

# 안정적 사람 검출 및 추적을 위한 검증 프로세스

안정호\* · 최종호\*\*

## Verification Process for Stable Human Detection and Tracking

Jung-Ho Ahn\*, Jong-Ho Choi\*\*

### 요 약

최근 들어 인간과 컴퓨터의 상호작용을 통해 컴퓨터 시스템을 제어하는 기술에 관한 연구가 진행되고 있다. 이러한 응용분야의 대부분은 얼굴검출을 통해 사용자의 위치를 파악하고 사용자의 제스처를 인식하는 방법을 포함하고 있으나, 얼굴검출 성능은 아직 미흡한 실정이다. 사용자의 위치가 안정적으로 검출되지 못 하는 경우에는 제스처 인식 등의 인터페이스 성능은 현격하게 저하된다. 따라서 본 논문에서는 피부색과 얼굴검출의 누적 분포를 이용하여 동영상에서 안정적으로 얼굴을 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하고, 실험을 통해 알고리즘의 유용성을 증명하였다. 제안한 알고리즘은 대응행렬 분석을 적용하여 사람을 추적하는 분야에 응용이 가능하다.

### ABSTRACT

Recently the technologies that control the computer system through human computer interaction(HCI) have been widely studied. Their applications usually involve the methods that locate user's positions via face detection and recognize user's gestures, but face detection performance is not good enough. In case that the applications do not locate user's position stably, user interface performance, such as gesture recognition, is significantly decreased. In this paper we propose a new stable face detection algorithm using skin color detection and cumulative distribution of face detection results, whose effectiveness was verified by experiments. The proposed algorithm can be applicable in the area of human tracking that uses correspondence matrix analysis.

**Key Words** : Human Detection, Human Tracking, Face Detection, Gesture, Verification Process

### 1. 서 론

인간과 컴퓨터의 상호작용(Human Computer Interface, HCI)에서 사용자의 위치를 인식하기 위한 목적으로 얼굴을 검출하는 것은 어플리케이션 개발의 출발점이다[1, 2, 3, 4]. 얼굴의 위치를 기

준으로 사용자의 위치를 파악하고, 몸동작 인식을 위해 인체의 구성 성분을 검색하는 것이 일반적이다. Viola와 Jones(V&J)가 개발한 얼굴검출기[5]가 가장 성능이 우수한 것으로 평가되어 현재 널리 사용되고 있으나, 실제 응용에서 많은 오류를 범하는 것으로 검증되었다. 따라서 이러한 얼굴검출 오

\* 강남대학교 컴퓨터미디어정보공학부 교수 (jungho@kangnam.ac.kr)

\*\* 교신저자 : 강남대학교 전자공학과 교수 (jhchoi@kangnam.ac.kr)

접수일자 : 2011년 07월 28일, 수정일자 : 2011년 08월 15일, 심사완료일자 : 2011년 08월 27일

류로 인해 제스처 인식 등의 성능이 저하되어 어플리케이션 전체가 올바르게 작동하지 않는 경우가 다수이다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 얼굴검출기의 성능을 향상시키는 것을 목표로 얼굴검출기의 결과를 검증하는 프로세스를 적용함으로써 얼굴검출의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 얼굴검출기 자체의 성능향상이 아니고 얼굴검출기에 대한 후처리 과정으로 피부색과 얼굴검출의 누적 분포를 이용하여 동영상에서 안정적으로 얼굴을 검출하고, 대응행렬 분석을 통해 사람을 추적할 수 있는 방법이다.

## II. Viola & Jones 얼굴검출기

Viola와 Jones가 개발한 얼굴검출기[5]는 OpenCV 라이브러리에도 구현되어 있을 정도로 타 얼굴검출기에 비해 정확도와 속도의 측면에서 신뢰성이 높아 널리 활용되고 있다. 이 알고리즘은 다수의 Adaboost 방법에 기반하여 선택된 weak classifier를 Cascade 방식으로 배열하여 정확도는 잃지 않으면서 실시간 얼굴검출을 하는 것이다. 각 weak classifier는 하나의 integral image 특징 값으로 단순하게 구성하고 있다.

그림 1에 Adaboost 방법에 의해 선택된 두 개의 특징을 나타냈다. 첫 번째 특징은 눈과 윗볼 영역의 명암도 차이에 해당하고, 두 번째 특징은 코를 사이에 두고 눈 영역의 명암도 차에 해당한다.

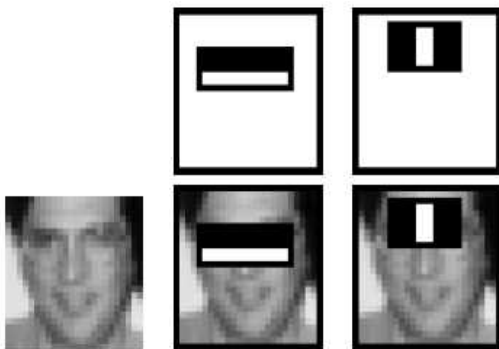


그림 1. Adaboost에서의 weak classifier  
Fig. 1 Weak classifier in Adaboost

얼굴검출에서는 영상내 모든 일정 사이즈의 부 윈도우(subwindow)를 검사한다. 각 부 윈도우에 대해 Adaboost에 의해 선택된 일련의 weak classifier들은 하나씩 순서대로 얼굴 여부를 판단하게 된다. 어느 weak classifier에서 얼굴이 아닌 것으로 판단되면 그 부 윈도우는 얼굴이 아닌 것으로 판단하여, 이후의 weak classifier를 적용하지 않고, 다음 부 윈도우를 검사한다. 그림 2는 얼굴검출 cascade 방식의 블록도이다.

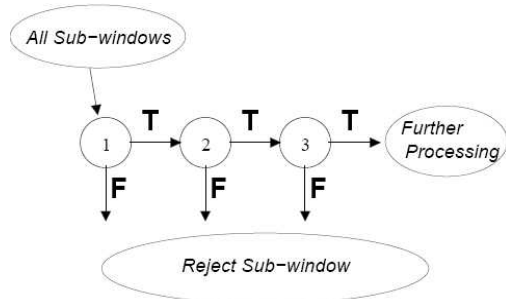


그림 2. 얼굴검출 캐스케이드 블록도  
Fig. 2 Cascade block diagram in face detection

위의 얼굴검출기는 integral image라는 단순한 특징을 사용하여 강력한 Adaboost classifier를 생성하여 정확도를 높였고, 분류기를 cascade 방식으로 적용하여 실시간으로 얼굴검출을 가능하게 한 우수한 성능의 알고리즘이다.

## III. 검증 프로세스 알고리즘

다수가 등장하는 상황에서 개별 사용자의 제스처 등을 인식하기 위해서는 사용자들의 위치를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 사용자들의 위치를 파악하는 것이 사람 검출이므로 사람 검출을 위해서는 얼굴을 검출하는 것이 일반적이다. 사람의 외관 전체를 검출하는 다수의 방법이 제안되어 있지만, 대부분은 속도와 정확성의 측면에서 기존의 얼굴검출 성능보다 우수하지 않다. 따라서 얼굴검출로 사람의 위치를 파악하는 방법이 널리 응용되고 있다.

본 논문에서는 동영상이 입력되는 상황에서 이에 대한 검증 절차를 제안하여 안정적인 얼굴검출 작

업을 수행할 수 있도록 하였다. 얼굴 검증 프로세스는 피부색 모델과 Face Probability Map(FPM)을 이용하여 두 단계로 실행한다.

### 1.1 피부색을 이용한 검증 프로세스

Viola & Jones 얼굴검출기는 영상의 컬러정보를 사용하지 않고 명암도의 분포에 의해 얼굴영역을 검출한다. 피부색을 이용한 검증 프로세스는 검색된 얼굴 영역의 컬러 분포를 검증하기 때문에 false positive 에러를 줄일 수 있다.

피부색 영상을 수집하고, 두 개의 타원형 모델을 이용하여 피부색 경계를 모델링하였다. 주어진 얼굴 박스  $B$ 에 대해서 식 (1)을 만족할 때 얼굴 박스로 검증한다.

$$\frac{\#(\text{skin pixels in } B)}{\#(\text{pixels in } B)} > T_{skin} \quad (1)$$

여기서  $T_{skin}$ 은 결정 상수로 본 논문에서는 0,30으로 설정하였다. 피부색 모델의 불완전함과 얼굴의 컬러왜곡 현상으로  $T_{skin}$ 값은 높게 설정하지 않는 것이 일반적이다.

### 1.2 FPM을 이용한 검증 프로세스

피부색을 이용한 검증 프로세스에 의해 다수의 false positive 오류는 피할 수 있지만 false positive 오류는 존재한다. 얼굴 영역을 검출하지 못하는 false negative 오류는 빈번하게 발생하지는 않지만, 동영상 인식에서 어느 한 프레임이라도 얼굴 영역을 잘못 검출할 경우에는 중요한 포즈를 놓칠 수 있어 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 이러한 오류를 방지하기 위해 FPM(Face Probability Map)을 제안하였다.

FPM은 V&J 얼굴검출기로 검출된 얼굴 박스중에서 피부색 검증을 받은 박스에 대해 수행한다.  $t$  번째 프레임의 FPM  $F$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$F_t(p) = \begin{cases} \max(F_{t-1}(p) + \tau_+, T_{max}) & \text{for } p \in B \\ \min(F_{t-1}(p) - \tau_-, 0) & \text{for } p \notin B \end{cases} \quad (2)$$

여기서  $p$ 는 영상의 픽셀이고,  $B$ 는 피부색이 검증된 얼굴 박스이며,  $\tau_+$ ,  $\tau_-$ ,  $T_{max}$ 는 상수이다.  $\tau_+$ 는 화소위치  $p$ 에서 검출된 얼굴 박스에 대한 확률 증분(increment)이고,  $\tau_-$ 는 감소분(decrement)이며,  $T_{max}$ 는 설정된 최대치이다.  $\tau_+ = 50$ ,  $\tau_- = 30$ ,  $T_{max} = 255$ 로 설정하였다.

FPM은 피부색을 이용한 검증 프로세스를 통과한 얼굴에서 false positive 오류를 범하지 않기 위한 검증 역할을 함과 동시에 V&J 얼굴 검출기가 검출하지 못한 false negative 오류에 대해 얼굴을 검출하는 기능을 동시에 수행한다. FPM은 얼굴이 검출된 위치를 누적함으로써 화면의 얼굴 위치 분포에 대한 정보를 제공한다.

FPM을 이용한 얼굴 박스  $B_F$ 에 대한 얼굴 검증 프로세스는 다음과 같다.

$$\sum_{p \in B_F} L_{FPM}(p) / |B_F| > T_L \quad (3)$$

여기서  $T_L$ 은 결정 상수로 실험에서는 0.50으로 설정하였다.

FPM을 이용한 검증 프로세스는 얼굴의 누적 정보에 기반하기 때문에 안정적으로 얼굴을 검출할 수 있는 장점이 있지만, 사람이 화면에 처음 등장하는 경우에는 몇 프레임이 지난 후에 얼굴을 검출하는 단점이 있다. 그러나 동영상을 이용하는 응용분야에서 얼굴검출의 안정성 최우선적으로 고려할 때 얼굴검출의 안정화를 위한 유용한 방법이다.

## IV. 실험

### 1.1 피부색 모델

피부색의 컬러 분포를 알기 위해 다양한 조명 환경에서 촬영한 영상의 피부색 영역을 수작업으로 분리하였다. 그림 3과 그림 4에 각각 피부색 데이터 수집 과정 및 피부색 모델을 나타냈다.



그림 3. 피부색 데이터 수집  
Fig. 3 Correction of skin colors

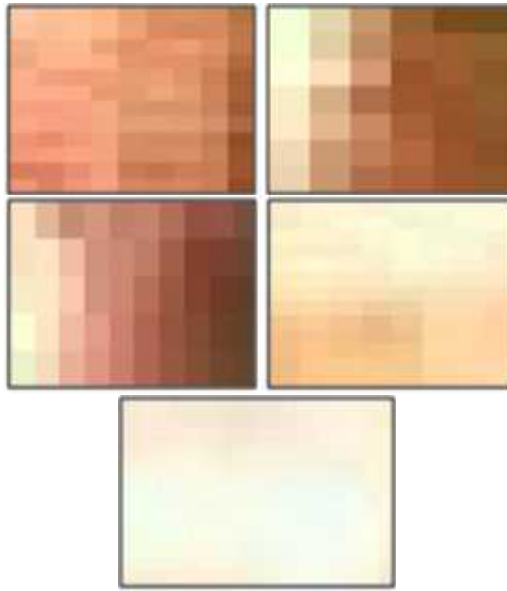


그림 4. 피부색 영상 패치의 예  
Fig. 4 Example of skin image patch

화소의 RGB값을 YCbCr 컬러모델로 변환하여 밝기 성분을 제외한 Cb, Cr 색차성분에 대한 Look-Up Table(LUT)을 이용하여 피부색의 분포를 모델링한 결과를 그림 5에 나타냈다.

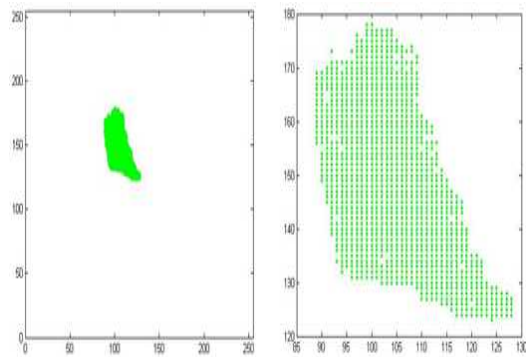


그림 5. LUT 모델링  
Fig. 5 LUT modeling

그림 5에 나타낸 색모델은 조명 환경에 매우 민감하기 때문에 RGB 컬러공간에서 두 개의 3차원 타원형 모델(Elliptic Model)을 이용하여 밝은 피부색과 어두운 피부색을 각각 모델링하였다. 피부색 검출을 위한 타원형 모델은 식 (4)와 같다[6].

$$\left(\frac{x_R - m_R^L}{s_R^L}\right)^2 + \left(\frac{x_R - m_G^L}{s_G^L}\right)^2 + \left(\frac{x_R - m_B^L}{s_B^L}\right)^2 < T_L \tag{4}$$

$$\left(\frac{x_R - m_R^D}{s_R^D}\right)^2 + \left(\frac{x_R - m_G^D}{s_G^D}\right)^2 + \left(\frac{x_R - m_B^D}{s_B^D}\right)^2 < T_D$$

여기서 기호  $L$ 과  $D$ 는 밝음, 어두움을 의미한다.  $m_R^L, m_G^L, m_B^L (m_R^D, m_G^D, m_B^D)$ 는 밝은(어두운) 피부색의 R, G, B 채널의 평균값을 의미하고,  $s_R^L, s_G^L, s_B^L (s_R^D, s_G^D, s_B^D)$ 는 밝은(어두운) 피부색의 R, G, B 채널의 표준편차를 의미한다.

얼굴검출은 대표적인 얼굴검출기인 Viola와 Jones[5]의 얼굴검출기(face detector)를 사용하였다. 이 얼굴검출기의 성능은 매우 우수한 것으로 알려져 있지만, 음성 오류(false negative error)와 양성 오류(false positive error)를 자주 범하기 때문에 신뢰성이 높은 얼굴검출을 수행하지 못한다.

본 논문에서는 얼굴검출기의 결과를 그대로 사용하지 않고, 피부색 모델과 Face Probability Map을 이용하여 검증하는 후처리 작업을 제안함으로써 신뢰도 높은 얼굴검출 처리를 수행하였다.

실제 환경에서 V&J 얼굴검출기는 얼굴 영역을 검출하지 못하는 음성 오류와 얼굴이 아닌 영역을 얼굴로 검출하는 양성 오류를 빈번하게 범한다. 그림 6에 V&J 얼굴검출기의 음성 오류 및 양성 오류를 나타냈다.



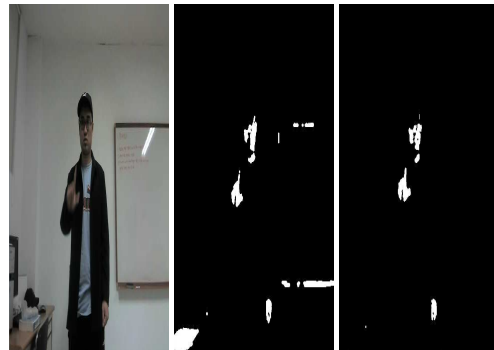
그림 6. V&J 얼굴검출 오류  
Fig. 6 V&J face detection error

### 1.2 피부색 잡음 제거

피부색은 인간의 피부가 아닌 영역에서도 검출될 수 있는 자연의 색이다. 배경에 존재하는 피부색 영역을 제거하기 위해 연결성 분석(Connected Component Analysis)을 수행하여 연결 영역(Connected Component)을 둘러싸고 있는 박스를 찾아내고, 다음 조건을 만족하는 연결영역을 제거하였다.

- N1. 가로×세로 < T1
- N2. 가로/세로 > T2
- N3. 세로/가로 > T3

위의 조건들은 너무 작은 영역이나, 가로와 세로의 비가 지나치게 큰 영역에서는 인간의 피부 영역이 아니라는 가정을 설정하여 수행하였다. 그림 7에 나타낸 잡음제거 실험에서는 T1=100, T2 = 3, T3 =3으로 설정하였다.



(a) 원영상 (b) 피부색 검출 (c) 잡음제거

그림 7. 잡음제거 영상  
Fig. 7 Noise removal image

### 1.3 얼굴 검증 프로세스

대부분의 얼굴검출기가 흑백영상을 이용하는 경우를 감안하여 피부색을 이용한 검증 프로세스를 제안하였다. 검증 프로세스에서는 검색된 박스 안의 피부색 비율을 검증함으로써 얼굴이 아닌 영역을 얼굴로 검출하는 음성 오류를 제거할 수 있었다. 또한 FPM 검증 방법은 기존에 검색된 얼굴 박스의 확률을 누적하여 계산함으로써 얼굴 영역을 검증할 수 있었다. FPM 검증에 의해 얼굴이 아닌 영역이 일시적으로 잘 못 검출되더라도 이를 얼굴로 오인하지 않을 수 있어 안정적인 얼굴검출을 가능하게 하였다.

그림 8에 피부색 검증 프로세스를 이용하여 양성오류를 제거한 얼굴 박스를 나타냈다.



그림 8. 피부색 검증 프로세스에 의한 양성오류 제거  
Fig. 8 Positive error removal using verification process of skin colors

그림 9에 FPM을 활용한 얼굴 검증 프로세스를 나타냈다.



그림 9. FPM에 의한 얼굴확률 맵  
Fig. 9 Face Probability Map

## V. 결론

본 논문에서는 동영상을 대상으로 하는 환경에서 얼굴검출기에 대한 검증 프로세스를 통해 얼굴 검출 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 실제 어플리케이션에서 얼굴검출기는 많은 오류를 범하지만 제안한 방법을 통해 오류를 현저히 줄일 수 있음을 실험을 통해 확인할 수 있었다. 제안한 얼굴 검증 프로세스는 피부색을 이용하는 방법과 FPM을 이용하는 방법으로 나누어진다.

현재 얼굴검출기의 시간이 많이 소요되는 점을 고려하여 얼굴 검출기를 최소한으로 사용할 수 있도록 하는 추적 알고리즘을 연구하고 있다. 연구 중인 추적 알고리즘은 객체 모델링을 통해 추적 중인 객체가 얼굴인지를 검증할 수 있는 프로세스를 포함하고 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Billinghurst, H. Kato and I. Poupyrev, "Tangible Augmented Reality", International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques: ACM SIGGRAPH ASIA, 2008.
- [2] L. Brethes, P. Menezes, F. Lerasle and J.

Hayet, "Face Tracking and Hand Gesture Recognition for Human-Robot Interaction", IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2: 1901-1906, 2004.

- [3] H.Kim, G. Albuquerque, S. Havemann, D. W. Fellner, "Tangible 3D: Hand Gesture Interaction for Immersive 3D Modeling", IPT & EGVE Workshop, 2005.
- [4] Y. Yin and R. Davis, "Toward Natural Interaction in the Real World: Real-time Gesture Recognition", ICMI-MLMI, Beijing, China, 2010.
- [5] P. Viola and M. Jones, "Robust Real-Time Face Detection", International Journal of Computer Vision, Vol. 57(2), pp. 137-154, 2004.
- [6] J.-H. Ahn and J.-H. Kim, "A Stable Hand Tracking Method by Skin Color Blob Matching", Pacific Science Review, Vol. 12, No. 2, pp. 146-151, 2010.

## 저자약력

### 안 정 호(Jung-Ho Ahn)

### 정회원

1996년 2월 연세대학교  
수학과 학사

1998년 2월 연세대학교  
수학과 석사

2001년 12월 Texas A&M  
통계학과 석사

2006년 8월 연세대학교  
컴퓨터과학과 박사

2007년- 현재 강남대학교  
컴퓨터미디어정보공학부 교수



<관심분야> 제스처인식, 얼굴인식, 자동초점 등

최 종 호(Jong-Ho Choi)

정회원



1982년 2월 중앙대학교 전자  
공학과 학사

1984년 2월 중앙대학교 전자  
공학과 석사

1987년 2월 중앙대학교 전자  
공학과 박사

1990~현 재 강남대학교 전자  
공학과 교수

<관심분야> 영상통신, 제스처인식, 컴퓨터시각 등