

적외선 반사율 측정을 이용한 가면 착용 위변조 얼굴 검출

김영신, 나재근, 윤성백, 이준호
 성균관대학교 정보통신공학부

Masked Fake Face Detection by Measuring Infrared Light Reflection

Youngshin Kim, Jaekeun Na, Seongbeak Yoon, and Juneho Yi
 School of Information and Communication Engineering
 Sungkyunkwan University

Abstract - 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 재질에 따른 반사율의 차이를 기반으로 가면을 착용하는 얼굴 위변조를 검출하는 방법을 제안한다. 우선 알비도(albedo)에 착안하여 여러 파장대의 조명에 대해 실험하였다. 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도를 단순히 빛의 반사량으로 간략화 할 수 있음을 보였고, 실험결과 850nm 적외선 조명이 적합하다는 결론을 얻었다.

1. 서 론

얼굴 인식시스템의 성공적인 적용을 위해서는 위변조 얼굴의 검출 기능이 필수적이다. 기존의 얼굴 위조 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 방법으로는 움직임 검출, 3D 깊이 정보의 검출 방법[5] 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, 특수분장 기술의 획기적인 발전으로 실제 사람 얼굴과 구별하기 힘든 가면을 제작할 수 있어서 가면을 이용한 얼굴의 위조 및 변조가 예상된다. 얼굴 변조는 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 위변조 검출 방법은 반드시 확보되어야 한다.

본 연구에서는 실제 적용을 위한 여러 조건 등을 고려하여 2D 영상으로 가면을 착용한 위변조 얼굴을 검출하는 방법을 제안하고 실험하였다. 이를 위해 조명을 비추었을 때 얼굴 피부와 가면의 재질(실리콘 혹은 라텍스)에 따른 빛의 반사 강도 차이에 착안하여 알비도에 대하여 우선 시험하였다. 또한, 실제 얼굴 인식시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도는 빛의 반사량(radiance)으로 간략화 할 수 있다는 사실을 보이고 일정 강도의 조명을 비추었을 때의 빛의 반사율(즉, 영상에서의 그레이 값)의 측정만으로써 얼굴 피부와 가면 재질을 구별할 수 있다는 결론을 도출하였다. 얼굴 피부와 가면 재질의 안정적 구별을 위해서는 850nm의 적외선 조명이 적절함을 실험을 통하여 알 수 있었다.

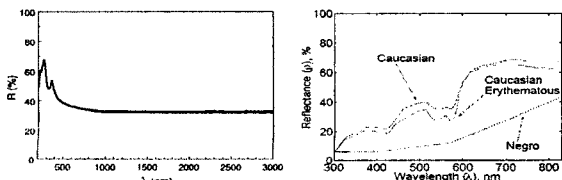
본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 절에서는 실험 재질들에 대한 반사율과 알비도에 대한 관련 연구들을 기술하고, 제 3 절에서는 빛의 반사율을 측정하여 가면 얼굴을 검출하는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

본 절에서는 가면의 재질로 가장 널리 사용되는 실리콘과 피부의 반사율에 대해 알아보고, 알비도를 구하는 방법에 대해 살펴본다.

2.1 실리콘과 피부의 반사율

빛의 반사율은 물체의 재질마다 다르며 재질의 두께나 구조, 빛의 파장에 따라 반사량과 투과량 등도 달라진다. 가면제조에 널리 쓰이는 실리콘은 그림 1의 (a)와 같은 반사율을 갖고, 피부의 경우에는 (b)와 같이 위로부터 백인, 피부가 그을린 백인, 흑인의 피부의 그래프를 나타낸다. 실리콘과 피부의 반사율이 다르며, 인종에 따라서도 피부의 반사율이 다를 수 있다.



(a) 실리콘의 반사율 (b) 피부의 반사율
 <그림 1> 실리콘과 피부의 반사율 ([1,2] 참조)

여러 파장대 중에서 0~400nm의 자외선은 피부에 비추게 될 때 피부에 유해하며 400~750nm의 가시광선대의 빛은 주변 빛의 영향을 많이 받는다. 적외선 영역(750nm 이상)에서는 그림 1에서와 같이 파장이 증가할수록 인종의 피부색에 따른 반사율의 차이가 적어 높은 파장의 조명일수록 위변조 가면 검출에 이용하기 좋다. 표 1로 정리해 보면 실리콘과 피부의 반사율 차이가 뚜렷한 850nm 파장이 750nm에 비해 실리콘 가면을 이용한 얼굴 위변조 검출에 적합함을 알 수 있다.

<표 1> 적외선 두 파장에서의 실리콘과 피부에 따른 빛의 반사율: 실리콘과 피부간의 반사율 차이가 뚜렷한 파장 850nm이 이용하기 좋은 파장이다.

| 재질 \ 파장 | 750nm | 850nm |
|--------------|----------|----------|
| 실리콘 | 약 30~35% | 약 30~35% |
| 피부 (흑인 ~ 백인) | 약 30~60% | 약 45~60% |

2.2 알비도 계산

알비도란 빛의 반사율을 나타내는 수치이다. 알비도를 구하기 위해서는 여러 장의 2D 영상을 필요로 한다. 최근의 가장 효율적인 알고리즘으로는 2D 영상 행렬을 Singular Value Decomposition(SVD)를 이용하여 알비도 및 물체의 법선 벡터를 나타내는 행렬과 조명 모델링에 해당하는 행렬의 곱으로 나타내는 방법이다[3]. 식 (1)과 같이 2D 영상들(M)을 획득하여 밝기 계수 행렬(L)과 하모닉 영상(harmonic images)(S)으로 분리하게 된다.

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

조명의 위치를 모르는 다양한 조명에 대한 2D 영상들을 각각 행으로 나타내어 행렬 M을 만든다. 이를 SVD를 적용하여 UDV로 분해한다. 이 과정에서 나타나는 모호성(ambiguity)을 제거하면 밝기 계수 행렬인 L과 하모닉 영상(harmonic images)인 S를 얻게 된다. 이 하모닉 영상으로부터 알비도 값과 법선 벡터를 나타내어지는 형태 정보를 얻을 수 있다. 이 방법은 빛의 정보 없이도 매우 간단한 방법으로 알비도를 구할 수 있는 효율적인 방법이다. 하지만, 조명 부분의 모델링 에러에 의해 알비도 값이 상대적으로 부정확하고, 다수의 2D 영상을 필요로 하므로 실제 얼굴 인식 시스템 환경에 적용하기는 어렵다.

3. 빛의 반사량(radiance) 측정만을 이용한 가면 얼굴 검출

본 절에서는 얼굴 피부와 가면 재질을 구별하기 위한 방안을 제시한다. 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경을 고려할 때 알비도는 빛의 반사량(radiance)으로 간략화 할 수 있음을 보인다. 얼굴 피부 검출을 위해서는 사람들 간의 형태 변화가 얼굴의 다른 부분에 비해 적은 이마 부위를 이용한다.

3.1 알비도와 그레이 값의 비교

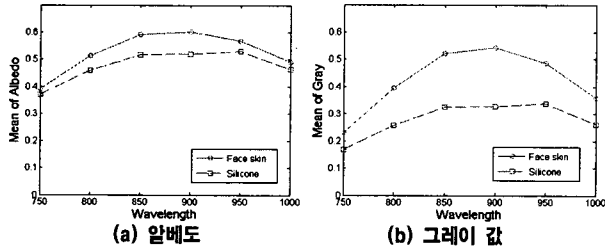
알비도 값과 그레이 값을 비교하여 실제 얼굴 인식 시스템 적용에 더 적합한 방법을 찾고자 비교 실험한다. 알비도 계산은 2절에서 소개된 SVD 방법을 이용한다. 빛의 반사량은 영상에서의 그레이 값으로 측정되며 이는 식 (2)로 표현할 수 있다. 영상에서의 그레이 값(I)은 물체의 재질과 관련된 요소인 K와 물체의 형태(shape), 조명(illumination), 시점(viewpoint) 관련 요소인 G의 곱으로 나타내어진다[4]. 또한, 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경을 고려하면 조명 및 시점은 대체로 고정되어 있다고 가정할 수 있으며, 얼굴의 이마 부분은 얼굴의 다른 영역에 비하여 사람들 간 형태 변화가 가장 적은 부분이라고 할 수 있다.

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

따라서 식 (3)에서와 같이 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경에서는 다른 사람들 간 이마 영역의 G 값은 거의 유사하다. 따라서 얼굴과 가면의 알비도는 단순히 이마 부분의 그레이 값의 비교로 간략화 할 수 있다.

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

그림 2는 알비도와 그레이 값을 비교한 그래프이다. 알비도에 비해 그레이 값의 그래프에서 얼굴과 실리콘의 차이가 크게 나타난다.



〈그림 2〉 파장에 따른 알비도와 그레이 값의 반사율: 알비도에 비해 그레이 값의 그래프에서 두 재질에 대하여 값의 차이가 많이 난다.

두 그래프가 같은 값을 가져야 함에도 이러한 차이가 발생하는 것은 SVD 방법의 알고리즘에서 찾을 수 있다. 같은 빛을 사용했음에도 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 실험은 주변의 빛(ambient light)이 있는 경우와 그렇지 않은 두 경우에 대해 모두 실험하였으나 같은 결과를 보였다.

3.2 빛의 파장에 따른 특성

2절에서 살펴본 바와 같이 가면 재질과 얼굴 피부는 서로 다른 반사율을 나타낸다. 반사율은 재질뿐만 아니라 사용되는 조명의 파장에 따라 다르게 나타나기 때문에 실험을 통해서 가면 재질과 피부사이를 분명하게 결정짓는 반사 특성을 보이는 파장 영역을 찾고자 한다. 본 절에서는 가시광선 영역 및 적외선 영역에서의 재질별 반사특성을 비교하고 위변조 얼굴 가면 검출이 용이한 빛의 파장을 제안한다.

3.2.1 가시광선

먼저 가시광선 영역에서 가면 재질과 피부를 구분 짓는 반사특성을 실험을 통해서 알아보았다. 가시광선 영역에서 각각의 색상대별로 조명을 준비하여 가면 재질과 피부에 조명을 투영하여 반사도를 측정, 비교 분석한다. 본 실험은 R(red), G(green), B(blue), Y(yellow)의 네 가지 색상의 파장에 대해 실험하였으나, 가면 재질과 얼굴 피부에 대해 일관된 반사율의 차이를 보이지 않았다. 대상의 색상이나 주변 조명의 영향을 많이 받기 때문에 가면 재질과 얼굴 피부를 구분 짓는 반사율의 차이를 찾기가 어려웠다.

3.2.2 적외선

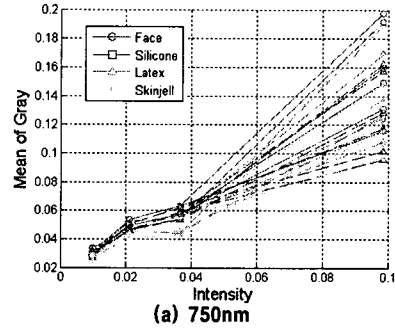
적외선 영역에서는 대상의 색상에 대한 영향이 적고 일반 실내 광에서는 적외선이 거의 발생하지 않아 주변 조명에 대한 영향이 거의 없다. 하지만, 1000nm 이상의 장파는 고가라 이용하기 어렵다. 남은 파장대 중에서 750, 850, 970nm의 세 가지 파장의 적외선 조명에 대해 얼굴 피부(이마)와 가면 재질(도색 된 실리콘, 라텍스, 스킨젤)에 대하여 적외선 파장대별 물질의 반사도를 측정, 비교하였다.

이 세 가지 파장에 대해 조도에 따른 결과 그래프를 그림 3에서 볼 수 있다. 조도는 적외선에서 조도계를 이용하여 조도 측정이 불가하므로 보드에 흰 종이를 댄 후 측정된 그레이 값으로 대신하였다. 그림 3에서 보듯이 750nm와 970nm에서는 반사량 차이가 뚜렷하지 않으나, 850nm의 조도 약 0.61에서 확실하게 얼굴 피부와 가면 재질이 빛의 반사량 차이를 보인다. 이러한 반사율의 차이는 사람 피부와 가짜 피부의 표면이 그 재질과 구조적인 층이 다르기 때문에 나타난다. 조도 약 0.61에서만 확인한 특성(Face의 반사율이 높게 나타남)을 보이는 것은 조도가 너무 크거나 작은 경우 그 값이 수렴하여 그 차이 값이 미미하기 때문이며, 조도 0.28의 경우 재질끼리의 특성보다 노이즈나 에러 값들이 더 크게 반영되기 때문이다. 따라서 유효 조도 영역인 0.61 부근에서만 이러한 반사율의 특성을 갖게 된다. 750nm는 가시광선과 적외선을 구분 짓기 어려울 정도로 가시광선에 가까워 색상의 영향을 많이 받으며, 표 1의 750nm에서 얼굴 피부와 실리콘의 반사율이 겹치는 구간이 발생하였듯이 750nm는 얼굴 위변조에 적합하지 않다. 실험상에서 750nm 조명의 그레이 값이 낮은 분포를 갖는 것은 그 이상의 밝기를 내기에는 내구성이 약하며, 970nm 조명의 밝기가 더 이상 증가하지 않는 것은 더 높은 밝기를 지원하지 않기 때문이다.

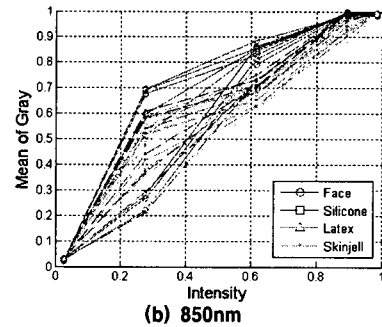
3. 결 론

본 연구는 적외선 영역에서 재질별 반사율의 차이를 기반으로 가면을 착용하는 얼굴 위변조를 검출하는 방법을 제안하였다. 적외선 영역 중 특히

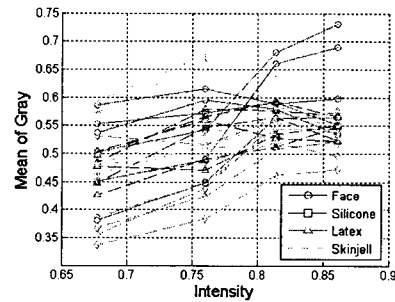
850nm에서 그 차이가 분명하게 나타나는 것을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 적외선 영역의 조명을 사용함으로써 환경적인 영향에 보다 강인함을 보이며 눈에 보이지 않기 때문에 사용자 친화적이다. 또한, 실제 얼굴 인식 시스템의 적용 환경을 고려하여 알비도를 단순히 빛의 반사량으로 간략화할 수 있음을 보였다. 따라서 제안한 방법은 적외선 LED 하나와 적외선 2D 영상 하나만을 이용하는 매우 간단하면서 적은 비용으로 사용할 수 있는 효율적인 방법이다. 얼굴 인식 시스템에 추가적으로 적용하여 가면을 쓴 위변조를 검출할 수 있다.



(a) 750nm



(b) 850nm



(c) 970nm

〈그림 3〉 750, 850, 970nm 적외선 조명을 이용한 반사도 비교: 파장 850nm의 조도 약 0.61에서 얼굴 피부와 다른 재질간의 반사율 차이가 크다.

감사의 글

본 연구는 생체인식연구센터(BERC)의 지원으로 진행되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] M. StÅorring, "Computer Vision and Human Skin Colour," Faculty of Engineering and Science Aalborg University, 2004
- [3] R. Basri, and D. Jacobs, "Photometric Stereo with General, Unknown Lighting," *IEEE CVPR*, pp. 374-381, 2001
- [4] S. G. Narasimhan, V. Ramesh, and S. K. Nayar, "A Class of Photometric Invariants: Separating Material from Shape and Illumination," *IEEE ICCV*, 2003
- [5] J. Park, C. Kim, J. Na, and J. Yi, "Effectively Exploiting Distortion of Structured Light Pattern for Capturing Depth Discontinuities," *FCV*, 2007