

얼굴인식을 위한 눈동자 검출

한준희, 송윤호, 강인화, 정하영, 강명구, 이영식, 배철수
관동대학교

Iris Detection for Face Recognition

Han jun-hee, Songyoon-ho, Kang in-ha, Cheong ha young, Kang Myung-ku,
Lee young-sik, Bae cheol-soo
Kwandong University

요약

본 논문에서는 얼굴 영상으로부터 얼굴인식을 위한 눈동자를 검출하기 위한 방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법은 분리 필터를 사용하여 홍채의 후보가 되는 영역을 구한 후 양자를 잇는 선분의 길이 및 기울기의 허용치 안에 있는 모든 영역에 대해 본 논문에서 제안한 방식으로 그 값을 계산한다. 이 값은 영역의 근방영역에서 홍채의 경계선에 대응하는 원을 허프변환으로 구했을 때 후보 영역의 원에서의 후보 영역과 인접하면서 분리된 영역 내의 평균 휘도 값 및 영역을 포함한 부분화상과 눈의 템플릿 사이의 정규화된 상관계수를 사용하여 계산된다. 그리고 그 값을 최소로 하는 영역들을 택하여 이것을 양 눈의 홍채로 검출한다. 안경을 쓰지 않은 총 150장의 얼굴영상을 사용하여 실험한 결과 최대 97.3%, 최소 95.3%의 성공률을 얻을 수 있었으며, 약간의 오차를 허용한 경우에는 최대 99.3%, 최소 96.7%의 성공률을 얻을 수 있었다.

I. 서론

사람의 얼굴을 자동으로 인식하기 위한 방법들은 여러 가지가 제안되어지고있다. 이러한 방법들은 크게 두 가지 방법으로 분류되어지는데, 첫 번째 방법은 화상에서 눈, 눈썹, 입 등 얼굴의 특징을 추출하고, 양안의 위치, 양안 사이의 거리, 눈썹의 크기 등 기하학적 측정값을 사용하여 사람을 인식한다.^{[1][2]}, 또한 두번째 방법은 얼굴 영상 그 자체를 템플릿으로 데이터베이스에 기억시켜 놓고, 입력 영상과 템플릿 사이의 매칭에 의해 입력 영상에서 얼굴을 인식한다.^{[1],[3],[4]}

그러나, 영상에서 얼굴의 특징을 추출하는 것은 어떠한 방식을 사용하더라도 중요하게 사용되어진다. 특히, 얼굴의 특징 중에서도 눈은 얼굴인식에 있어서 중요한 역할을 한다. 입력 영상과 각 템플릿 사이에서 매칭을 시킬 때에는, 매칭 전에 입력영상의 얼굴과 템플릿에서 얼굴의 위치, 스케일, 회전이 일치하도록 입력영상의 얼굴을 정규화 할 필요가 있는데, 만약 입력영상에서 양안이 검출되었다면 쉽게 정규화 할 수가 있다.

눈 검출은, 눈의 위치 검출^{[1],[3],[5]~[8]}과 눈의 경계선 검출^{[9]~[16]}로 분류 할 수 있는데 눈의 위치검출은 앞서 설명했듯이 얼굴 인식을 위한 전처리로서 중요 할 뿐만 아니라, 눈의 경계선 검출을 위한 전처리로서도 중요하다.

본 논문에서는 영상에서 얼굴 양 눈의 홍채를 검출하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 이 방법은 우선 福井^[7]의 분리 필터를 사용하여 홍채의 후보가 되는 소영역(영역)을 구한다. 다음으로 양자를 잇는 선분의 길이 및 기울기의 허용치 내에 있는 영역들에 대하여 본 논문에서 제안한 방법

로 그 값을 계산하고, 이것을 최소로 하는 영역들을 양 눈의 홍채로 검출한다.

본 논문에서 제안하는 값은 홍채가 갖는 두 가지 특징 즉, 주위보다 어두운 영역에 있다는 것과 원에 가까운 형상을 갖는다는 특징을 사용하여 각 영역의 홍채를 비교하고, 양 눈의 템플릿을 사용하여 영역들을 포함하는 영역전체의 양쪽 눈을 비교한다. 그러므로, 각각의 특징만을 사용하여 홍채를 검출하는 경우와 비교하여 뛰어난 홍채검출이 가능하다.

II. 제안 방법

본 논문에서는 입력 영상으로 주어지는 얼굴 영상을 휘도 영상이라고 가정하고, 이것을 $I(x, y)$ 로 나타낸다. 또, 영상의 열 번호, 행 번호를 각각 x, y 로 나타내고, 영상의 픽셀을 (x, y) ($0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1$)로 나타낸다. 또한, 입력으로 주어지는 얼굴 영상은 다음 조건을 만족한다고 가정한다.

- (1) 얼굴 영상은 여러 사진처럼 사람의 어깨위 얼굴 정면 영상이다.
- (2) 배경의 휘도 값은 거의 일정하다.
- (3) 양 눈의 홍채가 영상에 나타난다. 결국 얼굴의 y 축 회전은 -30° 에서 30° 의 범위로 한다.



그림 1. 입력 얼굴 영상



그림 2. 그림1에서 추출한 얼굴 영역

제안된 방법은 우선, 영상에서 얼굴 영역을 추출한다. 다음으로 얼굴영역에서 눈의 홍채를 포함 할 가능성이 있는 넓은 영역 (valley)을 추출한다. 그 다음 valley 영역의 모든 픽셀에 분리 필터를 적용하여 영역을 구한다. 마지막으로 각 영역대에 대하여 값을 계산하고, 값을 최소로 하는 영역들을 양 눈의 홍채로 한다.

2.1. 얼굴 영역의 추출

본 논문에서의 얼굴 영상은 위의 (1)~(3)의 조건을 만족한다고 가정한다. 그러므로, 다음과 같은 간단한 방법을 사용하여, 영상으로부터 얼굴 영역을 추출한다.

- (1) 입력영상으로 주어지는 휘도 영상 $I(x, y)$ 에 sobel 연산자를 적용하고, 에지 영상 $E(x, y)$ 를 만든다.

여기서

$$E(x, y) = 1 \quad (x, y \text{ 가 에지점인 경우})$$

$$E(x, y) = 0 \quad (\text{그렇지 않은 경우})$$

이다.

- (2) 머리의 좌, 우 경계선의 x 축 방향의 위치 x_L, x_R 및 머리의 상측 경계선의 y 축 방향의 위치 y_{\min} 을 구한다.

- (2-1) 모든 $x(0 \leq x \leq M-1)$, 및 모든 $y(0 \leq y \leq N-1)$ 에 대하여

$$V(x) = \sum_{y=0}^{N-1} E(x, y)$$

$$H(y) = \sum_{x=0}^{M-1} E(x, y)$$

- (2-2) $V(x)$ 의 최대 값을 V_o 로 할 때, $V(x) \geq V_o/3$ 을 만족하는 x 중에서 최소인 x 를 x_L 로 최대인 x 를 x_R 로 한다.

- (2-3) 문턱치 값 T_H 에 대하여 $H(y) \geq T_H$ 를 만족하는 y 의 최소 값을 구하여 y_{\min} 으로 한다. 실험에서는 모든 영상에 대하여 $T_H = 0.05(x_R - x_L)$ 로 하였다.

- (3) 머리의 하측 경계선의 y 축 방향 위치 y_{\max} 를

$$y_{\max} = y_{\min} + \alpha(x_R - x_L) \text{로 준다.}$$

단, 실험에서는 모든 영상에 대하여 $\alpha = 1.2$ 라고 가정하였다. 이상의 방법으로서 머리의 좌, 우 및 상측 경계선의 위치는 정확히 구하였으나 머리 하측 경계선의 위치는 정확히 구할 수 없었다. (정확한 α 의 값은 얼굴마다 다르다.) 그러나, 본 논문의 목적은 양 눈의 홍채검출이므로, α 값을 1.2 정도로 가정하여도 홍채 검출은 충분하였다. 그림 1 영상에 위의 방법을 적용하여 얼굴 영역을 추출한 결과를 그림 2에 나타내었다.

2.2. 눈의 홍채를 포함하는 valley 영역의 추출

얼굴 영역을 2진화하여 어두운 영역을 추출한 후 어두운 영역에 분리 필터를 적용하여 영역을 검출한다. 이때 2진화를 위한 문턱치 값은 P타일법으로 구한다. 결국, 문턱치 값을 다음 식을 만족하는 최소의 T로 가정한다.

$$\frac{1}{N} \sum_0^T h(i) \geq \frac{P}{100}$$

단, N 은 영상의 픽셀 수이고, $h(i)$ 는 휘도 값 i 를 갖는 픽셀의 개수를 나타낸다. 그러나, 이 방법으로는 P 값을 결정하기가 쉽지 않다. P 값이 너무 작으면 어두운 영역에 홍채가 포함되지 않는다. 또, P 값이 너무 크면 어두운 영역이 커져서 영역 검출에 많은 시간이 들게 된다. 그래서, 제안 방법은 어느 정도 크기의 P 를 가정하고, 어두운 영역을 구한 후 어두운 영역에 grayscale 형태학을^[12] 적용하여 valley 영역을 추출한다.

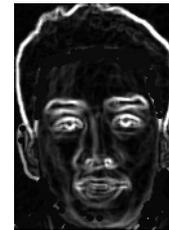


그림 3. 그림2에서 추출된 Valley 영역

2.3. 영역의 검출

제안된 방법은 분리 필터를 사용하여 2.2절의 처리로 구하여진 valley 영역에서 홍채 후보를 검출하는 것이다. 앞으로는 Hallinan^[13]에 의하여 이러한 홍채 후보를 영역이라 부른다. [7]에서는 두 개의 영역 R_1, R_2 사이의 분리 값 η 을 다음과 같이 나타낸다.

$$\eta = \frac{\sigma_b^2}{\sigma_r^2} \tag{1}$$

$$\delta_b^2 = n_1(\overline{P_1} - \overline{P_m})^2 + n_2(\overline{P_2} - \overline{P_m})^2 \tag{2}$$

$$\delta_r^2 = \sum_{i=1}^N (P_i - \overline{P_m})^2 \tag{3}$$

단,

$\eta_k (k=1, 2)$: 영역 R_k 안에 있는 픽셀 수

$$N = \eta_1 + \eta_2$$

$\overline{P_k} : (k=1, 2) : \text{영역 } R_k \text{ 내의 평균 휘도 값}$

$\overline{P_m} : R_1, R_2 \text{의 영역내의 평균 휘도 값}$

$P_i : \text{픽셀 } i \text{의 휘도 값}$

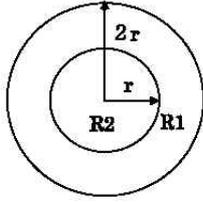


그림 4. 영역을 추출하기 위해 사용된 영역 R_1, R_2

영역 R_1, R_2 를 그림4에 나타내었다. 그림4의 R_2 는 눈의 홍채에 대응한다. 그림4의 동심원의 중심 위치를 2.2절의 처리에 의해 구한 valley 영역의 모든 픽셀에 거쳐 변화시킨다. 또한, 영상의 홍채 반경은 알 수 없으므로 필터 사이즈 r 도 하한 값 r_L , 상한 값 r_U 의 사이에서 변화시킨다. 즉, 실험에서는 모든 영상에 대하여 $r_L=5, r_U=7$ 로 가정하였다. 그리고, 모든 위치 (x, y) 와 모든 필터 사이즈 r 에 대하여, 영역 R_1, R_2 의 분리 값을 식(1)을 사용하여 계산한다. 앞으로 그림4의 동심원의 중심위치가 (x, y) 로 필터 사이즈가 r 로 있을 때 영역 R_1, R_2 의 분리 값을 $\eta(x, y, r)$ 로 표시한다.

영역 검출을 위하여 사용한 구체적 순서이다.

- (1) 최초 Ω 를 2.2절의 처리에 의해 구한 valley 영역에서 픽셀의 집합 으로 가정한다.
- (2) $(x, y) \in \Omega, r \in (r_L, r_U), \overline{P_1} > \overline{P_2}$ 이고, $\eta(x, y, r)$ 의 문턱치 값이 0.05 이상인 (x, y, r) 이 존재한다면, 이중에 $\eta(x, y, r)$ 을 최대로 하는 것을 구하여, 이것을 (x_0, y_0, r_0) 로 한다.
- (3) (x_0, y_0, r_0) 를 영역으로 기록한다.
- (4) Ω 에서 중심이 (x_0, y_0, r_0) 로, 한 변이 $4r_0$ 인 정방형 영역 내부의 모든 픽셀을 제거한 후 (2)로 돌아간다.

그림3의 valley 영역에 위의 방법을 적용하여 획득한 영역을 그림5에 나타내었다.



그림 5. Valley 영역으로부터 추출된 영역

2.4 홍채에 대응하는 영역의 선택

2.3절에서 구한 영역을 $B_i=(x_i, y_i, r_i) (1 \leq i \leq n)$ 으로 한다. 단, (x_i, y_i) 이 영역의 중심이고, r_i 는 반경이다.

$B_i (1 \leq i \leq n)$ 의 중심으로부터 좌, 우의 홍채에 대응하는 영역을 선택하기 위하여 우선 다음 조건을 만족하는 영역대 B_i, B_j 를 선택하여 양 눈의 홍채 후보로 한다.

$$\frac{1}{4}(x_R - x_L) \leq d_{ij} \leq x_R - x_L \quad (4)$$

$$-30^\circ \leq \theta_{ij} \leq 30^\circ$$

단, B_i 의 중심과 B_j 의 중심을 잇는 선분의 길이를 d_{ij} 로, 이 선분이 수평축을 이루는 각을 θ_{ij} 로 한다. 또, x_L, x_R 은 2.1절에서 구한 머리의 좌, 우 경계선의 x 축 방향의 위치이다. 다음으로, 선택된 모든 영역대 B_i, B_j 에 대하여 다음 식에 의해 $F(i, j)$ 를 계산하고, 이 값을 최소로 하는 영역대를 좌, 우 눈의 홍채로 한다.

$$F(i, j) = a(C(i) + C(j)) + (1-a)/R(i, j) \quad (5)$$

단, $a(0 < a < 1)$ 은 무게 계수 (실험에서는 $a=0.5$ 로 하였다.) $R(i, j)$ 는 양 눈의 템플릿을 사용하여 계산된 정규화 상관계수이다. $C(i), C(j)$ 는 B_i, B_j 의 값이고 다음 식으로 주어진다.

$$C(i) = C_1(i) + C_2(i) + C_3(i) + C_4(i) \quad (6)$$

- 단, $V(i)$: 허프변환에 의한 B_i 로의 투표수
 V_{max} : 모든 B_i 의 중심에서 $V(i)$ 의 최대 값
 $\eta_{K(i)}$: 그림7에서 영역 R_K, R_L 사이의 분리도
 $U(i)$: B_i 내부의 평균 휘도 값
 U_{av} : 모든 B_i 에 걸친 $U(i)$ 의 평균값

위 식에서는 $V(i), U(i)$ 를 각 V_{max}, U_{av} 로 정규화하고, $V(i), U(i)$ 에 관한 항을 각각 $V_{max}/V(i), U(i)/U_{av}$ 의 형태로 값에 더하고 있다. 또, $C_2(i), C_3(i)$ 는 $(0, 1)$ 구간 안의 값이다. 그러므로, 제안된 방법은 식(6)처럼 네 개의 항의 단순한 선형화로 영역 값을 준다. 홍채가 눈의 중심에 있을 때, 홍채의 경계선상의 점들이 에지 영상의 중심에 나타나므로, 최적의 영역 $V(i)$ 의 값은, 다른 영역 $V(i)$ 의 값 보다 훨씬 큰 값이다. 따라서, 이러한 경우 $V(i)$ 값만을 사용하여 홍채를 검출할 수 있다.

그러나 얼굴이 아래를 향한 경우나, 홍채가 눈 끝에 있을 때는 에지 영상에 나타나는 홍채의 경계선상의 점은 많지 않으므로, 최적의 영역, $V(i)$ 의 값이 다른 영역 $V(i)$ 의 값 보다 작게 되는 경우도 있다. 그러므로 제안 방법은 $V(i)$ 뿐 아니라 $U(i)$ 나 분리도를 사용하여 영역 값을 계산한다.

그림5의 영역 집합에서 식(5)의 $F(i, j)$ 를 최소로 하는 영역을 구한 결과를 그림6에 나타내었다.



그림6. 제안된 방법에 의해 양눈의 홍채로 선택한 영역

III. 실험 결과

3.1 실험조건

본 논문에서 제안한 양 눈의 홍채 검출법의 성능을 평가하기 위한 실험을 하였다. 실험에는 150장의 그림1과 같은 어깨위 정면얼굴영상이고 512×342픽셀의 영상을 사용하였다. 이 영상은 15명에 대해서 10장씩 합계 150장의 얼굴영상으로 각 인물에 대하여 사용된 10장의 얼굴영상은 정면, 좌, 우, 상, 하를 향한 두 장씩의 영상이다.

본 논문에서는 안경을 쓰지 않은 15명에 대하여 모든 영상(150장)을 사용하여 실험하였다. 단, 아래를 향한 얼굴에서는 눈 영역 전체가 어둡기 때문에 일반적으로 홍채 검출이 어렵다. 그래서, 다음의 두 가지 영상 집합을 사용하여 실험하였다.

S1 : 150장 전체 영상의 집합

S2 : 아래를 향한 얼굴을 제외한 120장의 영상의 집합

또한 식(5)의 $R(i, j)$ 의 값을 계산하기 위하여 양 눈의 템플릿을 사용하므로, 제안된 방법의 성능은 템플릿에 의존한다.

표1. 실험 결과
(괄호안의 값은 홍채의 위치에 약간의 오차가 있을때도 성공이라고 판정하였을때의 홍채 검출률)

템플릿	홍채 검출률	
	S1에 대한 결과	S2에 대한 결과
No. 1	96.0(96.7)	98.3
No. 2	97.3(99.3)	99.2
No. 3	97.3(98.7)	99.2
No. 4	96.7(98.0)	98.3
No. 5	95.3(96.7)	99.2

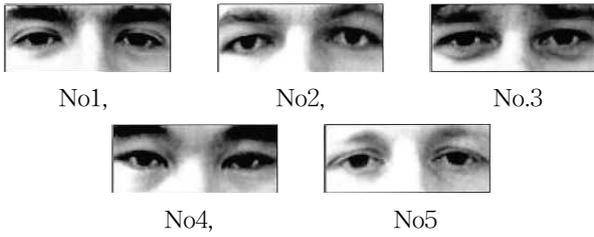


그림 7. $R(i, j)$ 계산을 위한 템플릿

3.2 제안된 방법의 성능 평가 결과

영상집합 S1, S2를 사용하여 제안한 방법의 성능을 평가한 결과를 표1로 나타내었다. 제안된 방법에 의해 검출된 양 눈의 홍채의 중심이 실제 홍채의 중심에 온전히 일치할 때 「제안 방법은 양 눈의 홍채를 올바르게 검출하였다.」라고 판정하였다. 실패라고 판정되는 영상 중에 2장의 영상에서는 영역 자체가 2.3절의 방법에 의해 홍채의 바른 위치가 검출되지 않았다. 표1에서 보듯 영상집합 S1에 대해서는 템플릿(No.5)에서 최소 95.3%의 성공률 이었고, 최대 성공률은 (No.2, No.3)에서 97.3%였다. 또, 이 실험결과 제안된 방법 성능은 양 눈의 템플릿으로 어떤 인물의 템플릿을 사용하는 것과는 거의 상관없음을 알았다. 또한, 표1에서 괄호 안의 숫자는 홍채의 위치가 약간의 오차가 있을 때에도 성공이라고 판정하였을 때의 영상의 수이다. 표와 같이 작은 오차를 허용하였을 때에는 템플릿 (No.1, No.5)에서도 96.7%의 성공률이었고, 템플릿(No.2)에서는99.3%의 성공률이었다. 더구나, 표에서처럼 아래를 향한 얼굴을 제외하였을 때에는 100%에 가까운 성공률이 나왔다. 제안 방법에서 계산 시간의 평균은 약 4.4초였다. 계산시간의 내역을 보면 얼굴 영역에서 영역 검출까지 3초, 영역 값 $C(i)$ 의 계산에 0.4초 (이중 0.3초는 에지 검출) 값 $F(i, j)$ 를 최소로 하는 영역을 선택하는데 1초정도 소요된다.

IV. 결 론

본 논문에서는, 얼굴에서 양눈의 홍채를 검출하기위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 영상에 분리 필터를 적용하여 영역(홍채의 후보가 되는 작은 영역)를 검출한 다음, 거리와 각도의 조건을 만족하는 영역에 대하여 값을 계산하고, 값을 최소로 하는 영역을 양눈의 홍채로 판정한다.

본 논문에서 제안한 영역의 값은, 홍채가 갖는 두가지 특징, 즉 주위보다 어두운 영역에 있다는 특징과 원에 가까운 형상을 갖는다는 특징을 사용하여 각 영역의 홍채라고 평가하는 것과 동시에, 양눈의 템플릿을 사용하여 영역을 포함한 영역 전체의 양 눈을 평가한다. 그러므로, 각각의 특징만을 사용하며 홍채검출을 하는 경우와 비교하여 뛰어난 홍채검출이 가능하다.

안경을 쓰지 않은 얼굴 영상(150장)을 사용하여 실험한 결과, 양눈의 템플릿으로 사용한 5개의 템플릿에서 템플릿2,3에 대해서는 97.3%의 성공률, 템플릿5에 대해서는 95.3%의 성공률을 얻었다. 또한 약간의 오차를 허용하였을 때에는 템플릿에 따라 최대·최소 각각 99.3%, 96.7%의 성공률을 얻었다.

단, 제안된 방법은, 양 눈의 홍채검출을 위하여, 홍채는 주위보다 어두운 영역에 있다는 성질을 이용하였으므로 안경을 쓰고 있는 얼굴에서 홍채를 검출하는 것은 어려웠다. 안경을 쓰고 있는 얼굴에서는 조명의 반사에 의해 홍채부분의 휘도값이 높게 되는 경우가 자주 발생하였기 때문이다. 안경을 쓰고 있는 얼굴에 대한 처리방안은 앞으로의 과제로 남아있다.

참고문헌

- [1] R. Brunelli and T. Poggio, "Face recognition: Feature versus templates," IEEE Trans. PAMI, vol. 15, no.10, pp.1042-1052, 1993.
- [2] S.Y. Lee, Y.K. Ham, and R.H Park, "Recognition of human front face using knowledge-based feature extraction and neuro-fuzzy algorithm," Pattern Recognition, vol.29, no.11, pp.1863-1876, 1996.
- [3] D.J. Beymer, "Face recognition under varying pose," CVPR, pp.756-761, 1994.
- [4] M. Turk and A. Pentland, "Eigenfaces for recognition," J. Cognitive Neuroscience, vol.3, no.1, pp.71-86, 1991.
- [5] A. Pentland, B. Moghaddam, and T. Starner, "View-based and modular eigenspaces for face recognition," CVPR, pp.84-91, 1994.
- [6] B. Moghaddam, A. Pentland, "Probabilistic visual learning for object representation," IEEE Trans. PAMI, vol.19, no.7, pp.696-710, 1997.
- [7] 福井和廣, 山口 修, "形状抽出とパターン照合みわけによる顔の特徴抽出," 信學論(D-II), vol.J80-D-II, no.8, pp.2170-2177, Aug, 1997.
- [8] 瀬川能照, 遠藤利生, 村上和人, 鳥生 隆, 興水大和, "似顔給生成のための顔と瞳の輪郭抽出手法," 映情學誌, vol.51, no.11, pp.1935-1944, 1997.
- [9] A.L. Yullie, P.W. Hallinan, and D.S Cohen, "Feature extraction from face using deformable templates," Int. J. Computer Vision. vol.8, no.2, pp.99-111, 1992.
- [10] G. Chow and X. Li, "Toward a system for automatic facial feature detection," Pattern Recognit., vol.26, pp.1739-1755, 1993.
- [11] K.M. Lam and H. Yan, "Locating and extracting the eye in human face images," Pattern Recognit., vol.29, no.5, pp.771-779, 1996.
- [12] S.R Sternberg, "Grayscale morphology," CVGIP, vol.35, pp.333-355, 1986.
- [13] P.W. Hallinan, "Recognition human eyes," Proc. SPIE, vol.1570, pp.214-226, 1991.
- [14] J. Canny, "A computational approach to edge detection," IEEE Trans. PAMI, vol.8, no.6, pp.679-698, 1986.
- [15] Y. Tian, T. Kanade, and J. F. Cohn. Recognizing upper face action units for facial expression analysis. In *Proceedings of Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, June 2000.
- [16] Y. Tian, T. Kanade, and J. F. Cohn. Recognizing action units for facial expression analysis. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(2), February 2001.