

유연한 모델 기반의 얼굴 영역 검출 방법

장석우
안양대학교 소프트웨어학과

A Flexible Model-Based Face Region Detection Method

Seok-Woo Jang
Department of Software, Anyang University

요약 일반적인 카메라와 다르게 초당 매우 많은 개수의 프레임을 캡처할 수 있는 기능을 가진 고속의 카메라는 그동안 제한적이었던 일부의 영상 처리 기술들의 고도화를 가능하게 할 수 있다. 본 논문에서는 입력되는 초고속의 컬러 영상으로부터 잡음을 제거한 다음, 잡음이 제거된 영상으로부터 사람의 얼굴 영역을 검출하는 방법을 제시한다. 본 논문에서는 우선 입력되는 초고속의 영상 안에 포함된 잡음 화소들을 양방향의 필터를 적용하여 효과적으로 제거한다. 그런 다음, 레티나 얼굴 모델을 사용하여 잡음이 제거된 영상으로부터 사람의 개인 정보를 대표적으로 나타내는 얼굴 영역을 강인하게 검출한다. 실험 결과에서는 본 논문에서 제시한 알고리즘이 입력되는 컬러 영상으로부터 잡음을 제거한 다음, 생성된 모델을 사용하여 사람의 얼굴 영역을 강인하게 검출한다는 것을 보여준다. 본 논문에서 제시된 모델 기반의 얼굴 영역 검출 방법은 실내외 건물의 모니터링, 출입문 개폐 관리, 그리고 모바일 생체 인증과 같은 영상처리 및 패턴 인식과 관련된 실제적인 많은 응용 분야의 기초 기술로 사용될 것으로 예상된다.

Abstract Unlike general cameras, a high-speed camera capable of capturing a large number of frames per second can enable the advancement of some image processing technologies that have been limited so far. This paper proposes a method of removing undesirable noise from an high-speed input color image, and then detecting a human face from the noise-free image. In this paper, noise pixels included in the ultrafast input image are first removed by applying a bidirectional filter. Then, using RetinaFace, a region representing the person's personal information is robustly detected from the image where noise was removed. The experimental results show that the described algorithm removes noise from the input image and then robustly detects a human face using the generated model. The model-based face-detection method presented in this paper is expected to be used as basic technology for many practical application fields related to image processing and pattern recognition, such as indoor and outdoor building monitoring, door opening and closing management, and mobile biometric authentication.

Keywords : Face Model, Learning, Ground Truth, Pattern Recognition, Object Region

1. 서론

최근 들어, 초당 수백 프레임 이상을 촬영할 수 있는 삼성의 갤럭시 S 시리즈에 장착된 소형의 카메라와 같이

상대적으로 저렴한 초고속의 카메라가 조금씩 보편화되면서 초고속의 카메라[1]로 촬영된 영상 콘텐츠를 일반인들이 인터넷을 통해 용이하게 획득할 수 있는 환경이 어느 정도는 마련되었다. 이런 초고속의 영상 콘텐츠는 물

*Corresponding Author : Seok-Woo Jang(Anyang Univ.)

email: swjang@anyang.ac.kr

Received March 12, 2021

Accepted May 7, 2021

Revised April 12, 2021

Published May 31, 2021

체의 미세한 움직임 측정, 물체의 3차원 모델링 및 분석 등과 같이 다양한 응용 분야에서 유용하게 활용 가능하다[2].

그러나 많은 사용자들에게 유용한 정보를 제공하는 초고속 영상 데이터와 더불어 사람의 얼굴이나 신체의 특정한 부분과 같이 노출된 개인 정보가 포함된 초고속의 영상 데이터도 아무런 제한 없이 자유롭게 유통되고 있어서 사회적으로 문제가 될 수 있다. 특히, 본인의 개인 정보가 노출되어 많은 사람들에게 공유가 되고 있다는 사실을 인지한 당사자들은 매우 큰 정신적인 피해를 받는다.

그러므로 입력되는 초고속의 컬러 영상으로부터 얼굴과 같이 노출된 사람의 개인 정보[3]를 대표하는 영역을 영상처리 기법을 통해 강인하게 검출하는 연구가 필요한 실정이다. 이와 같이 검출된 사람의 개인 정보 영역들은 바로 다음 단계에서 진행되는 모자이크와 같은 블로킹(blocking) 처리를 통해서 효과적으로 보호될 수 있다.

입력된 컬러 영상 데이터로부터 얼굴과 같이 노출된 사람의 개인 정보를 나타내는 영역을 검출하기 위해 기존에 진행되었던 관련된 연구는 주변의 문헌에서 찾아볼 수 있다. [4]에서는 우수한 성능을 달성할 뿐만 아니라 효율적으로 실행되는 새로운 단일 단계(single stage)의 얼굴 검출기를 구축하기 위해 특징 응집 네트워크(FANet)를 제안하였다. 특징 피라미드 네트워크(FPN)에서 영감을 얻은 프레임워크의 핵심 아이디어는 다양한 스케일의 상위 수준 시맨틱 기능 맵을 집계하여 단일 컨볼루션 신경망의 고유한 다중 스케일 기능을 활용하는 것이다. 제안된 얼굴 검출기는 VGA 해상도 이미지를 대상으로 GPU에서 실시간으로 실행된다.

[5]에서는 모바일 도메인에서 부분 얼굴 인식기에 대해 제안한다. 보통 얼굴 감지 알고리즘은 가려진 얼굴과 부분적으로 보이는 얼굴이 많이 존재하기 때문에 모바일 도메인에서 잘 수행되지 않는다. 부분적인 얼굴 문제를 처리하는 한 가지의 유망한 기술은 얼굴 세그먼트를 기반으로 얼굴 감지기를 설계하는 것이다. 따라서 이 방법에서는 세그먼트 기반 얼굴 검출의 두 가지 다른 접근 방식, 즉 제안(proposal) 기반 감지 및 중단 간 회귀 감지에 대해 기술한다.

[6]에서는 모바일 장치에서 실시간적으로 얼굴을 검출하기 위해 제안 생성 가속화 프레임워크를 제안하였다. 이 방법은 컨볼루션 신경망 캐스케이드를 기준으로 선택하고, 추론 시간을 고속화하기 위한 가속 알고리즘을 고안한다. 그리고 제안된 방법은 전역적이고 지역적인 얼굴

특성을 모두 사용하여 영상의 피라미드 레벨의 개수를 축소한다. 공개된 얼굴 데이터베이스를 대상으로 제안된 방법이 테스트되었으며, 빠르고 강인한 결과를 보여주었다.

[7]에서는 포즈에 무관한 얼굴 인식을 위해서 프로필 영상을 정면 얼굴로 정규화하는 방법을 제안한다. 이 방법에서는 딥러닝 기법을 활용하여 좋은 결과를 얻었다. 그러나 얼굴 정면화의 심층 모델을 훈련하려면 일반적으로 획득하는데 비용과 시간이 많이 소요되는 쌍을 이루는 훈련 데이터가 필요하다. 이 문제를 해결하고 포즈 불변적인 얼굴 인식을 위해 정면 얼굴 이미지를 생성하는 포즈 조건 CycleGAN(PCCycleGAN)을 제안하였다. 위에서 기술한 기존의 방법들 이외에도 영상 분석을 통해 얼굴과 같은 개인 정보를 포함한 관심 영역을 검출하는 연구들이 계속해서 진행되고 있다[8].

위에서 언급한 기존의 방법들은 일반적인 환경에서 어느 정도는 정확성 있게 사람의 얼굴 영역을 검출한다. 그러나 이 방법들은 대부분 초고속의 카메라가 아니라 보통의 평속 카메라로 촬영된 정지 및 동영상을 대상으로 한다. 그러므로 기존의 방법에서 사용하였던 얼굴 검출 알고리즘들을 초고속의 영상 처리에 단순히 적용하기에는 어느 정도 한계 및 제약사항(constraint)들이 존재한다.

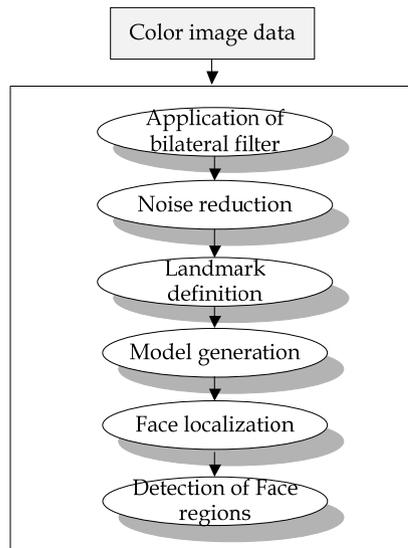


Fig. 1. Flow diagram of the proposed method

그러므로 본 연구에서는 시스템에 입력된 초고속의 컬러 영상으로부터 양방향의 필터를 사용하여 입력 영상 내에 포함된 불필요한 잡음 화소들을 효과적으로 제거한 다음, 랜드마크(landmark) 기반의 얼굴 모델을 사용하

여 잡음이 제거된 영상으로부터 개인 정보를 나타내는 사람의 얼굴 영역을 강인하게 검출하는 방법을 소개한다. Fig. 1은 본 연구에서 소개하고 있는 다섯 개의 랜드마크를 이용한 모델 기반의 얼굴 영역 검출 알고리즘의 전체적인 흐름도를 간략히 보여준다.

상기 Fig. 1에서 파악할 수 있듯이 본 연구에서 제시한 알고리즘에서는 먼저 받아들인 입력 영상에 존재하는 불필요한 잡음들을 양방향의 필터를 적용하여 효과적으로 감소시킨다. 그런 다음, 잡음이 제거된 영상으로부터 랜드마크 기반으로 생성된 모델을 이용하여 개인 정보를 대표하는 사람의 얼굴 영역을 강인하게 추출한다.

1장에서는 본 연구를 수행하게 된 전체적인 개요 및 배경에 대해 기술하였다. 2장에서는 입력 받은 영상 안에 포함된 잡음을 제거하는 전처리에 대해 기술한다. 3장에서는 랜드마크 모델을 생성하고, 생성된 모델을 이용하여 입력된 영상으로부터 얼굴 영역을 검출하는 방법에 대해 기술한다. 그리고 4장에서는 본 연구에서 제시된 모델 기반의 얼굴 영역 검출 방법의 성능을 비교 및 평가하기 위하여 진행한 실험결과에 대해 기술한다. 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구 계획에 대해 기술한다.

2. 영상 전처리

본 연구에서는 고속으로 입력 받은 컬러 영상 내에 원하지 않게 포함된 잡음들을 효과적으로 제거하기 위해서 양방향(bilateral)의 필터[9]를 적용한다. 일반적으로, 초고속의 카메라가 받는 빛의 세기가 전기적인 시그널로 인하여 생기는 시그널보다 상대적으로 약할 경우 노이즈(noise)가 종종 생긴다. 또한, 초고속의 카메라에 장착된 영상 센서의 사이즈가 작은 반면에 해상도가 높을 때에도 노이즈가 많이 생기는 편이다. 따라서 본 연구에서는 영상에 대한 전처리를 통해 노이즈를 최대한 제거한 다음 사람의 얼굴 영역 검출을 보다 안정적으로 시도하고자 한다.

보통 컬러 영상 내에 포함된 여러 가지 형태의 노이즈를 감소시키기 위해서 2차원 형태의 가우시안(Gaussian) 필터가 종종 사용되기도 한다. 그러나 가우시안 필터는 사용하기가 간편하다는 장점이 있는 반면에 영상 안의 내용물이 블러링(blurring)된다는 단점이 존재한다. 다시 말해, 가우시안 필터를 컬러 영상에 적용할 경우 영상 내부에 존재하는 객체의 경계 부분이 흐려지는 현상이 발생한다.

따라서 본 연구에서는 영상 내에 있는 물체의 경계 부분이 최대한 보존될 수 있도록 동작하는 양방향의 필터를 적용한다. 본 연구에서 사용하는 양방향 필터는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$I^{filter}(x) = \frac{1}{W_p} \sum_{x_i \in \Omega} I(x_i) \times f_r(\|I(x_i) - I(x)\|) \times g_s(\|x_i - x\|) \quad (1)$$

식 (1)에서 $I(x)$ 는 필터링되는 초기의 입력 영상을 의미하며, $I^{filter}(x)$ 는 양방향 필터링이 처리된 결과 영상을 의미한다. 그리고 x 는 필터링이 적용되는 화소의 현재 위치를 나타내며, Ω 는 x 를 중심으로 위치하는 탐색 윈도우를 나타낸다. 그러므로 x_i 는 인접하고 있는 다른 화소를 나타낸다. 또한 함수 f_r 은 이웃하는 화소 값들의 차이를 스무딩하기 위한 범위 커널을 의미하고, 함수 g_s 는 이웃하는 좌표들의 차이를 스무딩하기 위한 공간 커널을 나타낸다. 본 연구에서 커널 f_r 과 g_s 는 가우시안 함수를 이용한다.

$$W_p = \sum_{x_i \in \Omega} f_r(\|I(x_i) - I(x)\|) g_s(\|x_i - x\|) \quad (2)$$

식 (1)에서 사용하는 가중치 요소 W_p 는 공간 커널 g_s 와 범위 커널 f_r 를 이용하여 식 (2)와 같이 정의된다. 만일 입력된 영상에서 노이즈가 포함된 (i, j) 에 있는 화소를 생각해 보자. 또한 (i, j) 에 이웃하고 있는 화소들 중의 한 화소가 (k, l) 에 위치해 있다고 생각해 보자. 그렇다면 범위 커널과 공간 커널을 2차원의 가우시안 함수로 설정하고, (i, j) 에 위치한 화소의 노이즈를 없애기 위해 (k, l) 에 위치하는 화소에 설정되는 가중치 요소는 식 (3)과 같이 설정된다.

$$w(i, j, k, l) = \exp\left(-\frac{(i-k)^2 + (j-l)^2}{2\sigma_d^2} - \frac{\|I(i, j) - I(k, l)\|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

식 (3)에서 $I(i, j)$ 와 $I(k, l)$ 은 위치 (i, j) 와 위치 (k, l) 에 있는 화소의 명암 값을 각각 나타내며, σ_d 와 σ_r 은 각각 범위 및 공간 스무딩 파라미터이다. 본 연구에서는 가중치 요소를 추출한 다음 정규화를 수행하면 식 (4)와 같이 위치 (i, j) 에서 노이즈가 감소된 화소의 명암 값 $I_D(x, y)$ 을 획득할 수 있다.

$$I_D(i, j) = \frac{\sum_{k,l} I(k, l) w(i, j, k, l)}{\sum_{k,l} w(i, j, k, l)} \quad (4)$$

보통 범위 파라미터 σ_r 의 값이 커질수록 가우시안 회선(convolution)의 범위가 보다 넓어지며 평활화된다. 그리고 공간 파라미터 σ_d 의 값이 커질수록 보다 큰 특징이 평활화된다.

양방향의 필터링은 가우시안 필터링과 같이 현재 화소와 주변 화소와의 상관관계를 생각하고, 관심 영역에 있는 화소들이 가진 값들과의 차이를 고려하여 영상 안에 포함된 노이즈를 축소시킨다. 이때 양방향의 필터링에서 해당하는 화소의 값은 주변에 위치한 화소들 값의 가중화된 평균값으로 설정된다. 그리고 이때 사용된 가중화 요소는 일반적인 가우시안 분포에 따라 설정될 수도 있다.

3. 모델 기반의 얼굴 검출

본 논문에서는 이전 단계에서 수행한 양방향의 필터링을 통해서 노이즈가 감소된 초고속의 컬러 영상으로부터 얼굴 모델을 기반으로 노출된 개인 정보가 포함된 사람의 얼굴 영역을 강인하게 검출하고자 한다. 이를 위해, 본 연구에서는 랜드마크를 기반으로 하고 있는 레티나 얼굴(RetinaFace) 모델을 사용하고자 한다[10].

본 논문에서 사용하는 레티나 얼굴 모델은 단일 계층 방식의 얼굴 검출 방법을 사용하고 있는데, 조인트 여분 감독(extra-supervised), 자기 감독(self-supervised) 멀티태스크 학습을 통해서 다양한 크기의 얼굴에 대한 화소 단위의 얼굴 지역화를 실시한다. 해당 학습 방법의 주요한 처리 과정에 대한 설명은 다음과 같다.

▪ 멀티태스크 손실

모든 학습 앵커 i 에 대해 레티나 모델은 식 (5)와 같이 손실을 최소화한다.

$$L = L_{cls}(p_i, p_i^*) + \lambda_1 p_i^* L_{box}(t_i, t_i^*) + \lambda_2 p_i^* L_{pts}(l_i, l_i^*) + \lambda_3 p_i^* L_{pixel} \quad (5)$$

식 (5)에서 $L_{cls}(p_i, p_i^*)$ 는 얼굴 분류 손실을 나타내고, p_i 는 앵커 i 가 얼굴인지 예측한 확률을 나타내며, p_i^* 는 긍정 앵커에 대해서는 1을 부여하고 반대의 경우에는 0을 부여한다. 분류 손실은 이진 부류에 대한 소프트맥스

(softmax) 손실을 사용한다. 얼굴 영역 회귀 손실인 $L_{box}(t_i, t_i^*)$ 에서는 긍정 앵커에 대해 예측된 영역과 그라운드 트루스(ground truth) 영역을 표현하는 $t_i = \{t_x, t_y, t_w, t_h\}_i$ 와 $t_i^* = \{t_x^*, t_y^*, t_w^*, t_h^*\}_i$ 를 사용하며, 얼굴 영역에 대해서는 얼굴의 중앙 위치, 그리고 가로와 세로 너비를 사용하여 목표를 정규화한다. 얼굴 랜드마크 회귀 손실인 $L_{pts}(l_i, l_i^*)$ 은 긍정적인 앵커에 대한 다섯 가지의 예측된 얼굴의 랜드마크와 그라운드 트루스인 $l_i = \{l_{x_1}, l_{x_2}, \dots, l_{x_5}, l_{y_5}\}_i$ 와 $l_i^* = \{l_{x_1}^*, l_{x_2}^*, \dots, l_{x_5}^*, l_{y_5}^*\}_i$ 를 사용한다. 얼굴 영역과 마찬가지로 랜드마크 회귀 또한 앵커의 중심을 기준으로 한 정규화가 진행된다. 마지막 손실인 밀집 회귀 손실인 L_{pixel} 은 손실 균형 매개변수 $\lambda_1 - \lambda_3$ 를 각각 0.25, 0.1, 0.01로 사용한다.

▪ 밀집 회귀 분기

레티나 얼굴 모델에서는 빠른 지역화된 스펙트럼 필터링 방법에 기반한 그래프 콘볼루션을 통해 메쉬 디코더를 구현한다. 또한, 보다 빠른 디코딩을 위해서 조인트 모양과 텍스처 디코더 유사도를 사용한다. 일반적인 콘볼루션과는 다르게 그래프 콘볼루션은 유클리디언 반응 필드를 이웃과의 거리를 계산하여 사용한다. 레티나 얼굴 모델에서의 그래프 정점은 조인트 모양과 텍스처 정보를 포함한 컬러 얼굴 메쉬를 사용하여 정의되며, 희소 인접(sparse adjacency) 행렬을 통해서 정점 간의 연결이 정의된다.

▪ 영상의 화질 구분

본 논문에서 사용하는 레티나 얼굴 모델에서는 여러 가지의 얼굴 영상들을 영상의 화질을 기준으로 다섯 가지 부류로 구분한다. 여기에서 영상의 화질을 구분하는 방법은 얼굴 영역 위에 랜드마크를 얼마나 표시하기가 어려운지를 기준으로 한다. 여기에서 사용되는 랜드마크로는 사람의 양쪽 눈동자, 코끝, 그리고 양쪽의 입가를 사용하였다.

본 연구에서는 상기의 과정을 통해 학습된 모델과 초고속의 카메라를 결합하여 사용한다. 초고속의 카메라 환경에서는 깜빡임 현상, 제거되지 않은 잠음 때문에 영상 센서에 포착되는 화질이 깨끗하지 않다. 그러나 레티나 얼굴 모델은 얼굴 분류, 랜드마크, 밀집도 검사, 랜드마크 사이의 그래프 개념이 적용된 방법을 사용하여 좋지 못

한 화질에서도 비교적 높은 성능을 나타낼 수 있다.

4. 실험 결과

본 연구에서 제시된 알고리즘의 개발 및 테스트를 위해 사용된 컴퓨터는 인텔 코어 i7-6700 3.4 GHz의 중앙처리장치(CPU), 16GB의 메인 메모리, 갤럭시 지포스 GTX 1080 Ti 그래픽 카드, 256GB의 솔리드 스테이트 드라이브(SSD)로 이루어져 있다. 실험을 위해 사용된 컴퓨터에는 운영체제로 윈도우즈 10이 설치되어 있다. 그리고 시스템 개발을 위한 통합 개발 환경(IDE)으로는 마이크로소프트의 비주얼 스튜디오 2017이 설치되었다. 또한, 본 연구에서 제안된 알고리즘을 보다 효율적으로 개발하기 위해서 OpenCV 영상처리 라이브러리도 활용되었다.

Fig. 3은 제안된 랜드마크 모델 기반의 방법을 이용하여 사람의 개인 정보가 포함된 초고속의 컬러 영상으로부터 얼굴을 검출한 결과를 보여준다. Fig. 3에서 빨간색의 사각형은 검출된 얼굴 영역에 해당하는 최소 포함 사각형(MER)을 나타내고, 사각형 안에 보여지는 5개의 점은 모델을 구성하는 랜드마크를 나타내며, 사각형 안에 표시되는 숫자는 검출된 영역이 얼굴일 확률을 나타낸다.

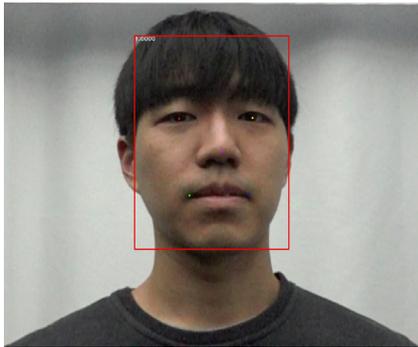


Fig. 3. Face region detection

본 연구에서는 제시된 랜드마크 모델 기반의 얼굴 영역 검출 접근 방법의 성능을 정확도 측면에서 수량적으로 비교 평가하였다. 본 연구에서는 입력받은 컬러 영상으로부터 소개된 방법을 통해 정확하게 추출된 얼굴 영역의 개수, 그리고 실험에 사용되는 전체 영상 데이터에 원래 존재하는 얼굴 영역의 개수와의 비율로 표현되는 식 (6)과 같은 정확성 척도를 사용하였다. 식 (6)에서 $FACE_{detected}$ 는 소개된 방법을 사용하여 정확하게 검출된

얼굴 영역의 수를 나타낸다. 또한 $FACE_{existing}$ 은 실험에 사용된 전체의 컬러 영상 데이터에 포함되어 있는 얼굴 영역의 전체적인 수를 나타낸다. 식 (6)에서 확인할 수 있듯이 본 연구에서 정의하여 사용하는 얼굴 검출 정확도 척도는 백분율로 표시된다.

$$M_{accuracy} = \frac{FACE_{detected}}{FACE_{existing}} \times 100 (\%) \quad (6)$$

Fig. 4는 기존의 피부 색상 모델 기반의 방법과 제안된 방법으로 초고속 영상으로부터 얼굴 검출을 수행한 성능 측정 결과를 비교하여 보여준다. Fig. 4에서 파악할 수 있듯이, 본 연구에서 제시한 접근 방법이 영상에 포함된 잡음을 제거한 다음, 랜드마크 기반의 모델을 사용하여 노출된 사람의 얼굴 영역을 보다 강인하게 검출한다.

기존의 얼굴 검출 방법은 초고속의 영상에 포함되어 있는 잡음을 올바르게 보정하지 못하였다. 그리고 고정적이며 유연하지 않은 모델을 사용하므로 얼굴 검출에 오류가 상당수 발생하였다.

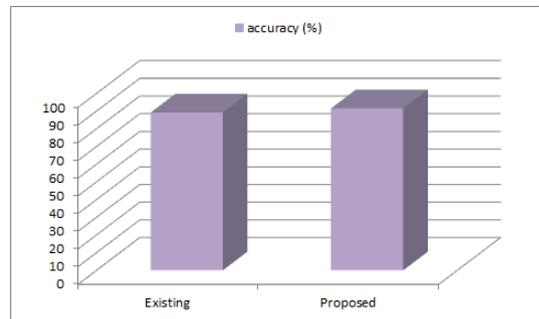


Fig. 4. Performance evaluation

이에 비해, 본 연구에서 제시된 방법은 영상에 포함된 바람직하지 않은 잡음을 양방향의 필터를 적용하여 제거한다. 그런 다음, 다섯 개의 랜드마크로 구성된 유연한 모델을 생성하여 잡음이 제거된 컬러 영상으로부터 얼굴 검출을 시도하므로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

5. 결론

최근 들어, 가격이 상대적으로 저렴한 초고속의 카메라가 조금씩 보편화됨에 따라서 일반인들이 초고속 카메라로 촬영된 영상 콘텐츠도 점점 더 용이하게 획득할 수

있게 되었다. 그러나 얼굴이나 신체의 특정한 부위와 같이 개인 정보가 노출된 초고속 영상도 함께 자유롭게 보급되고 있어서 문제가 되고 있다. 그러므로 입력받은 초고속의 컬러 영상으로부터 사람의 개인 정보를 포함하고 있는 노출된 객체 영역을 정확하게 검출하는 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 특별한 제약사항이 없는 실내외의 공간에서 촬영된 초고속의 영상에 바람직하지 않게 포함된 잡음을 제거하고, 잡음이 제거된 영상으로부터 개인 정보를 나타내는 얼굴 영역을 정확하게 추출하는 기법을 소개하였다. 소개된 방법에서는 우선 입력받은 컬러 영상으로부터 양방향의 필터를 이용하여 영상 안에 발생한 잡음 화소들을 최대한 제거하였다. 그런 다음, 얼굴의 주요한 특징을 대표하는 5개의 랜드마크 포인트로 구성된 얼굴 모델을 적용하여 잡음이 제거된 영상 데이터로부터 개인 정보를 나타내는 영역인 얼굴 영역을 강인하게 검출하였다. 실험 결과에서는 본 논문에서 제시된 접근 방법이 받아들인 초고속의 컬러 영상 데이터로부터 잡음을 제거한 다음, 잡음이 제거된 영상으로부터 사람의 얼굴 영역을 정확하게 검출한다는 것을 보여주었다.

향후에는 본 연구에서 제시한 얼굴 검출 알고리즘의 랜드마크 모델 최적화를 강인하게 진행하여 전체적인 성능을 한층 더 개선할 예정이다. 다시 말해, 입력된 영상에서 얼굴의 방향이 정면일 뿐만 아니라 측면이나 상하면, 그리고 뒷면일 경우에도 얼굴의 방향을 정확히 측정하고 측정된 방향에 맞게 랜드마크를 위치해서 전체적인 얼굴 검출 작업이 올바르게 진행될 수 있도록 수행할 예정이다.

References

[1] R. Chen, Z. Li, K. Zhong, X. Liu, Y. J. Chao, and Y. Shi, "Low-Speed-Camera-Array-Based High-Speed Three-Dimensional Deformation Measurement Method: Principle, Validation, and Application," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol.107, pp. 21-27, March 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2018.03.009>

[2] L. Yu and B. Pan, "Full-Frame, High-Speed 3D Shape and Deformation Measurements Using Stereo-Digital Image Correlation and a Single Color High-Speed Camera," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol.95, pp. 17-25, August 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2017.03.009>

[3] S. Zafeiriou, C. Zhang, and Z. Zhang, "A Survey on Face Detection in the Wild: Past, Present and Future," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol.138, pp. 1-24, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2015.03.015>

[4] J. Zhang, X. Wu, S. C. H. Hoi, and J. Zhu, "Feature Agglomeration Networks for Single Stage Face Detection," *Neurocomputing*, Vol.380, pp. 180-189, March 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.10.087>

[5] U. Mahbub, S. Sarkar, and R. Chellappa, "Partial Face Detection in the Mobile Domain," *Image and Vision Computing*, Vol.82, pp. 1-17, January 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.12.003>

[6] H. Zhang, X. Wang, J. Zhu, and C.-C. J. Kuo, "Fast Face Detection on Mobile Devices by Leveraging Global and Local Facial Characteristics," *Signal Processing: Image Communication*, May 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2019.05.016>

[7] Y. Liu and J. Chen, "Unsupervised Face Frontalization for Pose-Invariant Face Recognition," *Image and Vision Computing*, Vol.106, pp. 1-10, December 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2020.104093>

[8] Z. Zhou, Z. He, Y. Jia, J. Du, L. Wang, and Z. Chen, "Context Prior-Based with Residual Learning for Face Detection: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Network," *Signal Processing: Image Communication*, Vol.88, pp. 1-13, July 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.image.2020.115948>

[9] J. Geng, W. Jiang, and X. Deng, "Multi-Scale Deep Feature Learning Network with Bilateral Filtering for SAR Image Classification," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.167, pp. 201-213, July 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.07.007>

[10] J. Deng, J. Guo, E. Ververas, I. Kotsia, and S. Zafeiriou, "RetinaFace: Single-Shot Multi-Level Face Localisation in the Wild," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Seattle, USA, pp. 5203-5212, June 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR42600.2020.00525>

장 석 우(Seok-Woo Jang)

[중심회원]



- 1995년 2월 : 숭실대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 숭실대학교 일반대학원 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2000년 8월 : 숭실대학교 일반대학원 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 안양대학교 소프트웨어학과 교수

<관심분야>

로봇비전, 증강현실, HCI, 비디오 색인 및 검색, 등