

텍스처 기반의 눈 검출 기법

박찬우*, 박현*, 문영식*

*한양대학교 컴퓨터공학과

e-mail:cwpark@cse.hanyang.ac.kr

Eye Detection Based on Texture Information

Chan Woo Park*, Hyun Park*, Young Shik Moon*

*Dept of Computer Science and Engineering, Hanyang University

요 약

자동 얼굴 인식, 표정 인식과 같은 얼굴 영상과 관련된 다양한 연구 분야는 일반적으로 입력 얼굴 영상에 대한 정규화가 필요하다. 사람의 얼굴은 표정, 조명 등에 따라 다양한 형태변화가 있어 입력 영상마다 정확한 대표 특징 점을 찾는 것은 어려운 문제이다. 특히 감고 있는 눈이나 작은 눈 등은 검출하기 어렵기 때문에 얼굴 관련 연구에서 성능을 저하시키는 주요한 원인이 되고 있다. 이에 다양한 변화에 강건한 눈 검출을 위하여 본 논문에서는 눈의 텍스처 정보를 이용한 눈 검출 방법을 제안한다. 얼굴 영역에서 눈의 텍스처가 갖는 특성을 정의하고 두 가지 형태의 Eye 필터를 정의하였다. 제안된 방법은 Adaboost 기반의 얼굴 영역 검출 단계, 조명 정규화 단계, Eye 필터를 이용한 눈 후보 영역 검출 단계, 눈 위치 점 검출 단계 등 총 4단계로 구성된다. 실험 결과들은 제안된 방법이 얼굴의 자세, 표정, 조명 상태 등에 강건한 검출 결과를 보여주며 감은 눈 영상에서도 강건한 결과를 보여준다.

1. 서론

최근 영상 센서 기술과 같은 하드웨어의 급속한 발달과 더불어 얼굴 영상을 이용한 많은 응용 연구들이 실생활에 밀접하게 적용되고 있다. 자동 얼굴 인식, 표정 인식등과 같은 얼굴 영상을 이용한 연구들은 일반적으로 입력 영상에 대한 정규화 과정이 필요하게 되는데 정규화는 주로 눈의 위치를 기준으로 이루어진다. 이러한 얼굴 영상을 이용한 연구에서 눈의 위치에 대한 정보는 필수적인 정보이다. 하지만 사람의 얼굴은 표정, 조명 등 다양한 환경에 따른 형태 변화가 많이 존재하여 입력 얼굴 영상마다 정확한 대표 특징 점을 찾는 것은 어려운 일이다. 또한 표정이 있는 얼굴 영상에서 눈이 감기거나 웃는 표정에 의해 작아지는 눈 같은 경우에는 정확한 눈의 위치를 검출하기 더욱 어려운 문제이다. 이러한 얼굴 영상에서 눈의 위치를 검출하기 위하여 많은 연구들이 진행되어 오고 있다. R. Brunelli 등 그리고 D. J. Beymer는 형판 영상과 입력 영상 사

이의 유사성을 이용하여 눈 검출을 시도하는 형판 정합 방법을 제안하였다^{[1][2]}. 이 방법은 입력 영상에서 눈 형판 영상과 가장 잘 매치되는 영역을 눈의 위치로 정하는 방법으로 표정, 자세의 변화 등에 민감한 단점이 있다. A. Pentland 등은 Eigenspace 방법을 이용하여 눈 검출을 시도 하였다^[3]. 이 방법은 학습 데이터 영상에 큰 영향을 받는 단점이 있다. R. L. Hsu 등은 Eye map을 이용한 눈 검출 방법을 제안 하였다^[4]. 이 방법은 눈이 작거나 감고 있는 영상에서는 검출하기 어려운 단점이 있다. 기존의 방법들은 자세, 표정, 조명 등의 변화에 잘 대처하지 못하거나 학습 데이터 영상에 민감한 문제점들이 있다. 또한 작은 눈이나 감고 있는 눈에 대해서 유연하게 대처하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 눈의 텍스처 정보를 이용한 눈 검출 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 얼굴 영역에서 눈의 텍스처가 갖는 특성을 정의하고 눈에서 잘 반응 할 수 있도록 정의된 두 가지 형태의 Eye 필

터를 이용하여 눈 검출을 수행한다.

2. 제안하는 방법

본 논문은 ① 입력된 영상에서 Haar-like 특징을 이용한 Adaboost 기반의 분류기법을 이용하여 얼굴 영역을 검출한다. ② 검출된 얼굴 영역은 조명의 영향을 줄이기 위하여 조명 정규화를 수행한다. ③ 얼굴 영역에서 눈의 후보 영역을 검출하기 위하여 텍스처 기반의 Eye 필터들을 이용하여 눈 후보 영역을 구하고 이진화를 수행한다. ④ 이진화된 눈 후보 영역들에서 얼굴의 기하학적인 정보를 이용하여 최종적으로 눈의 위치를 결정한다.

2.1. Adaboost를 이용한 얼굴 영역 검출

입력된 영상에서 얼굴 영역을 검출하기 위하여 본 논문에서는 Adaboost 학습 알고리즘을 이용한다. Adaboost 기반 분류기법^{[5][6]}은 약한 분류기를 캐스케이드 형태로 결합하여 최종적으로 강인한 분류기를 만드는 방법으로 간단한 통계적인 학습기의 조합을 이용하는 부스트 알고리즘으로 가장 널리 알려져 있으며 단순하고 효율적이다.

자세가 있는 얼굴에서는 검출이 되지 않기 때문에 본 논문에서는 영상을 $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 회전 시켜가며 얼굴 영역을 검출한다.

2.2. 검출된 얼굴 영역의 조명 정규화

조명의 방향과 세기에 따라 영향 받는 물체의 겉모양은 다양하게 변화된다. 이러한 조명의 변화에 의한 영향이 얼굴 영상 전체에 나타나는 경우에는 평활화 등의 전체적인 처리 방법으로 간단하게 해결할 수 있다. 하지만 지역적으로 나타나는 경우에 전체적인 영상 처리 방법이 적절하지 못할 수 있으며 이로 인해 얼굴 영상에서 일관적인 특징 추출에 어려움이 있다. 본 논문에서는 영상의 지역적인 처리를 통하여 조명을 정규화 한다. 밝기 값을 주변 영역의 밝기 값을 고려한 조명 정규화를 수식 1, 2와 같이 수행한다.

$$\mu(x, y) = \frac{1}{NM} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} I(i, j) \quad (1)$$

$$I'(x, y) = \frac{I(x, y)}{\mu(x, y)} \quad (2)$$

여기서 마스크 N, M의 크기는 마스크의 중심 픽셀 (x, y) 를 기준으로 입력 얼굴 영상의 가로, 세로 5%의 크기로 한다.

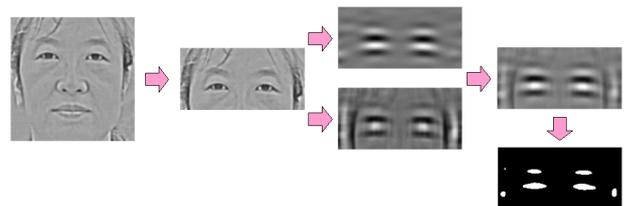
2.3. Eye 필터를 이용한 눈 후보 영역 검출

눈은 다른 얼굴 구성요소에 비하여 그 특징이 명확하기는 하지만 그 형태에 있어서 다양한 변화 요소를 갖는다. 예로 눈의 깜박임으로 인한 눈의 크기 변화와 눈동자의 움직임으로 인한 변화의 요소가 있으며 얼굴 자세의 변화에 의한 눈의 형태 변화도 가지고 있다. 또한 감은 눈의 경우는 눈동자가 나타나지 않기 때문에 대부분의 기존의 눈 검출 알고리즘들에서 감은 눈은 실험대상에서 제외시키고 있다. 하지만 눈의 개폐 상태 인식, 표정 인식 등과 같은 연구 분야에서 감은 눈의 위치는 중요한 정보를 제공해 줄 수 있기 때문에 본 논문에서는 여러 가지 변화 요소에 강건한 눈 검출을 위하여 텍스처 기반의 Eye 필터를 제안한다. 제안된 Eye 필터는 본 논문에서 정의한 두 가지 눈의 텍스처 특성에 잘 반응하도록 정의한다. 두 가지 눈의 텍스처 특성은 다음과 같다.

① 눈을 뜨고 있거나 감고 있거나 형태의 변화는 있지만 기본적으로 모두 수평 방향의 긴 형태를 유지하고 있다.

② 감은 눈을 제외한 눈에서는 눈동자가 나타나는데 눈동자는 일반적으로 원형 형태와 유사한 모양을 갖고 있으며 주변 밝기정보 보다 어두운 특성을 갖고 있다.

이러한 눈이 갖는 두 가지 특성을 이용하여 눈에 잘 반응 할 수 있는 두 가지 Eye 필터를 제안한다. 첫 번째 Eye 필터는 Gabor 필터를 이용하여 수평 방향의 긴 형태에서 반응할 수 있게 정의하고 두 번째 Eye 필터는 원형 형태의 주변보다 어두운 영역에서 반응할 수 있도록 정의한다. 그림 1은 얼굴 영역에서 눈 후보 영역을 검출하기 위하여 두 가지 Eye 필터에서 얻은 반응 값들을 혼합하고 이진화한 결과이다. 반응 값들을 혼합함으로써 Random noise를 감소시키고 눈 후보 영역에서의 반응 값을 증가시킨다.



(그림 1) Eye 필터를 이용한 눈 후보 영역 검출

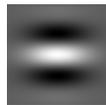
2.3.1. Gabor 필터를 이용한 Eye 필터

Gabor 필터는 방향성 및 중심 주파수 선택의 특성을 갖는 Band-pass 필터로 공간주파수 영역에서 최적의 집합 분석력을 갖고 있다. 본 논문에서 눈이 갖는 특성 중 수평 방향의 긴 형태에 잘 반응할 수 있게 하기 위하여 적합한 인수에 의해 생성된 수평 방향의 Gabor 필터를 이용하여 반응 값을 산출한다. 2차원 Gabor 필터의 수식은 일반적으로 식 3과 같다.^{[7][8]}

$$h[x, y; f, \theta] = \left(\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\right) \cdot \exp\left[-\frac{x_l^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y_l^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \exp[j2\pi f x_l] \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} x_l \\ y_l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

여기서 f 는 중심 주파수, σ 는 표준 편차, θ 는 방향이며 입력 얼굴 영상의 크기에 비율적으로 선택된 f , σ 와 θ 의 값이 0인 수평 방향의 Gabor 필터는 그림 2와 같다.



(그림 2) 수평 방향 Gabor 필터

2.3.2. 원형 필터를 이용한 Eye 필터

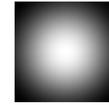
눈이 갖는 특성 중 눈동자의 특성을 이용하여 눈동자에서 잘 반응할 수 있는 원형 필터를 정의 한다. 눈동자는 일반적으로 원형 형태와 유사한 모양을 갖으며 주변보다 어둡기 때문에 이러한 눈동자 영역에서 잘 반응 할 수 있도록 식 4를 이용하여 원형 필터를 생성 한다.^[9]

$$V_{nm}(\rho, \theta) = A_m(\theta) \cdot R_n(\rho)$$

$$A_m(\theta) = \frac{1}{2\pi} \cdot \exp[jm\theta] \quad (4)$$

$$R_n(\rho) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 2\cos(\pi n\rho) & n \neq 0 \end{cases}$$

식 4는 ART(Angular Radial Transform)으로 원주 방향의 기저함수(Angular function) $A_m(\theta)$ 와 방사방향의 기저함수(Radial function) $R_n(\rho)$ 으로 이루어져 있다. 본 논문에서는 m 과 n 은 각각 0과 1을 이용하였으며 생성된 원형 필터는 그림 3과 같다.



(그림 3) 원형 필터

2.4. 눈 위치 결정

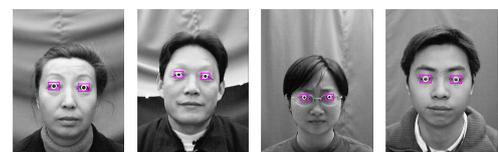
눈의 위치를 결정하기 위하여 혼합된 반응 값을 이진화한 후 두 가지 제약 조건을 적용한다. 눈의 후보는 몇 개의 영역으로 나타나게 되는데 영역의 크기는 일정크기 이상 되어야 한다는 제약 조건과 눈은 눈썹보다 아래에 있다는 제약 조건을 이용하여 좌측과 우측의 두 영역을 최종적으로 선택한다. 선택된 영역은 최종적인 눈 영역이고 영역의 무게중심을 눈의 위치로 결정한다.

3. 실험 결과

본 논문에서는 얼굴 자세 변화에 의한 눈의 형태 변화, 감은 눈 등의 변화 요소에 강건한 눈 검출을 위하여 CAS-PEAL 얼굴 데이터, 휴대폰 얼굴 데이터, 인터넷 영상 얼굴 데이터, AR 얼굴 데이터, Champion 얼굴 데이터를 이용 하여 실험 하였다. 그림 4에서 보는바와 같이 다양한 얼굴 데이터에서 안정적인 검출 결과를 보여주며 감은 눈에서도 강건한 검출 결과를 보여준다. 그림 5는 눈 검출에 실패한 예를 보여준다. 대부분의 검출 실패는 눈썹과 눈이 붙어 있는 경우, 눈 밑 주름이 진하게 나타나는 경우, 두꺼운 안경테를 착용하고 있는 경우, 영상에서 얼굴 영역이 너무 작아 구별이 되지 않는 경우로 요약할 수 있다. 실험에서 표 1과 같이 평균 눈 검출률은 96.2%의 성공률을 보인다.

<표 1> 실험 결과

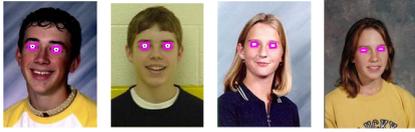
데이터베이스	검출 수 / 데이터 개수	검출률
CAS-PEAL normal	1040 / 1040	100%
CAS-PEAL closed eye	362 / 377	96%
CAS-PEAL expression	1497 / 1507	99.3%
인터넷 사진	991 / 1000	99.1%
AR-564	519 / 564	92%
AR closed eye	83 / 94	88.3%
Champion	2071 / 2201	94.1%
휴대폰 영상	1674 / 1780	94%
Total	8237 / 8563	96.2%



(a) CAS-PEAL



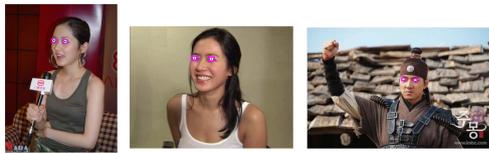
(b) AR



(c) Champion



(d) 휴대폰 영상



(e) 인터넷 영상

(그림 4) 다양한 실험 영상에서의 눈 검출 결과



(그림 5) 눈 검출 실패 결과

4. 결론

본 논문에서는 텍스처 기반의 눈 검출 방법을 제안한다. 제안한 방법은 다양한 얼굴 영상에서 안정적인 성능을 보여주고 있으며 특히 표정이 있는 영상 및 감은 눈에서도 뛰어난 성능을 보여준다. 향후 과제로 이진화된 눈 후보 영역에서 눈의 위치를 잘 못 검증함으로써 눈 검출을 실패하는 경우를 해결하기 위해 보다 강건한 눈 검증 방법의 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] R. Brunelli and T. Poggio, "Face Recognition: Features versus Templates", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 15, no. 10, pp. 1042-1052, Oct. 1993.
 [2] D. Beymer, "Face Recognition under Varying Pose", in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 756-761, Seattle, Wash., 1994.
 [3] A. Pentland, B. Moghaddam and T. Starner,

"View-based and Modular Eigenspaces for Face Recognition", in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 84-91, Seattle, Wash., 1994.

[4] R. L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb and A. K. Jain, "Face Detection in Color Images", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 24, no. 5, pp. 696-706, May 2002.

[5] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 511-518, 2001.

[6] R. Lienhart and J. Maydt, "An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection", in *Proc. of IEEE ICIP*, pp. 900-903, Sep. 2002.

[7] J. G. Daugman, "Complete Discrete 2-D Gabor Transforms by Neural Networks for Image Analysis and Compression", *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 36, no. 7, pp. 1169-1179, July 1988.

[8] T. S. Lee, "Image Representation using 2D Gabor Wavelets", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 18, no. 10, pp. 959-971, Oct. 1996.

[9] B. S. Manjunath, P. Salembier and T. Sikora, "Introduction to MPEG-7: Multimedia Content Description Interface", Wiley, 2002.

[10] W. Gao, B. Cao, S. G. Shan, D. L. Zhou, X. H. Zhang and D. B. Zhao, "The CAS-PEAL Large-Scale Chinese Face Database and Evaluation Protocols", Technical Report No. JDL-TR_04_FR_001, Beijing: Joint Research & Development Laboratory, the Chinese Academy of Sciences, 2004.

[11] A. Martinez and R. Benavente, "The AR Face Database", CVC Technical Report #24, 1998.