

칼라 영상에서의 조명 적응적 얼굴 검출과 특징 추출

김세환, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학과
광주광역시 북구 오룡동 1번지

Illumination-adaptive Face Detection and Feature Extraction in Color Images

Se-Hwan Kim and Yo-Sung Ho

Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)

1 Oryong-dong, Puk-gu, Kwang-ju, Korea

E-mail: shkim@gogh.kjist.ac.kr, hoyo@kjist.ac.kr

요약

본 논문에서는 조명에 따라 화면의 밝기가 변하는 환경에서 적응적으로 사람의 얼굴을 검출할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 조명이 적당한 범위에 있을 경우에는 얼굴을 성공적으로 검출할 수 있지만, 조명이 너무 어둡거나 밝은 경우에는 조명에 의해 얼굴 표면의 반사도가 변하여 얼굴색도 변하기 때문에 얼굴 검출의 성능이 현저하게 저하된다. 보통 사람의 얼굴은 조명이 변화하더라도 색도는 크게 변하지 않으나, 채도는 명도에 반비례하여 제한된 범위에서 달라진다. 본 논문에서는 이러한 사실에 기반하여 채도를 Cauchy pdf로 모델링하여 밝기의 변화에 따른 채도 경계값의 범위를 정하였다. 또한 이 값을 이용하여 얻어진 얼굴 영역에 대해 얼굴 특징들의 상호 위치 관계가 대부분 역삼각형의 모양을 이루고 있다는 사실을 바탕으로 눈, 코, 입 등을 추출하였다.

1. 서론

사람의 얼굴은 사람을 구분할 수 있는 가장 좋은 부분으로 그 동안 얼굴 검출에 대한 많은 연구가 진행되었다. 최근 들어 컴퓨터를 이용하여 사람의 신분을 증명하기 위한 방법의 필요성이 대두됨에 따라 사람의 얼굴을 검출하는 방법의 중요성이 커지고 있다. 얼굴 검출 방법은 여권이나 신용 카드, 각종 면허증 등에서 사람 얼굴을 인식해 내는 것이라든지, 카메라를 통해 사람을 감시하는 것과 같은 여러 분야에 응용될 수 있다.

기존의 영상 처리에서 얼굴을 인식하기 위해 살색을 찾아내는 것은 많은 경우에 있어서 어려운 일이다. 이것은 영상을 얻을 때의 조명이나 배경의 변화, 또는 영상을 얻는 데 필요한 기기 등의 작동 상태에 따라 예상하기 어려운 여러 가지 변화가 생기기 때문이다. 또한, 이러한 변화들이 서로 복합적으로 동시에 발생할 때에는 그 문제는 더욱 복잡해진다.

얼굴을 검출하기 위해서는 우선 영상을 RGB 색공간으로부터 HSV 색공간으로 변환시킨다. 그리고 얼굴

의 색도, 채도, 명도가 특정한 범위의 값을 가진다는 사실을 이용하여 각 색성분에 대한 고정된 경계값을 이용해 얻어진 영상의 공통부분을 찾는다 [1]. 그러나 이 방법은 고정된 경계값을 사용하므로 밝기 변화에 대한 부분을 고려하지 않았다. 사람의 얼굴색이 조명에 따라 일정하지 않다는 사실을 보완하기 위해 RGB 색공간을 HSV 색공간으로 변환시킨 다음, 색도와 채도에 관한 정보만을 고려한 HS 공간을 정의한 후, 가우시안 모델을 적용해 피부색을 찾아내는 방법도 있다 [2]. 그러나 이 방법도 명도에 대한 정보를 충분히 이용하지 못하고 있다. 또 다른 방법에서는 RGB 색공간을 YCbCr 색공간으로 변환시킨 후, 명도 성분을 제외한 CbCr 공간에서 얼굴이 존재하는 부분을 포함하는 타원을 찾아내어, 이 타원을 얼굴 검출의 경계 영역으로 사용한다 [3]. 그렇지만 이 방법은 명도가 낮은 영상에 대해서는 검출률이 상당히 떨어진다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 명도가 변화함에 따라 적응적으로 얼굴을 검출할 수 있는 새로운 방법을 제안한다. RGB 색공간을 LHS 색공간으로 변환시킨 후, 명도가 다른 여러 영상에 대해 실험적으로 얼굴 검출이 잘 되는 영역을 구분한다. 그리고 색도 성분은 명도의 변화에 따라 크게 변하지 않으므로 LS 공간에서만 찾아진 영역에 대한 채도의 상한값과 하한값을 Cauchy pdf를 이용해 찾는다. 그리고 입력 영상의 명도값에 해당하는 채도가 주어진 상한값과 하한값의 범위내에 있으면 이를 얼굴 영역으로 판단한다. 그리고 이렇게 찾아진 얼굴 영역에 대해 얼굴의 특징들의 위치 관계가 역삼각형을 이룬다는 사실을 이용하여 얼굴의 특징들을 추출한다.

2. 얼굴 검출

2.1 LHS 색공간

기존의 얼굴 검출 방법들은 대부분 RGB 색공간을 HSV 색공간으로 변환한 후에 살색 영역을 찾아낸다. 이는 사람의 피부색이 혈액과 멜라닌 성분에 의해 형성되기 때문에, 색도의 범위가 어느 일정한 범위 안에 있

2.3 얼굴 영역 검출

본 논문에서는 얼굴이 영상의 가운데에 위치한다고 가정하고, 영상을 각각 가로, 세로 방향으로 3등분하여 가운데에 있는 사각형 영역에서의 명도에 대한 히스토그램을 구한다. 가운데 위치한 사각형 영역 안에 얼굴의 대부분이 포함된다고 가정하였으므로, 각 히스토그램이 최고값을 갖는 명도값이 얼굴이 갖는 명도를 나타낸다. 따라서 그 명도값을 얼굴에 대한 평균 명도값이라 하고, 각 평균 명도값에 대해 그 사각형 영역 안에서의 표준편차를 구한다. 그림 3을 살펴보면 알 수 있듯이, 명도값이 0에서 1로 증가하면 히스토그램의 폭이 점점 넓어지다가 다시 좁아짐을 볼 수 있다. 이는 명도값이 너무 크거나 작은 경우에는 포화상태가 됨을 나타낸다. 따라서 이러한 명도값의 변화에 따른 폭의 변화를 고려하기 위해, 입력 영상에 따른 표준편차를 구한 후, 평균에서 각각 표준편차의 1.5배 되는 거리를 구하고, 이를 입력 영상의 명도값의 범위로 정하였다. 입력 영상에서 이 명도값에 포함되는 영역에서 식(7)과 식(8)에서 구한 상한값과 하한값 사이의 채도값을 갖는 부분을 얼굴영역이라고 결정한다. 그리고 (0.0~0.1)과 (0.9~1.0) 사이에 있는 색도값과의 교집합을 구하면 최종적인 얼굴영역을 구할 수 있다.

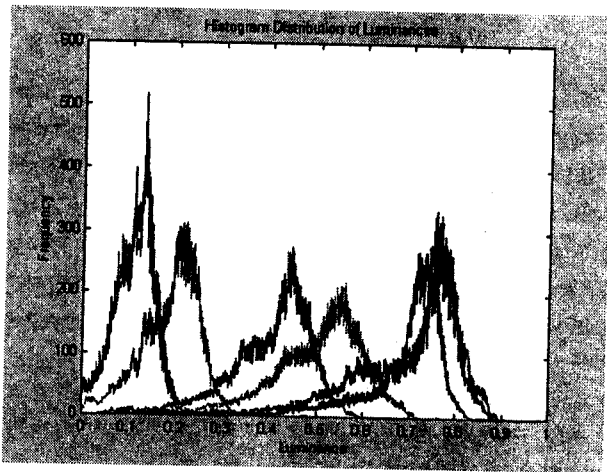


그림 3. 블록에서의 명도의 히스토그램의 분포

3. 얼굴 특징 추출

이와 같은 과정으로 검출된 얼굴 영역에서 구멍이 난 부분이나 패인 부분은 영역 확장(region growing) 과정을 거쳐 채운다. 다음으로 얼굴의 특징 부분들은 얼굴의 다른 부분에 비해 상당히 낮은 명도값을 갖기 때문에 이를 이용해 얼굴의 특징을 가지는 부분들을 후보 영역들로서 검출한다. 이와 같이 구해진 얼굴의 후보 영역들에 대한 평가 함수(evaluation function)를 각각 구한 후, 이들의 합을 구해 가장 큰 값을 갖는 후보들의 위치를 최종적인 눈, 코, 입으로 판단한다.

먼저 얼굴에 있는 두 눈의 중심을 연결한 직선의

식을 $ax+by+c=0$ 로 놓고, 이 직선에서 눈썹, 코, 입에 대한 거리를 각각 $D_{eyebrow}$, D_{nose} , D_{mouth} 로 정의한다. 대부분 사람의 얼굴은 그 특징들이 비슷한 위치에 있는데, 두 눈의 중심을 잇는 선분의 길이를 D 라고 정의하면, 각각 $D_{eyebrow} \approx 0.3D$, $D_{nose} \approx 0.6D$, 그리고 $D_{mouth} \approx 1.1D$ 의 대략적인 위치를 갖는다 [6]. 이와 같은 사실을 이용하여 앞서 구한 각 후보 영역들에 대해 우선 눈의 후보 영역부터 구한다. 눈은 얼굴의 위쪽 부분에 위치하므로, 그 부분에 대해 수평과 수직 방향의 히스토그램을 구해 눈의 후보 영역을 구한다. 이 과정은 두 눈이 크기, 모양, 방향 등의 특성들이 비슷하다는 사실을 이용해 수행된다. 또한 각 블록에 대해 그 블록의 화소의 개수, 타원의 장축과 단축의 길이, 방향, 그리고 중심 좌표 등의 정보를 이용하게 되며, 그 수식은 다음과 같다 [7].

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in C} x \quad (7)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}} \right) \quad (8)$$

$$I_{min} = \sum_{(x,y) \in C} [(x - \bar{x}) \cos \theta - (y - \bar{y}) \sin \theta]^2 \quad (9)$$

$$I_{max} = \sum_{(x,y) \in C} [(x - \bar{x}) \sin \theta - (y - \bar{y}) \cos \theta]^2 \quad (10)$$

$$a = \left(\frac{4}{\pi} \right)^{1/4} \left[\frac{(I_{max})^3}{I_{min}} \right]^{1/8} \quad (11)$$

$$b = \left(\frac{4}{\pi} \right)^{1/4} \left[\frac{(I_{min})^3}{I_{max}} \right]^{1/8} \quad (12)$$

여기서 C 는 각 블록, N 은 각 블록의 화소의 개수, $\mu_{p,q}$ 는 (x,y) 축에 대한 (p,q) 차 중심 모멘트(central moment), 그리고 a 와 b 는 타원의 각각 장축과 단축의 길이를 나타낸다. 이와 같이 구한 두 눈의 후보 영역을 기준으로 각 후보 영역이 존재할 부분의 탐색영역 안에 존재하는 각각의 블록에 대해 식(15)~식(17)과 같은 평가 함수를 구하고, 식(18)을 이용해 최종적인 눈, 코, 입, 그리고 눈썹을 결정한다.

$$E_{Reb} = \exp \left[-4.8 \times \left(\frac{d_{Reb} - D_{eyebrow}}{D} \right)^2 \right] \quad (13)$$

$$E_{Mouth} = \exp \left[-4.8 \times \left(\frac{d_{Mouth} - D_{Mouth}}{D} \right)^2 \right] \quad (14)$$

$$E_{Nose} = \exp \left[-4.8 \times \left(\frac{d_{Nose} - D_{Nose}}{D} \right)^2 \right] \quad (15)$$

$$E = 0.5E_{Eye} + 0.2E_{Mouth} + 0.1E_{Reb} + 0.1E_{Leb} + 0.1E_{Nose} \quad (16)$$

식(15)~식(17)에서 d_{Reb} , d_{Mouth} , d_{Nose} 는 각각 두 눈을 연결한 직선에서 각 후보 블록에 이르는 거리를 의미하며,

식(18)에서 E_{Red} 와 E_{Lab} 는 각각 오른쪽 눈썹과 왼쪽 눈썹에 대한 평가 함수를 의미한다.

4. 실험 및 결과

다음은 본 논문에서 제안한 조명 적응적 얼굴 검출 방법을 이용해 얻어진 결과를 나타낸 그림이다. 그림 5(b)와 그림 5(e)는 YCbCr 색공간으로 변환하여 영상에 적용한 결과를 나타낸 것이고, 그림 5(c)와 그림 5(f)는 제안된 방법을 이용해 얻어진 영상이다.



(a) 입력 영상 (b) 기존의 방법 (c) 제안된 방법
그림 5. 기존의 방법과 제안된 방법을 이용한 살색 영역 검출 결과 비교

그림 5는 어두운 영상에 기존의 방법과 제안된 방법을 적용했을 때의 결과를 나타낸 것이다. 조명이 그렇게 밝거나 어둡지 않은 영상이나 조금 밝은 영상에서는 거의 비슷한 성능을 보였지만, 조금 어두운 영상에서는 제안된 방법이 더 우수한 성능을 보였다.



(a) 원 영상 (b) 검출된 살색 영역
(c) 국부 극소 영역 (d) 추출된 특징들
그림 6. 얼굴 검출과 특징 추출 결과

그림 6에 보인 것과 같이, 배경이 복잡한 영상에 대해서도 제안된 방법이 우수한 성능을 보였다. 그림 6(a)는 원 영상, 그림 6(b)는 SV 공간에서 얻어진 영상과 색도를 고려한 영상의 공통부분, 그림 6(c)는 명암이 제안된 알고리즘으로부터 구한 값보다 낮은 영역, 그리고

그림 6(d)는 그림 6(b)의 찾아진 얼굴 영역에 그림 6(c)의 국부 극소(valley) 영역 정보를 더한 후 얼굴의 위치 관계를 이용해서 구한 최종적인 결과를 나타낸 것으로, 특징들의 위치를 바르게 찾았음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 명도의 변화에 적응적으로 얼굴을 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 조명이 변하면 채도 값은 명도값과 반비례적인 관계를 갖는다는 특성을 이용하여, 실험적으로 구한 얼굴 검출 영역들을 Cauchy pdf로 모델링하였다. 그리고 얼굴이 입력 영상의 가운데 있다는 가정하에 얼굴의 명도를 구한 후, 이를 앞서 구한 Cauchy pdf에 적용해 얼굴 영역을 검출하였다. 그리고 얼굴의 특징들은 역삼각형을 이루고 있다는 사실을 이용해 그 특징들을 추출하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존의 고정적인 경계값을 사용한 방법이나 명도를 고려했다더라도 낮은 명도에서는 검출률이 낮았던 방법들에 비해 상당한 검출률의 향상을 보였다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST) 초고속광네트워크연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터(ERC) 지원금에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] Karin Sobottka and Ioannis Pitas, "Extraction of Facial Regions and Features Using Color and Shape Information," *IEEE International Conference on Pattern Recognition*, pp. 421-425, Aug. 1996.
- [2] Yogesh Raja, Stephen J. McKenna and Shaogang Gong, "Segmentation and Tracking Using Colour Mixture Models," *Proceedings of Asia Conference on Computer Vision*, pp. 607-614, Jan. 1998.
- [3] 김광희, 김성환, 최옥매, 이배호, "Skin-tone 과 특징 형태를 적용한 효율적인 얼굴영역 자동검출 기법의 구현," *전자공학회 논문지*, Vol. 22, No. 1, pp. 575-578, June 1999.
- [4] Margaret Fleck, David Forsyth, and Chris Bregler, "Finding Naked People," *European Conference on Computer Vision*, Vol. 2. pp. 592-602, Oct. 1996.
- [5] Christopher C. Yang and Jeffrey J. Rodriguez, "Efficient Luminance and Saturation Processing Techniques for Color Images," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 3, No. 3, pp. 263-277, Sept. 1997.
- [6] Sang-Ho Kim, *Parallel Facial Feature Tracking*, MS.Thesis, K-JIST, Dec. 1999.
- [7] A. K. Jain, *Fundamental of Digital Image Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.