi.org>.
- [12] Center for Biometrics and Security Research, CASIA-WebFace Dataset [Internet]. Available: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/CASIA-WebFace-Database.html>.
- [13] Labeled Faces in the Wild, Resources [Internet]. Available: <http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/>.

- [14] Large-scale CelebFaces Attributes Dataset, Download [Internet]. Available: <http://www.pitt.edu/~emotion/ck-spread.htm>.
[Internet]. Available: <http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/projects/CelebA.html>.
- [15] Cohn-Kanade AU Coded Facial Expression Database [Internet]. Available: http://wiki.cnb.cmu.edu/Face_Place.



김동주(Dongju Kim)

1998년 2월: 충북대학교 전자공학과 학사
2000년 2월: 충북대학교 전자공학과 석사
2010년 8월: 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학과 박사
2011년 ~ 2015년: 대구경북과학기술원 IT융합연구부 선임연구원
2016년 ~ 현재: 포항공과대학교 정보통신연구소 책임연구원
※관심분야: 얼굴인식, HCI, 컴퓨터비전, 인공지능



이승익(Seungik Lee)

1994년 2월: 경북대학교 전자공학과 학사
2001년 8월: Colorado State Univ., 전기 및 컴퓨터공학과 석사
2006년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사
2006년 ~ 현재: 연암공업대학교 스마트소프트웨어공학과 교수
※관심분야: 얼굴인식, 영상신호처리, 디지털 신호처리



강석근(Seog Geun Kang)

1999년 8월: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사
2003년 4월 ~ 현재: 경상대학교 공과대학 반도체공학과 및 대학원 전기전자공학과, 교수
2003년 4월 ~ 현재: 경상대학교 공학연구원, 책임연구원
※관심분야: 디지털통신, 무선통신, 오류정정부호, 디지털 신호처리