

모바일 기기에서의 얼굴 특징점 및 선형 보간법 기반 시선 추적

고유진[†], 박강령^{**}

요 약

최근에 인간컴퓨터 상호작용 분야에서 사용자의 시선 위치를 파악하여 더욱 편리한 입력 장치를 개발하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 기존의 대부분 연구들은 큰 모니터를 사용하는 컴퓨터 환경에서 시선 추적 시스템을 개발하였다. 최근 이동단말기의 사용 증대로 이동 중에 시선 추적에 의한 단말기 제어의 필요성이 증대되고 있다. 이에 본 연구에서는 이동형 컴퓨터 (Ultra-Mobile PC) 및 컴퓨터 내장 카메라를 이용하여 사용자의 얼굴을 추적하고, 얼굴내의 특징점의 위치를 능동외관모델 (Active Appearance Model) 을 기반으로 추적하는 연구를 수행하였다. 본 논문의 독창성은 기존 연구와는 달리 소형 화면을 가지는 이동 단말기에서 사용자의 시선 위치를 추적할 수 있는 방법을 제안한 점과 정밀한 얼굴 특징점 검출을 위하여 능동외관모델을 사용한 점이다. 또한 사용자의 초기 캘리브레이션시 얻어진 특징값을 기반으로, 입력 특징값들을 정규화 함으로써, Z거리에 따라 시선 위치 정확도가 영향을 받지 않는다는 점이다. 실험결과, 약 1.77도의 시선 오차를 발생하였으나, 추가적인 얼굴 움직임에 의한 마우스 움직임 기능으로 이러한 시선 오차는 더욱 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

Gaze Detection Based on Facial Features and Linear Interpolation on Mobile Devices

You Jin Ko[†], Kang Ryoung Park^{**}

ABSTRACT

Recently, many researches of making more comfortable input device based on gaze detection technology have been performed in human computer interface. Previous researches were performed on the computer environment with a large sized monitor. With recent increase of using mobile device, the necessities of interfacing by gaze detection on mobile environment were also increased. In this paper, we research about the gaze detection method by using UMPC (Ultra-Mobile PC) and an embedded camera of UMPC based on face and facial feature detection by AAM (Active Appearance Model). This paper has following three originalities. First, different from previous research, we propose a method for tracking user's gaze position in mobile device which has a small sized screen. Second, in order to detect facial feature points, we use AAM. Third, gaze detection accuracy is not degraded according to Z distance based on the normalization of input features by using the features which are obtained in an initial user calibration stage. Experimental results showed that gaze detection error was 1.77 degrees and it was reduced by mouse dragging based on the additional facial movement.

Key words: Gaze Detection(시선추적), Mobile Device(이동단말기), AAM(AAM)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 박강령, 주소 : 서울시 중구 필동 3가 26(100-715), 전화 : 02-2260-3329, FAX : 02)2277-8735, E-mail : parkgr@dongguk.edu

접수일 : 2008년 9월 26일, 완료일 : 2009년 5월 31일

[†] 엠텍비전 연구원

(E-mail : dhwfl@smu.ac.kr)

^{**} 정회원, 동국대학교 전자공학과 부교수

※ 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00421)

1. 서 론

사용자의 얼굴 혹은 눈동자 움직임을 분석하여 시선 위치를 실시간으로 추적함으로써 보다 자연스럽게 편리한 입력 장치를 구현하려는 연구는 많은 수행되어 왔다[1-6]. 이러한 시선 추적 기술이 가지는 장점은 다음과 같다[7]. 시선 추적 기술은 기존에 널리 사용되는 마우스의 작동방법과 유사한 명령체계를 가지고 있어, 사용자의 자연스러운 컴퓨터 사용을 가능하게 하며, 조작 방법을 큰 어려움 없이 숙지할 수 있다. 또한, 손을 사용하는 키보드나 마우스 등의 입력 장치들에 비해 컴퓨터를 동작시키는 속도를 매우 빠르게 할 수 있다[2-4]. Yamato의 연구에서는 일반적인 컴퓨터 사용 환경에서 21인치 모니터의 좌측상단에서 우측하단을 바라볼 때 걸리는 시간이 150ms라고 소개한 바 있다[4]. 그리고 시선 추적 기술은 손이 불편한 사용자에게 컴퓨터를 사용할 수 있는 다른 방법을 제공한다는 장점도 있다.

기존의 시선 추적 시스템은 구현 방법에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다. 피부전극(skin electrode)을 이용한 방법, 콘택트렌즈를 이용한 방법, 카메라 비전을 이용한 방법이 그것들이다[7]. 또한 카메라 비전을 이용한 방법은 데스크톱 기반 방법과 머리 착용식(head mounted) 구현 방법으로 나눌 수 있다[7]. 피부전극을 이용한 방법은 피부전극을 눈 주위에 부착하여, 망막과 각막 사이의 전기적인 차이의 지속적인 측정을 통해 안구의 회전각을 추정하여, 시선 위치를 계산해내는 방법이다[7]. 이 방법은 피부전극을 양 눈 주변에 모두 부착하면, 양 눈의 시선 위치를 함께 계산할 수 있으며, 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 하지만 전극착용으로 사용자가 거부감을 느낄 수 있으며, 얼굴의 움직임이 제한적이고, 정확도가 떨어진다는 단점이 있다. 콘택트렌즈를 이용한 시선 추적 방법은 미끄러지거나 이동이 없는 콘택트렌즈를 각막 면에 착용하여 시선 위치를 추정하는 방법으로, 렌즈 면에는 마그네틱 코일이나 거울 역할을 할 수 있는 추가적인 장치가 부착되어 있어야 한다[8]. 이 방법의 장점은 사람의 눈의 자연적인 움직임에 기반을 둔 정확한 데이터를 취득할 수 있다는 것이지만, 사용자 측면에서 매우 불편하고 거부하며, 눈 깜빡임에 치명적이고, 안구의 움직임에 대해 제한된 영역에 대해서만 측정이 가능하다는 단점이 있다.

데스크톱에서의 카메라 시각 인식 기반 방법은 일반적으로 사용되는 개인용 컴퓨터 환경에 조명과 카메라를 장착하고 사용자의 얼굴 및 눈의 움직임을 카메라로 취득하여 시선 위치를 파악하는 방법이다[9]. 이 방법은 설치가 용이하고, 다른 컴퓨터에서도 손쉽게 옮겨 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 얼굴 움직임이 자유롭지 못하며, 이것을 극복하기 위해서는 얼굴 움직임에 따른 카메라의 방향이 바뀌어야 하기 때문에 광각 및 협각 카메라와 좌우상하회전 장비 등을 사용해야 하므로 가격이 비싸다는 단점이 있다[10]. 마지막으로 머리 착용식 카메라 시각 인식 방법은 모자나 머리띠, 헬멧 등의 장치에 작은 카메라와 조명을 장착하여 사용자의 눈 영상을 취득하고, 조명 패턴이나 카메라를 통해 취득된 영상과 눈 영상의 상대적인 관계를 고려하여 시선 위치를 추정하는 방법이다[11-20]. 이 방법은 사용자의 얼굴 움직임에 따라 머리 착용 장치에 장착되어 있는 카메라나 조명도 함께 움직이기 때문에 얼굴 움직임이 비교적 자유롭다는 장점이 있다. 하지만, 얼굴 움직임 추적을 위해 다중 카메라나 여러 개의 조명을 사용해야 함으로써 시스템이 복잡해지고[15-17,19,20], 카메라와 모니터, 안구 사이의 3차원적인 분석이 필요한 경우에는 복잡한 카메라 캘리브레이션이 선행되어야 한다는 단점이 있다[13,14]. 특히 기존 연구에서는 시선 추적을 위해 모니터의 구석에 4개의 적외선 조명을 부착하여 사용하였으며[15-17], 또 다른 기존 연구에서는 얼굴 움직임 추적을 위해 사용자가 착용하는 양안 안경의 전면에 4개의 적외선 조명 혹은 위치 추적 센서를 부착하고, 적외선 조명을 사용하는 경우는 조명을 패턴을 촬영하기 위한 외부 카메라를 추가로 사용하였다[19-21]의 연구에서는 AAM으로 추출된 얼굴 특징점에 의한 시선 위치 및 눈동자의 시선 위치를 다중 SVR (Support Vector Regression)으로 결합하여 모바일 단말기에서의 시선 위치를 파악하였다.

본 연구에서는 휴대용 컴퓨터인 UMPC (Ultra-Mobile PC) 및 UMPC의 내장 카메라를 이용하여 사용자의 얼굴 영역을 추적하고, 얼굴 영역 내에서 능동외관모델 (AAM, Active Appearance Model) 기반 얼굴 특징점 기반 시선 추적 연구를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 본 논문에서 제안하는 모바일 환경에서 사용자 얼굴 및 얼굴

특징점 추적 방법과 이를 기반으로 한 시선 추적하는 방법에 대하여 소개하고, III장에서 모바일 환경에서의 시선 추적 정확도에 관한 실험결과 및 고찰, IV장에서 결론의 순으로 구성되어 있다.

2. 본 론

2.1 시선 추적 알고리즘의 흐름도

본 연구에서는 그림 1과 같은 흐름도에 의해 UMPC환경에서의 시선 추적 알고리즘을 개발하였다. 먼저, UMPC 내장 카메라에 의해 취득된 얼굴 영상으로부터 적응적 상승 기법 (Adaboost, Adaptive Boost) 기반 얼굴 영역을 검출한다. 검출된 얼굴 영역에서 미리 정해진 눈, 코의 영역을 설정하고 이 영역에서 이진화, 성분 명명화 (Component Labeling) 등의 방법을 이용하여 양 눈 및 콧구멍의 위치를 검출한다. 이 위치를 기반으로 능동외관모델 (AAM, Active Appearance Model)의 초기 위치 및 크기 값을 지정하여 AAM을 이용하여 보다 정확한 얼굴 특징점들의 위치를 검출한다. 검출된 얼굴 특징점들이 형성하는 삼각형의 기하학적 모양 변화를 이용하여 UMPC 화면상의 시선 위치를 검출하게 된다. 보다 자세한 연구 내용은 다음 절에서부터 소개된다.

2.2 얼굴 영역 검출

UMPC 내장 카메라에서 사용자의 얼굴이 취득되면, 그림 2와 같이 Adaboost 얼굴 검출기[22]를 이용하여 얼굴 영역을 검출한다[21]. Adaboost 얼굴 검출

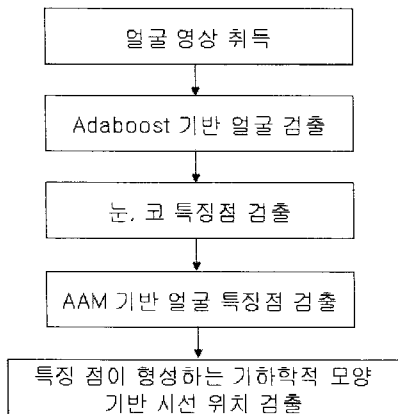


그림 1. 시선 추적 알고리즘의 흐름도



그림 2. 사용자의 UMPC 이용 시, UMPC 내장 카메라에서 실시간 얼굴 영역 검출 결과

방법은 간단한 Haar wavelet 형태의 마스크를 사용하고 통계모델로써 분류기(Classifier)의 상승 트리(Boosting Tree)를 사용한다. 이 때 분류기는 고정된 크기의 영상을 이용하여 결정되고, 탐색 윈도우를 통해서 전체 영상의 각 영역에서 찾고자 하는 물체가 있는지를 판단하게 된다. 영상이나 분류기의 배율을 조정하여 다양한 크기의 물체를 찾을 수 있다. 탐색 방법의 기본 요소는 Haar wavelet 형태의 특징과 원하는 물체인지 아닌지를 구별하는 하나의 특징을 사용하는 간단한 약 분류기(Weak Classifier)이다. 실제의 분류기들은 수백 개의 특징들이 사용되기 때문에 직접적인 화소의 합은 연산하는 것의 검출 속도를 매우 느리게 만든다. 하지만 Viola [22]의 Integral 영상 방법을 사용하면 아주 빠르게 연산을 할 수 있다. 계산된 특징값은 보통 참(True)과 거짓(False)의 두 가지 값이나 세 가지 값을 나타낼 수 있는 아주 간단한 결정 트리 분류기 (Decision Tree Classifier)의

입력으로 사용한다. 이때 모든 각각의 분류기는 원하는 물체를 찾을 수 없기 때문에 약 분류기로 불린다. 실제로는 빠른 처리 시간을 위해서는 매우 많은 개수의 약 분류기들 만큼이나 매우 많은 큰 학습 집합들이 요구된다. 반면, Viola [22]은 계속적으로 복잡성을 증가시키는 상승 분류기(Boost Classifier)를 만들고 간단한 분류기가 앞쪽에 있도록 직렬 형태(Cascade)로 추가를 하였다.

본 연구에서는 30명의 사용자를 대상으로 Adaboost 얼굴 검출기를 실험결과, 입력 영상에서 99.2%의 정확도로 얼굴 영역을 검출하였다. 그리고 UMPC에서 Adaboost로 얼굴을 검출하는데 약 50 ms/frame의 처리 속도를 나타냄을 알 수 있었다.

2.3 양 눈 및 코끝의 위치 검출

이후, 검출된 얼굴 박스 내에서 그림 3과 같이 눈이 존재할만한 박스 영역을 지정한다. 그림 3과 같이 눈이 존재할만한 박스 영역을 수평방향으로 길게 잡은 이유는 얼굴의 수평방향 회전 시 눈의 위치가 얼굴 경계 부근에 존재할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 그림 3과 같이 눈 영역을 찾고, 추출된 눈 위치를 기준으로 능동외관모델 (AAM, Active Appearance Model)[23-25]를 이용하여 얼굴 특징점들을 추출하였다[21]. 본 연구에서는 눈 영역을 검출하기 위하여 Adaboost로 검출된 얼굴 영역에서 눈이 존재할 만한 박스 영역을 사전에 지정한 후, 일반적으로 눈 영역의 그레이 레벨이 주위 영역보다 낮다는 특성을 이용하여[27], 이 영역 내에서 p-tile method에 의한 이진화, 성분 명명화 (component labeling), 흑화소의 무게중심 검출을 이용하여 눈의

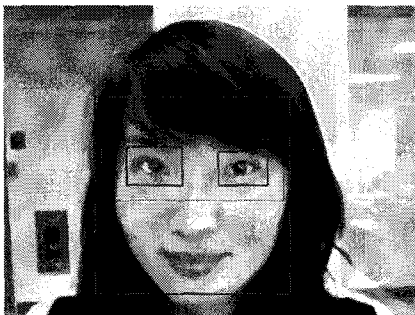


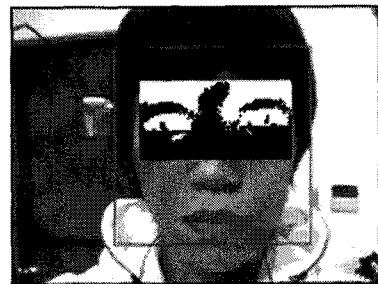
그림 3. Adaboost로 검출한 얼굴 영역에서 일정한 영역 내에 포함되어 있는 양 눈 위치

정확한 위치를 검출 하였다[29]. p-tile method는 눈 존재 박스 내에서 그레이 영상의 히스토그램을 구하고 이중, 검은 화소의 부분이 전체 화소 중에서 미리 정의된 p%정도 반드시 존재한다는 가정 하에 이진화를 수행하는 방식이다. 이때 외부광의 변화가 많은 경우 p-tile method를 사용하더라도 고정된 이진화 임계치를 결정하기 어려운 문제점이 있다.

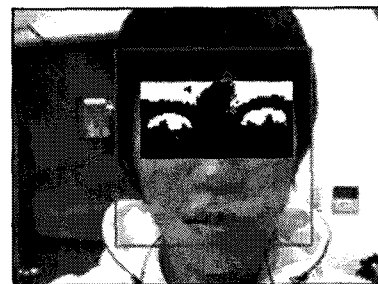
이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 사용하였다. 즉, Adaboost로 검출된 얼굴 영역의 중심을 기준으로 일정한 영역(코 부분)을 사용자의 피부 영역이라고 간주할 수 있다. 이 영역 내에서 피부의 평균밝기를 계산한 후, 눈의 존재 가능 영역에 대하여 임계치를 식 (1)과 같이 결정하고, 이를 적용함으로써 이진화를 수행하였다[21,23].

$$Threshold(eye) = Mean \times \alpha, (Mean = \frac{1}{N} \sum I(x,y), \alpha = constant) \quad (1)$$

식 (1)에서 $I(x, y)$ 는 (x, y) 위치에서의 0부터 255 사이의 값을 가지는 화소의 밝기값, N 은 얼굴 영역 중심부위의 피부영역의 화소 개수, 그리고 α 는 실험적으로 구한 계수(0.49)이다. 이진화 과정을 거친 영



(1) 동적 임계치를 적용한 이진화된 영상



(2) (1)의 결과에 대해 형태학적 연산을 적용한 결과

그림 4. UMPC 내장 카메라로 입력된 영상에서 눈 영역의 존재가능 범위에서의 이진화 및 형태학적 연산 처리

상은 그림 4-(1)에서와 같이 눈썹을 포함하여 이진화가 되는 경우 눈 영역만을 추출하기 어렵다. 따라서 이진화를 거친 영상에 형태학적 연산(morphology operation)을 통하여 그림 4-(2)와 같이 눈썹이나 그 외의 잡음(머리카락, 그림자 등)을 눈 영역과 분리시켰다[29].

이진화와 형태학적 연산을 거친 눈 영역의 존재가 능력위에 대해서 전술한 바와 같이 라벨링(Labeling)을 수행하게 된다[29]. 라벨링을 거치고 나면 각 영역이 구분된 각각의 눈 후보 영역들은 식 (2)와 식 (3)에 의해 중심 좌표를 구하게 된다 [21,23].

$$x_c = \frac{1}{n_x} \sum x \text{ (if } I(x, y) = 255 \text{)} \quad (2)$$

$$y_c = \frac{1}{n_y} \sum y \text{ (if } I(x, y) = 255 \text{)} \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)에서 $I(x, y)$ 는 (x, y) 에서의 화소 그레이값, n 은 $I(x, y)$ 가 255인 화소의 개수를 나타낸다. 라벨링 이후, 양 눈 이외에 다른 영역들도 포함하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이를 해결하기 위하여 눈 영역의 존재가능 영역을 왼쪽과 오른쪽 눈에 대하여 분리하고 각 분리된 영역에서 중심 위치에 라벨링 된 영역을 눈 위치라고 판단하고 이를 채택하였다. 30명에 대한 실험결과 양 눈 검출의 평균 RMS(Root Mean Square)오차는 약 2.02화소이다. 이 과정에서 검출된 눈의 위치는 차후에 진행되는 AAM의 초기값으로 적용하게 되고, 영상에서의 정확한 눈동자의 좌표를 AAM의 초기값으로 사용했을 때와 비교했을 때 크게 영향을 주지 않았다. [28]의 연구에서는 눈꺼풀 검출 마스크 및 포물 허프 변환을 이용하여 눈꺼풀을 검출하였으나, 본 연구에서와 같이 눈 영역의 해상도가 낮은 경우에는 적용하기 힘들다. 이에 본 연구에서는 AAM (Active Appearance Model) 방법을 이용하여 눈꺼풀을 포함한 자세한 얼굴 특징점 정보를 추출하고자 한다[21,23].

그림 1에서 언급한 바와 같이 AAM의 초기값을 조정하기 위하여 양 눈의 위치를 추출하게 되면 코끝의 위치를 추출하는 과정이 진행된다. Adaboost로 검출한 얼굴 영역에서 일정한 영역에 코끝의 위치하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 사용자의 얼굴이 회전되는 경우가 많이 발생하기 때문에 검출된 얼굴 영역에서 가로, 세로 방향으로 일정한 간격으로 분할

하였고, 가로 방향에서의 2 ~ 3번째 구간과 세로 방향에서의 4번째 구간을 기준으로 여분의 공간을 두어 사용자의 코의 위치가 충분히 들어오게 하였다.

먼저 사용자의 콧구멍을 기준으로 중심에 위치한다고 가정하고 진행하였다. 코끝의 위치를 추출하기 위해서는 이진화 과정을 먼저 진행하였다. 콧구멍은 다른 피부 영역과는 다르게 안쪽으로 들어가 있는 형태이므로 영상에서 어둡게 나타나기 때문에 이진화를 위한 임계치 설정이 용이하다. 또한 이와 더불어 앞서 구한 사용자 얼굴의 피부 평균 밝기를 기준으로 임계치를 설정하였다. 이진화 과정을 거친 영상에 대해서 형태학적 연산을 수행하여 콧구멍 이외에 다른 노이즈를 제거하였다. 이진화 및 형태학적 연산을 거친 영상에서 검출된 콧구멍의 중심을 코끝으로 간주하고 이를 추출하였다. 30명에 대한 실험결과 콧구멍 검출의 평균 RMS(Root Mean Square)오차는 약 3.31화소이다.

2.4 AAM에 의한 얼굴 특징 추출 및 시선 추적

전술한 바와 같이 양 눈과 코끝의 위치를 추출하게 되면 사용자 얼굴과 모니터 사이의 Z거리를 대략적으로 파악할 수 있기 때문에 AAM 모델의 크기(scale) 값을 조정할 수 있다. 즉, 사용자 얼굴이 화면과 각각 다른 거리(Z거리 방향으로)에 위치해 있을 경우, 양 눈과 코끝을 연결하여 생기는 삼각형 크기가 달라지게 된다.

또한 검출된 양 눈의 위치를 기반으로 AAM의 초기 위치를 결정하였다[21,23]. 일반적으로 AAM은 식 (4)와 식 (5)와 같이 얼굴이 포함하고 있는 윤곽(shape)과 텍스처 (appearance) 정보를 주성분 분석법 (Principal Component Analysis)을 이용하여 차원(Dimension)을 줄이고, 최적화 (Optimization) 규칙을 기반으로 입력 영상에서 얼굴의 특징점의 정확한 위치를 검출하는 연구 방법이다[24,25].

$$s = s_0 + \sum_{i=1}^l c_i s_i \quad (4)$$

$$A(x) = A_0(x) + \sum_{i=1}^l c_i A_i(x) \quad (5)$$

2차원 얼굴 형태를 나타내는 모델은 식 (4)와 같이 얼굴 특징점의 평균(mean, base shape)과 주성분 계수(Principal Component Coefficient)로 구성되어 있

고, 2차원 얼굴 텍스처를 나타내는 모델은 식 (5)와 같이 얼굴의 텍스처의 화소 값을 나타내는 RGB 값들의 평균과 주성분으로 구성되어 있다. 여기서 s_0 와 $A_0(x)$ 는 각각의 평균, $c = (c_1, c_2, \dots, c)^T$ 로 주성분을 나타낸다.

AAM을 학습시키기 위해서 30명을 대상으로 각각 모바일 기기의 화면의 정면, 모서리 네 점을 회전을 하여 응시하게 하였으며 각 5~10장씩 총 210장을 사용하였다. 또한 안경을 착용한 사람은 착용했을 때와 착용하지 않았을 때를 각각 촬영하였다. AAM을 사용하여 얼굴 특징점을 추출하는 정확도를 측정하기 위해서 학습하지 않은 추가 30명분의 200장을 가지고 실험한 결과, 학습한 영상에 대해서는 2.06 화소, 학습하지 않은 영상에 대해서는 3.88 화소의 RMS 오차가 나타났다. 이때 오차는 손으로 직접 표시한 얼굴 특징점의 위치와 AAM으로 자동 검출한 특징점의 위치사이의 화소 RMS (Root Mean Square)에러를 나타낸다. 이 결과는 학습데이터의 수를 늘려 많은 데이터의 특징을 포괄하는 모델을 만들으로써 보완이 가능하다. 이처럼 AAM초기값을 적용시키게 되면 학습된 모델에 의해서 식 (6) [25]를 사용해서 각각의 특징점들의 평균값과 주성분 값이 입력 값과의 차가 최소로 수렴할 때까지 반복해서 진행한다.

$$\sum_{x \in s_0} \left[A_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i A_i(x) - I(W(x;p)) \right]^2 \quad (6)$$

이 때, s_0 (base mesh)에서의 화소가 x 라고 가정했을 때, 형태 정보는 입력영상 I 의 상응하는 화소를 $W(x; p)$ 라고 표시한다. 또한 $A(x) = A_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i A_i(x)$ 는 화소 x 에서의 텍스처를 나타낸다.

이로부터 얼굴 특징점의 정확한 위치를 검출하면, UMPC 사용자의 시선방향에 따라 특징점들이 형성하는 삼각형의 크기 및 상대적인 면적 비 변화가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 삼각형의 크기 및 상대적인 면적 비 변화를 기반으로 UMPC 상의 시선 위치를 계산하였다. 즉, 초기에 사용자가 UMPC 모니터 상의 4지점을 쳐다보게 한 후, 이때 구한 6 삼각형의 크기를 각각 저장한다. 이후, 사용자 얼굴의 회전 및 이동이 발생하는 경우 초기 4지점을 볼 때 저장한 값 대비 변화된 값을 기반으로 선형 보간법을 이용하여 UMPC 모니터 상의 시선 위치를

구하게 된다. 이때 얼굴의 이동시에는 삼각형의 면적 변화보다는 AAM으로 구한 얼굴 특징점의 무게중심의 이동 량을 기반으로 시선 위치를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구는 아래 그림 5와 같은 환경에서 실험을 진행하였다. UMPC는 CPU 1.2 Ghz, 메모리 512MB, 화면은 4.5인치로 800 × 600 화소의 공간해상도 및 Windows-XP OS 사용하고 있다[31]. 본 연구에서 제안하는 시선 추적 프로그램은 Microsoft Visual Studio C++ 2005, DirectX 9.0c SDK (Software Development Kit)의 DirectShow를 사용하여 구현하였다.

UMPC 모니터 상에 사용자의 시선 위치 정확도를 파악하기 위하여 모니터 상의 12개의 점(검은색 점)을 30명의 사용자가 응시하도록 하고, 이때 계산된 시선 위치와 실제 응시해야할 위치 사이의 최소 자승 에러(RMS error)를 측정하였다. 실험 결과 약 1.77도의 시선 위치 추출 에러 성능을 나타냈다. 이러한 시선 추적 에러를 보정하기 위하여 본 연구에서는 얼굴 움직임에 의한 추가적인 마우스 움직임으로 전술한 시선 위치 에러를 보정하였다. 매 영상마다 처리속도

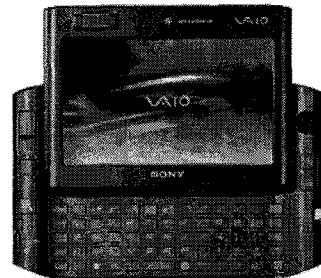
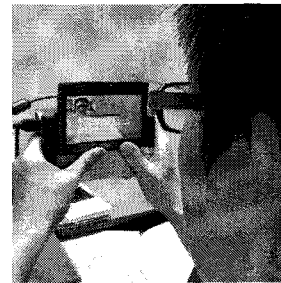


그림 5. UMPC환경에서의 시선 추적 및 사용된 UMPC 기기

는 약 100ms정도로 초당 10장의 속도로 사용자의 시선위치를 추적할 수 있었다. 다음으로 본 논문의 AAM에 의한 얼굴 특징점 추출 및 시선 추적이 아닌, 기존의 방식에 의한 시선 위치 검출 성능을 비교하였다. 기존의 다른 방식으로는 이진화 및 성분 명명화에 의한 눈의 양 꼬리, 콧구멍, 입의 양 끝점 검출 및 시선 추적 방법[32]와, sobel filtering을 통해 추출된 얼굴의 수평 및 수직방향 에지 투영(projection) 정보를 이용하여 양 눈 대비 얼굴 중심의 회전각을 측정하는 방식[33] 등이다. 또한 추가로 [34]의 방식과도 비교했는데, 이 방식에서는 Adaboost face detector로 얼굴을 검출한 후, 눈, 코, 입과 같은 자세한 얼굴의 특징점을 추출하지 않고, 검출된 얼굴 면내에서 LGO (Localized Gradient Orientation) 히스토그램을 이용하여 얼굴의 회전 및 이동에 대한 특징을 추출하고 이를 SVR (Support Vector Regression)의 입력으로 사용하여 시선위치를 추출하는 방식이다. 다음 표 1은 4 방법의 시선 추출 정확도를 나타낸 것이다. 실험 결과 본 논문의 방법이 가장 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

다음으로 표 2와같이 UMPC 화면과 사용자 얼굴 간의 Z거리에 따른 시선 추출 정확도를 측정하였다. 일반적으로 모바일 기기를 손으로 들고 사용하는 거리인 30cm를 기준으로 +-10cm 범위 내에서의 시선 위치 추출 정확도를 측정하였다. 실험결과 Z 거리에 따라 시선 위치의 저하는 발생하지 않는 것으로 조사되었다. 이는 II.6절에서 언급한 바와 같이 본 논문의 시선 추적 방법에서는 초기에 사용자가 UMPC 모니터

상의 4지점을 쳐다보게 한 후, 이때 구한 6 삼각형의 크기를 각각 저장한 후, 사용자 얼굴의 회전 및 이동이 발생하는 경우 초기 4지점을 볼 때 저장한 값 대비 변화된 값을 기반으로 선형 보간법을 이용하여 UMPC 모니터 상의 시선 위치를 구하기 때문이다. 오히려, 20 cm 정도로 UMPC 화면과 사용자 얼굴이 가까워진 경우, 취득된 사용자 얼굴 및 얼굴 특징점간 공간 해상도가 증가되어 시선 추출 정확도가 조금 상승함을 알 수 있었다.

기존의 시선 추적 연구결과와는 달리 본 연구에서는 작은 크기의 화면을 가지는 이동단말기 (UMPC) 상에서의 시선 위치 추출 연구를 수행하였다. 전술한 바와 같이 이동단말기 환경은 화면 크기가 작기 때문에 보다 정밀한 시선 정확도가 요구된다. 또한 일반적으로 CPU 속도가 데스크탑 환경보다 느리기 때문에 정교한 3D 기반 시선 추적 방법을 수행하기는 적합하지 않다. 하지만 손으로 들고 사용하므로, 모바일 장치 카메라와 사용자 얼굴까지의 거리가 데스크탑 환경보다 가까워서, 영상의 해상도가 보다 높고 이러한 요인에 의해 시선 정확도를 향상할 수 있는 요소가 되기도 한다. 하지만 반대로 데스크 탑 환경에서는 카메라는 고정되어 있고, 사용자 얼굴만 움직이지만, 이동단말기 환경에서는 손으로 들고 있는 단말기 및 사용자 얼굴이 동시에 움직이므로, 영상내의 움직임 흐림 현상이 보다 빈번하게 발생할 수 있는 요소가 존재한다.

표 1. 시선 추출 정확도 비교

| | [32]의 방법 | [33]의 방법 | [34]의 방법 | 제안하는 방법 |
|---------------|----------|----------|----------|---------|
| 시선 추출 정확도 (도) | 4.3 | 5.1 | 8.3 | 1.77 |

표 2. Z거리에 따른 시선 추출 정확도 비교

| Z거리 (cm) | 시선 추출 정확도 (도) |
|----------|---------------|
| 20 | 1.71 |
| 25 | 1.76 |
| 30 | 1.77 |
| 35 | 1.77 |
| 40 | 1.78 |

4. 결 론

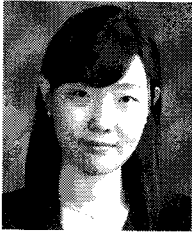
기존의 대부분 연구들은 큰 모니터를 사용하는 데스크탑 환경에서 시선 추적 시스템을 개발하였다. 최근 이동단말기의 사용 증대로 이동 중에 시선 추적에 의한 단말기 제어의 필요성이 증대되고 있다. 이에 본 연구에서는 이동형 UMPC (Ultra-Mobile PC) 및 UMPC 내장 카메라를 이용하여 사용자의 얼굴 및 AAM (Active Appearance Model) 기반 얼굴 특징점 기반 시선 추적 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 30명의 사용자를 대상으로 Adaboost 얼굴 검출기를 실험결과, 약 1.77도의 시선 오차를 발생하였으며, 이러한 오차는 UMPC의 작은 화면에서 세밀한 화면제어가 어렵게 만드는 요소가 된다. 하지만 본 연구에서는 추가적인 얼굴 움직임에 의한 마우스 움직임

기능으로 이러한 시선 오차는 더욱 줄일 수 있음을 알 수 있었으며, 이러한 방식을 통해 모바일 환경에서 실용적으로 시선 추적 기술을 구현할 수 있었다. 향후 사용자의 눈동자 움직임에 의한 시선 추적 알고리즘을 개발하고 이 결과를 결합함으로써 보다 정확한 시선 추적 시스템을 개발하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Jacob, R. and J. K., "Eye Movement-Based Human-Computer Interaction Techniques : Toward Non-Command Interfaces," *Advances in Human-Computer Interaction*, H. R. Hartson and D. Hix, Editors., Ablex Publishing Co., pp. 151-190, 1993.
- [2] L. E. Sibert, and R. J. K. Jacob, "Evaluation of Eye Gaze Interaction," *Proceedings of the SIGCHI Conference*, pp. 281-288, 2000.
- [3] Ohno, T. "Quick Menu Selection Task with Eye Mark," *Transactions of Information Processing Society of Japan*, Vol.40, No.2, pp. 602-612, 1999.
- [4] Yamato, M., Monden, A., Matsumoto, K., Inoue, K. and Torii, K., "Quick Button Selection with Eye Gazing for General GUI Environments," *International Conference on Software: Theory and Practice*, August 2000.
- [5] Andrew T. Duchowski, Vinay Shiva Shankar-iah, Tim Rawls, Anand K.Gramopadhye, Brian J. Melloy, and Barbara Kanki, "Binocular Eye Tracking in Virtual Reality for Inspection Training," *Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, pp. 89-96, 2000.
- [6] Jeong Jun Lee, Kang Ryoung Park, and Jaihie Kim, "Gaze Detection System under HMD Environment for User Interface," *Joint Conference of ICANN/ICONIP*, June 2003.
- [7] 이의철, 박강령, "HMD (Head Mounted Display)에서 시선 추적을 통한 3차원 게임 조작 방법 연구," *대한전자공학회 논문지*, 제 45권 2호 sp편, pp. 49-64, 2008년 3월.
- [8] Daniel Cheng and Roel Vertegaal, "An Eye for an Eye: A Performance Evaluation Comparison of the LC Technologies and Tobii Eye Trackers," *Proceedings of ACM Eye Tracking Research and Applications Symposium*, San Antonio, 2004.
- [9] Shen-Wen Shih, and Jin Liu, "A Novel Approach to 3-D Gaze Tracking Using Stereo Cameras," *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics Part B*, Vol.34, No.1, pp. 234-245, Feb. 2004.
- [10] Dong Hyun Yoo and Myung Jin Chung, "Non-Intrusive Eye Gaze Estimation without Knowledge of Eye Pose," *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 2004.
- [11] 이의철, 박강령, "눈동자 시선 추적에 의한 3차원 1인칭 슈팅 게임," *한국정보처리학회 논문지*, 제12-B권 제4호, pp. 465-472, 2005년 8월.
- [12] "Method and Apparatus for Tracking Gaze Position," 미국 특허 출원 중 (출원 번호 : 11/91813, 출원일 : 2007.12.06), 발명자 (이의철 외)
- [13] Eui Chul Lee, and Kang Ryoung Park, "A Robust Eye Gaze Tracking Method based on Virtual Eyeball Model," *Machine Vision and Applications*, Vol.20, Issue 5, pp. 319-337, 2009.
- [14] Eui Chul Lee, and Kang Ryoung Park, "A Study on Eye Gaze Estimation Method Based on Cornea Model of Human Eye," *Lecture Notes in Computer Science (MIRAGE 2007)*, Vol.4418, pp. 307-317, INRIA Rocquencourt, France, Mar. 28-30, 2007.
- [15] You Jin Ko, Eui Chul Lee, and Kang Ryoung Park, "A Robust Gaze Detection Method by Compensating for Facial Movements Based on Corneal Specularities," *Pattern Recognition Letters*, Vol.29, Issue 10, pp. 1474-1485, 15 July 2008.
- [16] You Jin Ko, Eui Chul Lee, and Kang Ryoung Park, "A Study on Robust Eye Gaze Tracking

- System Allowing the Natural Facial Movements," *ACCV'07 Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing*, Tokyo, 19 Nov. 2007.
- [17] 고유진, 이의철, 박강령, "적외선 환경에서 얼굴 및 눈동자 움직임이 자유로운 시선 위치 추적에 대한 연구," 2006년 한국 차세대컴퓨팅학회 논문 발표회, 일산 KINTEX, 2006.11.16-17.
- [18] 이의철, 박강령, "사용자 시선 추적을 통한 3차원 FPS 게임 화면 조정," 2006년 한국 차세대컴퓨팅학회 논문 발표회, 일산 KINTEX, 2006. 11. 16-17.
- [19] Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, Min Cheol Whang, and Junseok Park, "Robust Gaze Tracking Method for Stereoscopic Virtual Reality System," *Lecture Notes in Computer Science (HCI International 2007)*, Vol.4552, pp. 700-709, Beijing, China, July 22-27, 2007.
- [20] Eui Chul Lee, Kang Ryoung Park, Min Cheol Whang, and Joa Sang Lim, "Vision-based Gaze Estimation Method For Stereoscopic Display Systems," *Proceedings of 10th International Federation of Automatic Control (IFAC)*, Ritz-Carlton Hotel, Seoul, Korea, 4-6 Sep., 2007.
- [21] Eui Chul Lee, You Jin Ko and Kang Ryoung Park, "Gaze Tracking Based on AAM and Multiple SVR on Mobile Device," *Optical Engineering*, Vol. 48, No. 7, pp. 077002-1 - 077002-11, 2009.
- [22] P. Viola, M. J. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," *International Journal of Computer Vision*, Vol.57, No.2, pp. 137-154, 2004.
- [23] You Jin Ko, "A Study on Gaze Detection Technology," *A Master Thesis of Sangmyung University*, 2009. 2.
- [24] Cootes, T. F., Edwards, G. J., and Taylor, C. J, "Active Appearance Models," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.23, No.6, pp. 681-685, 2001.
- [25] DTU(Technical university of Denmark) IMM face database, <http://www2.imm.dtu.dk/~aam/>(accessed on August 26, 2009)
- [26] K. Ando *et al.*, "Effects of Phencyclidine, Secobarbital and Diazepam on Eye Tracking in Rhesus Monkeys," *Psychopharmacology*, Vol.81, No.4, pp. 295-300, 1983.
- [27] Dal-ho Cho, Kang Ryoung Park, Dae Woong Rhee, Yanggon Kim, and Jonghoon Yang, "Pupil and Iris Localization for Iris Recognition in Mobile Phones," *Proceedings of SNPD*, Las Vegas Nevada, USA, June 19-20, 2006.
- [28] 장영균, 강병준, 박강령, "홍채 인식을 위한 포물 허프 변환 기반 눈꺼풀 영역 검출 알고리즘," 대한전자공학회 논문지, 제 44권 SP편, 제01호, pp. 94-104, 2007년 1월,
- [29] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2/E, Prentice Hall, 2002
- [30] Gregory A. Baxes, *Digital Image Processing-Principles and Application*, Wiley.
- [31] <http://www.nbinside.com/sony/UX17LP/UX17LP.htm> (accessed on August 26, 2009).
- [32] 이정준, 박강령, 김재희, "얼굴의 회전 및 이동분석에 의한 응시 위치파악," 대한전자공학회, 제 39권(SP편), 제5호, pp. 59-67, 2002년 9월.
- [33] Kenichi Ohue, Yukinori Yamada, Shigeyasu Uozumi, Setsuo Tokoro, Akira Hattori, and Takeshi Hayashi, "Development of a New Pre-crash Safety System," *Proceedings of the Society of Automotive Engineers*, Detroit, MI, USA, April 3-6, 2006.
- [34] Erik Murphy-Chutorian, Anup Doshi, and Mohan Manubhai Trivedi, "Head Pose Estimation for Driver Assistance Systems: A Robust Algorithm and Experimental Evaluation," *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Seattle, WA, USA, Sept. 30 - Oct. 3, 2007.



고 유 진

2007년 상명대학교 미디어학부
학사 졸업
2007년~2009년 2월 상명대학교
컴퓨터 과학과 석사과정
2009년 1월~엠택비전 연구원
관심분야 : 영상처리, 패턴인식,
컴퓨터 비전, HCI



박 강 령

1994년 연세대학교 전자공학과
졸업
1996년 연세대학교 전자공학과
석사
2000년 연세대학교 전기·컴퓨
터공학과 박사

2000년~2003년 LG 전자 기술원 Digital Vision Group
선임연구원
2003년~2008년 상명대학교 소프트웨어대학 디지털미
디어학부 조교수
2008년~현재 동국대학교 전자공학과 부교수
2003년~현재 생체인식연구센터 총괄과제책임자
관심분야 : Biometric 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 vis-
ion, 컴퓨터 그래픽스