

LH-FAS v2: 머리 자세 추정 기반 경량 얼굴 위조 방지 기술

허현범[†] · 양혜리^{*} · 정성욱^{**} · 이경재[‡]

LH-FAS v2: Head Pose Estimation-Based Lightweight Face Anti-Spoofing

Hyeon-Beom Heo[†] · Hye-Ri Yang^{*} · Sung-Uk Jung^{**} · Kyung-Jae Lee[‡]

요약

얼굴 인식 기술은 다양한 분야에서 활용되고 있지만, 이는 사진 스푸핑과 같은 위조 공격에 취약하다는 문제를 가지고 있다. 이를 극복하기 위한 여러 연구가 진행되고 있지만, 대부분은 멀티모달 카메라와 같은 특별한 장비를 장착하거나 고성능 환경에서 동작하는 것을 전제로 하고 있다. 본 연구는 얼굴 인식 위조 공격 문제를 해결하기 위해, 특별한 장비 없이 일반적인 웹캠에서 동작할 수 있는 LH-FAS v2를 제안한다. 제안된 방법에서는, 머리 자세 추정에는 FSA-Net을, 얼굴 식별에는 ArcFace를 활용하여 사진 스푸핑 여부를 판별한다. 실험을 위해, 사진 스푸핑 공격 비디오로 구성된 VD4PS 데이터셋을 제시하였으며, 이를 통해 LH-FAS v2의 균형 잡힌 정확도와 속도를 확인하였다. 본 방법은 향후 사진 스푸핑 방어에 효과적일 것으로 기대한다.

ABSTRACT

Facial recognition technology is widely used in various fields but faces challenges due to its vulnerability to fraudulent activities such as photo spoofing. Extensive research has been conducted to overcome this challenge. Most of them, however, require the use of specialized equipment like multi-modal cameras or operation in high-performance environments. In this paper, we introduce LH-FAS v2 (: Lightweight Head-pose-based Face Anti-Spoofing v2), a system designed to operate on a commercial webcam without any specialized equipment, to address the issue of facial recognition spoofing. LH-FAS v2 utilizes FSA-Net for head pose estimation and ArcFace for facial recognition, effectively assessing changes in head pose and verifying facial identity. We developed the VD4PS dataset, incorporating photo spoofing scenarios to evaluate the model's performance. The experimental results show the model's balanced accuracy and speed, indicating that head pose estimation-based facial anti-spoofing technology can be effectively used to counteract photo spoofing.

키워드

Face Recognition, Face Identification, Face Anti-Spoofing, Head Pose Estimation, Face Detection, Deep Learning
얼굴 인식, 얼굴 식별, 얼굴 위조 방지, 머리 자세 추정, 얼굴 감지, 딥러닝

[†] 웅인대학교 컴퓨터과학과 (hyunbum75@gmail.com)

^{*} 웅인대학교 시학부 (didgpf120@gmail.com)

^{**} 고려대학교 인공지능학과 (so45j45@gmail.com)

[‡] 교신저자 : 웅인대학교 시학부

• Received : Dec. 06, 2023, Revised : Jan. 09, 2024, Accepted : Feb. 17, 2024

• Corresponding Author : Kyung-Jae Lee

School of Artificial Intelligence, Yong In University,

Email : kjlee@yongjin.ac.kr

• 접수일 : 2023. 12. 06

• 수정완료일 : 2024. 01. 09

• 게재확정일 : 2024. 02. 17

1. 서 론

얼굴 인식 기술은 인증과 식별 등 다양한 분야에서 활용되고 있으나, 실제 사용자 대신 사진을 카메라에 제시하는 등의 스푸핑 행위는 얼굴 인식 분야의 주요 해결 과제 중 하나로 남아있다[1-8]. 이러한 문제를 해결하기 위해, 얼굴 위조 방지 기술(FAS: Face Anti-Spoofing)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 얼굴 위조 방지 기술은 웹캠과 같이 일반적인 영상만을 사용하는 싱글 모달 카메라를 통한 접근법과, 적외선 영상이나 깊이 정보 등 특수 장비를 통해 수집한 정보를 활용하는 멀티 모달 카메라 접근법으로 나눌 수 있다[5], [9].

싱글 모달 카메라를 사용하는 접근 방식은 웹캠과 같이 저렴하고 간단한 영상 장비를 사용한다. 얼굴 색상 질감 분석, 또는 생리적 신호 등을 통해 실제 얼굴과 사진을 구별하는 다양한 연구들이 이뤄져 왔다[11-13]. 이러한 접근법은 경제성이 좋고 구현이 용이하지만, 멀티 모달 접근법에 비해 정확도가 낮을 수 있다는 한계가 있다. 멀티 모달 카메라를 사용하는 접근법은 싱글 모달에 비해 높은 정확도를 보이지만, 고가의 특수 장비(멀티 모달 카메라와 고성능 프로세서)가 필요한 문제점이 있다[9].

이러한 기존 얼굴 위조 방지 기술들은 기술적 발전으로 비교적 높은 정확도를 제공하지만 상대적으로 고사양의 시스템을 요구한다. 따라서 일반적인 장비에서는 처리 속도가 느려지고, 다수의 사용자를 동시에 처리하는 데 어려움이 있으며, 특수한 장비가 필요한 문제가 있다. 이는 다양한 응용 분야에서 얼굴 위조 방지 기술의 적용을 어렵게 하는 요인으로 작용하고 있다[10].

본 논문에서는 고가의 특수 장비를 필요로 하지 않으면서도 균형 잡힌 처리 속도를 유지하는 새로운 사진 스푸핑 방지 모델인 LH-FAS v2(: Lightweight Head-pose-based Face Anti-Spoofing v2)와 이를 평가하기 위한 VD4PS(: Video Dataset for Photo Spoofing) 데이터셋을 제안한다.

LH-FAS v2는 머리 자세 추정을 위한 FSA-Net 모델과 얼굴 식별을 위한 ArcFace 모델을 사용하여 구성되었다[14-15]. FSA-Net은 일반적으로 사용되는 웹캠과 저성능 장치에서도 효과적으로 머리 자세를 추정할 수 있는 모델이며, ArcFace는 다양한 데이터셋에서 높은 정확도를 보이는 얼굴 식별 모델이다. 이를 통해 저성능 장치에서도 균형 잡힌 정확도와 처리 속도를 제공하며, 기존 멀티 모달 접근 방식에 비해 효율성과 접근성을 향상시키는 방향을 제시한다. LH-FAS v2는 각각의 연산을 병렬적으로 진행한 뒤, 연산 결과를 iLH-FAS(: improved Lightweight Head-pose-based Face Anti-Spoofing) 모듈에 전달하여 입력된 영상의 사진과 실제 사람 여부를 판단한다. 또한, 본 논문에서 제안한 VD4PS 데이터셋은 LH-FAS v2 모델의 학습과 성능 평가를 위해 구축되었으며, 다양한 조건에서의 사진 스푸핑 시나리오를 포함하고 있다.

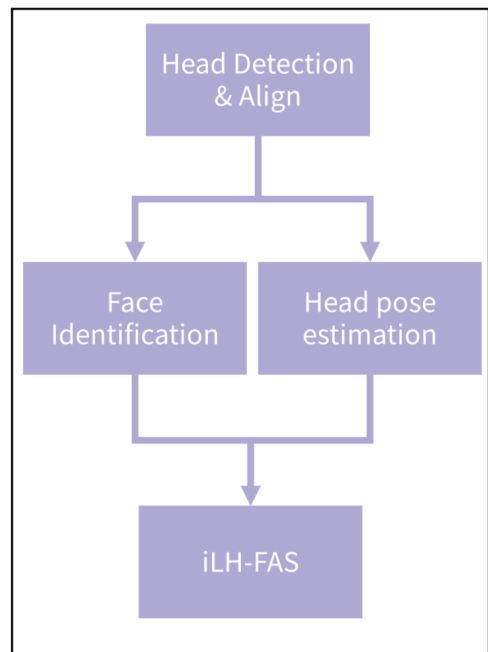


그림 1. LH-FAS v2의 작업흐름도
Fig. 1 The workflow of LH-FAS v2

II. 제안 방법

LH-FAS v2는 별도의 특별한 장비가 없는 노트북 환경에서도 다수의 사용자가 실제인지 아닌지 적절한 정확도로 판별하는 것을 목표로 한다. 그림 1과 같이, LH-FAS v2는 얼굴 탐지 및 정렬(Head Detection & Align), 얼굴 식별(Face Identification), 머리 자세 추정(Head pose estimation), 그리고 iLH-FAS 모듈로 구성되어 있다. 얼굴 탐지 및 정렬 모듈은 입력된 영상에서 얼굴 영역을 감지하고 정렬하며, 정렬된 영상은 ArcFace로 구성된 얼굴 식별 모듈과 FSA-Net으로 구성된 머리 자세 추정 모듈로 전달되어 병렬적으로 처리된다.

iLH-FAS 모듈은 얼굴 식별 모듈과 머리 자세 추정 모듈의 결과를 바탕으로 영상 속 사용자가 실제 사용자인지 혹은 사진 스푸핑지를 분류한다. 이 모듈은 머리 자세 추정 모듈의 잡음을 제거하는 사용자별 중앙값 필터와 사용자별 머리 각도의 최대 변화량을 기록하는 단계, 그리고 이러한 기록된 각도 변화량을 통해 실제 사람과 사진 여부를 판단하는 추론 단계로 구성된다.

이러한 모듈의 조합은 그림 2와 같이 입력된 영상 속 사용자를 등록되지 않은 사용자, 등록된 사용자, 사진 스푸핑에 의한 가짜 사용자의 세 가지 상황으로 분류하여 결과를 출력한다. 등록되지 않은 사용자는 적색 상자로 표시되고(Case 01-A). 등록된 사용자는 녹색 상자로 표시되며, 상자 위에 사용자의 이름이 명시된다(Case 01-B). 사진 스푸핑의 경우, 사용자 이름과 함께 적색 상자로 표기된다(Case 02-C). 이러한 시각적 표시 방법을 통해 시스템은 각 얼굴이 등록되지 않은 사용자, 등록된 사용자, 또는 사진 스푸핑에 의한 것인지를 명확하게 구별하고 표현한다.

2.1 얼굴 탐지 및 정렬 모듈

정확한 얼굴 탐지는 2.2와 2.3에 소개되는 후속 작업에 있어 필수적인 과정이다. 이 모듈에서는 얼굴 탐지와 랜드마크를 통한 얼굴 정렬에 널리 이용되는 MTCNN 모델을 사용하였다[16]. 실험을 통해 입력 이미지 크기를 640x480 픽셀로 설정하고, 최소 얼굴 크기를 130 픽셀 이상으로 정한 경우 속도와 정확도

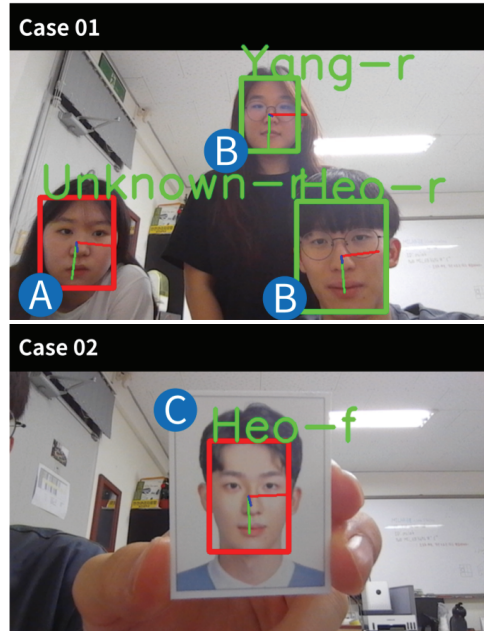


그림 2. 제안된 모델의 상황별 출력 모습
Fig. 2 Output Scenario of the proposed method

간의 최적 균형이 이뤄진다는 것을 확인하였다. 또한, 과도하게 밀집된 환경에서의 처리 시간 증가와 추론 오류를 방지하기 위해 프레임당 최대 5명의 사용자로 제한하였다. 이와 같이 탐지된 얼굴 영역은 얼굴 인식 모듈과 머리 각도 추정 모듈에 전달되어 추가적인 분석이 이루어진다.

2.2 얼굴 식별 모듈

얼굴 식별 모듈은 얼굴 탐지 및 정렬 모듈을 통해 얻은 얼굴 이미지를 분석하여, 해당 사용자가 등록된 사용자인지 아닌지를 판단하고 식별하는 과정을 수행한다. 이 과정에서는 얼굴 인식을 위해 Arcface 모델을 사용하며, 이는 머리 자세 추정 모듈과 병렬적으로 작동하여 영상 속 얼굴을 효율적이고 신속하게 식별한다[15]. 연산이 완료된 후, 이 결과들은 결합되어 iLH-FAS 모듈로 전송되며, 이를 통해 최종적으로 사용자가 실제인지 아니면 사진 스푸핑에 의한 것인지를 분류하는 데 사용된다.

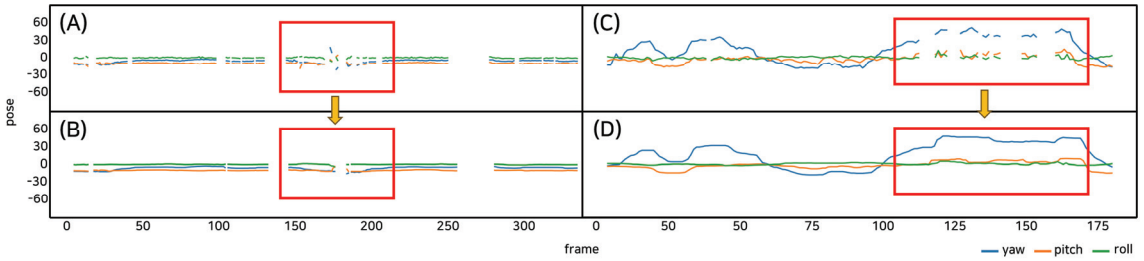


그림 3. 머리자세 추정 모듈을 통해 측정된 머리 각도 데이터 및 iLH-FAS 모듈을 이용해 잡음 제거 과정을 거친 데이터 그래프, 1열(A, B)은 사진 스푸핑 공격에 대한 데이터, 2열(C, D)는 실제 사람의 데이터, 1행(A, C)은 원본, 2행(B, D)은 iLH-FAS 모듈을 통해 잡음 제거 과정을 거친 후.

Fig. 3 Head angle data measured from the head pose estimation module and noise-filtered data using the iLH-FAS module. The first column (A, B) presents data for photo spoofing attacks, and the second column (C, D) shows data for real people. The first row (A, C) displays original data, while the second row (B, D) shows data after noise filtering through the iLH-FAS module.

2.3 머리 자세 추정 모듈

머리 자세 추정 모듈은 LH-FAS v1과 v2의 근간이 되는 핵심적인 모듈로, 얼굴 탐지 및 정렬 모듈로부터 전달받은 얼굴 영상의 자세를 추정한다[17]. 이 모듈은 탐지된 개별 얼굴에 대해 yaw, pitch, roll 값을 계산하여 자세를 추론하고 출력하며, 빠르고 정확한 추론을 위해 FSA-Net을 사용한다. 머리 자세 추정 모듈은 얼굴 식별 모듈과 병렬로 구성되어 독립적으로 수행되며, 정확도를 높이기 위해 얼굴 영상을 두 가지 다른 모델로 추론한 후, 그 결과의 평균을 최종 출력값으로 제공한다. 이러한 결과는 얼굴 식별 모듈의 결과와 결합되어 iLH-FAS 모듈로 전달된다.

2.4 iLH-FAS 모듈

실제 얼굴과 사진을 구별하기 위해 기존 LH-FAS (: improved Lightweight Face Anti-Spoofing) 모듈을 재구성하였다. 제안한 iLH-FAS 모듈에서는 머리 자세 추정 과정을 분리하고, 이를 잡음 제거, 변화량 기록, 추론의 세 단계로 나누었다.

잡음 제거 단계에서는 머리 자세 추정 모듈로부터 발생하는 잡음을 제거하고, 입력된 영상에 시간 개념을 추가하여 사용자의 연속적인 움직임을 추적한다. 이를 위해 최근 $n-1$ 개의 머리 자세 추정 모듈로부터

인코딩된 장면 정보를 기록하고, 현재 시점을 포함한 최근 n 개의 장면에서의 사용자 움직임을 확인하게 된다. 만약 최근 n 개의 장면 중 과반수에서 사용자가 포착되지 않았다면, 현재 시점에서의 사용자 진위 판단을 보류하며, 과반수에서 포착되었다면 그 중앙값을 변화량 기록 단계로 전달한다. 그림 3은 잡음 제거 단계의 전후 데이터를 나타낸다. 상단에 있는 그래프들은 잡음 제거 전 데이터를 의미하며, 특히 적색 상자로 표기해놓은 구간에서 효율적으로 머리 자세 추정 모듈에서 발생하는 잡음을 제거함을 확인할 수 있다. 우리는 실험적으로 $n=10$ 일 때 저성능 장비에서도 적절한 정확도가 나오는 것을 확인하였다.

변화량 기록 단계에서는 잡음 제거 단계로부터 전달받은 중앙값을 기반으로 각 자세의 최솟값과 최댓값을 기록한다. 이렇게 기록된 yaw, pitch, roll의 각 최댓값과 최솟값의 차이를 계산해 최대 변화량으로 변환한 뒤, 추론 단계로 전달한다.

추론 단계에서는 3개의 Layer로 구성된 간단한 다층 퍼셉트론 신경망(MLP)을 사용하며, 변화량 기록 단계에서 얻어진 최대 변화량 값을 기반으로 인식된 사용자의 사진 스푸핑 여부를 판단한다. 해당 모델은 본 논문에서 제안된 비디오 데이터셋 VD4PS로 학습되었으며, 이 데이터셋은 다양한 사진 스푸핑 시나리오를 포함한다.

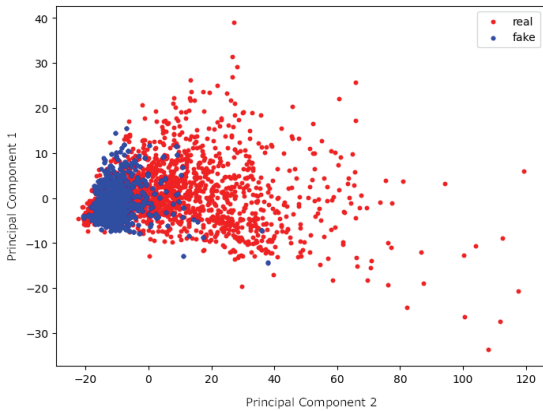


그림 4. VD4PS 데이터셋의 영상들을 머리 자세 추정 모듈로 인코딩 한 뒤 PCA를 통한 시각화한 그림 (붉은 점은 실제 사람 영상을, 푸른 점은 사진 스푸핑 영상을 의미함)

Fig. 4 This figure visualizes the VD4PS dataset videos encoded by the head pose estimation module, followed by visualization through PCA (The red dots represent real human videos, while the blue dots represent photo spoofing videos)

III. VD4PS

VD4PS(: Video Dataset for Photo Spoofing)는 본 논문에서 제안하는 데이터셋으로, 실시간 상황에서 사진 스푸핑 공격을 탐지하기 위해 구축되었다. 그림 4와 같은 형태의 1,514개의 실제 사람이 등장하는 동영상과 1,664개의 사진 스푸핑 영상으로 구성되어 있다.

실제 사람이 등장하는 영상은 300 Videos in the Wild (300-VW)와 YouTube Celebrities Face Tracking and Recognition Dataset에서 한 명의 사람만 등장하는 영상을 추출하여 임의로 선별한 1,514개의 영상으로 구성된다[18-21]. 사진 스푸핑 공격 영상은 LFW Dataset에서 한 명의 사람만 등장하는 사진을 추출하여 임의로 선별한 후, 이를 휴대전화, 인쇄된 종이 형태로 임의의 방향으로 움직이며 녹화한 영상이다[22-25]. 사진 스푸핑 공격 영상의 경우 Flip, Reverse와 같은 데이터 증강 기법을 도입하여 실제 사람이 등장하는 영상 데이터와의 균형을 맞추었다.



그림 5. VD4PS 데이터셋. (A)는 사진 스푸핑 영상, (B)는 실제 사람을 포함한 데이터

Fig. 5 The VD4PS dataset. (A) represents photo spoofing videos, while (B) includes real people

그림 5와 같이 VD4PS 데이터셋은 사진 스푸핑 공격 탐지에 있어 정량적인 모델 평가 척도를 제시하였고, 이 데이터셋은 기존 LH-FAS v1과 비교할 뿐만 아니라 LH-FAS 모델 성능 개선을 정량적으로 평가하는 데에도 이용되었다.

IV. 실험

본 연구에서는 VD4PS 데이터셋을 활용하여 LH-FAS v1과 LH-FAS v2 모델을 비교하고 성능 개선을 도모하는 실험을 진행하였다.

LH-FAS v1에서는 실험을 통해 실제 사람의 경우 yaw 값이 크게 변하며, 사진 스푸핑 공격의 경우에는 그 값이 크게 변화하지 않음을 시사하였다[16]. 이는 그림 5와 같이 VD4PS 데이터셋을 머리 자세 추정 모듈로 인코딩하였을 때 시각화된 모습으로 확인할 수 있었으며, yaw 값 뿐만 아니라 다른 pitch, roll 값 또한 실제 사람과 사진 스푸핑 영상에서 유의미한 차이가 있다는 것을 확인하였다. 이러한 사진 스푸핑 공격과 실제 사람의 자세 추정값 차이를 분류하기 다층 퍼셉트론 신경망을 활용하여 학습을 진행하였으며, 표 1에 제시된 바와 같이 기존 LH-FAS v1과 비교해 큰 성능 향상을 이루게 되었다.

LH-FAS v2는 다층 퍼셉트론 신경망을 사용하여 학습을 진행하였고, 드롭아웃과 정규화를 적용한 추가 실험도 진행하였다. 표 1에서 제시된 바와 같이, 계층이 3개인 신경망에 정규화만을 적용하였을 때 가

표 1. LH-FAS v1과 LH-FAS v2의 성능 비교
Table 1. Performance comparisons between LH-FAS v1 and LH-FAS v2

Models \ Metrics	Attack Faces Precision	Attack Faces Recall	Genuine Faces Precision	Genuine Faces Recall
LH-FAS v1	0.55	0.95	0.84	0.24
LH-FAS v2	0.75	0.98	0.98	0.67
LH-FAS v2 (Dropout)	0.66	0.98	0.97	0.51
LH-FAS v2 (Normalization)	0.81	1.0	1.0	0.75

장 높은 성능을 보였다.

이 신경망은 한 사람의 yaw, pitch, roll 값의 최대 변화량을 나타내는 3개의 값을 VD4PS로 학습한 수치를 기반으로 정규화하였다. 정규화한 3개의 데이터를 입력으로 하여, 첫 번째 계층에서 64개의 데이터로 변환하고, 두 번째 계층에서 이를 32개로 줄인 후, 마지막 계층에서 사람과 사진을 구분하는 2개의 데이터로 출력하는 총 3계층으로 구성되어 있다. 마지막 계층의 값은 Softmax를 적용하여 확신도가 0.8 이상인 경우에만 실제 사람으로 분류하도록 설정하였으며, 이 경우 실제 모델의 동작에서 가장 우수한 것을 실험적으로 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 얼굴 위조 방지(FAS) 기술을 적용한 LH-FAS v2를 제안하였으며, 이는 얼굴 탐지 및 정렬 모듈, 얼굴 인식 모듈, 머리 자세 추정 모듈, 그리고 iLH-FAS 모듈로 구성되어 있다. 또한, VD4PS 데이터셋을 구축하여 모델을 학습하고 평가하는 데 활용하였다. 우리의 접근은 균형 잡힌 속도와 정확성을 목표로 두고 있으며, 제안된 iLH-FAS 모듈은 사용자의 머리 자세로 추정된 yaw, pitch, roll 값을 통해 신속하게 사진과 실제 사람을 구분할 수 있었다.

제안된 모델은 GTX1650ti가 장착된 노트북 환경에서 안정적으로 구동되었으며, 별도의 카메라 장비 없이 노트북에 내장된 싱글 모달 카메라를 통해 최대 5명의 사용자를 동시에 처리할 수 있었다. LH-FAS v2 모델이 FAS 보급에 중요한 역할을 할 것이며, 전자 출결 시스템과 같은 다양한 응용 프로그램에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] M. O. Oloyede, G. P. Hancke, and H. C. Myburgh, "A review on face recognition systems: recent approaches and challenges," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, July 2020, pp. 27891-27922.
- [2] M. T. H. Fuad, A. A. Fime, D. Sikder, M. A. R. Iftee, J. Rabbi, M. S. Al-Rakhami, A. Gumaiei, O. Sen, M. Fuad, and M. N. Islam, "Recent Advances in Deep Learning Techniques for Face Recognition," *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 99112-99142.
- [3] H. Lee and Y. Park, "A Study of Attendance Check System using Face Recognition," *Journal of the KIECS*, vol. 17, no. 6, Dec. 2022, pp.

- 1193-1198.
- [4] J. Kim and E. Kim, "Face Recognition and Temperature Measurement Access Control System using Machine Learning," *Journal of the KIECS*, vol. 16, no. 1, Feb. 2021, pp. 197-202.
- [5] Z. Yu, A. Liu, C. Zhao, K. H. M. Cheng, X. Cheng, and G. Zhao, "Flexible-modal face anti-spoofing: A benchmark," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vancouver, Canada, June 2023, pp. 6345-6350.
- [6] Z. Yu, Y. Qin, X. Li, C. Zhao, Z. Lei, and G. Zhao, "Deep Learning for Face Anti-Spoofing: A Survey," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 45, no. 5, 2022, pp. 5609-5631.
- [7] P. Anthony, B. Ay, and G. Aydin, "A Review of Face Anti-spoofing Methods for Face Recognition Systems," *2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, Kocaeli, Turkey, Aug. 2021, pp. 1-9.
- [8] Z. Wang, Q. Wang, W. Deng, and G. Guo, "Face Anti-Spoofing Using Transformers With Relation-Aware Mechanism," *IEEE Transactions on Biometrics, Behavior, and Identity Science*, vol. 4, no. 3, 2022, pp. 439-450.
- [9] X. Chen, S. Xu, Q. Ji, and S. Cao, "A Dataset and Benchmark Towards Multi-Modal Face Anti-Spoofing Under Surveillance Scenarios," *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 28140-28155.
- [10] R. H. Vareto and W. R. Schwartz, "Face spoofing detection via ensemble of classifiers toward low-power devices," *Pattern Analysis and Applications*, vol. 24, no. 2, 2021, pp. 511-521.
- [11] Z. Boulkenafet, J. Komulainen, and A. Hadid, "Face anti-spoofing based on color texture analysis," *2015 IEEE international conference on image processing (ICIP)*. IEEE, Quebec, Canada, Sept. 2015, pp. 2636-2640.
- [12] Z. Yu, X. Li, P. Wang, and G. Zhao, "Transrppg: Remote photoplethysmography transformer for 3d mask face presentation attack detection," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 28, 2021, pp. 1290-1294.
- [13] Z. Yu, A. Liu, C. Zhao, K. H. Cheng, X. Cheng, and G. Zhao, "Flexible-modal face anti-spoofing: A benchmark," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vancouver, Canada, June 2023, pp. 6345-6350.
- [14] T. Y. Yang, Y. T. Chen, Y. Y. Lin, and Y. Y. Chuang, "Fsa-net: Learning fine-grained structure aggregation for head pose estimation from a single image," *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, California, USA, June 2019, pp. 1087-1096.
- [15] J. Deng, J. Guo, N. Xue, and S. Zafeiriou, "Arcface: Additive angular margin loss for deep face recognition," *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*, California, USA, June 2019, pp. 4690-4699.
- [16] K. Zhang, Z. Zhang, Z. Li, and Y. Qiao, "Joint Face Detection and Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 23, no. 10, Oct. 2016, pp. 1499-1503.
- [17] H. Heo, H. Yang, J. Hong, S. Kim, Y. Kim, H. Kim, and K. Lee, "LH-FAS: A Lightweight Head Pose-based Face Anti-Spoofing Method," *2nd International Conference of Next Generation Convergence Technology (ICNGCT)*, Clark, Philippines, Aug. 2023, pp. 97-103.
- [18] G. G. Chrysos, E. Antonakos, S. Zafeiriou, and P. Snape, "Offline deformable face tracking in arbitrary videos," *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision workshops*, Santiago, Chile, Dec. 2015, pp. 1-9.
- [19] J. Shen, S. Zafeiriou, G. G. Chrysos, J. Kossafi, G. Tzimiropoulos, and M. Pantic, "The first facial landmark tracking in-the-wild challenge: Benchmark and results," *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision workshops*, Santiago, Chile, Dec. 2015, pp. 50-58.

- [20] G. Tzimiropoulos, "Project-out cascaded regression with an application to face alignment," *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, Santiago, Chile, Dec. 2015, pp. 3659 - 3667.
- [21] M Kim, S. Kumar, V. Pavlovic, and H. Rowley, "Face Tracking and Recognition with Visual Constraints in Real-World Videos," *2008 IEEE Conference on computer vision and pattern recognition*. IEEE, Anchorage, AK, June 2008, p. 1-8.
- [22] G. B. Huang, M. Mattar, T. Berg, and E. Learned-Miller, "Labeled faces in the wild: A database for studying face recognition in unconstrained environments," *Workshop on faces in Real-Life Images: detection, alignment, and recognition*, Marseille, France, Oct. 2008.
- [23] G. B. Huang and E. Learned-Miller, "Labeled faces in the wild: Updates and new reporting procedures," *Technical Report*, 2014.
- [24] E. Learned-Miller, G. B. Huang, A. RoyChowdhury, H. Li, and G. Hua, "Labeled faces in the wild: A survey," *Advances in face detection and facial image analysis, Report*, 2016, pp. 189-248.
- [25] G. B. Huang, V. Jain, and E. Learned-Miller, "Unsupervised joint alignment of complex images," *2007 IEEE 11th international conference on computer vision*. IEEE, Rio de Janeiro, Brazil, Aug. 2007, pp. 1-8.



양혜리(Hye-Ri Yang)

2021년-현재 용인대학교 AI학부 AI전공

※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 딥러닝



정성욱(Sung-Uk Jung)

2023년 용인대학교 컴퓨터과학과 졸업(학사)

2023년-현재 고려대학교 대학원 인공지능학과 석박사 통합과정

※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 딥러닝



이경재(Kyung-Jae Lee)

2011년 경희대학교 전자전파공학과 졸업(공학사)

2013년 연세대학교 대학원 전기전자공학부 졸업(공학석사)

2018년 연세대학교 대학원 전기전자공학부 졸업(공학박사)

2018년-2020년 삼성전자 무선사업부 책임연구원

2020년-현재 용인대학교 AI학부 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 다중센서융합

저자 소개



허현범(Hyeon-Beom Heo)

2024년 용인대학교 컴퓨터과학과 졸업(학사)

※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 딥러닝