

그레이영상에서의 수리형태학을 이용한 눈 검출

김 남 기, 진 성 일

경북대학교 전자전기컴퓨터학부

연락처: 053-940-8845

Eye Detection Using Morphology on Gray-level Image

E-mail: clarks@palgong.knu.ac.kr, sichien@ee.knu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 복잡한 배경에서 다양한 조명과 얼굴의 크기 변화를 가지는 영상으로부터 눈을 검출하는 새로운 방법을 제안한다. 반사 대칭 조건과 타원 모델링을 이용하여 먼저 얼굴을 검출하고 그 영역 내에서 수리 형태학을 이용한 valley detection, binary opening을 수행함으로써 눈 후보 영역을 추출한다. 그리고 정확한 눈동자의 위치를 검출하기 위하여 눈동자 정합 마스크를 제안하였다. 얼굴 검출 과정에서 타원의 단축 길이를 추정하여 추출된 얼굴 영상의 크기를 정규화 하였다. 정규화 된 얼굴 영상에서 눈 검출에 적합한 형태소(structuring element)를 결정하여 눈 검출 결과를 보다 견실하게 하였다.

I. 서 론

컴퓨터를 이용하여 인간의 얼굴을 인식하는 연구 활동이 영상 처리, 컴퓨터 비전, 형태 인식 등의 분야에서 최근 수년간에 활발하게 진행되고 있다. 더욱이 정보 기술의 급격한 발달과 더불어 개인의 신원확인 등의 영역에서 컴퓨터를 이용한 자동화된 얼굴 인식에 대한 요구가 증대되고 있다. 우수한 성능의 자동 얼굴 인식 시스템 구현을 위하여 입력 영상에서 얼굴을 검출하고 그 영역 내에서 눈을 검출하는 것은 필수적이다[1].

영상에서 두 눈의 위치가 검출된다면 두 눈의 위치 정보를 이용하여 얼굴의 크기와 위치, 방향에 있어서 쉽게 정규화 할 수 있다[2]. 눈을 검출하는 방법에는 눈 템플릿과 영상 사이의 cross-correlation을 계산하는 방법, PCA를 사용하는 방법, 변형 가능한 템플릿 매칭을 이용하는 방법 등이 있다[3]. Cross-correlation 방법과 PCA를 이용하는 방법은 얼굴 영상

의 크기와 회전의 정규화가 필요하고, 변형 가능한 템플릿 매칭을 이용하는 방법은 눈 템플릿의 초기 위치가 눈의 위치를 추정할 수 있는 영역 내에 있어야 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 수리형태학을 이용하여 명암의 계곡 영역(valley region)을 검출하고, 두 눈에 해당하는 계곡 영역의 쌍을 선택함으로써 눈을 검출하는 연구들이 진행되었다[3,4,5].

본 논문에서는 얼굴 검출 과정에서 대략적인 얼굴의 폭을 추정하여 얼굴의 크기를 정규화 한 영상에서 수리 형태학을 이용하였다. 즉, 정규화 된 영상의 크기에서 눈 검출에 적합한 7×7 원 형태소를 사용하여 valley detection을 수행하고 1×7 형태소를 사용하여 binary opening을 수행함으로써 형태소의 구조에 의존하는 수리형태학의 결과를 보다 견실하게 할 수 있었다. 그리고 수리형태학을 이용하여 추출된 눈 후보 영역들 중에서 제안된 마스크를 이용하여 눈을 결정하고 정확한 눈동자의 위치를 검출하였다.

II. 타원 모델링에 기반한 얼굴 검출

일반적인 경우에서 뿐만 아니라 안경의 착용과 수염, 머리카락 형태의 변화, 화장 등의 영향이 존재하는 영상에서도 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 중심점이 변화되는 타원의 방정식은 다음과 같다.

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

여기서 (α, β) 는 타원의 중심 좌표이고, a 와 b 는 각각 단축과 장축의 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 연산자로부터 추출되는 에지의 위상 정보(ϕ)를 허프 변환에 결합하여, 하나의 타원을 결정하는데 필요한 매개변수를 4개 이하로 감소시키는 방법이 제안되었다[6,7]. 그리고 얼굴의 외곽선을 타원이라고 가정하면, 얼굴의 장축 길이 b 는 단축 길이 a 가 결정되면 사전에 결정된 적절한 장축과 단축의 길이 비율인 $k(=b/a)$ 로부터 추정할 수 있게 된다. 이러한 ϕ 와 b , k 들을 식 (1)에 결합하면, 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 m 은 타원상의 임의의 한 점에서의 접선의 기울기를 나타낸다. 에지 연산자로부터 추출되는 ϕ 와 기울기 m 사이의 관계는 $m=-\cot\phi$ 로 표현된다[6]. 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.

$$\begin{bmatrix} \hat{\alpha} \\ \hat{\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{D} \begin{bmatrix} m_2 & -m_1 \\ -k^2 & k^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k^2x_1+m_1y_1 \\ k^2x_2+m_2y_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 $D=k^2(m_2-m_1)$ 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[8]. 본 논문에서는 에지 연산자로부터 추출된 ϕ 를 이용하여 반사 대칭의 조건을 결정한다. 좌우 얼굴 외곽선 상의 선택된 두 점들에서 추출한 위상들을 각각 ϕ_1 과 ϕ_2 로 두면, 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 a 를 식 (4)와 같이 추정한다.

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

최종적으로 \hat{a} 로부터 \hat{b} 를 추정한다. 그림 1에서 입력 영상 (a)로부터 허프 누적한 영상 (b)에 나타내었으며, 누적 맵으로부터 국부적인 최고 값을 검출하여 (c)에 검출된 얼굴의 위치를 표시하였다.

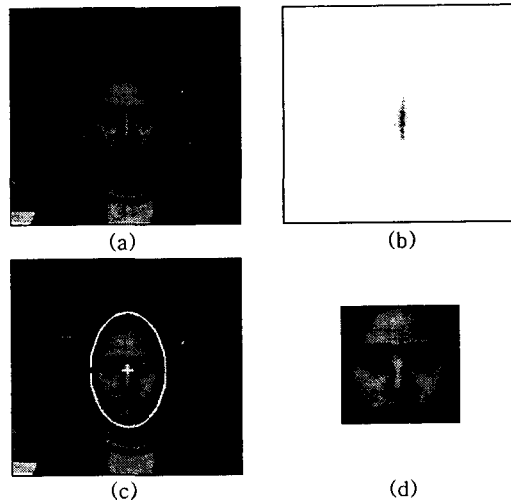


그림 1. 얼굴 영역 추출 과정 (a) 입력 영상 (b) 타원의 중심 후보를 누적한 버퍼 (c) 얼굴 검출 결과 영상 (d) 검출된 얼굴 영역을 크기 정규화 한 영상

III. 얼굴 영역 내에서의 눈 검출

얼굴 검출 후 추정된 타원의 중심 좌표와 단축의 길이를 이용하여 얼굴 영역을 추출한다. 검출된 얼굴 중심으로부터 폭과 너비가 $2\hat{a}$ 픽셀인 정방형 영역을 추출하여 그림 1 (d)에 보이는 것과 같이 128픽셀의 크기로 정규화 한 영상 내에서 두 눈동자를 검출한다.

얼굴 영상에서 입 주위는 입술 모양에 따른 변화와 턱 모양에 따른 입술 아래 부분의 검은 영역의 존재 여부, 그리고 콧구멍 부분의 검은 영역의 존재 여부 등의 요인으로 사람마다 서로 다른 형태로 나타난다. 그러나 눈동자는 어두운 픽셀들이 밀집해 있고 눈동자 바로 위의 눈꺼풀 때문에 긴 검은 영역이 거의 모든 얼굴 영상에 유사한 형태로 나타난다. 이와 같이 얼굴 영역 내에서 눈이 가장 확실하게 나타나므로 얼굴의 특징 요소들 가운데 눈동자의 위치를 먼저 결정한다.

눈동자 영역은 주위 영역에 비하여 명암이 낮으므로 명암 영상에서 계곡 영역에 나타난다. 그러므로 7×7 원 형태소를 사용한 gray-level closing한 영상과 원

영상의 차를 이진화하여 명암의 계곡 영역을 추출한다 [3]. 또한 눈은 국부적인 영역에서 뿐만 아니라 영상 전체에서도 낮은 명암을 띠므로 원 영상에서 높은 명암을 가지는 계곡을 제거하여 그림 2 (b)에 보이듯이 눈 후보 영역을 추출한다.

추출된 계곡 영상에서 눈 영역은 눈동자와 눈꺼풀에 의해서 항상 가로 방향으로 어느 정도 이상의 폭을 가진다. 그러므로 1×7 형태소를 사용한 binary opening으로 머리카락 또는 얼굴의 윤곽선 등에 의해 나타나는 수직 방향을 띠는 눈 이외의 계곡 영역을 상당수 제거할 수 있다. 그리고 남겨진 눈 후보 영역으로부터 5×5 형태소의 binary closing으로 이웃한 영역들은 같은 영역으로 간주한 후 사이즈 필터링으로 적은 픽셀 수를 가지는 blob들을 제거하여 그림 2 (c)의 영상을 얻는다. 그리고 눈은 일정한 거리와 각도 이내에서 쌍으로 존재하므로 그림 2 (c)의 영상을

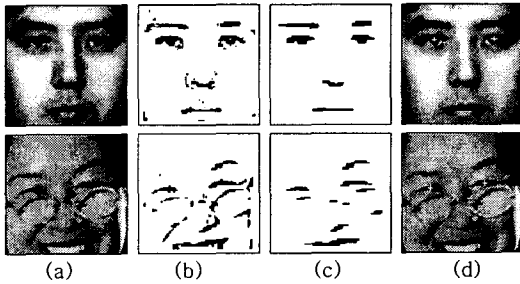


그림 2. 눈동자 검출 과정 (a) 검출된 얼굴 영역 (b) 추출된 명암의 계곡 영역 (c) (b)영상의 Binary Opening 결과 영상 (d) 눈동자 검출 결과

0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1
-1	1	1	1	1	1	1	1	-1
-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1

그림 3. 눈동자 정합 마스크

레이블링하여 각 blob의 중심 좌표를 계산하고 이 좌표들 사이에서 거리 조건과 각 조건을 만족하는 눈동자 쌍 후보를 선택한다.

얼굴 폭이 128픽셀로 정규화 된 얼굴 영상에서 눈동자의 지름은 9픽셀로 가정할 수 있다. 그리고 눈동자는 원 모양의 낮은 명암을 띠며 주위의 흰자위는 높은 명암을 가지고 있다. 이러한 기하학적 지식을 바탕으로

구상된 그림 3의 눈동자 정합 마스크를 이용하여 최종 눈을 결정하고 정확한 눈동자의 위치를 검출한다. 눈동자 쌍 후보들을 대상으로 blob의 중심 포인트 주변으로 마스크를 매칭시킨다. 이 과정에서 조명의 영향에 의해 눈동자 영역 내에서 높은 명암의 부분이 존재하기도 하므로 이를 감안하여 눈동자의 중심을 추정하였다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 눈 검출 방법의 타당성을 확인하기 위하여 다양한 조명 조건 하에서 일반 사무실 배경을 가지는 영상과 CMU 데이터 베이스, TV를 이용하여 획득된 영상 등으로 105장의 얼굴 영상에 대하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 영상들은 얼굴의 폭을 최소 70, 최대 150 픽셀 사이의 값을 가지는 영상으로 가정하였다.

105장의 영상들에 대하여 제안한 방법으로 얼굴을 자동으로 검출한 후 눈동자를 검출한 결과와 임의로 얼굴 영역을 설정한 후 눈동자를 검출한 결과를 표 1에 나타내었다. 실험 결과를 살펴보면 그림 4 (a)의 상단 중앙, (b)의 좌측 영상과 같이 얼굴의 좌우에서 심한 조명의 차이를 보이는 영상에 대하여 자동으로 얼굴을 검출하고 눈동자를 검출하는 실험에서는 21개의 영상 중 7개만을 검출하는 낮은 검출률을 보였다. 이들 영상은 어두운 영역에서 얼굴의 외곽이 잘 드러나지 않아 얼굴 검출에 실패하는 경우가 많았다. 얼굴 영역을 가정한 후 눈동자만을 검출하는 실험에서는 21개의 영상 중 18개를 검출함으로써 제안한 눈동자 검출 방법이 조명의 영향에 건실함을 확인할 수 있었다.

그림 4 (b)와 같이 눈동자 검출에 실패한 요인을 분석해보면 좌측 영상과 같이 얼굴 검출이 실패하였거나 타원의 단축 길이를 잘못 추정한 경우가 많았다. 그리고 중앙 영상은 눈 주위가 어두워 눈동자 영역에서 명암의 계곡이 형성되지 않아 눈 영역을 추출하지 못한 경우이며, 우측 영상은 눈동자 정합 마스크의 매칭 결과가 눈썹을 눈으로 오인한 경우이다.

표 1. 실험 결과

	검출성공	검출실패	검출률
자동 얼굴 검출 후 눈 검출	76	29	72.4%
얼굴 영역 설정 후 눈 검출	98	7	93.3%



그림 4. 눈 검출 결과 (a) 눈동자의 위치를 바르게 검출한 영상들 (b) 눈동자의 위치를 바르게 검출하지 못한 영상들

V. 결론

본 논문에서는 복잡한 배경에서 다양한 조명과 다양한 크기 변화를 가지는 얼굴이 포함된 영상으로부터 눈을 검출하기 위하여 반사 대칭의 조건과 타원 모델링을 이용하여 먼저 얼굴을 검출하고 그 영역 내에서 수리 형태학을 이용한 valley detection과 binary opening을 수행한 다음, 제안한 눈동자 정합 마스크를 사용하여 정확한 눈동자의 위치를 검출하는 방법을 제안하였다. 눈 검출 결과를 건실하게 하기 위하여 얼굴 검출 과정에서 타원의 단축 길이를 추정하여 얼굴 영상의 크기를 정규화 함으로써 눈 검출에 적합한 형태소를 결정하였다. 자동으로 얼굴 검출 후 눈을 검출하는 실험에서는 얼굴 검출이 실패한 몇몇

영상들로 인하여 72.4%의 검출률을 보였으며, 설정한 얼굴 영역 내에서 눈만을 검출하는 실험에서는 93.3%의 검출률을 보였다. 추후 얼굴 검출 방법을 개선하고 심하게 기울어진 얼굴 영상에 대해서도 눈을 검출할 수 있는 방법을 연구할 계획이다.

감사의 글

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(1999-2-303-001-3)지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Sung-Il Chien and Il Choi, "Face and Facial Landmarks Location Based on Log-Polar Mapping," *First IEEE International Workshop, BMCV 2000*, 2000.
- [2] R. Brunelli and T. Poggio, "Face recognition: features versus templates," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 15, no. 10, pp. 1042-1052, 1993.
- [3] T. Kawaguchi, D. Hidaka, and M. Rizon, "Robust extraction of eyes from face," *Proc. 15th Int. Conf. Pattern Recognition*, 2000.
- [4] G. Chow and X. Li, "Toward a system for automatic facial feature detection," *Pattern Recognition*, vol. 26, pp. 1739-1755, 1993.
- [5] C. Han, H. Liao, G. Yu, and L. Chen, "Fast face detection via morphology-based pre-processing," *Pattern Recognition*, vol. 33, pp. 1701-1712, 2000.
- [6] C. Kimme, D. Ballard, and J. Sklansky, "Finding circles by an array of accumulators," *Commun. ACM* 18, 2, pp. 120-122, 1975.
- [7] A. Aguado, M. Montiel, and M. Nixon, "On using directional information for parameter space decomposition in ellipse detection," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 3, pp. 369-381, 1996.
- [8] Y. Lei and K. Wong, "Ellipse detection based on symmetry," *Pattern Recognition Letters*, vol. 20, pp. 41-47, 1999.