

# 대칭성과 타원 모델링에 기반한 복잡한 배경에서의 얼굴 검출

서정익, 최일, 진성일  
경북대학교 전자공학과

## Automatic Face Detection using Symmetry and Hough-like Ellipse Fitting

Jeong-Ik Seo, Il Choi, and Sung-Il Chien  
School of Electronic and Electrical Engineering  
Kyungpook National University  
jiseo@palgong.knu.ac.kr, budha@palgong.knu.ac.kr, sichien@ee.knu.ac.kr

### 요약문

본 논문에서는 복잡한 배경과 조명의 영향과 그리고 얼굴의 크기가 변화하는 경우에도 주어진 영상으로부터 얼굴을 검출하는 새로운 효율적인 방법을 제안한다. 정면 얼굴의 경계선이 타원과 유사한 형태를 가지며 얼굴을 수직으로 이등분하는 직선을 기준으로 얼굴의 좌우 외곽선은 반사 대칭 (reflection symmetry) 의 조건을 만족한다. 이러한 반사 대칭의 조건을 허프 (Hough) 변환과 유사한 타원 모델링에 결합하여 주어진 영상에서 얼굴을 검출한다. 얼굴이 포함된 다양한 영상에서 실험을 통하여 제안한 얼굴 검출 방법의 타당성을 확인하였다.

### 1. 서론

정보화 사회로의 진입과 멀티미디어 기술의 급격한 발달로 인하여 영상 정보의 처리는 더욱더 중요한 연구분야가 되고 있다. 이러한 영상 정보의 처리 분야에서 얼굴 영상을 이용한 연구 영역은 매우 중요하다. 예를 들어 개인의 신원 확인과 보안 시스템 그리고 원격 화상 회의 등과 같은 매우 폭 넓은 응용 분야를 가지고 있기 때문이다 [1][2].

얼굴 영상을 이용한 다양한 목적의 응용 분야에 적용하기 위하여 가장 중요한 문제는 주어진 영상에서 얼굴을 검출하는 것이다. 주어진 영상에서 얼굴을 검출하는 문제는 근본적으로 형태 인식의 문제이므로, 컴퓨터를 이용하여 자동으로 얼굴을 검출하는 것은 어려운 문제이다. 특히 조명과 배경 그리고 얼굴의 크기와 회전 변화 등의 다양한 변

화가 존재하는 환경에서 획득한 영상에서의 얼굴 검출은 용이하지 않게 된다. 안경과 수염과 마스크와 머리카락의 형태 그리고 화장 등으로 얼굴 영역의 일부가 폐색되는 경우에서의 얼굴 검출은 더욱 어렵게 된다 [3][4].

그런데 인종과 조명과 배경 그리고 얼굴 구성 요소의 다양한 변화가 존재하는 영상에서 얼굴의 외곽선은 타원의 형태를 가진다. 이러한 타원 정보를 이용하는 형태 기반 얼굴 검출은 다양한 방법으로 제안되었다 [5-7]. Kwon [5] 등은 *snakelets* 과 허프 변환을 이용하여 타원을 검출하고 이를 후보 얼굴 영역으로 결정하였다. Yokoo [6] 등은 유전자 알고리즘을 적용하여 주어진 영상에서 타원을 추출하는 방법으로 얼굴을 검출하였다. 마찬가지로 Wang [7] 등은 에지의 위상 정보를 이용하는 타원 형태의 템플릿 정합으로 단순한 배경과 적절한 조명을 가지는 영상에서 얼굴을 검출하였다.

본 논문에서는 허프 변환과 유사한 타원의 추출 방법으로 주어진 영상에서 얼굴을 검출한다. 추정되어야 하는 매개변수가 5개인 타원을 허프 변환으로 추출하기 위해서는 과도한 계산시간과 저장 공간을 필요로 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 에지의 위상 정보를 허프 변환과 결합하는 방법이 제안되었다 [8][9]. 그런데 얼굴을 수직으로 이등분하는 선을 기준으로 얼굴의 좌우 외곽선은 반사 대칭 [10] 의 특성을 가진다. 본 논문에서는 이러한 추가적인 정보를 위상 정보에 결합하는 새로운 타원 추출 알고리즘으로 얼굴을 검출한다. 제안한 방법을 다양한 얼굴 영상에 적

용하여 실험한 결과로부터 이의 타당성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제안한 얼굴 검출 방법에 대하여 2장에서 상세히 설명한다. 3장에서는 제안한 방법의 실험 결과를 고찰한다. 마지막으로 4장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 제안한 얼굴 검출 방법

안경의 착용과 수염과 머리카락 형태의 변화 그리고 화장 등의 영향이 존재하는 주어진 영상에서 얼굴의 외곽선은 타원의 형태를 가진다. 마찬가지로 얼굴의 크기와 배경 그리고 조명의 변화에도 정면 얼굴의 외곽선은 타원과 유사한 형태를 유지한다. 이러한 사전 정보들로부터 허프 변환과 유사한 새로운 타원 검출 알고리즘을 이용하여 얼굴을 검출한다.

크기와 중심 점의 이동이 변화되는 타원의 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{(x-\alpha)^2}{a^2} + \frac{(y-\beta)^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

여기서  $(\alpha, \beta)$ 는 타원의 중심을 나타낸다. 그리고  $a$ 와  $b$ 는 각각 장축과 단축의 길이를 나타낸다. 식 (1)을 살펴보면 하나의 타원을 완전하게 결정하기 위하여 필요한 매개변수는 4개이다. 식 (1)로 표현되는 하나의 타원을 허프 변환으로 4개의 매개변수를 추정하는 것은 과도한 계산 시간과 저장 공간을 필요로 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 에지 오퍼레이터로부터 추출되는 에지의 위상 정보  $\phi$ 를 허프 변환에 결합하여, 하나의 타원을 결정하는데 필요한 매개변수를 4개 이하로 감소시키는 방법이 제안되었다 [8] [9]. 그리고 얼굴의 외곽선을 타원이라고 가정하면, 얼굴의 장축 길이  $a$ 는 단축 길이  $b$ 가 결정되면 사전에 결정된 적절한 장축과 단축의 길이 비율인  $k (= a/b)$ 로 추정할 수 있게 된다. 이러한  $\phi$ 와  $b$ 와 그리고  $k$ 들을 식 (1)에 결합하면, 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$(x-\alpha) + k^2(y-\beta)m = 0 \quad (2)$$

여기서  $m (= dy/dx)$ 은 타원의 윤곽선을 형성하는 임의의 한 점으로부터 계산된 접선의 기울기를 나타낸다. 에지 오퍼레이터로부터 추출되는  $\phi$ 와 기울기  $m$  사이의 관계는  $m = -\cot \phi$  [8]로 표현된다. 에지의 크기가 영이 아니며 래스터 스캔 (raster scan) 선을 따라서 일정한 거리 이내에 존재하는 두 점  $(x_1, y_1)$ 과  $(x_2, y_2)$  그리고 그 두 점에서 추출한  $m_1$ 과  $m_2$ 를 식 (2)에 대입하여 타원의 중심을 추정하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} k^2 m_2 & -k^2 m_1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 + k^2 y_1 \\ x_2 + k^2 y_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $D = 1/k^2(m_2 - m_1)$ 이며,  $m_1 \neq m_2$ 이다. 그런데 얼굴을 수직으로 이등분하는 직선을 기준으로 좌우의 얼굴 외곽선은 반사 대칭의 관계를 가진다. 에지의 위치 정보만을 고려하는 기하학적인 반사 대칭은 타원 검출에 종종 이용되고 있다 [11]. 그런데 본 논문에서는 에지 오퍼레이터로부터 추출된  $\phi$ 를 이용하여 반사 대칭의 조건을 결정한다. 좌우의 얼굴 외곽선 상에서 선택된 두 점들에서 추출한 위상들을 각각  $\phi_1$ 과  $\phi_2$ 로 두자. 이 경우에 반사 대칭의 조건은  $\phi_1 + \phi_2 = \pi$ 이다. 이 반사 대칭 조건을 만족하는 두 점들에서만 타원의 중심을 추정한다. 식 (3)으로부터 계산되는  $\hat{\alpha}$ 과  $\hat{\beta}$ 를 허프의 누적 배열과 유사한 배열에 누적시킨다. 누적 배열에서 국부적인 최고 값들을 적절한 방법으로 검출한다. 그리고 추정된 타원의 중심을 이용하여  $b$ 를 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{b} = \sqrt{\frac{(x-\hat{\alpha})^2}{k^2} + (y-\hat{\beta})^2} \quad (4)$$

최종적으로  $\hat{b}$ 으로부터  $a$ 를 추정한다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안된 얼굴 검출 방법의 타당성을 확인하기 위하여 TV와 CCD 카메라 그리고 CMU 데이터 베이스에서 획득한 다양한 영상들을 실험에 사용한다. CCD 카메라로부터 하나의 얼굴이 존재하며 얼굴의 크기를 5 단계로

가변하여 53 명으로부터 획득한 265 장의 영상을 실험 집합 A 로 두자. 실험 집합 B 는 한 장의 영상 이내에 2 개 이상의 얼굴이 존재하는 55 장의 영상을 CCD 카메라로부터 획득하여 사용한다. 실험 집합 C 는 TV 영상으로부터 63 장의 영상을 획득하여 사용한다. 그리고 한 장의 영상 이내에 얼굴의 수가 1 개부터 57 개까지 포함된 47 장의 영상을 CMU 데이터베이스로부터 획득하여 실험 집합 D 로 사용한다. 주어진 영상에서 에지의 위상 정보를 추출하기 위하여 3x3 의 소벨 (Sobel) 연산자를 사용한다. 실험 집합 B 에서 선택한 한 장의 영상을 그림 1 의 (a) 에 나타내었으며, 이 영상으로부터 추출한 에지의 크기 영상을 그림 1 의 (b) 에 나타내었다. 그리고 에지 영상의 크기가 영이 아닌 값을 가지고  $y_1 = y_2$  이면서 반사대칭의 조건을 만족하는 두 점을 선택한다.

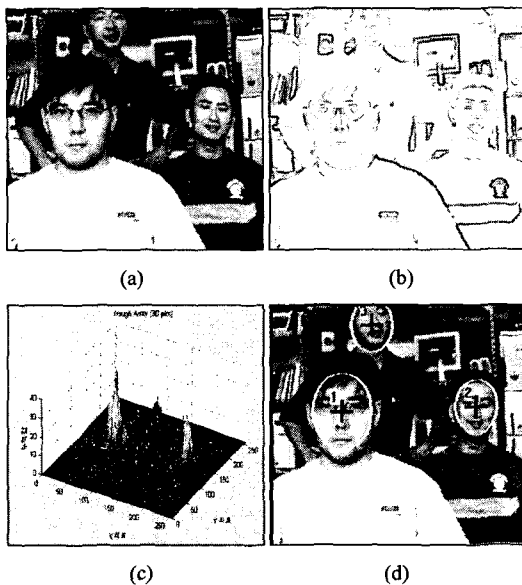


그림 1. (a) 입력 영상, (b) 에지 크기 영상, (c) 제안한 방법으로 추정된 타원 중심의 누적 배열, (d) 제안한 방법으로 검출한 얼굴들.

래스터 스캔 방식으로 선택된 두 점간의 거리는 얼굴의 최소와 최대 폭을 고려하여 적절하게 설정한다. 그리고  $k$  는 실험적으로 결정된 1.5 를 사용한다. 이러한 매개 변수들을 식 (3) 에 대입하여 추정된 타원의 중심을 그림 1 의 (c) 에 보

여지는 것처럼 히프의 누적 배열과 유사한 배열에 누적 시킨다. 누적 배열로부터 국부적인 최고 값을 적절한 방법으로 추출한다. 추출된 타원의 중심과 식 (4) 를 이용하여 타원의 나머지 매개 변수를 추정한다. 이러한 과정을 통하여 최종적으로 추출된 얼굴의 중심과 얼굴 영역을 그림 1 의 (d) 에 나타낸 것처럼 각각 검은색 십자 선과 흰색 타원으로 표시하였다.

그림 2 에서는 다양한 영상에서 제안한 방법으로 검출한 얼굴들을 나타낸다. 그림 2 의 가장 위 부분의 왼쪽 영상은 실험 집합 A 에서 선택한 영상이다. 그리고 가장 위 부분의 오른쪽 영상은 실험 집합 B 의 예이다. 실험 집합 C 의 영상은 가장 위 부분에서 두 번째 줄에 나타내었다. 그리고 실험 집합 D 의 영상은 세 번째와 마지막 줄에 나타내었다. 그림 2 를 살펴보면 복잡한 배경과 얼굴의 크기와 영상 평면 안으로의 회전과 인종과 성별과 안경과 표정 변화와 그리고 머리카락 형태 등의 영향에 상관 없이 얼굴을 검출함을 확인할 수 있다.

실험 집합 A 에서는 100%의 검출율을 나타내었다. 실험 집합 B 에서는 얼굴수가 128 개 인데 5 개의 얼굴이 미 검출되어 96.1%의 검출율을 나타낸다. 얼굴 개수가 73 개인 실험 집합 C 에서는 미 검출된 얼굴 수는 7 개 이었으며 검출율은 90.3%이었다. 그리고 실험 집합 D 에서는 215 개의 얼굴들 가운데에서 40 개의 얼굴들이 미 검출되어 81.4%의 검출율을 나타내었다. 실험 집합 A 와 B 와 C 그리고 D 에서 검출된 평균 얼굴 검출율은 92% 를 나타내었다. 실험에 사용된 영상들에서 조명과 배경과 얼굴의 크기와 회전 등의 변화 정도가 심하게 존재하는 영상들에서 얼굴들이 미 검출되었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 반사 대칭의 조건과 타원 모델링을 이용하여 얼굴을 검출하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방법은 복잡한 배경과 조명의 영향과 그리고 얼굴의 크기와 회전이 변화하는 경우에도 주어진 영상으로부터 견실하게 얼굴을 검출함을 실험을 통하여 확인하였다. 실험에 사용된 영상들은 얼굴의 개수가 680 개로 구성되는 430 장의 영상에서 92%의 검출율을 달성하였다.

추후 연구 과제는 제안된 타원 추출 방법으로 검출된 영역이 얼굴인지 아닌지 판단하여 오 검출을 감소시키는 것이다.

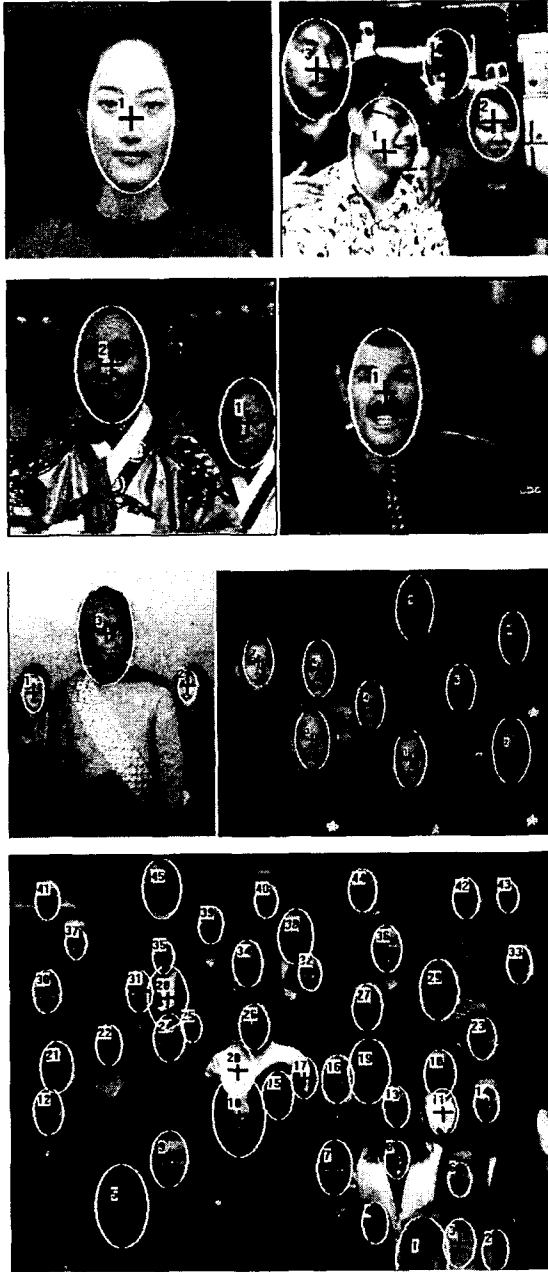


그림 2. 다양한 영상에서의 제안한 방법으로 검출한 얼굴들의 예.

## 참고문헌

- [1] A. Samal and P.A. Iyenger, "Automatic recognition and analysis of human faces and facial expression: A survey," *Pattern Recognition*, vol. 25, pp. 65-77, 1992.
- [2] R. Chellappa, C.L. Wilson, and S. Sirohery, "Human and machine recognition of faces: A survey," *Proceeding of The IEEE*, vol. 83, no. 5, 1995.
- [3] H.A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, "Neural network-based face detection," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 1, pp. 23-38, 1998.
- [4] K.K. Sung and T. Poggio, "Example-based learning for view-based human face detection," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 1, 1998.
- [5] Y.H. Kwon and N. da V. Lobo, "Face detection using templates," *Proc. of the 12<sup>th</sup> IAPR*, vol. 1, pp. 764-767, 1994.
- [6] Y. Yokoo and M. Hagiwara, "Human faces detection method using genetic algorithm," *Proc. of IEEE conf. Evolutionary Comutation*, pp. 113-118, 1996.
- [7] J. Wang and T. Tan, "A new face detection method based on shape information," *Pattern Recognition Letters*, 21, pp. 463-471, 2000.
- [8] C. Kimme, D. Ballard, and J. Sklansky, "Finding circles by an array of accumulators," *Commun. ACM* 18, 2, pp. 120-122, 1975.
- [9] A.S. Aguado, M. E. Montiel, and M. S. Nixon, "On using directional information for parameter space decomposition in ellipse detection," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 3, pp. 369-381, 1996.
- [10] D. Reisfeld, H. Wolfson, and Y. Yeshurun, "Context-free attentional operators: The generalized symmetry transform," *International Journal of Computer Vision*, 31, pp. 50-66, 1985.
- [11] Y. Lei and K.C. Wong, "Ellipse detection based on symmetry," *Pattern Recognition Letters*, vol. 20, pp. 41-47, 1999.