

논문 2004-41SP-4-12

선택적 주의집중 Hough 변환과 신경망을 이용한 얼굴 검출

(Face Detection Using A Selectively Attentional Hough Transform and Neural Network)

최 일*, 서 정 익*, 진 성 일*

(Il Choi, Jung-Ik Seo, and Sung-II Chien)

요 약

머리가 포함된 얼굴 윤곽선은 5차원의 매개변수들을 가지는 타원 형태와 유사하다. 이 특성은 타원 검출 알고리즘을 얼굴 검출 방법에 이용할 수 있도록 한다. 그렇지만 허프 변환으로 5 차원의 매개변수 공간을 구축하기에는 매우 어렵다. 본 논문에서는 선택적 주의집중을 가지는 허프 변환 방법으로 주어진 영상에서 대칭 윤곽선을 가지는 얼굴을 검출하는 방법을 제안한다. 이 방법은 고정된 얼굴의 장단 비율, 그래디언트 정보, 주사선 기반 선택적 방향 분해를 이용하여, 5 차원의 매개변수 공간을 타원의 중심과 특정한 회전 방향을 추정하는 2 차원의 매개변수 공간과 단축의 길이를 추정하는 1 차원의 매개변수 공간으로 분해가 가능하도록 한다. 부가적으로 이 방법에 그래디언트와 지리적인 정보를 결합하는 두 점 선택 제약 조건을 적용하여 복잡한 배경을 가지는 영상에서 허프 변환의 속도를 증대 시킨다. 제안하는 허프 변환으로 추출된 후보 얼굴 영역들 가운데에서 얼굴이 아닌 타원 영역들을 다층 퍼셉트론으로 기각시켜 얼굴을 최종적으로 검출한다. 본 논문에서 제안하는 얼굴 검출 방법을 얼굴이 포함된 다양한 영상들에 적용하여 실험한 결과로부터, 제안하는 방법은 처리 속도와 효율성에서 우수함을 확인하였다.

Abstract

A face boundary can be approximated by an ellipse with five-dimensional parameters. This property allows an ellipse detection algorithm to be adapted to detecting faces. However, the construction of a huge five-dimensional parameter space for a Hough transform is quite unpractical. Accordingly, we propose a selectively attentional Hough transform method for detecting faces from a symmetric contour in an image. The idea is based on the use of a constant aspect ratio for a face, gradient information, and scan-line-based orientation decomposition, thereby allowing a 5-dimensional problem to be decomposed into a two-dimensional one to compute a center with a specific orientation and an one-dimensional one to estimate a short axis. In addition, a two-point selection constraint using geometric and gradient information is also employed to increase the speed and cope with a cluttered background. After detecting candidate face regions using the proposed Hough transform, a multi-layer perceptron verifier is adopted to reject false positives. The proposed method was found to be relatively fast and promising.

Keywords : Face Detection, Hough Transform, Ellipse Detection, Neural Network

I. 서 론

정보화 사회로의 진입과 멀티미디어 기술의 급격한 발달로 인하여 영상 정보의 처리는 더욱 중요한 연구 분야가 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 분야에서 가장 중요한 문제는 주어진 영상에서 얼굴을 검출하는 것이다. 주어진 영상에서 얼굴을 검출하는 문제는 근본적으로 형태 인식의 문제이다. 따라서 컴퓨터를 이용하여 자동으로 얼굴을 검출하는 것은 어려운 문제이다. 특히 조명과 배경 그리고 얼굴의 크기

* 정회원, 경북대학교 대학원 전자공학과
(Department of Electronics, Kyungpook National University)

접수일자: 2003년10월15일, 수정완료일: 2004년6월18일

와 회전 등의 다양한 변화가 존재하는 환경에서 획득한 영상에서의 얼굴 검출은 용이하지 않게 된다. 안경과 수염과 마스크와 머리카락의 형태 그리고 화장 등으로 얼굴 영역의 일부분이 폐색 (occlusion) 되는 경우에서의 얼굴검출은 더욱 어렵게 된다^{[3][4]}.

그런데 인종과 조명과 배경 그리고 얼굴 구성 요소의 다양한 변화가 존재하는 영상에서 얼굴의 윤곽선은 타원의 형태를 가진다. 이러한 타원 정보를 이용하는 형태 기반 (shape-based) 얼굴 검출은 다양한 방법으로 제안되었다^[5-7]. Kwon 등^[5]은 snakelets과 허프 (Hough) 변환을 이용하여 타원을 검출하고 이를 후보 얼굴 영역으로 결정하였다. Yokoo 등^[6]은 유전자 알고리즘을 적용하여 주어진 영상에서 타원을 추출하는 방법으로 얼굴을 검출하였다. 마찬가지로 Wang 등^[7]은 에지의 위상 정보를 이용하는 타원 형태의 템플릿 정합으로 단순한 배경과 적절한 조명을 가지는 영상에서 얼굴을 검출하였다. 추정되어야 하는 매개변수가 중심 좌표, 장축과 단축의 길이, 장축의 회전 방향인 임의의 타원을 허프 변환으로 추출하기 위해서는 과도한 계산 시간과 저장 공간을 필요로 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 에지의 위상 정보를 허프 변환과 결합하는 방법이 제안되었다^{[8][9]}.

본 논문에서는 허프 변환 방법으로 타원을 검출하는 경우에 5차원 매개변수의 공간을 줄이기 위해서 선택적 주의집중을 가지는 허프 변환을 제안한다. 이 방법은 고정된 얼굴의 장단 비율, 그래디언트 정보, 주사선 기반 선택적 방향 분해를 이용하여, 5차원의 매개변수 공간을 타원의 중심과 특정한 회전 방향을 추정하는 2차원의 매개변수 공간과 단축의 길이를 추정하는 1차원의 매개변수 공간으로 분해가 가능하도록 한다. 부가적으로 이 방법에 그래디언트와 지리적인 정보를 결합하는 두 점 선택적 제약 조건을 적용하여 복잡한 배경을 가진 영상에서 허프 변환의 속도를 증대 시킨다. 제안하는 허프 변환으로 추출된 후보 얼굴 영역들 가운데에서 얼굴이 아닌 타원 영역들을 다층 퍼셉트론 (perceptron)으로 기각시켜 얼굴을 최종적으로 검출한다. 본 논문에서 제안하는 얼굴 검출 방법을 얼굴이 포함된 다양한 영상들에 적용하여 실험한 결과로부터, 제안하는 방법은 처리 속도와 효율성에서 우수함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제안하는 얼굴 검출 방법에 대하여 II장에서 상세히 설명한다. III장에서는 제안하는 방법의 실험 결과를 고찰한다. 최종적으로 IV장에서는 결론을 기술한다.

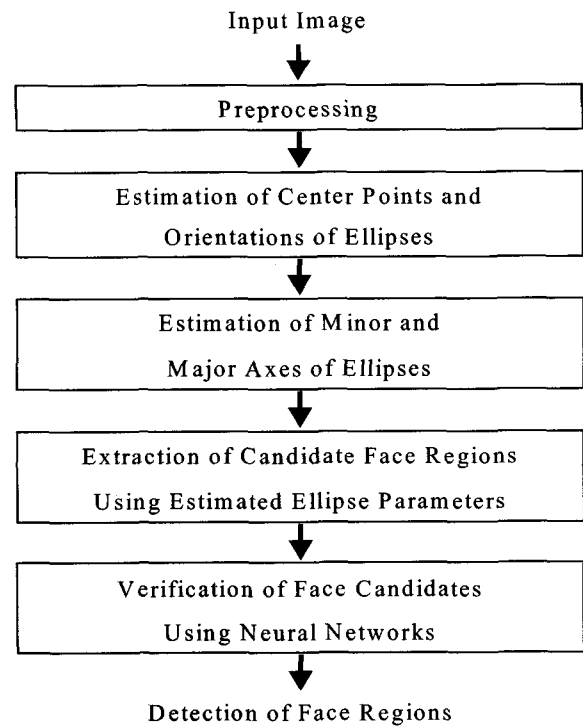


그림 1. 제안하는 얼굴 검출 방법의 흐름도

Fig. 1. Flowchart of proposed face detection method.

II. 선택적 주의집중 Hough 변환을 이용한 얼굴 검출

안경 착용과 수염과 머리카락 형태의 변화 그리고 화장 등의 영향이 존재하는 주어진 영상에서 얼굴의 윤곽선은 타원의 형태를 가진다. 마찬가지로 얼굴의 크기와 회전 변화, 표정 변화, 배경, 그리고 조명의 변화에도 정면 얼굴의 윤곽선은 타원과 유사한 형태를 유지한다. 이러한 사실들에 기반하여, 그림 1에 나타난 바와 같이 선택적 주의집중 허프 변환을 이용한 타원 검출 알고리즘으로부터 검출되는 후보 얼굴들에 대하여 신경망이 적용되어 주어진 영상에서 얼굴을 최종적으로 검출한다.

1. 전처리

본 논문에서 제안하는 선택적 주의집중 허프 변환은 주어진 영상에서 에지 맵 (edge map), 그래디언트 (gradient)의 크기와 방향에 대한 정보가 요구된다. 의상에 존재하는 복잡한 무늬나 선들과 불분명한 얼굴 윤곽선의 영향을 줄이기 위해서 가우시안 스무딩 (Gaussian smoothing)을 적용한 이후에 잘 알려진 소벨 (Sobel) 연산자로부터 에지 맵을 추출한다.

2. 선택적 주의집중 타원 검출

임의의 중심 위치, 장축과 단축의 길이, 회전 방향을 가지는 타원은 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{[(x-x_c)\cos\alpha + (y-y_c)\sin\alpha]^2}{a^2} + \frac{[-(x-x_c)\sin\alpha + (y-y_c)\cos\alpha]^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

여기서 a 와 b 는 각각 단축과 장축의 길이를 나타내며, 타원의 중심 좌표는 (x_c, y_c) 이다. 그리고 α 는 장축의 회전 방향을 나타낸다. 식 (1)을 살펴보면 임의의 타원을 완전히 결정하기 위하여 필요한 매개변수는 5개 이다. 식 (1)로 표현되는 하나의 타원을 직접 허프 변환으로 5차원의 매개변수를 추정하는 것은 과도한 계산 시간과 저장 공간을 필요로 한다. 이러한 복잡한 매개변수 공간을 줄이기 위하여, 본 논문에서는 다음과 같은 방법을 이용한다. 첫째, 주어진 영상에 포함된 얼굴들의 장단 비율 $k = b/a$ 를 일정하게 둔다. 둘째, 한 점에서의 기울기는 소벨 연산자로부터 추출되는 그래디언트의 방향으로부터 계산된다. 셋째, 특정한 방향을 가지는 주사선을 이용한 분해 방법으로 임의의 타원이 가지는 회전 방향을 추정한다. 이러한 독특한 방법으로 5차원의 매개변수 공간은 중심점과 특정한 회전 방향을 추정하는 2차원의 매개변수 공간과 단축을 추정하는 1차원의 매개변수 공간으로 분해되게 된다. 따라서 주어진 영상에서 임의의 타원을 검출하기 위하여, 다음과 같은 두 단계의 과정이 필요하게 된다.

첫째 단계에서는, 위에서 언급된 방법으로 타원의 중심과 회전 방향을 추정한다. 식 (1)을 미분하면 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} (k^2 A \cos\alpha - B \sin\alpha)(x - x_c) + \\ (k^2 A \sin\alpha + B \cos\alpha)(y - y_c) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $A = \cos\alpha + m \sin\alpha$ 이고 $B = -\sin\alpha + m \cos\alpha$ 이다. 그리고 $m (= dy/dx)$ 은 타원상의 한 점에서의 기울기를 나타내며, 그 점에서 그래디언트의 방향 φ 가 이용되어 $m = -\cot\varphi$ [9]로부터 계산된다. 장축과 단축의 비율 k 와 기울기 m 이 결정되므로, 식 (2)는 3개의 매개변수 - 회전 방향 α 와 중심점 (x_c, y_c) - 를 가지는 타원을 나타낸다.

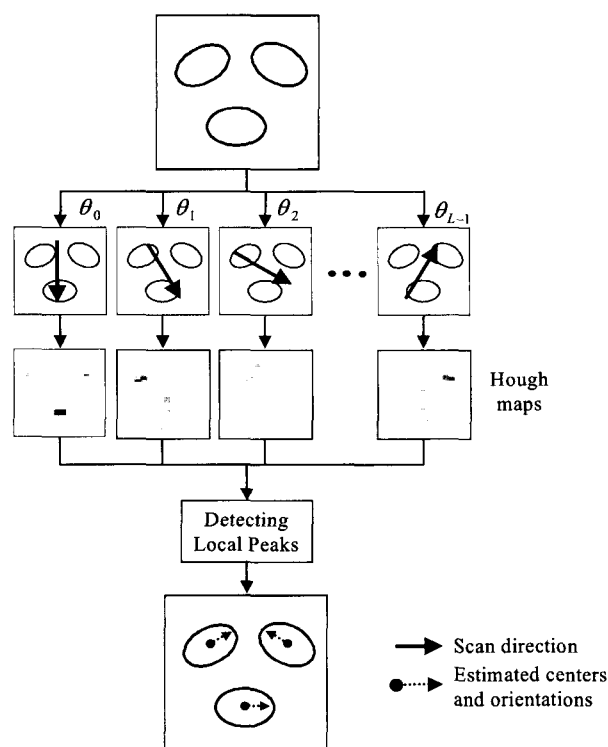


그림 2. 특정한 회전 방향에 대한 선택적 주의집중을 가지는 허프 변환에 대한 개념도

Fig. 2. Conceptual diagram of proposed Hough transform with selective attention capability for a specific orientation.

식 (2)에서 회전 방향을 추정하기 위해서, 그림 2에 나타난 바와 같이 선택적 주의집중 허프 변환을 제안한다. 이 선택적 주의집중은 특정한 방향을 가지는 주사선을 이용하여 추정되어야 하는 타원의 회전 방향을 분해한다. 이 방법을 통해서 허프 변환을 적용하는 경우에 문제가 되는 방대한 계산량을 대폭 줄일 수 있게 된다. 그림 2를 살펴보면 특정한 하나의 방향을 가지는 주사선으로부터 특정한 회전 방향을 가지는 타원만을 선택적으로 주의집중할 수 있음을 보여준다. 이 방법은 주어진 영상에서 특정한 회전 방향을 가지는 타원만이 선택될 수 있도록 동일한 기울기를 가지는 주사선으로 영상의 전 영역을 조사한다. 주사선의 기울기를 변화시켜 가면서 회전 방향이 서로 다른 타원에 대한 허프 변환의 누적 값은 서로 다른 허프 맵에 누적되게 된다. 타원의 회전 방향에 따라서 구축된 허프 맵들에서 국부적인 첨두치를 검출하여 최종적으로 회전 방향들이 서로 다른 타원들의 중심들을 추정하게 된다. 주사선의 방향은 $\theta_l = l\pi/L - \pi/2$ 로 정의하자. 여기서 $l = 0, 1, \dots, L-1$ 이며, L 은 선택적으로 주의집중하는 회전 방향 분해의 최대 수를 나타낸

다. 이 경우에 타원의 회전 방향은 주사선의 방향과 수직이므로 타원의 회전 방향을 매우 용이하게 추정할 수 있게 된다.

타원의 중심을 추정하기 위하여 식 (2)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$Wx_c + Zy_c = K \quad (3)$$

여기서 $W = k^2 A \cos \theta - B \sin \theta$, $Z = k^2 A \sin \theta + B \cos \theta$, 그리고 $K = Wx + Zy$ 이다. 식 (3)을 이용하여 타원의 중심을 추정하기 위하여, 본 논문에서는 그림 3에 나타난 바와 같이 특정한 방향을 가지는 주사선 상의 서로 다른 두 점 $p_i = (x_i, y_i)$ 와 $p_j = (x_j, y_j)$ 를 이용한다. 그리고 그 두 점에 해당되는 그래디언트의 방향 φ_i 와 φ_j , 추정된 회전 방향 $\hat{\alpha}_i$ 로부터 허프 맵에 누적될 추정되는 타원의 중심 (\hat{x}_c, \hat{y}_c) 은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{pmatrix} \hat{x}_c(\hat{\alpha}_i) \\ \hat{y}_c(\hat{\alpha}_i) \end{pmatrix} = \frac{1}{D} \begin{pmatrix} ZK_i - Z_j K_j \\ -W_j K_i + W_i K_j \end{pmatrix} \quad (4)$$

여기서 $D = W_i Z_j - W_j Z_i \neq 0$ 이며 $i \neq j$ 이다. 따라서 타원의 중심을 추정하는데 선택되는 두 점은 두 점의 위상이 $\varphi_i - \varphi_j \neq 0, \pi$ 를 만족시키는 점들만 선택됨을 나타낸다. 이 두 점 선택 제약 조건을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 직선상의 임의의 두 점에서 계산되는 그래디언트의 방향들은 동일하므로 $\varphi_i - \varphi_j \neq 0$ 이 되는 조건이고, 서로 다른 배경과 직선의 밝기 값을 가지는 두 직선이 동일한 기울기를 가지는 경우에, 그 두 직선상에서 각각 선택되는 임의의 두 점들로부터 계산되는 그래디언트의 방향들은 서로 반대 방향을 나타낸다. 따라서 $\varphi_i - \varphi_j \neq \pi$ 조건을 만족 시키게 된다. 이들 조건들은 영상에 포함된 직선들에 의하여 오 추정될 수 있는 타원의 중심들을 두 점에서의 그래디언트 방향 값들로부터 사전에 제거할 수 있도록 한다. 그리고 허프 변환의 계산량을 더욱 감소시키기 위하여, 그림 3에 나타난 바와 같이 반사 대칭의 조건 $\varphi_i + \varphi_j - 2\theta_i = \pi$ 을 위에서 언급한 두 점 선택 제약 조건에 추가 시킨다. 또한 타원의 단축 길이에 대한 최소와 최대 값을 제한시키기 위하여, 두 점 사이의 거리 $d = |p_i - p_j|$ 에 대한 제약 조건 $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}$ 을 둔다. 특정한 방향을 가지는 주사선 상에서 두 점들은 위에서 언급된 제약 조건들이 만족 되도록 선택한다. 그리고 식 (4)를 이용하여 회전 방향이 분해된 허프 맵들을 구축한다. 특정한 회전 방향을 가지

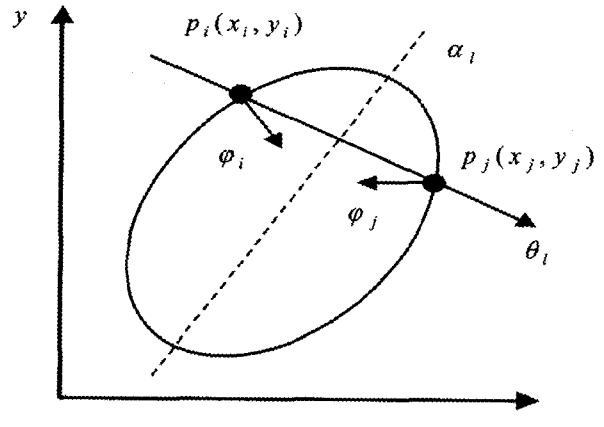


그림 3. 특정한 기울기를 가지는 주사선 상에서 반사 대칭을 만족하는 두 점의 선택
Fig. 3. Selection of two points satisfying reflection symmetry on scan line with specific orientation θ_i .

는 타원의 중심점들은 허프 맵에서 국부 최다치 검출을 통하여 용이하게 추정된다. 따라서 특정한 방향을 가지는 주사선들로부터 특정한 회전 방향을 가지는 타원만을 검출 할 수 있게 된다. 이러한 방법이 본 논문에서 제안하는 선택적 주의집중을 가지는 허프 변환의 특징이다.

둘째 단계에서는, 첫째 단계에서 추정한 타원의 중심 점과 회전 방향을 식 (1)에 적용하여 단축의 길이 \hat{a} 를 계산한다. 그리고 장축의 길이는 추정된 단축의 길이와 장축과 단축의 길이 비율 k 로부터 결정된다. 따라서 타원으로 모델링된 후보 얼굴 영역들이 효율적으로 검출되게 된다.

3. 신경망을 이용한 얼굴 검증

2절에서 검출된 후보 얼굴 영역들 가운데에서 얼굴이 아닌 후보들을 제거시키기 위하여 다층 퍼셉트론 신경망을 적용한다. 첫째, 후보 얼굴들의 크기를 12×18 화소로 정규화 시킨다. 조명 변화에 대처하기 위하여, 정규화된 후보 얼굴들을 히스토그램 평활화 시킨다. 그리고 사전에 훈련 얼굴 영상들이 이용되어 backpropagation으로 학습된 다층 퍼셉트론 신경망에 입력시켜 최종적으로 얼굴을 검출한다. 이 신경망 분류기는 216개의 입력 노드 (node), 10개의 은닉 노드, 그리고 2개의 출력 노드를 가진다. 2절에서 타원 형태를 가지며 얼굴이 아닌 후보 얼굴들 가운데에서 신경망 분류기의 오류로 인하여 얼굴로 판정된 후보들을 이용하여, 신경망 분류기를 재학습 시키도록 하였다. 이러한 기법은

부트스트랩 (bootstrap) 방법^[2]으로 잘 알려져 있으며, 이는 신경망 분류기의 분류 성능을 더욱 향상시키게 된다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안된 얼굴 검출 방법의 타당성을 확인하기 위하여, 인터넷, TV 와 CCD 카메라, MIT 와 CMU 데이터베이스에서 획득한 얼굴이 포함된 다양한 영상들을 실험에 이용하였다. 이 실험 영상들은 집합 A (Set A)와 B (Set B)로 분류된다. 실험 집합 A 는 320 × 240화소를 가지며, CCD 카메라와 TV로부터 획득된 총 315개의 얼굴이 포함된 243장의 영상들로 구성되었다. 그리고 실험 집합 B 는 MIT와 CMU얼굴 데이터베이스, 잡지, 인터넷 등에서 획득한 총 137개의 얼굴이 포함된 64장의 영상으로 구성되었다.

본 논문에서 제안된 두 점을 선택하는 제약 조건이 허프 변환에서 계산량을 대폭 줄일 수 있음을 그림 4는 보여준다. 그림 4(a)는 소벨 연산자를 이용하여 추출한 에지 영상이다. 이 영상 전체를 조사하는 주사선들 상에서 선택되는 두 점 쌍의 수는 595,778개이다. 그림 4(b)는 두 점을 선택하는 제약 조건들을 만족하는 에지 점들을 그림 4(a)로부터 추출한 결과를 보여준다. 그림 4(a)와 (b)를 비교해보면 얼굴 윤곽선 상의 에지 점들은 그 형태를 유지하지만, 평행한 직선 또는 단일 직선들을 구성하는 에지 점들이 두 점 선택 제약 조건으로부터 두드러지게 제거됨을 알 수 있다. 그림 4(b)에서 선택되는 두 점 쌍의 수는 4000개이다. 여기서 장축과 단축의 비율 $k = 1.5$, $d_{min} = 60$, $d_{max} = 140$ 으로 선정하였다. 그림 4(a)에서 선택되는 두 점 쌍의 수와 그림 4(b)에서 선택되는 두 점 쌍의 수를 비교해 보면 그림 4(b)에 나타난 두 점 쌍의 수가 그림 4(a)의 그것 보다 약 99%가 감소됨을 알 수 있다. 따라서 두 점 선택 제약 조건은 허프 변환의 성능을 저하시키지 않으면서 그 계산량을 대폭 감소시킬 수 있음을 보여준다.

그림 5는 제안하는 얼굴 검출 방법을 적용하여 3개의 얼굴이 포함되고 복잡한 배경이 존재하는 주어진 영상에서 얼굴들을 검출한 결과를 보여준다. 그림 5(a)는 서로 다른 크기를 가지는 얼굴들과 안경을 착용한 얼굴이 포함된 입력 영상이다. 그림 5(b)는 본 논문에서 제안하는 선택적 주의집중 허프 변환이 적용되어 추정된 타원의 중심들에 누적된 허프 맵을 보여준다. 누적 허프 맵을 살

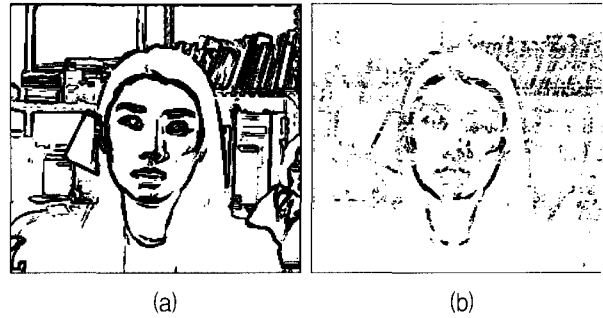


그림 4. (a) 에지 영상, (b) 두 점 선택 제약 조건을 만족시키는 에지 점들
Fig. 4. (a) Edge image, (b) Extracted edge points satisfying two-point selection constrain.

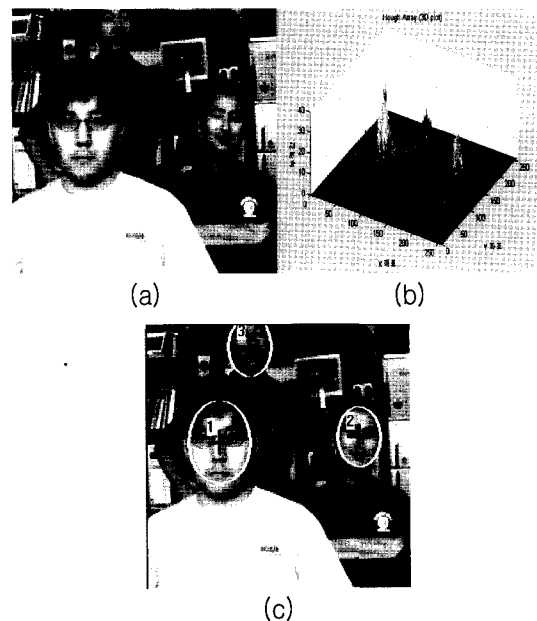


그림 5. (a) 입력 영상, (b) 추정된 타원 중심의 허프 누적 배열, (c) 검출된 얼굴들
Fig. 5. (a) Input image, (b) Cumulative Hough array representing the estimated centers of ellipses, (c) Detected face.

펴보면 3개 얼굴들의 중심 위치에서 뚜렷하게 국부 첨두 값을 가지게 됨을 알 수 있다. 그림 5(c)는 신경망 분류기를 통과하여 최종적으로 검출된 얼굴들을 보여준다. 여기서 검은색 십자는 추정된 얼굴의 중심을 나타내며, 흰색 타원은 추정된 얼굴의 윤곽선을 나타낸다. 그리고 타원으로 모델링된 얼굴들에 표시된 숫자는 허프 맵에 누적된 첨두치들을 크기 순서에 따라서 나타낸 것이다. 여기서 가장 큰 첨두치는 숫자 1로 표시되었고, 나머지 숫자들은 내림차순으로 표시된 것이다.

그림 6(a)는 실험 집합 A에 포함된 다양한 영상에서 제안한 방법으로 검출된 얼굴들의 예를 보여준다. 여기서 첫째 열에 포함된 영상들을 살펴보면, 복잡한 배경과

표 1. 얼굴 검출 결과
Table 1. Face detection results.

	Missed faces	False negative rate	Detection rate	False positive rate
Set A	16	15/315	90.2%	13/315
Set B	13	12/137	81.8%	18/137
Total	29	27/452	87.6%	31/452

조명 변화가 두드러진 영상에서 본 논문에서 제안하는 얼굴 검출 방법으로 얼굴들이 잘 검출됨을 보여준다. 그리고 둘째 열의 셋째 행에 나타난 영상과 셋째 열에 나타난 영상들은 안경, 얼굴의 크기, 영상 평면과 영상 평면 안으로의 회전, 표정 변화 등이 존재하는 얼굴 영상들의 검출 결과를 보여준다. 그림 6(b)는 실험 집합 B에 포함된 영상들에서 제안하는 방법으로 검출된 얼굴들의 예를 보여준다. 그림 6(b)를 살펴보면 복잡한 배경을 가지는 영상, 한 장의 영상에 크기가 서로 다른 다수의 얼굴이 존재하는 경우, 안경과 붓대, 회전, 수염, 모자가 포함된 얼굴 영상에서도 얼굴이 잘 검출됨을 알 수 있다. 그런데 오른쪽 제일 하단에 위치한 영상에서 중앙에 위치한 얼굴은 검출되지 않음을 보여준다. 이 경우는 얼굴의 윤곽선이 타원 형태와 상이하어, 허프 맵에 누적된 값이 다른 얼굴들에서 계산된 누적 값들보다 상대적으로 매우 적은 이유로 검출되지 않았다.

그림 7은 신경망 분류기를 통과 하기 이전에 검출된 후보 얼굴들과 통과된 이후에 최종적으로 검출된 얼굴들을 보여준다. 흰색과 검은색 타원들은 본 논문에서 제안하는 선택적 주의집중 허프 변환만으로 검출된 후보 얼굴들을 나타낸다. 흰색 타원들은 신경망 분류기를 통과한 이후에 최종적으로 검출된 얼굴들이다. 반면에 검은색 타원들은 신경망 분류기에서 기각된 후보 얼굴 영역들을 나타낸다. 여기서 "검출 실패 얼굴 (missed face)"은 실제 얼굴인데 선택적 주의집중 허프 변환 단계에서 검출이 되지 않는 얼굴들로 정의한다. 그리고 허프 변환 단계에서 검출된 후보 얼굴들 가운데에서 얼굴이 아닌 타원 영역이 신경망 분류기를 통과하면서 얼굴로 분류된 경우를 "검출 오류 얼굴 (false positive face)"로 정의한다. 또한 허프 변환 단계에서 검출된 후보 얼굴들 가운데에서 실제 얼굴들이 신경망 분류기에서 기각된 경우는 "

검출 탈락 얼굴 (false negative face)"로 정의한다. 그림 8의 위쪽에 나타난 영상에서 "1"과 "4"로 레이블된 얼굴은 그 구성 요소들이 추정된 타원 영역에 충분히 포함되지 못하여, 신경망 분류기에서 "검출 탈락 얼굴"로 분류되었다. 마찬가지로 그림 8의 아래쪽에 나타난 그림에서 "33"과 "40"으로 레이블된 얼굴은 신경망 분류기에서 탈락되었다. 반면에 "8"로 레이블되고 흰색 점선 타원으로 나타내어진 영역은 그 형상이 얼굴과 유사하여 "검출 오류 얼굴"로 분류되었다. 그리고 검은색으로 나타내어진 얼굴이 아닌 타원 영역들은 모두 신경망 분류기에서 기각되었다. 반면에 "33"으로 레이블된 얼굴에서 바로 왼쪽에 위치한 얼굴은 "검출 실패 얼굴"의 경우를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 얼굴 검출 방법으로 실험 집합 A와 B에 대한 얼굴 검출율을 산출한 결과는 표 1에 나타났다.

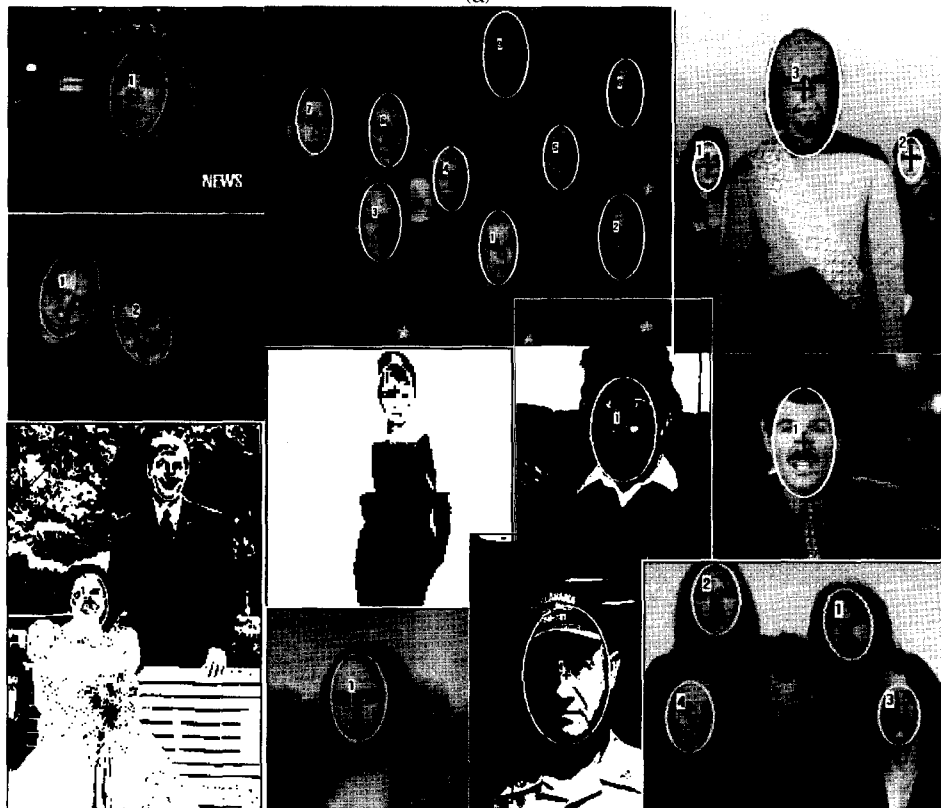
본 논문에서 제안하는 얼굴 검출 방법은 펜티엄 III 500MHz CPU를 가지는 개인용 컴퓨터에서 Visual C++로 구현되었다. 평균 검출 시간은 320×240화소를 가지며 다수의 얼굴이 존재하는 한 장의 영상에 대해서 약 1초가 소요되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 선택적 주의집중을 가지는 허프 변환과 두 점 선택 제약 조건을 이용하여 주어진 영상에서 얼굴을 검출하는 새로운 방법을 제안하였다. 고전적인 허프 변환으로 타원을 검출하는 경우에 과도한 계산량이 요구되는 5차원의 매개변수 공간이 요구된다. 이 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서 제안된 방법은 고정된 얼굴의 장단 비율, 그래디언트 정보, 주사선 기반 선택적 방향 분해를 이용하여, 5차원의 매개변수 공간을 타원의 중심과 특정한 회전 방향을 추정하는 2차원의 매개변수 공간과 단축의 길이를 추정하는 1차원의 매개변수 공간으로 분해가 가능하도록 한다. 부가적으로 이 방법에 그래디언트와 위치 정보를 결합하는 두 점 선택 제약 조건을 적용하여 복잡한 배경을 가지는 영상에서 허프 변환의 속도를 증대 시킨다. 제안하는 허프 변환으로 추출된 후보 얼굴 영역들에 얼굴이 아닌 타원 영역들을 다층 퍼셉트론으로 기각시켜 최종적인 얼굴을 검출한다. 제안한 방법은 복잡한 배경, 조명, 얼굴의 크기와 회전, 안경, 모자, 표정 등이 존재하거나 변화되는 경우에도 주어진 영상으로부터 견실하게 얼굴이



(a)



(b)

그림 6. 다양한 영상들에 대한 얼굴 검출 결과의 예; (a) 실험 집합 A, (b) 실험 집합 B
 Fig. 6. Sampled results of face detection for various images included (a) Set A and (b) Set B.

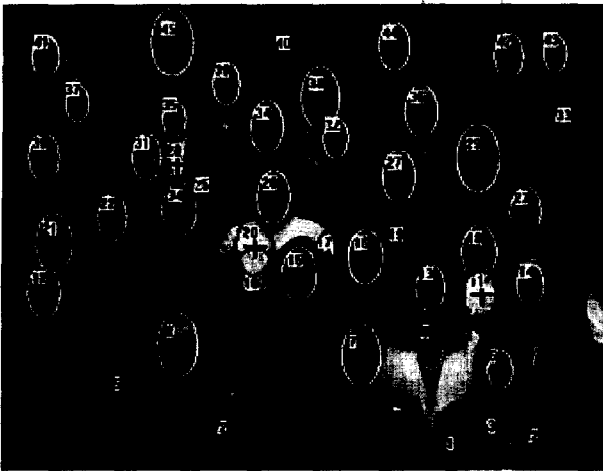


그림 7. 검출 실패와 탈락된 얼굴 영상들의 예.

Fig. 7. Samples of false positive face and missed one.

검출됨을 실험을 통하여 확인하였다. 실험에 이용된 영상들은 얼굴의 개수가 452개로 구성되는 307장의 영상이며, 이 영상들에 대하여 제안된 방법은 87.6%의 검출율을 달성하였다.

참 고 문 헌

- [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 12th IAPR Work*

- shop, 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.

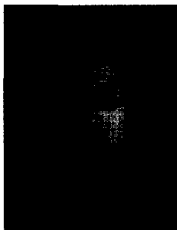
저 자 소 개



최 일(정회원)
 1986년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2001년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1988년 2월~1994년 12월 국방과학연구소 연구원
 1996년 3월~1997년 8월 한국천문연구원 선임연구원
 1998년 3월~1999년 8월 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사
 2001년 3월~2002년 2월 구미1대학 정보통신전공 전임강사
 2002년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 정교수대우 계약교수.
 <주관심분야: 컴퓨터 비전, 생체인식, 디지털영상처리>



진 성 일(정회원)
 1955년생, 1977년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 2월 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
 1988년 2월 Carnegie Mellon University (공학박사)
 1977~1978년 대영전자공업주식회사 연구원
 1982~현재 경북대학교 공과대학 교수.
 <주관심분야: 컴퓨터 비전, 형태인식, 영상처리, PDP>



서 정 익(정회원)
 1998년 2월 경남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2001년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업
 2001년 3월~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학 중,
 2001년 2월~현재 (주) 엔트 연구원.
 <주관심분야: 컴퓨터 비전, 형태인식, 영상처리>

