

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.2.65>

JIIBC 2014-2-9

모바일 디바이스 기반의 멀티 모달 사용자 거리 추정 시스템

Multi-Modal User Distance Estimation System based on Mobile Device

오병훈*, 홍광석**

Byung-Hun Oh*, Kwang-Seok Hong**

요약 본 논문에서는 모바일 디바이스에 기본적으로 제공되는 모노 카메라와 모노 마이크의 멀티 모달 입력을 통하여 사용자와 모바일 디바이스간의 거리를 추정하는 방법을 제안한다. 영상을 이용한 거리 추정은 모노 카메라로 입력되는 영상에서 피부색 영역을 추출하고, 노이즈를 제거한 후에 얼굴 영역 및 눈 영역을 검출하여 사용자의 거리를 추정한다. 음성을 이용한 거리 추정은 모노 마이크로 입력되는 음성으로부터 가장 큰 피크(Peak)를 선정하고, ROI(Region of Interest)를 지정한 후에 FFT(Fast Fourier Transform)을 수행하여 주파수 축에서의 크기(Magnitude)를 계산한다. 계산된 크기 값과 거리별 크기 값의 모델을 비교하여 거리 별 우도(Likelihood)를 계산하고, 정렬한 후 가중치를 주어 더함으로써 사용자의 거리를 추정한다. 실험결과 영상 및 음성을 멀티 모달 입력으로 이용하여 거리를 추정한 결과 단일 모달로 거리를 추정한 결과 보다 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract This paper present the multi-modal user distance estimation system using mono camera and mono microphone basically equipped with a mobile device. In case of a distance estimation method using an image, we is estimated a distance of the user through the skin color region extraction step, a noise removal step, the face and eyes region detection step. On the other hand, in case of a distance estimation method using speech, we calculates the absolute difference between the value of the sample of speech input. The largest peak value of the calculated difference value is selected and samples before and after the peak are specified as the ROI(Region of Interest). The samples specified perform FFT(Fast Fourier Transform) and calculate the magnitude of the frequency domain. Magnitude obtained is compared with the distance model to calculate the likelihood. We is estimated user distance by adding with weights in the sorted value. The result of an experiment using the multi-modal method shows more improved measurement value than that of single modality.

Key Words : Face Detection, Distance Estimation, FFT

1. 서론

최근에 스마트폰과 태블릿 PC와 같은 모바일 디바이

스의 보급으로 UI(User Interface)에 대한 관심은 날로 증가하고 있다. 이에 따라 모바일 디바이스에 장착되어 있는 각종 센서를 이용하여 다양한 방식의 인터페이스가

*정회원, 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

**정회원, 성균관대학교 정보통신공학부 교수(교신저자)

접수일자: 2014년 3월 17일, 수정완료: 2014년 4월 7일

게재확정일: 2014년 4월 11일

Received: 17 March, 2014/ Revised: 7 April, 2014

Accepted: 11 April, 2014

*Corresponding Author: kshong@skku.ac.kr

School of Information and Communication Engineering,
Sungkyunkwan University, Korea

개발되고 있으며,^[1-7] 특히, 모바일 디바이스에 탑재된 카메라와 마이크를 이용한 UI 기술 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이와 더불어 카메라와 마이크를 이용한 UI 기술은 사용자와 단말기 간의 거리 및 위치에 따라 UI 성능에 영향을 미치기 때문에 UI를 개발하는데 있어 사용자와 단말기 간의 거리 및 위치정보를 추정하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

모노 카메라 또는 모노 마이크를 이용하여 사용자의 거리를 추정하는 기존 연구를 살펴보면, Rahman 등이 제안한 모노 카메라 기반 사용자 거리 추정 연구에서는 영상 피라미드 구조를 기반으로 한 템플릿 매칭을 이용하여 눈 사이 픽셀 거리를 구하고, 계산된 픽셀 거리를 이용하여 사용자의 거리를 추정하였다.^[8] 하지만 이는 템플릿 매칭에서 사용된 영상 피라미드의 크기에 따라 거리 측정 범위가 7인치에서 31인치로 제한적이고, 정밀도 또한 1인치 단위로 표현되는 단점이 있다. 모노 마이크를 이용하여 사용자의 거리를 추정한 E. Georganti 등의 연구에서는 사용자의 거리에 따른 음성 데이터로부터 다양한 특징 파라미터를 사용하여 거리 별 모델을 구축하고, 입력 음성에 대한 인식 성능을 평가하였다.^[9] 하지만 제한된 환경에서의 모델 구축으로 인해 노이즈가 많은 환경에서는 성능이 떨어지는 단점이 존재한다.

이에 본 논문에서는 모바일 디바이스에서 기본적으로 제공되는 모노 카메라와 모노 마이크의 멀티 모달 입력을 통하여 사용자와 모바일 디바이스 간의 거리를 1mm 단위로 추정하는 방법을 제안하고, 영상 및 음성 각각의 유니모달 거리 추정 평가와 영상 및 음성의 멀티모달 거리 추정 평가를 수행한다.

II. 영상을 이용한 사용자 거리 추정

본 논문에서 제안하는 모노 카메라 기반의 영상을 이용한 사용자 거리 추정 알고리즘은 그림 1과 같다. 우선 카메라로부터 실시간으로 얻은 영상에서 얼굴 검출 영역을 제한하기 위한 전처리 단계를 거친다. 전처리 단계는 해당 영상의 RGB 색상 모델을 $YCbCr$ 컬러 모델로 변환하고, 임계값을 이용하여 피부색 영역의 추출단계, 침식(Erosion)과 팽창(Dilation)을 이용한 영상 노이즈 제거 단계, 그리고 원본 영상과의 AND 연산 단계로 구성된다. 전처리 단계를 거친 영상에서 Adaboost 기반의 얼굴 검

출기 및 눈 검출기를 이용하여 사용자의 거리를 추정하게 된다.

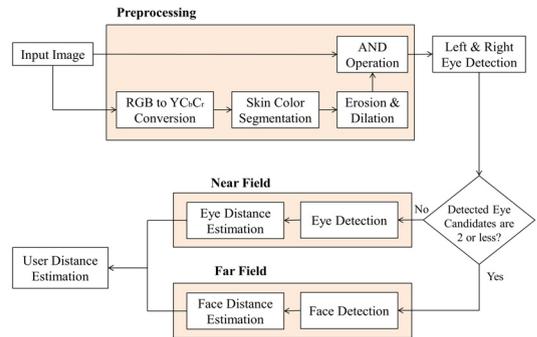


그림 1. 모노 카메라를 이용한 사용자 거리 추정 알고리즘
Fig. 1. User Distance Estimation Algorithm using Mono Camera

1. 피부색 영역 추출

피부색 영역의 추출 및 이진화 단계는 사용자의 얼굴 영역 검출을 위한 전처리 단계로 획득된 RGB 색상 모델 기반의 영상을 $YCbCr$ 색상 모델로 변환하여 C_b 및 C_r 에 임계값을 적용하는 방법으로써 그 임계값은 수식 1과 같이 표현된다.

$$SkinColor(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (77 \leq C_b \leq 127) \cap (133 \leq C_r \leq 173) \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

실험을 통하여 C_b 및 C_r 에 임계값을 각각 설정하여 피부색을 추출하였고, 그 결과는 그림 2와 같다.



그림 2. 원본 영상 및 Skin Color Segmentation 결과 영상

Fig. 2. Original Image and Skin Color segmentation Result Image

2. 침식, 팽창을 이용한 잡음 제거 및 AND 연산

피부색 분리 과정을 통해 이진화(Binarization) 된 영상에서 얼굴 영역의 정확한 검출을 위해 침식 및 팽창 연산을 이용하여 노이즈를 제거하고, 원본 영상과 AND 연

산을 수행하였다. 그 결과는 그림 3과 같다.

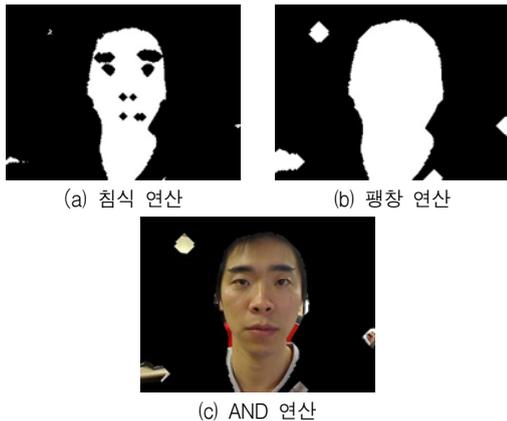


그림 3. 침식, 팽창을 이용한 잡음제거 및 AND 연산 결과
 Fig. 3. Noise Removal using Erosion, Dilation and AND Operation Result

3. Adaboost 기반 얼굴 및 눈 검출기

사용자의 얼굴 및 눈 영역을 검출하기 위하여 Haar-like 특징 기반의 Adaboost 알고리즘을 사용하였다.^[10-11] Adaboost 알고리즘은 얼굴 및 눈 검출을 위해 사용할 수 있는 주요한 특징들을 선택한 후 이런 특징들을 사용한 약한 분류기의 선형적인 결합을 통하여 강한 분류기를 생성하는 것이다. 학습하고자 하는 얼굴, 왼쪽, 오른쪽 눈에 대하여 각각 Positive 영상 7,000장, Negative 영상은 14,000장을 사용하였고, 분류기의 Cascade Stage는 13단계로 학습하였다. 이렇게 훈련된 분류기 Cascade를 XML 파일로 저장하게 되고, 이를 이용하여 얼굴 및 눈 영역을 검출하는데 사용한다.

4. 눈 사이 거리 검출을 위한 히스토그램 분석

사용자의 거리 추정에 사용하기 위한 왼쪽, 오른쪽 눈 사이의 거리 및 위치를 검출하기 위하여 눈 영역 영상을 그레이 영상으로 변환한 후 행과 열에 대하여 각각 히스토그램을 분석하였다. 우선 눈의 정확한 위치를 찾기 위해 각 행과 열 픽셀에 대한 히스토그램을 구하였다. 그리고 이 히스토그램 평활화(Smoothing)를 시킨 후에 히스토그램의 증가, 감소 구간을 정하고, 누적 픽셀의 극대, 극소를 찾게 된다. 그레이 영상에서 히스토그램의 극대 값은 가장 밝은 부분을 의미하고, 극소 값은 가장 어두운 부분 즉, 눈동자나 눈썹의 위치를 의미한다. 이러한 극대,

극소 값을 이용하여 눈동자의 위치를 검출하였다.

5. 얼굴 및 눈을 이용한 거리 추정

본 연구에서는 거리를 추정하기 위하여 얼굴 및 눈 검출기를 이용한다. Adaboost 기반의 얼굴 검출기를 이용하여 얼굴 영역의 픽셀 너비(Width)와 중심 위치로 거리를 추정하는 방법은 사용자가 카메라에서 원거리에 위치한 경우 그 성능이 뛰어나지만 사용자가 근거리에 위치한 경우 얼굴 검출이 실패하게 된다. 따라서 사용자가 근거리에 위치한 경우에는 Adaboost 기반의 왼쪽과 오른쪽 눈 검출기를 이용하여 눈 사이의 픽셀 거리와 중심 위치로 사용자의 거리를 추정한다. 원거리 및 근거리에서의 거리 추정은 다음 수식 2, 3과 같다.

$$\text{Person to Camera Distance} = \frac{\text{Eye distance (cm)} \times \text{Preview width (pixel)}}{\text{pixel distance between eyes (pixel)} \times \tan(\text{FOV}/2) \times 2} \quad (2)$$

$$\text{Person to Camera Distance} = \frac{\text{Face width (cm)} \times \text{Preview width (pixel)}}{\text{pixel distance of face width (pixel)} \times \tan(\text{FOV}/2) \times 2} \quad (3)$$

위 식에서의 각각의 변수는 다음과 같다. Eye distance 및 Face width는 실제 환경에서의 눈 사이 거리 및 얼굴 너비이고, Preview width는 입력 영상의 픽셀 너비, Pixel distance between eyes 및 Pixel distance of face width는 검출된 눈 사이 거리 및 얼굴 너비이며, FOV(Field of View)는 카메라 시야각이다.

III. 음성을 이용한 사용자 거리 추정

본 연구에서 제안하는 모노 마이크 기반 음성을 이용한 사용자 거리 추정 알고리즘은 그림 4와 같다. 사용자로부터 입력되는 음성으로부터 가장 큰 피크 점을 선정하여 피크 점의 전후 2,048 샘플씩을 ROI로 지정하였고, 지정된 4,096 샘플에 512 포인트 FFT를 수행하였다. 주파수 축에서의 크기 값을 계산하고, 계산된 크기 값과 거리 별 크기 값의 모델을 비교하여 거리 별 우도를 계산하였다. 모델 형성 및 분류 알고리즘은 GMM (Gaussian Mixture Model)을 사용하였다. 계산이 완료되면 우도 값을 퀵 정렬(Quick Sort)을 이용하여 정렬하고, 정렬된 값들의 우도 값을 이용하여 가중치를 주어 더함으로써 사용자의 거리를 추정하게 된다.

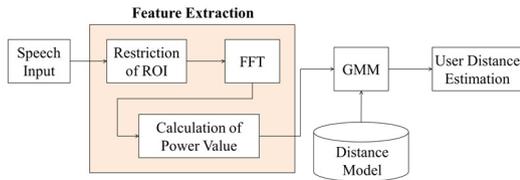


그림 4. 모노 마이크를 이용한 사용자 거리 추정 알고리즘
Fig. 4. User Distance Estimation Algorithm using Mono Microphone

1. 관심영역 제한

입력된 음성은 다양한 자음과 모음의 결합으로 입력되기 때문에 정확한 거리를 추정하기 위하여 ROI 영역을 제한하여야 한다. 따라서 가장 큰 음성 강도(Intensity) 값을 가지는 모음 구간을 거리 추정을 위한 ROI 영역으로 사용한다. ROI 영역의 범위를 3개의 샘플로부터 44,100개의 샘플 수까지 변경해가며 실험을 진행한 결과 4,096개의 샘플 수를 ROI 영역으로 지정하였을 때 가장 좋은 성능을 보였다.

2. FFT를 이용한 특징 추출

ROI 영역에 대해 512 포인트의 FFT를 수행하였다. FFT 수행 결과를 이용하여 각 주파수 별 파워(Power) 값을 계산하고, 계산된 값 중에 모음별 포먼트(Fomant) 값을 참고하여 각 모음에 가장 근사한 주파수 대역을 선정하였다. 이렇게 선정된 주파수 대역은 중복되는 부분을 제외하고, 총 7개를 특징 값으로 사용한다. 추가적으로 근거리의 음성과 원거리의 음성의 구분을 용이하게 하기 위하여 ROI 영역에서의 최대 피크 값을 하나의 특징 값으로 사용하였다.

3. GMM을 이용한 학습 및 분류

위에서 정의한 거리 별 특징 벡터에 대해 학습 및 분류를 위하여 GMM을 적용하였다.^[12] 거리 별 음성 데이터베이스에서 추출된 특징을 이용하여 모델을 구축하였다. GMM을 통한 거리 별 모델 구축 과정에서 본 논문에서는 적합한 Mixture 수를 찾기 위하여 모바일 디바이스 환경에서 1 ~ 50까지 Mixture 수를 변경해가며 모델을 학습하고, 성능을 비교하였다. 성능을 비교한 결과 44개의 Mixture를 사용했을 때 가장 좋은 성능이 나오는 것을 확인하였다.

4. 음성을 이용한 거리 추정

훈련된 6개 모델의 거리 이외에서도 사용자의 거리를 추정하기 위하여 가중치를 적용하였다. 거리 별 가중치는 거리 별로 계산된 우도 값을 이용하며, 아래 3가지 조건을 만족하였을 때 적용하게 된다.

- 조건1: 1st Likelihood < 60
- 조건2: 1st Likelihood - 2nd Likelihood < 5
- 조건3: 2nd Likelihood - 3th Likelihood > 5

실험을 통해 위의 조건을 만족하고, 1st Likelihood - 2nd Likelihood < 2일 경우 Likelihood가 가장 높게 나온 거리와 두 번째로 높게 나온 거리의 가중치를 8:2로 부여하였고, 그 외의 경우에는 9:1로 부여하여 거리를 추정하였다.

IV. 멀티 모달 사용자 거리 추정

본 연구에서 제안하는 멀티 모달 사용자 거리 추정 알고리즘은 그림 5와 같다.

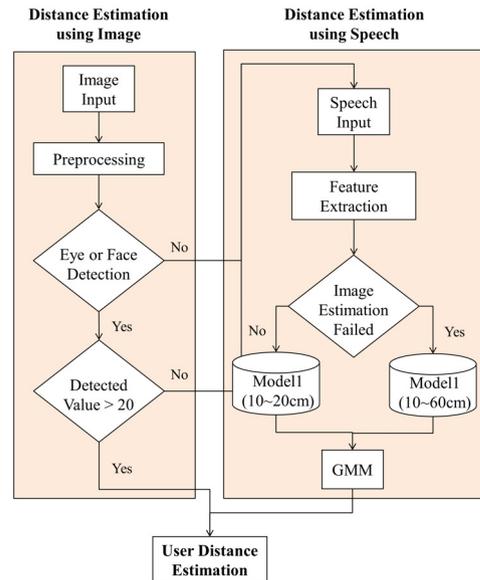


그림 5. 멀티모달 사용자 거리 추정 알고리즘
Fig. 5. Multi-Modal User Distance Estimation Algorithm

시스템이 동작하면 먼저 카메라를 통한 입력 영상으로 사용자 거리를 추정하게 되는데 이는 다양한 환경에서의 실험을 바탕으로 대부분의 경우 음성을 통한 사용자 거리 추정보다는 영상을 통한 사용자 거리 추정이 인식률이 높기 때문이다. 멀티 모달 사용자 거리 추정에서 음성을 통한 거리 추정 시스템은 2개의 모델을 가지고 거리를 추정하게 된다. 모델 1은 추정 거리 범위를 10~20cm로 정하여 모델링을 수행하였고, 모델 2는 추정 거리 범위를 10~60cm로 정하여 모델링을 수행하였다.

실험을 통하여 전체적인 인식률 및 20cm 이상 거리 추정 시에는 영상 거리 추정이 높은 인식률이 나왔고, 20cm 이하에서는 음성 거리 추정이 영상 거리 추정보다 높은 인식률을 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 이 같은 결과에 따라서 영상 거리 추정에서 거리 추정 값이 20cm 이상이 나오면 영상 거리 추정으로 거리를 추정하고, 20cm 이하가 나오면 음성 추정으로 리턴 값이 전달되어 모델 1을 참조하여 음성 추정으로 거리를 추정하게 된다. 영상 거리 추정이 거리 추정에 실패하면 역시 리턴 값이 전달되어 모델 2를 참조하여 음성 추정 시스템으로 거리를 추정하게 된다.

V. 실험 및 결과

본 논문에서 멀티 모달 사용자 거리 추정 프로그램 구현을 위해서 삼성전자 SHW-M250S 사용하였다.

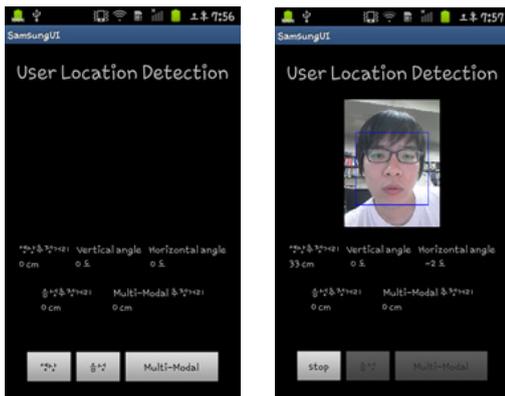


그림 6. 멀티모달 사용자 거리 추정 프로그램
 Fig. 6. Multi-Modal User Distance Estimation Program

멀티 모달 사용자 거리 추정 프로그램은 그림 6과 같이 영상, 음성 및 멀티 모달의 거리 추정을 위한 3개의 버튼과 각각의 결과 값을 나타내기 위한 3개의 텍스트 박스로 구성되어 있다.

성능 평가는 10cm ~ 60cm까지 10cm 간격으로 평가하였는데 이는 사용자가 단말기를 손에 파지하여 사용할 경우의 평균 최대 거리가 일반적으로 60cm이기 때문이다.

1. 영상을 이용한 사용자 거리 추정 성능 평가

영상을 이용한 사용자 거리 추정 성능 평가를 위하여 320 × 240 해상도에서 10 ~ 60cm까지 각 10cm 마다 100장의 DB를 확보하여 성능을 평가하였다.

표 1. 영상을 이용한 사용자의 거리 추정 성능 평가
 Table 1. User's Distance Estimation Performance Evaluation using Image

실제거리(cm)	10	20	30	40	50	60
평균						
검출거리(cm)	13.2	23.3	32.6	38.7	52.7	58.1
거리추정 오차율(%)	24.29	14.19	8.11	3.22	5.24	3.23

표 1과 같이 영상을 이용한 사용자의 거리 추정 성능 평가 결과는 거리 추정 평균 오차율이 9.71%가 나오는 것을 확인하였다.

2. 음성을 이용한 사용자 거리 추정 성능 평가

음성을 이용한 사용자 거리 추정 성능 평가를 위하여 입력 음성은 44.1kHz 샘플링 비율(Sample Rate)에 16 비트(Bit) 해상도(Resolution)를 갖는 모노 채널(Mono Channel)로 녹음 하였으며, 10cm부터 60cm까지 10cm 간격으로 입력 받았다. 총 40문장에 대해 각 문장 별 5회씩 발화하였으며, 모바일 디바이스에서 주로 사용하는 명령어 위주로 문장을 선정하였다.

표 2 음성을 이용한 사용자의 거리 추정 성능 평가
 Table 2. User's Distance Estimation Performance Evaluation using Speech

실제거리(cm)	10	20	30	40	50	60
평균						
검출거리(cm)	12	22.5	36	44.5	43	51
거리추정 오차율(%)	20	12.5	20	11.3	24	15

표 2와 같이 모노 마이크를 이용한 사용자의 거리 추정 성능 평가 결과는 거리 추정 평균 오차율이 17.11%가 나오는 것을 확인하였다.

3. 멀티모달 사용자 거리 추정 성능 평가

표 3과 같이 멀티 모달을 이용한 거리 추정 실험은 10cm ~ 60cm까지 10cm 마다 각 거리 당 20회씩 거리를 추정하여 그 오차율을 계산하였다.

표 3. 멀티모달 거리 추정 성능 평가
Table 3. Multi-Modal Distance Estimation Performance Evaluation

실제거리(cm)	10	20	30	40	50	60
평균 검출거리(cm)	12	22.5	32.6	38.7	52.7	58.1
거리추정 오차율(%)	20	12.5	8.11	3.22	5.24	3.23

멀티 모달을 이용한 사용자의 거리 추정 성능 평가 결과는 거리 추정 오차율이 8.71%가 나오는 것을 확인하였으며, 멀티 모달을 사용하여 거리를 추정한 결과 단일 모달 입력의 영상 및 음성 거리 추정 결과 보다 오차율이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 모바일 디바이스에서 기본적으로 제공되는 모노 카메라와 모노 마이크의 멀티 모달 입력을 통하여 사용자와 모바일 디바이스간의 거리를 추정하는 연구를 진행하였다. 영상을 이용한 거리 추정은 추정 성능 평가에서 거리 추정 오차율 9.71%의 결과를 얻었고, 음성을 이용한 거리 추정은 추정 성능 평가 결과 거리 추정 오차율 17.11%이 나오는 것을 확인하였다. 또한 멀티 모달 입력을 이용한 실험 결과 거리 추정 오차율 8.71%가 나오는 것을 확인하였고, 멀티 모달로 거리를 추정하는 경우 영상으로 거리를 추정한 결과 보다 1%, 음성으로 거리를 추정한 결과 보다 8.4% 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

향후 연구로는 본 연구에서 영상 및 음성의 멀티 모달 거리 추정 방법을 단순하게 스위칭 방식으로 결합하였지만 추후에는 특징 벡터 결합을 통한 멀티 모달 거리 추정

방법의 연구가 필요하다. 또한, 노이즈가 많은 환경에서 사용할 경우 인식률이 떨어지는 경우가 있기 때문에 성능 향상을 위해서 여러 가지 다양한 환경을 고려하여 노이즈에 강인한 거리 추정 시스템을 연구 할 필요가 있다.

References

- [1] A. Mulder, "Hand gestures for HCI", Technical Report 96-1, vol. Simon Fraser University, 1996.
- [2] Ying Wu, Thomas S Huang, "Vision based, Gesture Recognition : A Review", Lecture Notes In Computer Science; Vol. 1739, Proceedings of the International Gesture Workshop Gesture-Based Communication in Human Computer Interaction, 1999.
- [3] O. Bau, I. Poupyrev, A. Israr, C. Harrison, "TeslaTouch: Electro-vibration for Touch Surfaces", UIST, 2010.
- [4] Kitae Hwang, Jae-Moon Lee, "Preliminary Study on Soft Keyboard with Recommendation for Mobile Device", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 6, pp. 137-145, December 2013.
- [5] J. Y. Choi, S. J. Lee, B. C. Jeon, "Home Network Application using Android Mobile Platform", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 10, No. 4, pp. 35-40, August 2010.
- [6] Y. S. Na, D. K. Chung, K. Y. Lee, "Smartphone Controller System using 3-D Acceleration Sensor", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 10, No. 4, pp. 23-28, August 2010.
- [7] S. K. Oh, "Development of Intelligent Services and Analyzing User Behavior Information Using Smartphone", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No1 2, pp. 6441-6446, 2013.
- [8] Rahman, K.A and Hossain, M.S, "Person to Camera Distance Measurement Based on Eye-Distance",

MUE'09, pp. 137-141, 2009.

- [9] E. Georganti, T. May, S. van de Par, A. Harma, and J. Mourjopoulos, "Speaker Distance Detection using a Single Microphone", IEEE Trans. Audio, Speech, and Language Processing, vol. 18, 2010.
- [10] Paul Viola, Michael Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 511-518, 2001.
- [11] Yoav Freund and Robert E. Schapire, "A decision theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting", In Computational Learning Theory: Eurocolt 95, pp.23-37, 1997.
- [12] P. Dhanalakshmi., S. Palanivel, V. Ramalingam, "Classification of audio signals using AANN and GMM," Applied soft computing, vol. 11, No. 1, pp.716-723, 2011.

저자 소개

오 병 훈(정회원)



- 2011년 : 을지대학교 의료전산학과(BS)
- 2013년 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(MS)
- 2014년 ~ 현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사과정
- 주관심분야 : 신호처리, 모바일, 영상처리, 패턴인식

홍 광 석(정회원)



- 1985년 : 성균관대학교 전자공학과 (BS)
- 1988년 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(MS)
- 1992년 : 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(Ph.D)
- 1990년 ~ 1993년 : 서울보건대학 전산정보처리과 전임강사
- 1993년 ~ 1995년 제주대학교 정보공학과 전임강사
- 1995년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 오감인식, 융합 및 재현, HCI

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2010-0020210) 및 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2013008899).