

화상 회의 인터페이스를 위한 눈 위치 검출

이 재 준[†] · 최 정 일[†] · 이 필 규^{††}

요 약

기존의 화상 회의 시스템에서는 카메라가 고정되어 있어서 사용자의 움직임에 제약을 주어 사용자를 부자연스럽게 한다. 이러한 부자연스러움을 해결하기 위해서는 얼굴의 움직임을 추적해야 하는데, 이때 얼굴 전체를 정보로 추적하는 것은 얼굴 전체를 하나의 특징으로 규정짓기도 힘들고 연산 시간이 많이 걸린다는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 얼굴의 움직임을 효율적으로 추적하기 위해서는 얼굴상의 몇 개의 특징점을 이용하는 것이 바람직하다.

본 논문은 화상 회의에서 자연스러운 사용자 인터페이스를 위한 자동 얼굴 추적 시스템의 필수적인 요소인 눈 위치 검출의 효과적인 방법에 대하여 논한다. 눈은 얼굴 내에서 가장 뚜렷하며 단순한 특징을 가지고 있으므로 얼굴을 추적하기 위한 가장 중요한 정보가 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 얼굴 후보 영역 추출 단계를 거친 얼굴 후보 영역들에 대해 적용되며, 기존 방법들에 비해 조명에 특별한 제약을 받지 않으며 얼굴 크기와 안경에 대한 제약도 가지고 있지 않다. 또한, 화상 회의 환경에 대한 on-line 실험에서 좋은 결과를 나타냈다.

Eye Location Algorithm For Natural Video-Conferencing

Jea-Jun Lee[†] · Jung-Il Choi[†] · Phill-Kyu Rhee^{††}

ABSTRACT

This paper addresses an eye location algorithm which is essential process of human face tracking system for natural video-conferencing. In current video-conferencing systems, user's facial movements are restricted by fixed camera, therefore it is inconvenient to users. We propose an eye location algorithm for automatic face tracking. Because, locations of other facial features guessed from locations of eye and scale of face in the image can be calculated using inter-ocular distance. Most previous feature extraction methods for face recognition system are approached under assumption that approximative face region or location of each facial feature is known. The proposed algorithm in this paper uses no prior information on the given image. It is not sensitive to backgrounds and lighting conditions. The proposed algorithm uses the valley representation as major information to locate eyes. The experiments have been performed for 213 frames of 17 people and show very encouraging results.

1. 서 론

최근 초고속 통신망의 개발과 지속적인 컴퓨터 시스템 성능의 향상으로 통신망을 이용한 다양한 멀티

※본 논문은 인하대학교 '97 교내연구비에 의하여 일부 지원되었음.

† 정 회 원: 인하대학교 전자계산공학과

†† 중 심 회 원: 인하대학교 전자계산공학과

논문접수: 1997년 3월 18일, 심사완료: 1997년 10월 18일

미디어 시스템 개발에 관심이 집중되고 있다. 불편한 교통, 바쁜 스케줄 때문에 사람들이 직접 마주앉아 얼굴을 보며 회의를 하는 것에서 벗어나, 이제는 컴퓨터를 이용한 화상 회의에 관한 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 이미 몇몇 화상 회의 시스템이 개발된 바 있다.

기존의 화상 회의 시스템은 카메라가 고정되어 있

으며, 단지 카메라에 잡히는 영상을 전송하는 것뿐이었다. 이로 인해 사용자의 움직임은 카메라가 허용하는 범위에서 벗어나지 않게 제한된다. 그리고, 어느 정도의 움직임을 허용하기 위해 넓은 렌즈를 사용하게 되면 그만큼 전송 및 처리해야 할 영상 이미지의 크기가 증가하여 속도 상의 문제를 갖게 된다. 이러한 제약은 사용자에게 부자연스럽기 때문에 카메라가 사용자 얼굴의 움직임을 추적하여 움직이도록 함으로써 이러한 불편함을 해소하는 것이 바람직하다. 이를 위해서는 얼굴의 움직임을 정확하게 검출할 수 있어야 하는데 얼굴은 다양한 형태와 다양한 피복색을 가지기 때문에 그 특징을 규정하고 정확히 검출해 내기가 어렵다[15]. 따라서, 추적 정보로서는 부적합하므로 눈의 위치를 검출하여 추적 정보로서 사용하고자 한다.

기존의 위치 검출 기법으로는 허프 변환(Hough Transform)을 이용한 방법[4, 10]과 지식 기반(knowledge-based) 방법[2, 3, 15] 및 탐색 후보 영역을 이용한 얼굴 특징점 추출 방법이 있다[21]. 이러한 방법들은 대부분이 단순한 배경을 가정하거나 조명, 영상 내의 사람의 포즈(pose), 안경 쓴 얼굴에도 제약을 가지는 문제점을 보이고 있다.

본 연구는 사람의 얼굴을 자동으로 추적하기 위한 기초 연구이다. 본 논문은 기존의 방법들이 가진 문제점을 개선하고, 얼굴을 효율적으로 추적하기 위해 얼굴상에서 가장 중요한 특징점이 될 수 있는 눈의 위치를 효과적으로 검출해 내는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2 장에서 위치 검출을 위한 기존 연구에 대하여 살펴보고, 3 장에서는 기존 연구의 문제점을 개선하는 눈 위치 검출 알고리즘을 제안한다. 그리고, 4 장에서는 제안된 방법을 이용한 실험 결과를 보이고, 5 장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 기존의 위치 검출 기법

입력 영상을 분석하여 원하는 특징의 위치를 검출해 내는데는 배경, 조명 등과 같은 기본적인 어려움이 존재할 뿐만 아니라, 각 개인별 특징의 차이, 얼굴의 기울어짐과 회전각도 및 영상 내의 얼굴 크기 등으로 인하여 자동적인 특징의 위치 검출에 어려움

이 있다. 따라서, 대부분은 각 특징들의 대략적인 위치가 주어진다든 가정 하에서 보다 자세한 정보를 추출해 내는 방법으로 접근해 왔다[2, 3, 15].

기존의 위치 검출 기법으로는 허프 변환(Hough Transform)을 이용한 방법과 지식 기반(knowledge-based) 방법 및 탐색 후보 영역을 이용한 얼굴의 특징점 추출 방법 등이 있다[2, 4, 21]. 허프 변환은 물체 영상의 윤곽이나 곡선 또는 선이 매개변수로 표현될 수 있는 경우에 그것을 검출해 내는데 좋은 효과를 보이는 방법으로서 모양 분석에 있어 하나의 강력한 도구이다. 이 방법은 잡음에 상대적으로 강하고 나쁜 조건의 이미지도 인식이 가능하다[4]. 또한, 검출할 물체 모양의 크기가 변화되거나 회전된 물체도 인식할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 이 방법은 적은 수의 매개 변수를 갖는 곡선에만 실용적이며 많은 계산 시간과 계산량, 저장 공간을 요구하게 되고, 검출 정확도는 매개 변수 공간을 양자화(quantization)하는 크기에 의존하는 문제점을 가지고 있다.

지식 기반 방법들은 얼굴상의 특징적인 요소들의 위치를 나타내는 눈, 눈썹, 코, 입 등에 대한 통계적인 분포 정보를 이용하는 방법과 특징 요소의 기하학적 모양 정보를 이용하여 위치를 추출하는 방법 등이 있다. 이러한 방법들은 보다 정확한 특징 추출에는 효과적이지만, 사전 지식을 필요로 하며 알고리즘 수행 시간이 많이 걸린다는 단점을 갖기 때문에 실제 실시간 응용에는 부적합하다.

탐색 후보 영역을 이용한 얼굴 특징점 추출 방법은 먼저 모폴로지(morphology)를 이용하여 그레이 레벨 분포가 조밀하며 폐곡선을 이루는 부분을 찾은 후 그 부분을 탐색 후보 영역으로 삼았고, 얼굴의 대칭성을 이용하여 눈과 눈썹의 위치를 추출하였다. 이 방법은 간단한 처리를 이용하여 탐색 후보 지역을 정하기 때문에 처리 시간이 적은 장점이 있으나, 안경을 착용한 이미지와 좌우 명암 차이가 나는 영상(즉면 조명의 경우)에는 적용이 어려운 단점을 갖는다[21].

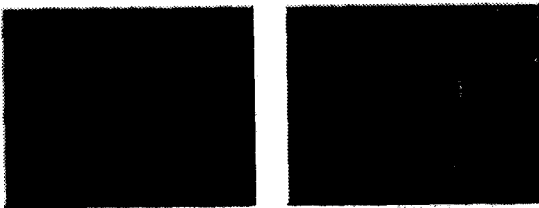
3. 눈 위치 검출 알고리즘의 제안

본 연구는 모자이크와 신경망을 이용하여 추출된 얼굴 후보 영역에 대해 적용된다[22]. 얼굴 영역이 각기 크기가 다른 최대 10개의 후보 영역으로 나타나

로 이 영역들에 대해 알고리즘을 수행하기 위해서는 좀 더 효율적인 방법이 고려되어야만 한다. 즉, 크기 순으로 알고리즘을 적용시키기 보다 가장 가능성이 높은 중간 크기의 얼굴 후보 영역부터 차례로 알고리즘을 적용시킨다. 이렇게 하여 얼굴 후보 영역에 대한 반복적인 알고리즘의 수행을 가능한 한 최소화 할 수 있다.

3.1 눈 후보 영역 추출

얼굴 후보 영역에 대해 먼저 히스토그램 균일화를 적용한다. 본 연구에서 히스토그램 균일화를 사용하는 이유는 사람에 대한 비디오 영상이 조명이 좋지 않은 경우 전체적으로 어두워 이미지 처리에 있어 원하는 결과를 얻기가 어렵기 때문이다. 본 연구에서는 추출된 얼굴 영역에 대해서만 히스토그램 균일화를 적용함으로써 속도를 향상시키고 에지와 빨리 추출이 보다 효과적으로 되게 하였다. (그림 3-1)는 얼굴 영역에 대해 히스토그램 균일화를 적용하기 전과 후의 결과를 보여주고 있다.



(그림 3.1) 얼굴 영역에 대한 히스토그램 균일화의 예
(Fig. 3.1) Example of histogram equalization of face region

이 얼굴 영역에 대해 에지를 추출하는데, 입력되는 영상의 상태에 영향을 덜 받도록 국부 마스크를 이용한 가변 임계값을 사용한다. 즉, 영상의 한 화소당 그 위치의 명암도를 계산하여 독립된 임계값을 설정함으로써 거의 균일한 에지를 얻을 수 있다.

에지 영상이 얻어지면 고립된 영역으로 분리하기 위해 라벨링을 수행한다. 라벨링을 적용할 때 입력 영상에서 고립된 영역의 개수가 많으면 시간이 많이 소비된다. 그러므로, 고립된 영역의 크기가 작은 영역은 잡음으로 간주하여 제거해 주는 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 3×3 마스크 안에서 중심 화소

가 에지 화소이고 주변에 4개 이하의 에지 화소를 가지면 잡음으로 간주하여 배경 화소로 바꾸었다.

라벨링을 수행하고 나면 각각의 고립 영역에 관한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 정보에는 영역에 대한 위치 좌표, 에지 화소의 개수, 눈의 여부를 구별하는 flag 등이 있다. 이러한 정보를 가지고 크기 및 모양 검증을 통해 눈의 후보 영역들을 추출한다. 사용된 검증 조건은 많은 실험을 통하여 얻어진 값들이다. 이러한 검증 조건을 모두 거치고 나면 고립 영역들 중에서 5~20개의 영역들만이 눈의 후보 영역으로서 남게 된다. (그림 3-2)는 라벨링된 결과로부터 눈 후보 영역 추출의 예를 보여준다.



(그림 3.2) 눈 후보 영역 추출의 예
(Fig. 3.2) Example of extracting candidate of eye region

3.2 눈 영역 결정

후보 영역들 중에서 얼굴 영역의 위쪽 부분에 있는 후보 영역들만을 고려한다. 먼저 후보 영역들의 수가 2개 이상인지를 검사한다. 눈 영역은 두 고립 영역이 쌍을 이루어야 하므로 적어도 2개 이상의 후보 영역이 필요하다. 이 영역들을 영역 중심의 y좌표 값에 따라 정렬한다. 이렇게 정렬된 후보 영역들을 아래에서부터 차례로 검사해 나가며 수평 방향으로 짝을 이루는 두 영역을 찾는다. 수평 방향으로 짝을 이루는 두 영역이 발견되면 얼굴 영역의 크기로부터 유추되어진 눈 사이의 거리 조건을 두 영역이 만족할 수 있는지를 검사한다. 만약 이 조건을 만족시키지 못하면 다른 영역의 짝을 탐색한다. 눈 영역을 결정하기 위한 알고리즘을 기술하면 [알고리즘 1]과 같다.

[알고리즘 1] 눈 영역 결정

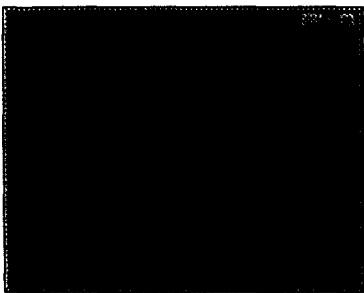
입력: 눈의 후보 영역들
출력: 눈 영역
방법:

- 단계1. 눈의 후보 영역들의 수가 2개 이상인지 검사하고 아니면 기각한다.
- 단계2. 눈의 후보 영역들을 각 후보 영역 중심의 y 좌표 값에 따라 정렬한다.
- 단계3. 아래쪽 영역에서부터 검색하면서 연속된 두 영역($i, i + 1$)이 수평 방향으로 짝을 이루는지를 검사한다. 짝을 이루지 않으면 i 를 증가시키고 단계 2를 반복한다.
- 단계4. 두 영역이 눈 사이의 거리 조건을 만족하는지 검사한다. 만족하지 않으면 수평 방향으로 i 와 짝을 이루며 거리 조건을 만족하는 다른 영역을 찾는다.
- 단계5. 조건을 만족하는 영역을 찾으면 중지한다. 아니면, i 를 증가시키고 단계 2부터 반복한다.
- 단계6. 조건을 만족하는 영역을 찾지 못하면 기각한다.

3.3 밸리 추출

눈 영역에 대해 밸리를 추출한다. 밸리(valley)는 주위보다 어두운 부분, 즉 이미지 화소의 밝기(intensity value)가 급하게 변하면서 주위의 화소들의 밝기보다 낮은 밝기를 갖는 부분으로 정의된다[2]. 즉, 눈동자의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 특징이다. 눈 영역이 이미 결정되어졌으므로 그 안에서 눈동자를 밸리로 추출하기 위해 이치화를 사용한다. 이 때 사용되는 임계값은 눈 영역의 히스토그램을 분석하여 얻어진 값으로 결정되어진다. 이렇게 함으로써 눈동자 영역을 효과적으로 추출할 수 있다.

(그림 3-3)은 밸리 추출의 결과를 보여준다. 눈동자 부분이 밸리로 추출된 것을 볼 수 있다.



(그림 3.3) 밸리 추출의 예
(Fig. 3.3) Valley example

3.4 눈 위치 검출

추출된 눈동자 영역을 나타내는 밸리 정보를 이용하여 눈 위치를 검출한다. 원 모양의 눈동자 형판(template)을 구성하고, 이 형판을 변형하면서 눈동자의 위치를 검출하는 가변 틀 정합(deformable template matching) 방법을 이용한다. 초기 형판의 크기는 눈 영역의 크기로부터 유추하고, 초기 위치는 결정된 눈 영역의 중심으로 결정한다.

$$\text{초기 눈동자 형판의 반지름 } R = \text{눈 영역의 세로 길이} \times t_1 \tag{3-1}$$

$$y = C_y \pm \sqrt{R^2 - (x - C_x)^2}, \quad x \in [C_x - R, C_x + R] \tag{3-2}$$

눈동자 형판의 식(3-2)은 임의의 x 범위 내로 제한된 원의 방정식이며, C_x, C_y 는 원의 중심을 나타내고, x, y 는 식에서 원 위의 임의의 점을 나타낸다. C_x, C_y 는 눈동자의 위치를 반영하며, R 은 눈동자의 크기를 반영한다.

최적의 눈동자 형판을 찾기 위한 결정적인 요소로 작용하는 눈동자 전체 에너지 함수는 E_{total} 로 표현되며, 에너지 함수 값은 형판 내부의 화소들에 의해 좌우된다. 눈동자 전체 에너지 함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_{total} = \frac{1}{Area} \iint_{Lbound}^{Ubound} N(x, y) dA \tag{3-3}$$

$Area$ 는 눈동자의 전체 영역의 면적, $Ubound$ 는 눈동자의 윗쪽 경계, $Lbound$ 는 눈동자의 아래쪽 경계, $\iint_{Lbound}^{Ubound} N(x, y) dA$ 는 밸리 이미지에서 눈동자 형판으로 둘러싸인 영역 내부의 각 점(x, y)에 위치한 눈동자 영역을 나타내는 밸리 화소의 수를 나타낸다.

세부적으로는 $E_{up}, E_{down}, E_{left}, E_{right}$ 를 따로 운영하여 위치 변환의 결정을 위한 정보로써 이용하고, E_{total} 을 형판 크기의 변환에 대한 정보로 이용한다. 형판을 변형하며 에너지 함수를 계산하여 최대의 에너지 함수를 갖는 위치를 검출하여 낸다.

눈 위치 검출 알고리즘을 기술하면 [알고리즘 2]와 같다.

[알고리즘 2] 눈 위치 검출

입력: 눈 영역, 벨리 표현 이미지

출력: 눈 위치

방법:

단계1. 초기 눈동자 형판의 크기와 위치를 결정한다.

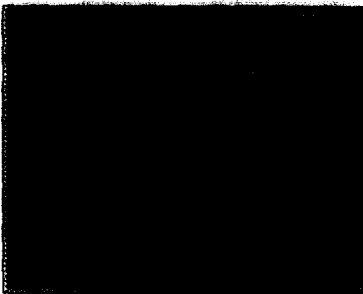
단계2. 에너지 함수를 계산한다.

단계3. 에너지 함수의 값에 따라 형판의 위치, 크기를 변형한다.

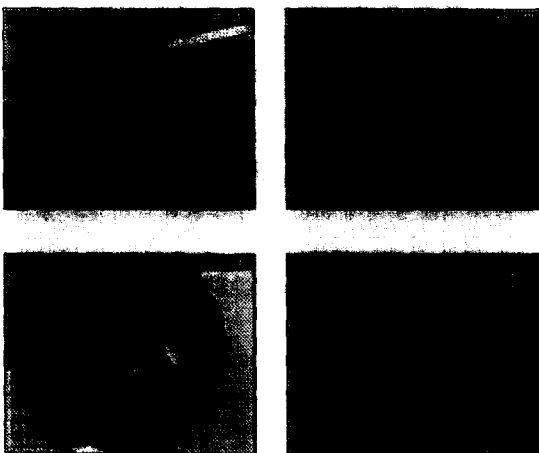
단계4. 에너지 함수의 값이 최대가 될 때 눈동자의 위치를 검출할 수 있다.

단계5. 눈 사이의 거리 조건을 검사하여 조건을 만족하지 않으면 기각한다.

(그림 3-3)의 벨리 정보를 이용하여 [알고리즘 2]의



(그림 3.4) 눈 위치 검출의 예
(Fig. 3.4) Eye location example



(그림 3.5) 눈 위치 검출의 예
(Fig. 3.5) Eye location examples

눈 위치 검출 알고리즘에 따라 실행된 눈 위치 검출의 예는 (그림 3-4)와 같다.

(그림 3-5)은 제안된 알고리즘이 조명, 거리, 안경 등에 대한 제약을 거의 받지 않고 눈 위치를 검출할 수 있음을 보여준다.

4. 실험 및 결과

제안된 알고리즘은 일반 펜티엄 90MHz PC상에서 C 언어를 사용하여 구현되었으며, 컴파일러는 visual C++ 4.0을 사용하였다. 소스 이미지는 카메라로부터 입력되며 영상이 캡처되면 자동적으로 작동한다. 사용 환경은 윈도우즈 95 환경이다.

실험의 편의를 위해 정지 영상에 대한 off-line 실험과 on-line 실험을 나누어 하였다. <표 4-1>과 <표 4-2>은 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위한 실험으로서 30명의 학생들로부터 녹화된 187개의 이미지에 대해 이루어졌다. 전체 이미지 중 안경을 쓴 이미지 86개가 포함되어 있다.

<표 4-1>의 제안된 알고리즘의 실험 결과에서 볼 수 있듯이 안경을 쓰지 않은 이미지에 대해서는 상당히 높은 성공률과 신뢰도를 보이고 있음을 알 수 있다. 안경을 쓴 이미지의 경우는 여러 요인이 많기 때문에 성공률 면에서 안경을 쓰지 않은 이미지에 비해 많은 차이를 보이고 있다. 눈 위치 검출 성공률과 신뢰도는 다음의 식 4-1과 식 4-2에 의해 계산된다.

$$\text{성공률}(\%) = \frac{\text{성공}}{\text{전체 프레임 수}} \quad (4-1)$$

$$\text{신뢰도}(\%) = \frac{\text{성공}}{\text{전체 프레임 수} - \text{기각}} \quad (4-2)$$

<표 4.1> 제안된 알고리즘의 실험 결과
<Table 4.1> Experimental results

| 대상 | 프레임 수 | 성공 | 실패 | 기각 | 성공률 | 신뢰도 |
|--------|-------|-----|----|----|-----|-----|
| 전체 | 187 | 172 | 3 | 12 | 92% | 98% |
| 안경(No) | 101 | 99 | 1 | 1 | 98% | 99% |
| 안경 | 86 | 73 | 2 | 11 | 85% | 98% |

<표 4-2>는 얼굴 후보 영역에 대한 알고리즘의 반복 횟수와 반복하게 된 기각 요인에 대한 분석표이다.

얼굴 후보 영역들은 1~10개까지 각기 다른 크기의 영역으로 구성된다. 이 영역들에 대해 알고리즘의 반복이 얼마나 이루어지는가를 나타낸 것으로서 알고리즘 수행 시간에 대한 중요한 요인이 된다. 기각 요인은 향후 개선 방향에 대한 중요한 정보가 될 것이다. A, B, C, D의 기각 요인은 먼저 검사되는 순으로 나열한 것이다. 먼저 검사되는 기각 요인의 수가 많으면 그만큼 알고리즘의 수행 시간 면에서는 빨라지게 되는 것이다.

<표 4.2> 알고리즘의 반복 횟수와 기각 요인에 대한 분석
(Table 4.2) Analyzation the factor of repetition of algorithm and rejection

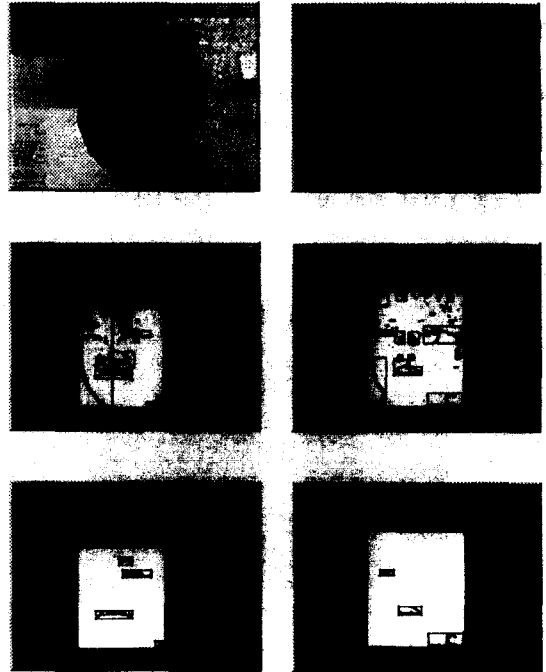
| 대상 | 알고리즘의 평균반복횟수 | A | B | C | D |
|--------|--------------|----|----|---|---|
| 전체 | 1.2회 | 21 | 26 | 1 | 1 |
| 안경(No) | 1.1회 | 5 | 7 | 0 | 1 |
| 안경 | 1.3회 | 16 | 19 | 1 | 0 |
| 성공시 | 1.1회 | 6 | 10 | 0 | 1 |
| 실패시 | 1.7회 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 기각시 | 2.2회 | 13 | 15 | 1 | 0 |

- A: 눈 후보 영역의 수가 2개 이상이 되지 않아 눈 영역을 결정할 수 없음
- B: 눈 후보 영역 중에서 눈 영역이 될 짝을 이루는 영역이 없음
- C: 눈동자의 크기가 너무 작음
- D: 눈 사이의 거리가 너무 멀거나 가까움

<표 4-2>의 결과를 살펴보면 대부분의 기각 요인은 A와 B임을 알 수 있는데, 이 요인들은 눈 영역 결정시 발생하는 것들이다. 얼굴 윤곽 에지와 눈의 에지가 연결된 경우, 안경 에지와 눈의 에지가 연결된 경우, 에지 추출이 잘 이루어지지 않아서 눈의 에지가 쪼개진 경우 등에 의해 발생하는 결과이다. A, B의 기각 요인이 많다는 것은 알고리즘의 반복 수행 시에도 시간 면에서 손해를 적게 본다는 것이다.

알고리즘의 평균 반복 횟수는 안경을 쓴 이미지와 안경을 쓰지 않은 이미지보다 많았고, 기각되는 경우가 실패하거나 성공하는 경우보다 월등히 많음을 알 수 있다. 알고리즘의 반복 횟수가 많음은 결과가 나오기까지의 시간이 많이 걸린다는 것을 의미한다. 기

각되는 경우는 모든 얼굴 후보 영역에 대해 작업을 하게 되므로 반복 횟수가 많은 것이다. (그림 4-1)은 눈 영역 추출 실패의 경우를 보인다. 두 경우 모두 눈의 에지가 얼굴이나 안경 에지와 연결되어 눈의 후보 영역으로 추출되지 않았기 때문이다.



(그림 4.1) 눈 영역 추출 실패의 예
(Fig. 4.1) Examples of eye location failure

<표 4-3>은 on-line으로 이루어진 실험으로서 실시간으로 입력되는 비디오 영상으로부터 얻어진 결과이다. 조명, 거리와 같은 환경 변화에 따른 결과를 분석하기 위해 환경에 따라 미리 녹화된 테이프를 재생하며 실험 결과를 산출하였다. <표 4-3>은 각 대상에 대해 5~10회의 눈 위치 검출 시도를 한 결과를 종합하여 나타낸 것이다.

T_1 은 화면이 캡처되어 눈 위치를 검출하기까지 걸리는 평균 시간이며, T_2 는 제안된 알고리즘을 수행하는데 걸리는 평균 시간이다. 본 실험 결과는 얼굴 영역 추출 모듈까지 모두 포함한 결과이며, 측정된 시간은 결과를 분석하기 위해 중간 결과를 파일로 저장

하는 부가적인 작업을 포함한 시간이다.

〈표 4-3〉에서 형광 조명은 실내의 형광등만 존재하는 경우의 조명 상태이고, 자연광 조명은 실내에서 형광등이외의 창문 등을 통한 빛이 존재하는 경우의 조명 상태를 나타낸다. 〈표 4-3〉의 결과에서 볼 수 있듯이 조명 상태나 거리(즉, 얼굴의 크기) 변화에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 하지만, 어두운 조명보다는 밝은 조명, 작은 얼굴보다는 큰 얼굴이 특징이 뚜렷하고 오류 발생 원인이 적어 더 좋은 결과를 나타냈다. On-line 실험 결과에서도 마찬가지로 대부분의 기각 요인은 A, B에서 나타났으며 알고리즘의 수행 시간 면에서는 환경에 상관없이 거의 일정함을 알 수 있다.

〈표 4.3〉 On-line 실험 결과
 〈Table 4.3〉 On-line experimental results

| 환경 | 대상수 (안경착용) | 성공률 | 신뢰도 | T1 | T2 | 기각 요인 | | | | |
|-----|---------------|--------|-----|-----|------|-------|----|---|---|---|
| | | | | | | A | B | C | D | |
| 형광 | 근거리 | 19(11) | 91% | 97% | 3.0초 | 0.7초 | 18 | 4 | 1 | 3 |
| 조명 | 원거리 | 15(7) | 88% | 98% | 2.9초 | 0.8초 | 17 | 3 | 3 | 1 |
| 자연광 | 근거리 | 17(6) | 92% | 99% | 3.0초 | 0.7초 | 12 | 5 | 2 | 1 |
| 조명 | 원거리 | 19(8) | 90% | 98% | 2.8초 | 0.7초 | 15 | 5 | 7 | 2 |

5. 결 론

본 연구는 기존의 화상 회의 시스템이 갖고 있는 문제점을 해결하기 위한 방법으로 사용자 얼굴 추적 시스템을 위한 사용자의 눈 위치 검출 알고리즘을 제안하였으며 기존의 위치 검출 기법의 제약을 개선하였다. 눈 영역 추출을 위해서는 에지 추출과 라벨링 기법을 기본적으로 사용하였으며, 눈동자의 위치를 검출하기 위해 뱌리 정보를 이용하였다.

30명의 187개 이미지에 대해 off-line으로 실험한 결과 92%의 성공률과 98%의 신뢰도를 나타냈으며, 기존의 방법들이 제약을 두었던 안경 쓴 이미지에 대해서도 85%의 성공률과 98%의 신뢰도를 나타내었다. 또한, 환경 변화에 대한 on-line 실험에서도 환경 변화에 크게 영향받지 않으며, off-line과 크게 차이가 나지 않는 결과를 나타내 실제 상황에서 실시간 응용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

그러나, 추출된 에지 영상에서 눈 에지와 다른 에지가 연결될 경우에는 거의 눈 영역 추출에 실패하는 문제점을 가지고 있다. 또한, 눈 위치 검출 시에 전적으로 뱌리 정보가 부정확할 경우 정확한 눈 위치 검출이 되지 못하는 경우가 발생하였다.

좀 더 정확한 눈 위치 검출을 위해서는 또 다른 얼굴 영역 내의 특징을 이용한 검증과 보다 정확한 눈동자의 정보 추출을 위한 방법등이 연구되어야 할 것이며, 실시간 응용을 위해서는 알고리즘 수행 시간의 개선에도 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Rosenfield and J. L. Plaltz, "Sequential Operations in Digital Picture Processing," *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol. 13, pp. 471-494, 1966.
- [2] Alan L. Yuille, Peter W. Hallinan and David S. Cohen, "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates," *International Journal of Computer Vision*, pp. 99-111, 1992.
- [3] Chung-Lin Huang and Ching-Wen Chen, "Human Facial Feature Extraction For Face Interpretation And Recognition," *Pattern Recognition*, Vol. 25, No. 12, pp. 1435-1444, 1992.
- [4] D. BEN-TZVI, M. B. SANDLER, "Combinatorial Hough Transform," *Pattern Recognition Letters*, vol. 11, no. 5, pp. 167-174, 1990.
- [5] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, *Computer Vision*, Prentice Hall, 1982.
- [6] Fujiki Morii, "An Image Tresholding Method Using a Minimum Weighted Squared-Distortion Criterion," *Pattern Recognition*, Vol. 28, No. 7, pp. 1063-1071, 1995.
- [7] Gloria Chow and Xiaobo Li, "Towards A System For Automatic Facial Feature Detection," *Pattern Recognition*, Vol. 26, No. 12, pp. 1739-1755, 1993.
- [8] Guanzheng Yang and Thomas S. Huang, "Human Face Detection In A Complex Background," *Pattern Recognition*, Vol. 27, No. 1, pp. 53-63, 1994.

[9] Jeffrey M. Gilbert and Woodward Yang, "A Real-Time Face Recognition System Using Custom VLSI Hardware," *Workshop on CAMP '93*, pp. 58-66, 1993.

[10] Lei XU, Erkki OJA and Pekka KULTANEN, "A new curve detection method: Randomized Hough Transform(RHT)," *Pattern Recognition Letters*, vol. 11, No. 5, pp. 331-338, 1990.

[11] Maher A. Sid-Ahmed, *Image Processing: Theory, Algorithms, and Architectures*, McGraw-Hill, 1995.

[12] Milan Sonka, Vaclav Halavac and Roger Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, C&H, 1993.

[13] R. L. Lumina, G. Shapiro, and O. Zuniga, "A New Connected Components Algorithm for Virtual Memory Computers," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 22, pp. 287-300, 1983.

[14] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1992.

[15] Roberto Brunelli and Tomaso Poggio, "Face Recognition: Features versus Templates," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 15, No. 10, pp. 1042-1052, 1993.

[16] Rolf P. Wurtz, "Background Invariant Face Recognition," *In 3rd SNN Neural Networks Symposium*, pp. 140-143, 1995.

[17] Thomas C. Chang, Thomas S. Huang, Carol Novak, "Facial Feature Extraction form Color Images," *Proceeding IEEE*, pp. 39-43, 1994.

[18] Torbjorn Eltoft, Rui J. P. deFigueiredo, "Illumination Control as a Means of Enhancing Image Features in Active Vision Systems," *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 4, No. 11, pp. 1520-1530, 1995.

[19] X. Xie, R. Sudhakar and H. Zhuang, "On Improving Eye Feature Detection Using Deformable Templates," *Pattern Recognition*, Vol. 27, No. 6, pp. 791-795, 1994.

[20] John Goutstas, "Morphological Operators for

Image Sequences," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 62, No. 3, pp. 326-346, 1995.

[21] 이병주, 김재훈, 정제창, 김한우, 최병욱, "탐색후 보영역을 이용한 얼굴 특징점 추출," *제8회 신호처리합동학술대회 논문집 제8권 1호*, pp. 375-378, 1995.

[22] 이승훈, 이필규, "모자이크를 이용한 얼굴 영역의 추출," *제5회 인공지능, 신경망 및 퍼지 시스템 종합 학술 대회*, 1996.

[23] 이재준, 이필규, "밸리 표현을 이용한 눈 위치 검출 알고리즘," *제 8회 영상 처리 및 이해에 관한 워크샵*, pp. 316-321, 1996.

이 재 준

1995년 인하대학교 전자계산공학과 졸업(학사)
 1997년 인하대학교 전자계산공학과 졸업(석사)
 관심분야: 영상 처리, 지능형 유저 인터페이스



최 정 일

1996년 인하대학교 전자계산공학과 졸업(학사)
 1996년~현재 인하대학교 전자계산공학과(석사)
 관심분야: 영상 처리, 지능형 유저 인터페이스

이 필 규

1982년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사)
 1986년 East Texas State University Computer Science 졸업(석사)
 1990년 Univ. of SW Louisiana Computer Science 졸업(박사)
 1982년~1985년 시스템공학 연구소 연구원
 1991년~1992년 한국전자통신 연구소 선임 연구원
 1993년~1994년 IBM T.J. Watson Research Center 객원 연구원
 1992년~1996년 인하대학교 전자계산공학과 조교수
 1996년~현재 인하대학교 전자계산공학과 부교수
 관심분야: 문자인식, 영상 처리, 지능형 유저 인터페이스