

논문 2008-45CI-6-17

# 빛의 반사량 측정을 통한 가면 착용 위변조 얼굴 검출 (Albedo Based Fake Face Detection)

김 영 신\*, 나 재 근\*, 윤 성 백\*, 이 준 호\*\*

(Youngshin Kim, Jae Keun Na, Sungbeak Yoon, and Juneho Yi)

## 요 약

특수 분장을 이용하여 매우 정교하게 제작된 가면을 쓴 얼굴 위변조의 경우 일반적인 밝기 영상으로는 검출이 용이하지 않다. 최근의 획기적인 특수 분장 기술 발전을 고려할 때 성공적인 얼굴 인식시스템 개발을 위해 가면을 쓴 얼굴 위변조 검출 연구는 매우 중요하다. 본 연구에서는 물질의 재질 및 표면 색상에 따른 반사율의 차이를 기반으로 가면을 착용하는 얼굴 위변조 검출 방법을 제안한다. 우선 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도(albedo)를 단순히 빛의 반사량, 즉, 영상에서의 그레이 값으로 간략화 할 수 있음을 보였다. 이를 기반으로 850nm 적외선 조명이 얼굴 피부와 가면재질의 구분에 가장 적합하고, 인종 간 다른 피부색에 대해서는 685nm 조명에서 뚜렷한 차이를 보임을 알 수 있었다. 이 두 파장대의 조명 하에서 측정된 영상의 그레이 값으로 2D 특징 벡터를 만들어 사용하면 특징 공간 상에서의 얼굴 피부와 가면 재료의 분포는 선형적으로 분리가 가능한 분포를 갖게 되는 것을 알 수 있었다. Fisher Linear Discriminant(FLD)를 적용하여 97.8%의 가면 얼굴 검출율을 얻을 수 있었다. 제안하는 방법은 기존의 상용 얼굴 인식 시스템에 매우 적은 비용과 간단한 방법으로 추가 적용하여 모든 인종에 대한 얼굴 위변조 검출이 가능하다.

## Abstract

Masked fake face detection using ordinary visible images is a formidable task when the mask is accurately made with special makeup. Considering recent advances in special makeup technology, a reliable solution to detect masked fake faces is essential to the development of a complete face recognition system. This research proposes a method for masked fake face detection that exploits reflectance disparity due to object material and its surface color. First, we have shown that measuring of albedo can be simplified to radiance measurement when a practical face recognition system is deployed under the user-cooperative environment. This enables us to obtain albedo just by grey values in the image captured. Second, we have found that 850nm infrared light is effective to discriminate between facial skin and mask material using reflectance disparity. On the other hand, 650nm visible light is known to be suitable for distinguishing different facial skin colors between ethnic groups. We use a 2D vector consisting of radiance measurements under 850nm and 659nm illumination as a feature vector. Facial skin and mask material show linearly separable distributions in the feature space. By employing FLD, we have achieved 97.8% accuracy in fake face detection. Our method is applicable to faces of different skin colors, and can be easily implemented into commercial face recognition systems.

**Keywords :** mask, radiance, reflectance, fake face, skin color

## I. 서 론

얼굴 인식 시스템의 성공적인 적용을 위해서는 위변조 얼굴의 검출 기능이 필수적이다. 기존의 얼굴 위변조 방법은 보안이 요구되는 장소에의 접근을 위해 접근이

허가되는 사람의 2D 얼굴 영상을 이용하는 것이었다. 이러한 2D 위조 얼굴의 검출을 위해 실제 사람 얼굴인지를 판단하는 Liveness 검출 연구가 수행되었다. 대표적인 기존의 연구 방법으로는 움직임 검출<sup>[1]</sup>, 3D 깊이 정보의 검출 방법<sup>[2]</sup> 등이 있다.

하지만 3D 깊이 정보를 갖는 위조 얼굴, 즉, 정교하게 제작된 가면을 착용한 위조 얼굴을 2D 영상을 이용하여 검출하는 연구 결과에 대한 보고는 전무하다. 최근, 특수 분장 기술의 획기적인 발전으로 실제 사람 얼굴과 구별하기 어려운 정도의 정교한 가면을 제작할 수

\* 학생회원, \*\* 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부 (Sungkyunkwan University, School of Information and Communication Engineering)

※ 본 연구는 생체인식연구센터(BERC)의 지원으로 진행되었습니다.

접수일자: 2008년5월20일, 수정완료일: 2008년10월23일

있어서 가면을 이용한 얼굴의 위조 및 변조가 예상된다. 얼굴 위조는 현상 수배된 위험인물이 본인이 아닌 다른 사람으로의 변장을 가능하게 하므로 검문검색을 무력화 할 수 있다. 최근의 정교한 가면 제작 기술을 고려할 때 얼굴 인식 시스템을 성공적으로 채용하기 위해서는 가면을 이용하는 얼굴 위반조 검출 방법은 반드시 확보되어야 한다.

본 연구에서는 물체의 재질 및 표면 색상에 따른 빛의 반사율 즉, 알비도(albedo)의 차이를 기반으로 가면을 착용한 위반조 얼굴을 검출하는 방법을 제안하고 실험하였다. 실제 얼굴 인식시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도는 빛의 반사량(radiance), 즉, 영상에서의 그레이 값으로 단순화하여 측정할 수 있으며, 이를 이용하여 얼굴 피부와 가면 재료를 구별할 수 있음을 보였다.

여러 파장 대의 조명에 대하여 얼굴 피부와 가면의 재료(실리콘, 라텍스 혹은 스킨젤)의 재질 및 표면 색상의 차이에 따른 알비도 값의 분포를 분석하였다. 실험을 통해 얼굴 피부와 가면 재료의 재질 구별을 위해서는 850nm 적외선 조명이 가장 적절함을 확인할 수 있었다. 이와 함께, 인종 간 다른 피부색에 의한 알비도 값의 차이는 685nm의 가시광선 조명에서 뚜렷한 차이를 보인다는 연구 결과<sup>[3]</sup>를 이용하여 850nm와 685nm 조명하에서 획득한 두 개의 알비도 값을 얼굴 피부와 가면 재료의 구별을 위한 특징벡터(feature vector)로 사용하였다. 얼굴 피부와 가면 재료는 제안한 특징벡터가 나타내는 2차원 특징 공간(feature space)에서 선형적인 경계에 의해 쉽게 구별되는 분포를 갖게 된다.

얼굴 피부와 가면 재료에 대한 특징 벡터의 분별(classification)을 위해서는 선형 경계를 갖는 두 분포의 분별에 매우 효율적인 Fisher's Linear Discriminant (FLD)<sup>[4]</sup>를 적용하였다. 실험 결과 97.8%의 높은 가면 얼굴 검출율을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 제안하는 방법은 간단하며 효율적인 방법으로서 기존의 상용 얼굴인식 시스템에 적은 비용으로 추가 적용할 수 있다는 장점도 갖고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 가면 재료들에 대한 빛의 반사율과 알비도를 구하는 관련 연구에 대해 기술한다. 제 III 장에서는 실제 얼굴 인식시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도를 영상에서의 그레이 값으로 측정할 수 있음을 보인다. 제 IV 장에서는 빛의 반사량을 측정하여 얼굴 피부 및 가면 재료의 색상 변화에 따른 얼굴 검출 방법을 제안한다. 마지막으로 제 V 장에서는 실험 결과를 나타낸다.

## II. 관련 연구

본 절에서는 가면의 재료로 가장 널리 사용되는 실리콘과 피부의 반사율에 대해 알아보고, 알비도를 구하는 방법을 알아본다.

### 1. 실리콘과 피부의 반사율

빛의 반사율, 즉, 알비도는 물체의 재질, 두께, 구조, 표면의 색상 그리고 빛의 파장 등에 따라 달라진다. 본 절에서는 가면제조에 널리 쓰이는 실리콘과 사람 피부의 반사율에 대해 알아보고, 반사율 측정으로써 가면 재료와 사람 피부의 구분이 가능한지와 인종 간 다른 피부 색상에 따른 인종의 구별 가능성에 대해 살펴본다.

#### 가. 가면 재료(실리콘)의 반사율

실리콘은 무색 또는 희미한 황색의 탄성고체로 규소 고무라고도 한다. 아주 유연하여 다루기가 쉽고 강한 내구성과 탄력성을 가져, 가면 제작 재료 중 가장 널리 이용되고 있다.<sup>[5]</sup> 그림 1은 실리콘이 빛의 파장에 따라 변화하는 반사율을 보여준다. 파장이 200nm에서 900nm로 갈수록 반사율이 줄어들며, 그 이후의 모든 파장에서는 약 30%의 반사율을 갖는다. 이러한 특징을 이용하여 가면 위반조 검출에 이용할 수 있다.

가면 재료로는 실리콘 이외에도 라텍스 고무와 스킨젤이 이용되며, 실리콘과 비슷한 반사율을 갖는다. 이에 대한 내용은 제 IV 장에서 기술한다.

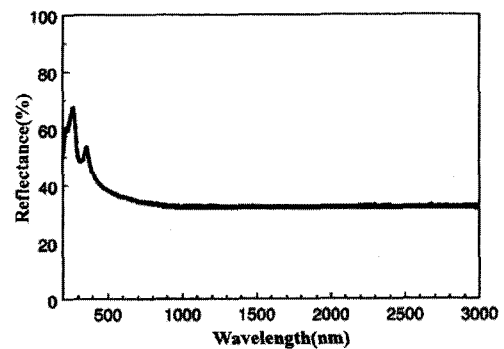


그림 1. 빛의 파장에 따른 실리콘의 반사율<sup>[5]</sup>  
Fig. 1. The reflectance of silicon as the wavelength of light varies<sup>[5]</sup>.

#### 나. 피부의 반사율

사람의 피부는 그림 2와 같이 외피(epidermis), 진피(dermis)로 구성되어 있고, 외피의 가장 바깥층은 각질

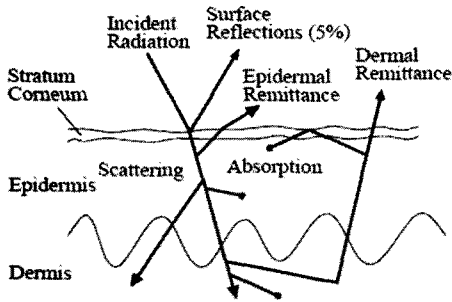


그림 2. 피부의 각 층에 의한 빛의 경로<sup>[6]</sup>  
 Fig. 2. Schematic representation of the light pathways for human skin<sup>[6]</sup>.

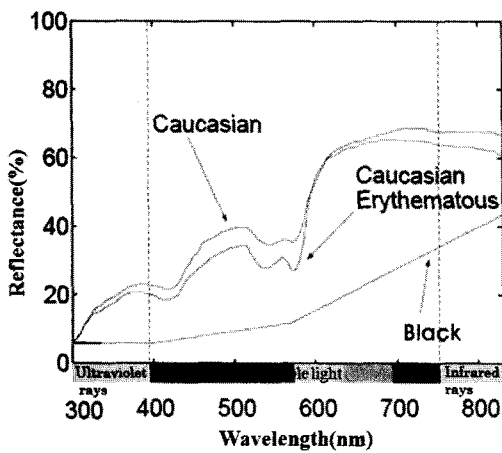


그림 3. 피부 색상에 따른 빛의 반사율: 백인(Caucasian)에 비해 흑인(black)의 반사율이 낮다.<sup>[6]</sup>  
 Fig. 3. The reflectance of human skin depending on skin color: The reflectance of black skin is lower than that of white Caucasian<sup>[6]</sup>.

층(stratum corneum)으로 이루어져 있다.<sup>[6~9]</sup> 이와 같이 여러 층으로 이루어진 피부는 각 층에 따라 서로 다른 빛의 경로를 갖는다. 일반적인 입사각(<math><40^\circ</math>)에서는 입사된 빛의 5%가 각질층에 의해 반사되며, 입사각이 증가할수록 반사율도 증가한다. 외피의 멜라닌 양이 증가할수록 빛의 흡수율이 높아져 반사율이 낮아진다. 각질층에서 반사되지 않은 95%의 빛은 각 층에서 흡수되거나 산란된다. 피부의 빛 반사와 투과는 피부 내 각 층에 의한 산란과 흡수에 의해 결정된다.

이러한 복잡한 구조에 의해 나타나는 인종 간 피부의 반사율은 그림 3과 같으며 위로부터 백인, 흑인의 피부 반사율 그래프를 나타낸다. 빛의 파장이 증가할수록 반사율도 증가하며 피부색에 따라 반사율이 다름을 알 수 있다. 여러 파장대 중에서 약 0~400nm의 자외선은 피부에 비추게 될 때 피부에 유해하며 1000nm이상의 빛은 고가의 장비를 이용해야 하므로 이용하기 어렵다.

본 연구에서는 얼굴 피부와 가면 재질의 구별을 위해서 뚜렷한 반사율의 차이를 보이며 색상에 따른 변화가 가장 적은 850nm를 이용한다(IV.1 절 참조). 이와 함께, 표면 색상 구별에 대해서는 가시광선 중 가장 민감한 색상 변화를 나타내는 685nm를 사용하여 실험하였다(IV.2 절 참조).

다. 가면 재질과 피부의 반사율 비교

가면 재질과 피부 재질에 대해 반사율 차이를 보이는 빛의 파장대를 찾기 위해 그림 1과 3을 통합하여 나타내면, 그림 4와 같다. 그림 4는 백인, 흑인에 대해 사람 피부와 도색한 실리콘에 대한 빛의 반사율을 나타낸다.

본 연구에서는 850nm와 685nm의 두 파장대에 대해 주로 실험하게 된다. 여러 파장대 중 850nm에서 실리콘과 피부가 상대적으로 뚜렷한 반사율 차이를 보여 얼굴 피부와 가면 재질 구분에 적합하다. 반면, 685nm에서의 반사율은 피부의 색상에 따른 차이가 가장 커 피부 색상 검출에 사용하기 좋은 특징임을 알 수 있다. 이는 [3]의 연구 보고와도 부합한다.

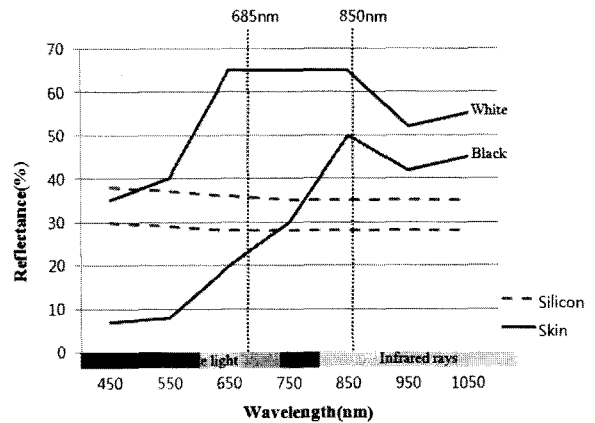


그림 4. 가시광선과 적외선에 대한 실리콘과 피부에 반사율: 파장 850nm에서 실리콘과 피부간의 반사율 차이가 뚜렷하며, 685nm에서 피부 색상에 따른 반사율 차이가 크다.

Fig. 4. The reflectance of silicon and human skin in the visible and infrared bands: The disparity of the reflectance between human skin and mask materials is distinct in 850nm. Also note that at 685nm, the reflectance disparity is great between different colors of skin.

2. 알비도 계산

알비도란 빛의 반사율을 나타내는 수치이다. 빛의 반사율은 물체의 재질 뿐 아니라 표면 색상에 따라서도

달라지므로 본 연구에서는 알비도를 물체의 재질 및 표면 색상에 의존하는 파라미터로 나타내었다. 알비도를 구하는 방법으로는 *photometric stereo* 방법<sup>[10~13]</sup>이 일반적으로 많이 쓰이며 여러 장의 2D 영상을 필요로 한다. 최근의 가장 효율적인 알고리즘으로는 2D 영상들을 Singular Value Decomposition(SVD)를 이용하여 알비도 및 물체의 법선 벡터를 나타내는 행렬과 조명 모델링에 해당하는 행렬의 곱으로 나타내는 방법이다. 식 (1)과 같이 2D 영상들을 행렬( $M$ )로 구성하고 이를 밝기 계수 행렬( $L$ )과 하모닉 영상(harmonic images)( $S$ )으로 분해하게 된다.

$$M = UDV^T = U\sqrt{D}\sqrt{D}V^T \approx L \times S \quad (1)$$

$$(L \approx U\sqrt{D}, S \approx \sqrt{D}V^T)$$

조명의 위치를 모르는 다양한 조명에 대한 2D 영상들을 각각 행으로 나타내어 행렬  $M$ 을 만들고 SVD를 적용하여  $UDV^T$ 로 분해한다. 이 과정에서 나타나는 모호성(ambiguity)을 제거하면 밝기 계수 행렬  $L$ 과 하모닉 영상  $S$ 를 얻게 된다.<sup>[14~16]</sup> 이 하모닉 영상으로부터 알비도 값과 법선 벡터로 나타내어지는 형태 정보를 얻을 수 있다. 이 방법은 조명의 위치, 강도 등에 대한 정보가 없이도 알비도를 구할 수 있는 효율적인 방법이다. 하지만, 조명 부분의 모델링 어려움에 의해 알비도 값이 상대적으로 부정확하고, 특히, 다수의 2D 영상을 필요로 하므로 실제 얼굴 인식 시스템 환경에 적용하기는 어렵다.

### III. *Photometric stereo*와 *radiance* 방법의 비교

본 절에서는 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도는 빛의 반사량(radiance)으로 간략화할 수 있음을 보인다. 알비도를 빛의 반사량(radiance)으로 간략화하는 방법을 이하에서 '*radiance*' 방법으로 부르기로 한다. 얼굴 피부 검출을 위해서는 사람들 간의 형태 변화가 얼굴의 다른 부분에 비해 적은 이마 부위를 이용한다. 이마 부위의 검출은 간단한 모델 기반의 얼굴 검출 알고리즘<sup>[17]</sup>을 사용한다. 이 방법은 모델 기반의 필터를 적용하여 눈의 위치를 먼저 찾은 후 이마 영역을 검출한다.

실제 얼굴 인식 시스템 적용에 더 적합한 방법을 찾고자 *photometric stereo* 방법과 *radiance* 방법을 비교 실험하였다. *Photometric stereo*의 계산은 II장 2절에

서 소개된 SVD 방법을 이용한다. 빛의 반사량인 radiance는 영상에서의 그레이 값( $I$ )으로 측정되며 [18]에서의 식을 적용하여 식 (2)로 나타낼 수 있다. 즉, 영상에서의 그레이 값은 물체의 재질(material) 및 표면 색상(surface color)에 따른 알비도 요소인  $K$ 와 물체의 형태(shape), 조명(illumination), 시점(viewpoint) 관련 요소인  $G$ 의 곱으로 표현할 수 있다. 한편, 얼굴 인식 시스템의 실제 적용 환경을 고려하면 조명 및 시점은 대체로 고정되어 있다고 가정할 수 있으며, 얼굴의 이마 부분은 얼굴의 다른 영역에 비하여 사람들 간 형태 변화가 가장 적은 부분이라고 할 수 있다.

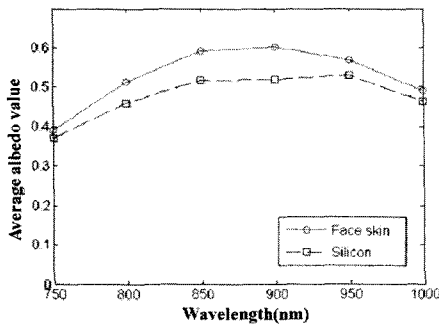
$$I = K(\text{재질, 표면색상})G(\text{형태, 조명, 시점}) \quad (2)$$

따라서 식 (3)에서와 같이 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경에서는 다른 사람들 간 이마 영역의  $G$  값은 거의 유사하다. 따라서 표면 색상이 같다면 그레이 값의 차이는 물체 재질의 차이를 나타내게 된다. 그러므로 얼굴과 가면의 알비도는 단순히 이마 부분의 그레이 값의 비교로 간략화 할 수 있으며, 이를 radiance 방법이라 한다.

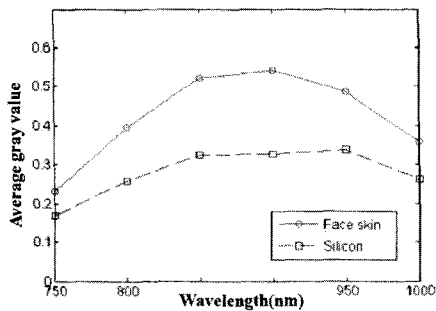
$$\frac{I_{\text{face}}}{I_{\text{mask}}} = \frac{K_{\text{face}} \times G_{\text{face}}}{K_{\text{mask}} \times G_{\text{mask}}} \approx \frac{K_{\text{face}}}{K_{\text{mask}}} (G_{\text{face}} \approx G_{\text{mask}}) \quad (3)$$

그림 5는 식 (3)의 적용이 유효한 실험 환경에서 *photometric stereo* 방법과 *radiance* 방법을 비교한 그래프이다. 적외선 파장 750nm에서 1000nm에 대해 50nm 간격으로 얼굴 피부와 실리콘에 대해 실험하였다. *Photometric stereo* 방법에 비해 *radiance* 방법의 그래프에서 얼굴과 실리콘의 차이 값이 크게 나타난다. 즉, *radiance* 방법이 이미지 한 장의 2D 영상만을 이용하여 실제 얼굴 인식 시스템에서 더 구별되는 값을 얻을 수 있는 효율적인 방법임을 알 수 있다.

두 그래프가 같은 값을 가져야 함에도 이러한 차이가 발생하는 것은 *photometric stereo* 방법의 SVD 알고리즘에서 찾을 수 있다. 같은 빛을 사용한 경우에도 불구하고, 빛의 밝기에 비례하여  $L$  행렬(조명)값의 변화가 나타나기 때문이다. 이렇듯 조명 부분을 모델링하는 행렬이 정교하지 못하고, 정확한 모델링을 하기 위해서는 많은 수의 2D 영상을 필요로 하므로 실제 얼굴 인식 시스템 환경에 적용하기는 어렵다. 본 연구에서 주변의 빛(ambient light)이 있는 경우와 그렇지 않은 두 경우에 대해 모두 실험하였으나 같은 결과를 보였다.



(a) Photometric stereo 방법



(b) Radiance 방법

그림 5. 빛의 파장에 따른 photometric stereo와 radiance 방법의 비교: (a) 4장의 이미지를 이용한 알비도이고, (b) 한 장의 이미지를 이용한 그레이 값. Photometric stereo 방법에 비해 radiance 방법의 그래프에서 얼굴 피부와 재질에 대하여 더 큰 값의 차이를 보인다.

Fig. 5. Reflectance comparison of photometric stereo method with radiance method: (a) Average albedo value using four images for photometric stereo method (b) Average gray value from a single image for radiance method. The reflectance disparity between human skin and silicon material is greater for radiance method than photometric stereo method.

#### IV. 빛의 반사량(radiance) 측정만을 이용한 가면 얼굴 검출

본 절에서는 radiance 방법을 이용하여 여러 파장 대의 조명에 대하여 얼굴 피부와 가면의 재료(실리콘, 라텍스 혹은 스킨젤)의 재질 및 표면 색상의 차이에 따른 알비도 값의 분포를 분석한다.

##### 1. 빛의 파장에 따른 특성

본 연구에서는 가시광선과 적외선을 이용하여 얼굴 피부와 가면 재료의 구별 가능한 특성을 갖는 빛의 파장을 찾는다. 가시광선보다 낮은 파장을 갖는 자외선이나 X-선 등은 몸에 유해하며, 적외선보다 높은 파장의

T-선<sup>[19]</sup> 등은 고가의 장비라 쉽게 이용하기 어려우므로 제외한다. IV.1 절에서는 재질의 차이에 따른 반사율 특성에 대하여 기술하므로 황인종의 얼굴 피부와 황인종 피부색으로 도색된 가면 재료를 예로 실험 결과를 보이고, 표면 색상이 다른 경우에 대해서는 IV.2 절에서 다룬다.

##### 가. 가시광선

가시광선 영역에서 각각의 색상대별로 조명을 준비하여 가면 재료와 피부에 조명을 투영하여 반사도를 측정, 비교 분석하였다. 본 실험은 R(red), G(green), B(blue), Y(yellow)의 네 가지 색상의 파장에 대해 실험한다. 그림 6에서와 같이, 교차 구간들이 발생하여 가시광선 영역에서의 단색광을 사용하는 경우 가면 재질과 얼굴 피부에 대해 일관된 반사율의 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 이는 그림 4와 부합하는 결과를 알 수 있다.

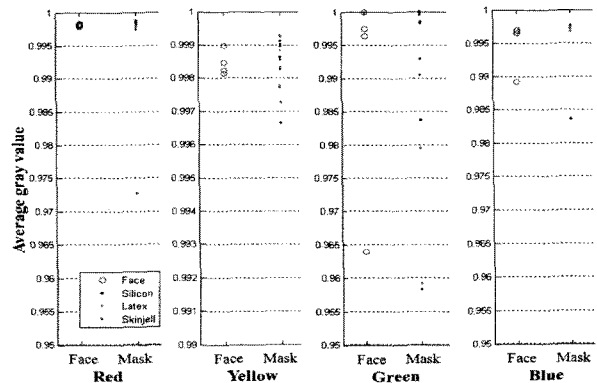


그림 6. 가시광선 조명의 파장(색상)에 따른 반사도 측정

Fig. 6. Reflectance comparison between human skin and mask material for the visible light band(color).

##### 가. 적외선

적외선 영역에서는 물체의 색상에 대한 영향이 적고 일반 실내 광에서 적외선이 거의 발생하지 않아 주변 조명에 대한 영향이 거의 없다. 적외선 파장대에서 1000nm 이상은 장비가 고가라 이용하기 어려워 제외하고, 남은 파장대 중에서 750, 850, 970nm의 세 가지 적외선 조명에 대해 얼굴 피부(이마)와 가면 재료(도색된 실리콘, 라텍스, 스킨젤)의 반사도를 측정, 비교하였다.

이 세 가지 파장에 대해 조도에 따른 결과 그래프를 그림 7에서 볼 수 있다.

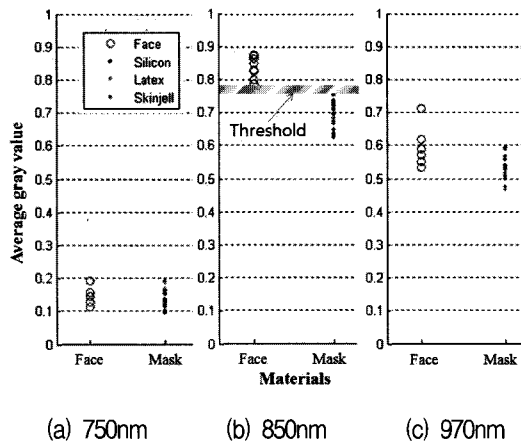


그림 7. 750, 850, 970nm 적외선 조명을 이용한 반사도 비교: 파장 850nm에서 얼굴 피부와 다른 재질 간의 구별할 만한 반사율 차이가 나타난다.

Fig. 7. Reflectance comparison between human skin and mask material for 750, 850, and 970nm infrared lights: At 850nm, reflectance between human skin and mask materials is separable.

가시광선에 근접해 있는 750nm에서는 가시광선 차단을 위해 사용한 적외선 필터로 인해 가시광선에 가까운 빛들이 차단되어 현저히 낮은 값을 갖게 된다. 또한, 970nm에서는 재질끼리의 특성보다 노이즈나 에러 값들에 의한 영향이 더 크기 때문에 특징이 나타나지 않는다. 750nm와 970nm에서는 빛의 반사량 차이가 뚜렷하지 않으나, 850nm에서 확실하게 얼굴 피부와 가면 재질의 빛의 반사량 차이를 보인다.

이러한 반사율의 차이는 사람 피부와 가짜 피부의 표면이 그 재질과 구조적인 층이 다르기 때문에 나타난다. 즉, 이 특징을 이용하여 얼굴 가면 위변조 검출이 가능하다.

2. 표면 색상을 고려하는 반사율 특징 벡터

본 연구에서는 피부와 가면 표면의 색상도 고려하였다. 일반적인 가면 도색에서 수성과 유성 도료 모두 사용 가능하나, 수성을 사용할 경우 지워지기 쉬워 유성 도료인 에나멜이 현재 가장 많이 이용된다. 따라서 본 실험에서는 유성 도료를 이용하여 각 재질에 대한 반사율의 변화를 알아본다. 가면 재질의 경우 특수 분장 전문가의 도움을 받아 대해 흑인, 황인, 백인의 얼굴 피부색으로 도색하고, 실제 얼굴 피부와 구별에 필요한 빛의 반사율 차이를 실험한다.

표면 색상 변화에 대해서는 II.1 절에서 기술한 바와 같이 가시광선 중 색상 변화에 가장 민감한 685nm의 반사율을 이용하였다. 얼굴 피부와 가면 재료의 재질

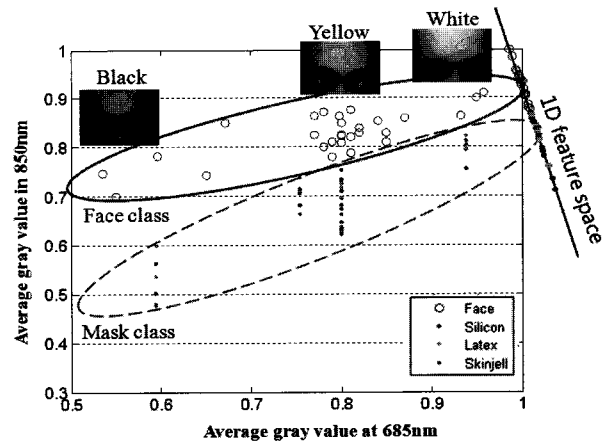


그림 8. 색상 변화를 고려한 특징 공간  
Fig. 8. Feature space considering different surface colors.

구별을 위한 850nm과 인종 간 다른 피부색에 의한 685nm에서의 그레이 값으로 특징 벡터를 생성하여 색상 변화에 따른 얼굴 피부와 가면 재료 클래스들을 그림 8에서와 같이 2차원 특징 공간(feature space)에 나타내었다. 표면 색상에 따라 얼굴 피부와 가면 재료의 반사율이 달라지며 두 그룹이 선형 경계에 의해 확연히 구별되는 분포를 갖는다.

이와 같이 재질 구별을 위한 850nm 조명에서의 그레이 값과 더불어 표면 색상에 민감한 685nm에서의 그레이 값은 가면을 착용한 위변조 얼굴 검출에 매우 효과적인 특징임을 알 수 있다.

V. 실험 결과

그림 9의 실험 환경에서 보여 지듯이 조명<sup>[20]</sup>과 얼굴의 거리 약 20cm, 얼굴로부터의 카메라까지의 거리는 약 35cm이며 그 둘 거리간의 각은 약 45°이다.

실험 대상에 685nm, 850nm 각각의 조명에 비추고 이마 부분에서 그레이 값을 취해 특징 벡터를 생성하였다. 실험 지역 여건 상 실제 얼굴 피부의 경우, 여러 피부색에 대해 충분한 개수의 데이터 확보가 용이 하지

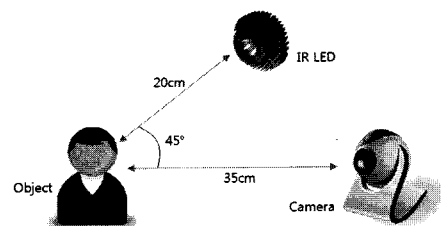


그림 9. 실험 구조도  
Fig. 9. Sketch of experimental setup.

표 1. 빛의 반사율 측정을 통한 얼굴 피부와 가면 얼굴 검출 결과 (훈련 데이터 112명, 실험 데이터 62명)

Table 1. Masked fake face detection results using radiance measurement (training data 112 persons, experimental data 62 persons).

Detection \ Real	True	False
Face	94.12%	5.88%
Mask	97.78%	2.22%
Total	96.78%	3.22%

않아, 174개의 별도의 실험 데이터(백인 14, 황인 145, 흑인 15)들에 기존 연구 자료<sup>[3]</sup>를 토대로 하였다. 이 데이터 자료들은 두 개의 그룹으로 나뉜다. 첫 번째의 112개의 데이터들은 트레이닝을 위해, 62개의 데이터로 이루어진 두 번째 그룹은 실제 가면 검출실험을 위해 사용하였다. 분별(classification) 알고리즘은 FLD를 적용하였다. FLD는 분별하고자 하는 데이터를 (클래스 수 -1) 차원의 부공간에 투영할 때 클래스 간 분리를 최대로 하여 주는 방법으로 그림 8과 같은 분포의 데이터의 분별에 매우 효율적이다. FLD 적용의 결과로 얻은 1차원 투영 공간을 그림 8에 함께 나타내었다.

표 1은 실험 결과를 보여 준다. 가면 얼굴 검출에 있어서 97.78%의 정확도를 보였다. 얼굴을 가면으로 오인하거나 가면을 얼굴로 오인한 예외의 경우는, 이마가 얼굴 부위 중 일반적으로 가장 변화가 적은 부위이나 사람마다 다른 굴곡을 갖고 있어, 이에 따른 빛의 입사각 변화가 생기거나, 백인의 경우 얼굴 피부와 가면 재질의 반사율 변화가 상대적으로 적어서 발생한 것으로 분석할 수 있다.

### VI. 결론 및 토의

본 연구에서는 물체의 재질 및 표면 색상에 따른 빛의 반사율 즉, 알비도(albedo)의 차이를 기반으로 가면을 착용한 위변조 얼굴을 검출하는 방법을 제안하고 실험하였다. 먼저 실제 얼굴 인식시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도를 영상에서의 그레이 값으로 단순화할 수 있음을 알 수 있었다. 얼굴 피부와 가면 재료의 재질 구별을 위해서는 850nm 적외선 조명이 가장 적절함을 확인할 수 있었다. 이와 함께, 인종 간 다른 피부색에 의한 알비도 값의 차이는 685nm의 가시광선 조명에서 뚜렷한 차이를 보인다는 연구 결과<sup>[3]</sup>를 이용하여

850nm와 685nm 조명하에서 획득한 두 개의 알비도 값을 얼굴 피부와 가면 재료의 구별을 위한 특징벡터로 사용하였다. 제안한 특징벡터가 나타내는 2차원 특징 공간에서 얼굴 피부와 가면 재료는 선형 경계에 의해 확연히 구별되는 분포를 보이므로 분별 알고리즘은 FLD를 사용하였다. 제안하는 이 방법은 간단하며 효율적인 방법으로서 실시간 검출이 가능하며, 기존의 상용 얼굴인식 시스템에 적은 비용으로 추가 적용할 수 있다는 장점을 갖는다.

### 참고 문헌

- [1] F. Bettinger, and T. F. Cootes, "A model of facial behaviour," IEEE CNF, pp.123 - 128, 2004.
- [2] J. Park, C. Kim, J. Na, and J. Yi, "Effectively Exploiting Distortion of Structured Light Pattern for Capturing Depth Discontinuities," FCV, 2007.
- [3] N. G. Jablonski and G. Chaplin, 'The evolution of human skin coloration,' *Journal of Human Evolution*, vol. 39, pp. 57- 106, 2000.
- [4] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, "Pattern Classification", Wiley-interscience, Second edition, pp. 117-124, 2000.
- [5] K. Hadobás, S. Kirsch, A. Carl, M. Acet, and E. F. Wassermann, "Reflection properties of nanostructure-arrayed silicon surfaces," *Nanotechnol*, vol. 11, pp. 161-164, 2000.
- [6] M. StÅorring, "Computer Vision and Human Skin Colour," Faculty of Engineering and Science, Aalborg University, 2004.
- [7] E. Angelopoulou, "The Reflectance Spectrum of Human Skin," Technical Report MS-CIS-99-29, Pennsylvania University, 1999.
- [8] C. Donner, and H. W. Jensen, "A Spectral Shading Model for Human Skin," ACM SIGGRAPH 2006 Sketches, vol. 147, 2006.
- [9] C. Donner, and H. W. Jensen, "Light diffusion in multilayered translucent materials," ACM SIGGRAPH 2005 Papers, pp. 1032-10390, 2005.
- [10] R. Basri, and D. Jacobs, "Photometric Stereo with General, Unknown Lighting," IEEE CVPR, pp. 374-381, 2001.
- [11] H. Hayakawa, "Photometric stereo under a light source with arbitraty motion," *Society of America*, vol. 11, no. 11, 1994.
- [12] A. L. Yuille, D. Snow, R. Epstein, and P. N. Belhumeur, "Determining Generative Models of Objects under Varying Illumination: Shpae and Albedo from Multiple Images using SVD and Integrability," *IJCV*, vol. 35(3), pp. 203-222, 1999.

- [13] I. Kemelmacher, and R. Basri, "Indexing with Unknown Illumination and Pose," IEEE CVPR, 2005.
- [14] P. N. Belhumeur, D. J. Kriegman, and A. L. Yuille, "The Bas-Relief Ambiguity," IEEE CVPR, pp. 1060-1066, 1997.
- [15] R. Epstein, A. L. Yuille, and P. N. Belhumeur, "Learning Object Representations from Lighting Variations," ECCV International Workshop, pp. 179 - 199, 1996.
- [16] A. Yuille, and D. Snow, "Shape and Albedo from Multiple Images using Integrability," IEEE CVPR, 1997.
- [17] W. Huang, and R. Mariani, "Face detection and precise eyes location," IEEE CVPR, vol. 4, pp. 722 - 727, 2000.
- [18] S. G. Narasimhan, V. Ramesh, and S. K. Nayar, "A Class of Photometric Invariants: Separating Material from Shape and Illumination," IEEE ICCV, vol.2, pp.1387-1394, 2003.
- [19] C. Zandonella, "T-ray specs," *Nature*, vol 424, 2003, 'www.nature.com/nature'
- [20] Roithner LaserTechnik Co., 'http://www.roithner-laser.com/'

---

 저 자 소 개
 

---



김 영 신(학생회원)  
 2006년 성균관대학교 정보통신  
 공학부 학사 졸업.  
 2006년~현재 성균관대학교  
 대학원 정보통신공학부  
 석·박사 통합 과정.  
 <주관심분야 : 3D reconstruction,  
 classification>



나 재 근(학생회원)  
 2004년 성균관대학교 정보통신  
 공학부 학사 졸업.  
 2006년 성균관대학교 대학원  
 정보통신공학부  
 석사 졸업.  
 2006년~현재 성균관대학교  
 대학원 정보통신공학부  
 박사 과정.  
 <주관심분야 : 3D reconstruction, Depth edge>



윤 성 백(학생회원)  
 2006년 성균관대학교 정보통신  
 공학부 학사 졸업.  
 2008년 성균관대학교 대학원  
 정보통신공학부  
 석사 졸업.  
 2008년~현재 성균관대학교  
 대학원 정보통신공학부  
 박사 과정.  
 <주관심분야 : object classification>



이 준 호(정회원)  
 1985년 서울대학교 전기공학과  
 학사 졸업.  
 1987년 The Pennsylvania State  
 University, Department  
 of Electrical Engineering  
 석사 졸업.  
 1994년 Purdue University, School of Electrical  
 and Computer Engineering 박사 졸업.  
 1995년~1997년 한국과학기술연구원 선임연구원.  
 1997년~현재 성균관대학교 정보통신공학부  
 교수.  
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 기계학습>