

배경의 변화에 따른 피부색상 검출 알고리즘의 성능 비교

장 석 우*

Performance Comparison of Skin Color Detection Algorithms by the Changes of Backgrounds

Seok-Woo Jang*

요 약

정확하게 피부 색상을 검출하는 방법은 얼굴 인식 및 추적, 표정 인식, 성인 영상 검출, 헬스케어 등의 다양한 분야에서 매우 유용하게 사용된다. 본 논문에서는 일반광과 실내 조명이 더해진 환경에서 피사체의 거리를 변경하면서, 그리고 피사체 배경의 색상을 변경함에 따라 다양한 피부색상 검출 알고리즘의 성능을 비교 평가한다. 실험 대상은 피부톤의 차이를 보이는 남자 2명과 여자 한 명이고, 배경을 화이트, 블랙, 오렌지, 핑크, 옐로우의 5가지 색으로 구분하여 테스트를 하였다. 성능 평가에 사용한 피부색상 추출 알고리즘은 Peer 알고리즘, NNYUV, NNHSV, LutYUV, Kismet 알고리즘이며, 카메라와 피사체 사이의 거리는 60cm에서 120cm 사이로 한정하여 실험을 하였다. 성능 측정 실험 결과 피사체의 배경 변화에 따른 알고리즘이 성능의 차이를 보이는데, 전반적으로 뉴럴 네트워크를 이용한 NNHSV, NNYUV, 그리고 LutYUV이 안정적인 결과를 보여주었으며, 나머지 알고리즘들은 배경의 변화에 따라 피부색상 검출율이 영향을 많이 받았다. 본 논문에서 보여준 다양한 성능 평가 결과들은 피사체의 주변 환경이 동적으로 변화하는 실제 환경에서 상황에 따라 적응적이고 정확도가 높은 피부 색상 추출 알고리즘을 개발하는데 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.

Abstract

Accurately extracting skin color regions is very important in various areas such as face recognition and tracking, facial expression recognition, adult image identification, health-care, and so forth. In this paper, we evaluate the performances of several skin color detection algorithms in indoor environments by changing the distance between the camera and the object as well as the background colors of the object. The distance is from 60cm to 120cm and the background colors are white, black, orange, pink, and yellow, respectively. The algorithms that we use for the performance evaluation are Peer algorithm, NNYUV, NNHSV, LutYUV, and Kismet algorithm. The experimental results show that NNHSV, NNYUV and LutYUV algorithm are stable, but the other algorithms are somewhat sensitive to the changes of backgrounds. As a result, we expect that the comparative experimental results of this paper will be used very effectively when developing a new skin color extraction algorithm which are very robust to dynamic real environments.

• 제1저자 : 장석우

• 투고일 : 2010. 02. 24, 심사일 : 2010. 03. 05, 게재확정일 : 2010. 03. 11.

* 안양대학교 디지털미디어학과 교수

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-신기술융합형 성장동력사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0093669)

▶ Keyword : 피부 색상(Skin Color), 배경 색상(Background Color), 성능 분석(Performance Analysis), 조명(Illumination)

1. 서론

최근 들어 사람의 피부(skin)를 정확하게 검출하는 기법은 얼굴 인식 및 추적, 표정 인식, 제스처 분석, 성인 영상 검출, 헬스케어, 의료영상 분석, 내용기반 영상 검색 등의 다양한 범위의 컴퓨터 비전 관련 응용 분야에서 매우 유용하게 사용된다. 그 이유는 이런 응용 분야에서 얼굴, 손 또는 신체의 특정 부위와 같이 관심의 대상을 검출하기 위한 탐색 공간이 피부 영역 검출을 통해 상당히 축소될 수 있기 때문이다. 일반적으로, 피부 검출 과정은 작은 계산 복잡도를 가지며, 대상 물체의 포즈(pose)에 무관하게 수행될 수 있기 때문에 매우 효과적이라고 알려져 있다[1].

기존의 대부분의 피부 영역 검출 방법들은 주로 색상을 이용하여 영상의 각 화소를 피부 색상과 비 피부(non-skin) 색상으로 분류하였다[2-4]. 이는 인간의 피부는 다른 많은 물체와는 구별되는 일정한 범위의 일관된 색상을 가지고 있다는 전제를 기반으로 한 것이다. 이 방법은 일반적으로 알려진 사람의 피부 색상을 영상 전체에서 찾는 방법으로 간단하다는 장점이 있는 반면 많은 어려움도 내포하고 있다. 먼저, 사람의 피부 색상은 개개인의 고유한 피부색상의 차이가 있으며, 각 인종 간에도 피부색상이 동일하지 않다. 그리고 피부 영역 중에서 가장 많이 활용되는 얼굴은 겉으로 드러나는 부위이므로 특수 분장이나 색조화장에 따라 피부색상에 차이가 있을 수 있다. 또한, 물체를 촬영하는 광학기기의 특성이나 조명 환경에 따라 영상은 서로 다른 색상을 가질 수 있다. 이와 같은 인위적 또는 자연적인 환경 변화에 따른 색상 값의 차이를 극복하기 위해서 새로운 방법들이 다양하게 모색되고 있다.

피부 색상 검출 알고리즘은 위와 같은 정적인 환경 변화뿐만 아니라 동적인 환경에서도 강건하게 동작해야 한다. 예를 들어, 카메라를 물체 방향으로 가까이 또는 물체로부터 멀리 이동하면서 연속적으로 촬영을 하거나, 또는 물체 자체가 임의의 방향으로 이동을 한다면 이동 물체의 색상은 어느 정도 일정하게 유지되지만 배경이 계속해서 변화하게 되므로 피부 색상 검출의 성능에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 즉, 피부 색상 검출 방법들은 카메라와 피사체의 거리가 고정되어 있지 않으며, 배경의 색상이 동적으로 변화하는 실제 환경에서도 좋은 성능을 가져야 한다. 그러나 기존의 피부 색상 검출 방법들은 주로 정적인 환경 변화에 초점을 두고 있으며, 이러한 동적인 환경 변화에 대해서는 아직까지 그 연구가 미비한 단계이다.

따라서 본 논문에서는 일반광과 실내 조명이 더해진 환경에서 카메라와 피사체의 거리를 변경해 가면서, 그리고 피사체 배경의 색상을 변경함에 따라 피사체의 피부가 얼마나 검출되는지를 다양한 피부 색상 검출 알고리즘에 적용하여 이들의 성능을 비교 분석한다. 본 논문의 실험 대상은 피부 톤의 차이를 보이는 남자 2 명과 여자 1 명이고, 배경을 화이트(white), 블랙(black), 오렌지(orange), 핑크(pink), 옐로우(yellow)의 5가지 색으로 구분하여 테스트를 하였다. 성능 평가에 사용한 기존의 피부색상 추출 알고리즘은 Peer 알고리즘[5], NNYUV, NNHSV, LutYUV, Kismet 알고리즘[6]이며, 카메라와 피사체 사이의 거리는 60cm에서 120cm 사이로 한정하여 실험을 하였다. 이는 동적인 환경 변화 속에서 좋은 성능을 보이는 알고리즘을 다양한 방법으로 분석해 봄으로써 향후 정적인 환경 변화뿐만 아니라 동적인 환경 변화에도 강인한 피부색상 검출 시스템을 개발하기 위함이다.

일반적으로, 피부 색상 검출 알고리즘의 전체적인 개요도는 그림 1과 같다. 먼저, 입력 영상을 받아 들이고, 평활화와 같은 전처리를 통해 영상의 질(quality)을 향상시킨다. 그런 다음, 알고리즘에서 사용할 칼라 공간을 선택하고, 피부 색상 검출에서 사용할 피부색상 모델을 제작하거나 기존의 피부모델을 채택한다. 획득된 피부 모델을 이용하여 영상에서 피부에 해당하는 화소들을 추출한 후 레이블링을 통해 개별적인 피부 화소들을 연결하여 영역 단위로 만든다. 그리고 잡음이나 크기가 매우 작은 영역들을 제거하는 후처리를 수행하면 최종적으로 추출된 피부 색상 영역을 찾을 수 있다.

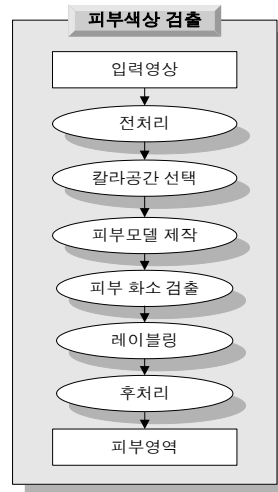


그림 1. 시스템 흐름도
Fig. 1. System flowchart

1장에서는 본 연구를 수행하게 된 동기 및 배경, 그리고 전체적인 개요를 기술하였다. 2장에서는 기존의 피부 색상 검출과 관련된 알고리즘들에 대해 소개하고, 3장에서는 피부색상 추출 방법의 주요 구성요소에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 본 논문에서 수행한 다양한 실험 결과를 보이고, 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

II. 관련연구

사람과 컴퓨터 사이의 상호 작용(HCI: Human Computer Interaction)이 중요하게 부각되고 있고, 관련된 여러 응용 분야에서 인간의 피부 색상을 강건하게 검출하는 기법이 주요한 핵심 기술로 사용되므로 연관된 많은 연구들이 최근 들어 활발하게 진행되고 있다.

Peer는 입력 영상이 촬영되는 조명 조건과 잡음에 민감하지 않는 피부 색상 클러스터링 방법을 2차원과 3차원 공간에서 사용하여 영상에서 얼굴 영역을 검출하였다[5]. 이 방법은 단지 칼라 정보만을 이용하여 얼굴 영역을 찾는다면 3차원 칼라 공간에서의 클러스터링이 보다 효과적이었고, 다른 특징 기반 방법과 더불어 칼라 정보를 활용한다면 2차원 칼라 공간을 사용하는 방법이 보다 좋은 결과를 산출했다. 그리고 조명의 관점에서는 2차원 칼라 공간에서의 방법이 어두운 영상에서 잡음의 영향을 보다 효과적으로 줄였으나 보통 주간의 조명 상태에서 촬영된 영상에서는 너무 많은 화소들을 피부 색상이라고 검출하여 성능이 낮아졌다. 또한, 이 방법은 비 표준적인 조명 환경에서도 강건하게 피부 색상 영역을 추출하기 위해 이런 조명에 독립적인 알고리즘들을 추가하였다.

미국 MIT 대학의 인공지능연구실에서는 감성 표현이 가능한 로봇으로 사람과의 자연스러운 상호작용이 가능하도록 사람의 얼굴부분을 모사하여 Kismet을 개발하였다[6]. Kismet은 얼굴 표정, 시선, 손동작, 킬러 밝기 등의 시각 및 음성 정보를 통해 자연스럽게 사회적 신호들을 인식하고, 얼굴 표정, 신체 자세, 제스처, 시선 및 음성 등 사람과 동일한 방법으로 신호를 전달할 수 있는 시스템을 갖추고 있다. Kismet에서는 다양한 조명 조건과 피부 색상 화소로부터 피부 톤 특징 맵(skin tone feature map)을 제안하여 입력된 영상으로부터 피부 색상을 추출한다. 이 방법에서 피부 톤 필터는 가능한 R, G, B 값들 중 약 4.7%에 대해서만 피부 색상이라고 반응하였다. 그림 2는 감성 로봇 Kismet을 보여주고 있다.

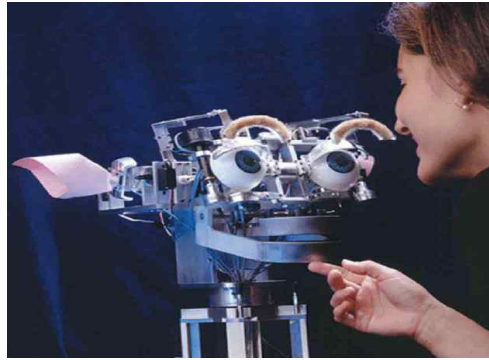


그림 2 키스멧
Fig. 2. Kismet

Lee는 성인 영상을 검출하기 위해서 새로운 피부 영역을 추출하는 방법을 제안하였다[7]. 먼저, RGB 칼라 모델의 영상을 YCbCr 칼라 모델로 변환시키고, Cb와 Cr의 분포에 대한 히스토그램을 작성하고 이를 병합하여 피부 색상 모델을 제작함으로써 피부 영역을 검출하였다. 이 방법에서는 영상 전체의 밝기 및 색상에 따라 피부 영역이 다르게 나타나는 문제를 해결하기 위해서 영상의 밝기에 따라 다르게 분포하는 피부 색상을 분류하여 여러 개의 피부 색상 모델을 만들었다. 이와 같이 생성한 피부 색상 모델을 이용하여 영상 전체를 사물 영역과 배경 영역으로 구분하였다. 이 방법의 단점으로는 경우에 따라 피부색과 유사한 배경 영역을 피부 영역이라고 오판한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 영상 전체를 부 영역으로 분할하고 에지를 검출하여 에지의 정도가 어떤 임계값 이상이면 피부가 아니라고 판단한다. 그리고 이 방법은 특수 조명 하에서 촬영된 영상을 주요 대상으로 하고 있다.

Cho는 고정된 임계치를 사용하지 않고 적응적으로 임계값을 조절하면서 피부 색상과 비 피부색상을 구별하는 방법을 제안하였다[2]. 이 방법은 크게 2가지 주요 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 RGB 칼라 공간을 HSV 칼라 공간으로 변환하고, 각 칼라 요소에 대해 2개씩의 임계치를 정하여 3차원 임계값 박스를 구성한다. 그런 다음, H의 값을 고정된 상태에서 칼라 히스토그램을 이용하여 적응적으로 3차원 임계값 박스를 조절한다. 이 작업은 영상에서 피부 색상이 차지하는 영역은 피부와 유사한 색상을 가진 배경의 영역보다 크다는 가정 하에 수행된다. 두 번째 단계에서는 3차원 임계값 박스에 있는 칼라 벡터를 피부 색상 벡터와 비 피부 색상 벡터로 구분함으로써 영상에서 피부 색상에 해당하는 화소들을 추출할 수 있다. 이 방법은 임계치를 적응적으로 조절함으로써 효과적으로 피부 색상 영역을 검출할 수 있으나 피부 색상에 해당

하는 영역이 영상 전체에서 일정 크기 이상이 되어야 한다는 제약이 있고, 조명이 강한 경우에는 잘 동작하지 않는다는 단점이 있다.

이 외에도 많은 방법들을 찾아볼 수 있다[8-10]. Fang은 얼굴을 검출하기 위해서 새로운 칼라 히스토그램을 이용하여 피부 색상을 검출하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 얼굴에 해당하는 영역에서 칼라 히스토그램을 작성하고, 얼굴 영역에 대한 공간적인 관계를 반영하는 벡터를 생성하여 효과적으로 얼굴 영역을 검출하였다[8]. Kawaguchi는 얼굴 영상으로부터 두 눈의 홍채를 검출하는 알고리즘을 제안했다[9]. 그들은 예지와 기하학적 특징, 그리고 피부 색상 모델을 이용하여 개략적으로 얼굴 영역을 추출한 후 추출된 얼굴 영역에서 홍채를 검출했다. 그러나 이 방법은 정교하지 않은 기하학적인 척도를 사용하여 얼굴 영역의 경계를 명확하게 검출하지 못한다는 단점이 있다. Sigal은 비디오 데이터에서 실시간으로 피부 영역을 분할하는 방법을 제안했다[10]. 시간이 경과됨에 따라 피부 색상 히스토그램이 어떻게 진행되는 지를 예측하기 위해서 2차 Markov 모델을 채택했다. 이 방법에서는 현재 시점의 피부 색상 분포가 이전 시점에서의 모델을 업데이트함으로써 획득되므로 두 모델이 시간적으로 서로 상관되어지게 된다는 특징을 가진다.

III. 칼라 공간과 피부 모델링

피부 색상을 검출하는 알고리즘에는 여러 가지의 구성 요소가 있지만 이 중에서 칼라 공간을 결정하는 요소와 피부 색상을 모델링하는 요소가 매우 중요하다[11-13]. 다시 말해, 칼라 공간과 피부 색상 모델링 방법에 따라 피부 색상 추출의 전체적인 성능이 크게 영향을 받는다.

3.1 칼라 공간

RGB 칼라 공간은 가장 잘 알려진 모델로 R, G, B 세 개의 칼라 구성요소의 조합으로 칼라를 용이하게 표시한다. 그러나 이 모델은 채널 사이의 높은 상관관계, 그리고 색상과 밝기값이 분리되지 않고 혼합되어 있어 칼라 분석 및 칼라 기반의 인식 알고리즘에서 많이 사용되지는 않는다.

정규화된 RGB 칼라 공간은 간단한 정규화 과정을 통해 RGB 공간으로부터 식 (1)과 같이 쉽게 표현될 수 있다. 이 칼라 공간에서는 정규화된 세 가지 칼라 요소의 합은 알려져 있으므로(r+g+b=1) 세 번째 요소는 중요한 의미를 가지지 않는다. 따라서 세 번째 칼라 요소는 생략될 수 있으며, 결국 칼라

차원이 3차원에서 2차원의 계산으로 축소된다.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad b = \frac{B}{R+G+B} \dots\dots\dots (1)$$

HSV 칼라 공간은 색상(hue), 채도(saturation), 명도(value)를 나타낸다. 이 칼라 공간은 인간이 칼라를 감지하는 방법과 가장 유사한 칼라 공간으로 색상, 채도, 명도가 분리되어 있으므로 여러 가지 칼라 처리를 수행하는 작업에 많이 사용된다. 이 칼라 공간은 R, G, B로부터 직접적으로 표현될 수 없고 다음 식 (2)와 같이 묘사된다.

$$H = \cos^{-1} \left(\frac{[(R-G) + (R-B)]}{2 \sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \dots\dots\dots (2)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} \times [\min(R, G, B)]$$

$$V = \frac{1}{3} \times (R+G+B)$$

YCbCr 칼라 공간은 유럽의 텔레비전 스튜디오와 영상 압축 분야에서 많이 사용되는 공간으로 인코딩된 비선형 RGB 신호이다. 이 공간은 색상과 밝기값이 분리되어 있으므로 칼라 분할 및 피부 색상 검출 등의 분야에서 많이 사용된다. YCbCr 칼라 공간은 식 (3)과 같이 칼라를 밝기값과 색상으로 표현하는데, 밝기값을 나타내는 Y는 R, G, B 값들의 가중화된 합으로 계산되고, 색상을 나타내는 Cb와 Cr은 B와 R의 요소에서 밝기값 요소인 Y를 감하여 계산된다.

$$Y = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \dots\dots\dots (3)$$

$$C_r = R - Y$$

$$C_b = B - Y$$

위에서 언급한 칼라 공간들 외에도 YIQ, TSL, CIE, YES, CMY, CIELab 칼라 공간 등 많은 공간 모형이 나와 있다.

3.2 피부 모델링

주어진 칼라 공간에서 피부 색상을 효과적으로 검출한다는 것은 주어진 화소가 피부 화소(skin pixel)인지 아니면 비 피부 화소(non-skin pixel) 인지를 분류하는 작업이다. 즉, 피부 색상 추출 방법의 최종적인 목적은 피부 화소와 비 피부 화소를 정확히 구분할 수 있는 척도(measure)를 모델링하는 것이다. 2D 또는 3D 히스토그램을 이용하는 방법은 주어진 칼라 공간에서 피부 색상의 분포를 히스토그램으로 표현한다. 다시 말해, 칼라 공간은 많은 수의 히스토그램 빈(bin)으로 양자화

되며, 각 히스토그램 빈(룩업 테이블의 셀로 정의될 수 있음)은 연관된 칼라의 빈도수를 저장한다. 그리고 히스토그램 빈에 해당하는 빈도수는 다음과 같은 확률 분포로 변환된다. 식 (4)에서 $count(c)$ 는 색상 c 에 해당하는 히스토그램 빈의 개수를 의미하고, T 는 모든 히스토그램 빈의 개수의 합이다. 그리고 $P(c)$ 는 주어진 칼라가 피부색상에 속할 가능성에 해당하므로, 임계치를 이용하면 피부 색상과 비 피부 색상을 구분할 수 있다.

$$P(c) = \frac{count(c)}{T} \dots\dots\dots (4)$$

뉴럴 네트워크(neural network)를 이용하여 피부 색상을 강건하게 모델링하는 방법은 일반적으로 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron)을 이용하여 학습 데이터로부터 피부 색상과 비 피부색상을 학습한다. 이 방법에서는 효과적으로 피부 색상을 학습하기 위해 뉴럴 네트워크의 중간 레이어의 개수, 중간 노드의 개수, 그리고 학습 비율(learning rate) 등을 결정하여야 한다. 그리고 네트워크에서 가중치는 역 전파 알고리즘이라고 알려진 경사 기울기 기법(gradient descent technique)에 의해 반복적으로 업데이트 된다.

타원 경계(boundary) 모델을 이용한 방법은 피부 색상의 분포가 주어진 칼라 공간에서 타원 모양의 경계 안에 분포한다는 특성을 이용한 방법이다. 이 방법에서는 피부 색상을 타원 모양으로 모델링하기 위해 칼라 공간에서 피부 색상이 분포하는 위치에 타원을 위치시키고, 피부 색상 영역에 타원이 가장 잘 근사되도록 타원의 중심 위치, 단축과 장축의 길이, 각도 등의 파라미터를 추출하여 피부 색상 모델을 생성한 후, 테스트 영상이 입력될 때 이 파라미터를 이용하여 피부색상을 검출한다.

위에서 언급한 피부 색상 모델링 알고리즘 외에도 가우시안 분류기, SOM(self organizing map) 분류기, 베이지안 네트워크, HMM을 이용한 방법 등이 있다.

IV. 피부색상 성능 분석

본 논문의 실험을 위하여 사용한 컴퓨터는 인텔 Pentium Core 2 Duo의 CPU와 4GB의 메모리를 사용하였고, 운영체제는 마이크로소프트사의 Windows XP Home edition을 사용하였으며, 컴파일러는 Visual C++를 사용하여 프로그램을 제작하였다. 본 논문의 실험에 사용된 카메라는 PANWEST사의 lebeca 웹 카메라이다.

본 논문에서 피부 색상 검출의 성능을 비교 평가하기 위해

사용한 알고리즘은 Peer 알고리즘[5], Kimset 알고리즘[6], NNYUV, NNHSV, LutYUV 알고리즘이다. Peer 알고리즘과 Kismet 알고리즘은 2장에서도 언급했듯이 어플리케이션으로 제작되어 현재 실제 사용되고 있는 시스템에서 채택한 피부 색상 검출 알고리즘이다. 그리고 NNYUV와 NNHSV 알고리즘은 칼라 공간 중 가장 많이 사용되는 YUV와 HSV 칼라 공간에서 정확도가 높은 다층 퍼셉트론 뉴럴 네트워크 방법을 이용하여 피부색상을 분리할 수 있도록 본 논문에서 개발하였다. 또한, LutYUV는 YUV 색상 공간에서 룩업 테이블을 이용하여 효율적으로 칼라 클러스터링을 할 수 있도록 제작하였다.

본 논문에서는 카메라와 피사체 사이의 거리는 60cm에서 120cm 사이로 한정하여 실험을 하였다. 또한, 실험 대상은 피부 톤의 차이를 보이는 남자 2 명과 여자 1 명이고, 배경을 화이트(white), 블랙(black), 오렌지(orange), 핑크(pink), 옐로우(yellow)의 5가지 색으로 구분하여 테스트를 하였다. 배경을 5가지로 나누어서 테스트를 수행한 것은 배경색에 따른 피부 색상 검출이 어떤 영향을 받는가를 알기 위해서이다.

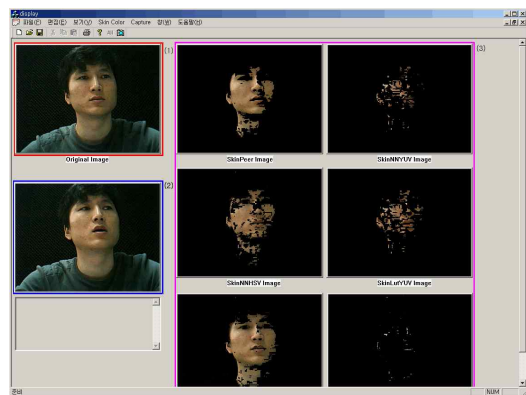


그림 3. 메인 프로그램
Fig. 3. Main Program

그림 3은 위에서 언급한 피부 색상 검출 알고리즘의 성능 테스트를 수행하기 위해서 개발한 메인 프로그램으로, 카메라에 입력된 영상에 대해 여러 알고리즘의 피부 색상 추출 결과를 동시에 확인할 수 있게 프로그래밍 한 것이다. 그림 3에서 좌측 상단의 윈도우는 카메라에서 입력받은 영상을 순간적으로 캡처한 정지 영상을 보여주고, 좌측 하단의 윈도우는 카메라로 입력되는 실시간 영상을 연속적으로 보여주고 있다. 그리고 우측의 윈도우에는 피부 색상 검출 알고리즘들의 실험 결과 영상들을 동시에 보여주고 있다.

피부 색상 검출 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 본 논문에서는 원래 영상의 피부 색상이 각각의 알고리즘을 통해 얻

마나 많이 검출되는지를 조사하였다. 피부 색상 검출 비율은 원래 영상의 피부에 대한 그라운드 트루스(ground truth)를 추출한 후 각 알고리즘이 검출한 피부 색상의 픽셀 수를 계산하였다. 이 때의 그라운드 트루스는 검출하고자 하는 원 영상의 피부색 범위를 말하며, 포토샵에서 수작업으로 데이터를 획득하였다. 각 알고리즘의 피부 색상 검출 비율 D_{rate} 를 구하는 수식은 아래의 식 (5)와 같다. 식 (5)에서 $N_{skin}(TI)$ 는 각 알고리즘의 적용 후에 피부 색상이라고 추출되는 픽셀의 개수를 의미하고, $N_{GT}(OD)$ 는 원 영상의 피부 색상에 대한 그라운드 트루스의 픽셀 개수를 의미한다.

$$D_{rate} = \frac{N_{skin}(TI)}{N_{GT}(OI)} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (5)$$

표 1은 피사체의 배경을 검정색으로 설정하고, 조도가 350lux인 일반광과 실내 조명의 환경에서 피부 색상을 검출한 결과의 일부분을 나타낸다. 표 1에서 BGrate는 원 영상의 그라운드 트루스를 제외한 영역에 대해 오인식한 비율을 나타내고, FGRate는 원 영상에서 그라운드 트루스가 차지하는 비율을 나타내며, Opixel은 원 영상의 그라운드 트루스에 해당하는 픽셀의 수를 나타낸다.

표 1. 피부색상 검출(배경: 검정색)
Table 1. Skin Color Extraction(Background: Black)

거리 (cm)	알고리즘	Drate (%)	BGrate (%)	FGRate (%)	Opixel
60	SkinPeer	75.65	3.42	22.22	17066
	SkinNNYUV	9.32			
	SkinNNHSV	46.62			
	SkinLutYUV	43.72			
	SkinKismet	111.98			
70	SkinPeer	71.84	1.46	18.21	13983
	SkinNNYUV	8.65			
	SkinNNHSV	51.91			
	SkinLutYUV	40.23			
	SkinKismet	106.58			
80	SkinPeer	78.97	2.65	14.17	10882
	SkinNNYUV	10.91			
	SkinNNHSV	54.38			
	SkinLutYUV	41.22			
	SkinKismet	116.07			

표 1에서 확인할 수 있듯이 피사체의 배경이 검정색일 경우에는 Peer 알고리즘과 Kismet 알고리즘이 탁월한 결과를 얻을 수 있었다. 위의 표에서 뿐만 아니라 카메라와 피사체 사

이의 거리가 320cm까지의 결과에서도 두 알고리즘이 다른 3개의 알고리즘보다 결과가 좋다는 것을 수치로 보여주었다. 위의 표에서 Kismet 알고리즘의 Drate가 100이상인 것은 BGrate에 해당하는 원 영상의 피부에 대한 그라운드 트루스를 제외한 옷과 배경에서 오 인식이 되었기 때문이다. 특히, 피사체와의 거리가 320cm에 가까워질수록 배경으로 인한 오 인식률은 급격히 증가하였다.

다음의 표 2는 피사체의 배경이 검정색일 때의 각 인식 알고리즘을 통한 Drate의 평균값을 별도로 나타낸 것으로, 평균 a는 테스트한 모든 거리에 대한 Drate의 평균값이고, 평균 b는 배경에 의한 오 인식률을 줄이기 위해 거리제한을 120cm로 설정한 경우의 Drate의 평균값이다. 여기서 대상 A와 B의 구분은 상대적으로 흰 피부의 남자가 대상 A이고, 검은 피부의 남자가 대상 B이며, C는 화장한 여성의 경우이다. 표 2에서 보여주는 것과 같이 Peer 알고리즘이 가장 이상적인 결과를 보여준다.

표 2. 피부색상 검출(배경: 검정색2)
Table 2. Skin Color Extraction(Background: Black2)

	대상 A		대상 B		대상 C	
	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b
SkinPeer	101.27	76.81	131.20	71.31	126.36	86.47
SkinNNYUV	20.12	10.43	44.02	22.28	39.45	27.40
SkinNNHSV	73.38	55.02	123.02	77.80	110.12	85.19
SkinLutYUV	42.42	41.70	68.24	58.64	58.65	53.71
SkinKismet	172.68	118.48	288.86	139.05	280.78	165.86

배경이 오렌지 색상일 경우 Kismet 알고리즘이 원영상의 그라운드 트루스에 포함된 피부색을 거의 모두 검출해서 만족할 만한 결과를 보여주지만 피부를 제외한 다른 부분에 대해 더 많이 검출하여 필요 이상의 높은 Drate값을 얻었다. 특히, Peer 알고리즘의 경우는 피부 뿐만 아니라 배경 자체를 피부로 인식하는 결과를 보였다. 그리고 LutYUV, NNHSV, NNYUV 알고리즘에서의 Drate가 그라운드 트루스 부분에 대해서는 Kismet에 비해 적게 나오지만 피부색을 제외한 옷과 배경부분에서 검출되는 비율이 훨씬 낮아 5가지 알고리즘 중에서 피부색과 비슷한 오렌지색의 배경에서 가장 효과가 좋은 걸로 나타났다. 다음의 표 3은 오렌지 색의 배경에서 나타난 실험결과를 정리한 것이다. 피사체와 카메라의 거리가 더 멀어질수록 검출되는 배경부분이 많아져 Drate의 평균값을 실제 이상으로 향상시키는데 Peer 알고리즘이 그 좋은 예이다. Peer 알고리즘은 피사체와의 거리가 140cm를 넘어서면 배경자체가 피부로 검출되며 전반적으로 배경이 오렌지일 경우 옷 부분에

대한 검출량이 많아졌다.

피사체의 배경이 핑크일 경우 LutYUV와 뉴럴 네트워크를 이용한 NNHSV와 NNYUV의 알고리즘과 그 외의 알고리즘에

표 3. 피부색상 검출(배경: 오렌지색)
Table 3. Skin Color Extraction(Background: Orange)

	대상 A		대상 B		대상 C	
	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b
SkinPeer	1029.77	699.20	1495.45	802.97	1121.52	635.77
SkinNNYUV	39.44	15.88	75.26	51.85	60.07	38.95
SkinNNHSV	94.34	61.71	157.29	113.60	156.37	156.85
SkinLutYUV	55.09	39.96	96.64	82.35	76.29	69.05
SkinKismet	309.74	168.34	396.44	169.25	372.27	230.95

대한 결과가 확연히 차이를 보였다. 위에서 언급한 알고리즘이 원 영상의 그라운드 트루스에서만 피부색을 검출하는데 반해 Peer 알고리즘과 Kismet 알고리즘은 그라운드 트루스 뿐만 아니라 배경인 핑크를 피부색상으로 검출한다. 이로 인해, Drate의 평균값은 터무니없이 커져 버렸다. 핑크가 배경 색일 경우의 실험데이터는 표 4의 데이터로 알 수 있으며, 여기서 평균 a는 실험 거리가 60cm에서 320cm 사이의 모든 영상에 대한 Drate의 평균이고, 평균 b는 120cm까지의 근접거리에 대한 Drate 평균을 의미한다. 가장 좋은 결과를 보이는 것은 LutYUV 알고리즘으로 나타났다.

표 4. 피부색상 검출(배경: 핑크색)
Table 4. Skin Color Extraction(Background: Pink)

	대상 A		대상 B		대상 C	
	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b
SkinPeer	1195.05	855.21	1544.50	812.45	1111.97	703.50
SkinNNYUV	76.21	31.39	121.37	63.63	88.59	49.58
SkinNNHSV	132.82	76.27	208.82	132.19	164.52	132.50
SkinLutYUV	89.30	61.10	118.51	85.44	95.58	71.40
SkinKismet	1283.43	885.69	1724.37	906.21	1228.29	795.97

피사체의 배경을 옐로우로 했을 경우는 핑크가 배경인 경우와 마찬가지로 LutYUV와 뉴럴 네트워크를 이용한 NNHSV와 NNYUV의 알고리즘과 그 외의 알고리즘의 결과가 확연히 차이를 보인다. 위에서 언급한 LutYUV, NNHSV, NNYUV 알고리즘이 원 영상의 그라운드 트루스에서 피부색을 검출하는데 반해 Peer 알고리즘과 Kismet 알고리즘은 원 영상의 그라운드 트루스 뿐만 아니라 카메라와의 거리가 멀어질수록 배경인 옐로우를 피부색으로 인식하게 되어 Drate의

값은 피사체와 카메라가 멀어질수록 커진다. 표 5는 피사체의 배경이 옐로우일 경우의 피부색 검출 비율을 나타낸 것이다.

피사체의 배경을 화이트로 했을 경우, 원영상의 그라운드 트루스에 대한 검출은 Peer 알고리즘과 Kismet 알고리즘이 월등히 우수함을 알 수 있다. 그리고 LutYUV와 NNHSV, NNYUV의 알고리즘은 배경에 영향을 별로 받지 않으면서 높

표 5. 피부색상 검출(배경: 옐로우색)
Table 5. Skin Color Extraction(Background: Yellow)

	대상 A		대상 B		대상 C	
	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b
SkinPeer	668.86	194.96	611.66	270.92	473.11	190.99
SkinNNYUV	45.76	8.87	39.85	18.90	39.26	16.60
SkinNNHSV	117.90	53.11	123.84	73.76	100.82	66.26
SkinLutYUV	62.97	37.42	68.01	56.04	59.51	40.57
SkinKismet	599.03	150.44	469.92	246.16	384.57	207.92

은 피부색상 검출 결과 값을 가진다. 그러나, Kismet과 Peer 알고리즘은 카메라와 피사체의 거리가 290cm부터 피사체 배경의 흰색을 피부로 인식하는 현상이 발생했다.

표 6. 피부색상 검출(배경: 화이트색)
Table 6. Skin Color Extraction(Background: White)

	대상 A		대상 B		대상 C	
	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b	평균 a	평균 b
SkinPeer	165.09	90.90	158.18	72.98	161.39	84.30
SkinNNYUV	50.29	19.00	75.06	42.08	48.77	28.50
SkinNNHSV	106.66	65.87	167.92	94.51	108.82	80.44
SkinLutYUV	65.15	45.27	86.19	67.12	66.05	54.12
SkinKismet	244.96	108.42	310.48	131.06	240.35	133.52

결과적으로, 피사체의 배경 변화에 따라 알고리즘이 성능의 차이를 보이는데 전반적으로 뉴럴 네트워크를 이용한 NNHSV, NNYUV, 그리고 LutYUV 알고리즘이 안정적인 결과를 보이고, Kismet 알고리즘의 경우 원영상의 그라운드 트루스 부분의 인식률은 가장 좋으나 배경이 피부톤과 비슷한 핑크와 옐로우에서 피부색상 검출률에 많은 영향을 초래하여 배경에 의한 오 인식이 상당히 높아졌다. 또한, Peer 알고리즘도 배경에 가장 많은 영향을 받는데, 특히 Kismet 알고리즘과 마찬가지로 핑크와 옐로우 그리고 오렌지에서 배경을 피부로 인식해 오 인식을 높였다.

V. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 일반광과 실내 조명이 더해진 환경에서 카메라와 피사체 사이의 거리를 변경해 가면서, 그리고 피사체 배경의 색상을 다양하게 변경함에 따라서 피사체의 피부가 얼마나 정확히 검출되는지를 여러 피부 색상 검출 알고리즘에 적용하여 이들의 성능을 비교 분석하였다. 이는 동적인 환경 변화 속에서 좋은 성능을 보이는 피부 색상 추출 알고리즘을 다양한 방법으로 분석해 봄으로써 향후 정적인 환경 변화 뿐만 아니라 동적인 환경 변화에서도 강인하게 피부색상을 검출하는 시스템을 개발하기 위함이다.

성능 평가에 사용한 피부색상 추출 알고리즘은 Peer 알고리즘, NNYUV, NNHSV, LutYUV, Kimset 알고리즘이며, 카메라와 피사체 사이의 거리는 60cm에서 120cm 사이로 한정하여 실험을 하였다. 그리고 본 논문의 실험 대상은 피부 톤의 차이를 보이는 상대적으로 검은 피부와 흰 피부의 남자 2 명과 화장을 한 여자 1 명이고, 배경을 화이트, 블랙, 오렌지, 핑크, 옐로우의 5가지 색으로 구분하여 테스트를 수행하였다. 다양한 실험결과 피사체의 배경에 따른 알고리즘이 성능의 차이를 보이는데 전반적으로 뉴럴 네트워크를 이용한 NNHSV, NNYUV, 그리고 LutYUV 알고리즘이 안정적인 결과를 보였고, Kismet 알고리즘과 Peer 알고리즘의 경우 원영상의 그라운드 트루스 부분의 인식률은 좋으나 배경이 피부 톤과 비슷한 핑크와 옐로우에서 피부색상 검출률에 많은 악 영향을 초래하였다.

향후에는 피사체 배경의 색상이 동적으로 변화하는 일반 실내 환경에서 강인하게 피부 색상을 검출하는 시스템을 개발할 예정이다. 이를 위해, 본 논문에서 성능 평가한 자료를 기반으로 동적인 환경에 적합한 피부 색상 검출 방법을 그때 그때 상황에 따라 적응적으로 채택할 수 있는 메커니즘을 개발할 예정이다. 이를 자동화하기 위한 척도를 제안할 예정이다. 그리고 주변의 환경 변화에 따른 알고리즘의 성능 비교를 위해 객관적인 지표를 제시하기 위한 연구도 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] Son Lam Phung, Abdesselam Bouzerdoum, Douglas Chai, "Skin Segmentation Using Color Pixel Classification: Analysis and Comparison," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No. 1, January 2005.
- [2] Kyung-Min Cho, Jeong-Hun Jang, Ki-Sang Hong, "Adaptive Skin-Color Filter," *Pattern Recognition*, Vol. 34, No.5, pp. 1067-1073, May 2001.
- [3] A. Choudhury, M. Rogers, B. Gillam, K. Watson, "A Novel Skin Tone Detection Algorithm for Contraband Image Analysis," In *Proceedings of the International Workshop on Systematic Approaches to Digital Forensic Engineering*, pp. 3-9, May 2008.
- [4] Moritz Störing, Hans J. Andersen, and Erik Granum, "Skin Color Detection under Changing Lighting Conditions," In *Proceedings of the Seventh Symposium on Intelligent Robotics Systems*, pp. 187-195, 1999.
- [5] Jure Kovac, Peter Peer, Franc Solina, "Human Skin Color Clustering for Face Detection," In *Proceedings of the International Conference on Computer as a Tool (EUROCON)*, Vol. 2, pp. 144-1448, 2003.
- [6] Cynthia Breazeal, Aaron Edsinger, Paul Fitzpatrick, Brian Scassellati, "Active Vision for Sociable Robots," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, Vol. 31, No. 5, 2001.
- [7] Jiann-Shu Lee, Yung-Ming Kuo, Pau-Choo Chung, E-Liang Chen, "Naked Image Detection based on Adaptive and Extensible Skin Color Model," *Pattern Recognition*, Vol. 40, Issue 8, pp. 2261-2270, 2007.
- [8] Jianzhong Fang, Guoping Qiu, "A Color Histogram-based Approach to Human Face Detection," In *Proceedings of the International Conference on Visual Information Engineering*, pp. 133-136, 2003.
- [9] Tsuyoshi Kawaguchi, Mohamed Rizon, "Iris Detection Using Intensity and Edge Information," *Pattern Recognition*, Vol. 36, No. 2, pp. 549-562, 2003.
- [10] L. Sigal, S. Sclaroff, V. Athitsos, "Skin Color-based Video Segmentation under Time-Varying Illumination," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 26, No. 7, pp. 863-877, 2004.
- [11] P. Kakumanu, S. Makrogiannis, N. Bourbakis, "A Survey of Skin-Color Modeling and Detection Methods," *Pattern Recognition*, Vol. 30, Issue 3, pp. 1106-1122, March 2007.
- [12] 한성현, "칼라 홍채영상을 이용한 홍채진단시스템," *한국컴퓨터정보학회논문지*, 제 13권, 제 6호, 87-94쪽, 2008년 11월.
- [13] 박영재, 장석우, 김계영, "눈 주위의 피부색을 이용한 피부영역 검출과 입술 검출에 관한 연구," *한국컴퓨터정보학회논문지*, 제 14권, 제 4호, 19-30쪽, 2009년 4월.

저 자 소개



장 석 우

2000년 8월 : 숭실대학교대학원 컴퓨
터학과 (공학박사)

2009년 3월 - 현재 :

인양대학교 디지털미디어학과 교수

관심분야 : 로봇비전, 증강현실, HCI,
게임, 비디오 색인 및 검
색 등