

모바일 로봇을 위한 저해상도 영상에서의 원거리 얼굴 검출

Detection of Faces Located at a Long Range with Low-resolution Input Images for Mobile Robots

김도형[†], 윤우한¹, 조영조², 이재연²

Do Hyung Kim[†], Woo Han Yun¹, Young-jo Cho², Jaejeon Lee²

Abstract This paper proposes a novel face detection method that finds tiny faces located at a long range even with low-resolution input images captured by a mobile robot. The proposed approach can locate extremely small-sized face regions of 12x12 pixels. We solve a tiny face detection problem by organizing a system that consists of multiple detectors including a mean-shift color tracker, short- and long-range face detectors, and an omega shape detector. The proposed method adopts the long-range face detector that is well trained enough to detect tiny faces at a long range, and limiting its operation to only within a search region that is automatically determined by the mean-shift color tracker and the omega shape detector. By focusing on limiting the face search region as much as possible, the proposed method can accurately detect tiny faces at a long distance even with a low-resolution image, and decrease false positives sharply. According to the experimental results on realistic databases, the performance of the proposed approach is at a sufficiently practical level for various robot applications such as face recognition of non-cooperative users, human-following, and gesture recognition for long-range interaction.

Keywords : Small Face Detection, Mean-shift, Omega Shape Detection, Human Robot Interaction

1. 서론

얼굴 검출 기술은 영상 내에서 얼굴의 위치를 파악하는 기술로서 얼굴 인식, 휴먼 추종, 제스처 인식, 시선 맞춤 등의 인간로봇상호작용 분야에서의 다양한 응용 서비스의 개발을 위해 필수적으로 요구되는 핵심기술이다. 얼굴 검출 기술은 새로운 기술이 아니며, 다양한 방법의 연구가 오랫동안 수행되어 왔다. 다양한 조명, 포즈, 표정 변화에도 강인하게 얼굴을 검출할 수 있는 방법에 대하여 가장 많은 연구가 이루어졌으며, 이 외에도 검출 속도 및 메모리 최적화에 의한 임베디드 시스템에 적합한 얼굴 검출 방

법, 선글라스 또는 마스크 등에 의하여 부분적으로 가려진 얼굴을 검출하는 방법 등 그 연구 분야가 다양하다^[1,2]. 이와 같이 얼굴 검출 분야는 다양한 접근 방법으로 오랜 기간 동안 활발하게 연구되어 왔으며 그 결과 최근 디지털 카메라 등의 모바일 기기에 상용화 될 정도로 기술이 급속도로 발전하였다^[3].

이렇듯 얼굴 검출 기술을 활용한 시스템들이 보안 감시 및 멀티모달 인터페이스 분야 등에서 널리 적용되고 있지만, 로봇 환경에서는 기존의 시스템들이 사용하고 있는 얼굴 검출 기술과는 다른 능력을 필요로 한다.

먼저, 로봇 환경에서의 얼굴 검출 시스템은 원거리에 위치하는 작은 얼굴도 검출할 수 있어야 한다. 로봇이 사용자에게 지능형 서비스를 제공하기 위해서 사용자에게 제약을 가하는 것은 비현실적이며 로봇 환경에서의 사용자 또한 전혀 협조적이지 않다. 다시 말해 로봇이 얼굴 검출을 활용한 지능형 서비스를 제공함에 있어 항상 사용자에게 제한된 거리 내로 접근하기를 요구한다면 이를 지능

Received : July 23, 2009; Reviewed : Oct. 1, 2009; Accepted : Oct. 5, 2009

※ 이 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT원천기술개발 사업의 일환으로 수행하였음.[2008-F-037-01, u-로봇 HRI 솔루션 및 핵심소자 기술개발]

[†] 교신저자 : 한국전자통신연구원 선임연구원(dhkim008@etri.re.kr)

¹ 한국전자통신연구원 연구원(yochin@etri.re.kr)

² 한국전자통신연구원 책임연구원(youngjo, leeje@etri.re.kr)

형 서비스라고 부르는 곤란하다. 사용자와 로봇간의 상호작용은 제한적인 거리 내에서 뿐만 아니라 원거리에서도 발생할 수 있다. 따라서 거리에 상관없이 지속적이고 확장된 서비스를 제공하기 위해서는 원거리의 얼굴 검출 능력이 요구된다. 또한, 사용자의 요청에 의해서 서비스가 개시되는 상황이 아니라, 로봇이 스스로 상황을 인지하여 서비스가 필요한 사용자에게 찾아가는 서비스(proactive service)를 제공하는 시스템이라면 원거리 얼굴 검출 능력은 필수적이다.

두 번째 요구사항은 카메라가 이동하는 중에도 사용자의 얼굴을 검출할 수 있어야 한다는 것으로 이는 로봇 환경에서는 당연히 만족되어야 하는 필수조건이다. 로봇에게 핵심적으로 요구되는 기능 중의 하나는 이동성이며, 대부분의 서비스 로봇이 이러한 기능을 만족하고 있다. 따라서 고정된 환경을 가정으로 하고 있는 얼굴 검출 시스템은 모바일 로봇 환경에서는 전혀 쓸모가 없다.

마지막으로, 단일 카메라로부터 획득한 저해상도 입력 영상만을 이용하여 얼굴을 검출할 수 있어야 한다. 대부분의 가정용 모바일 로봇의 경우, 비용절감의 이유로 웹 카메라 수준의 저가의 단일 카메라만을 장착하고 있으며, 처리장치의 성능도 일반 개인용 컴퓨터에 비해 현저히 낮다. 이러한 저가형 로봇 시스템을 고려한다면 단일 저해상도 입력 영상만으로 얼굴을 검출할 수 있는 능력이 요구된다. 또한, 복수개의 고해상도 영상 입력 장치를 보유한 로봇 플랫폼이라고 하더라도 저해상도 영상 기반 얼굴 검출 능력은 계산처리 비용을 경감시키므로 전체 시스템의 계산 처리 자원 확보에 유리하다.

언급한 바와 같이 로봇용 얼굴 검출 시스템은 사용자와 로봇이 동시에 이동하는 환경에서 저가의 카메라가 입력 받은 저해상도 영상만을 이용하여 원거리에 위치하는 작은 얼굴도 검출할 수 있어야 한다.

그러나 기존의 얼굴 검출 기술들 중에서 언급한 로봇 환경에서의 요구사항을 모두 만족하는 기술은 없다.

우선 기존의 대부분의 얼굴 검출 기술들은 카메라와 사람 사이의 거리가 3미터 이내인 근거리에서, 얼굴 크기 20x20 픽셀 이상의 비교적 큰 얼굴만을 검출 대상으로 하고 있다. 국내의 로봇에 장착된 얼굴 검출 기술 또한 근거리 얼굴만을 검출하고 있다^[4,5]. 일부 원거리의 작은 얼굴의 검출이 가능하다고 발표된 연구들도 고가의 카메라로 촬영된 고해상도 영상을 입력으로 받거나 줌(zoom)기능을 가진 복수개의 카메라를 활용하여 문제를 해결하고 있다^[6]. 저가의 카메라만을 이용하여 원거리의 얼굴을 검출할 수 있다고 주장하는 연구들은 고정된 카메라를 가정하고 있어 카메라와 사람이 동시에 움직이는 로봇 환경에는

적합하지 않다^[7].

따라서 본 논문에서는 로봇 환경에서 원거리의 매우 작은 얼굴도 검출할 수 있는 실용적인 기법을 제안한다.

제안하는 얼굴 검출 시스템은 다음과 같이 로봇 환경에서의 요구조건을 만족한다.

- 단일 카메라로부터 획득한 320x240 픽셀 크기의 저해상도 입력 영상만으로 얼굴 검출을 수행한다.
- 최소 12x12 크기의 초소형 정면 얼굴을 검출한다.
- 카메라가 이동 중에도 얼굴 검출이 가능하다.

제안하는 시스템은 기존의 근거리에서만 주로 수행되는 얼굴인식 및 제스처인식 등의 얼굴검출 응용 기술들의 인식 가능한 범위를 확장하여 사용자의 편의성 증대와 보다 적극적인 서비스의 제공을 가능하게 한다.

2. 원거리 얼굴 검출 시스템

본 논문에서 제안하는 로봇 환경에서의 원거리 얼굴 검출 시스템은 mean-shift 컬러 추적, 근·원거리 얼굴 검출, 머리와 어깨를 포함하는 사람의 상반신 영역인 오메가 형상 검출 등의 결과를 효율적으로 결합하여 연속된 영상 내에서의 최소 12x12 픽셀 크기의 얼굴 영역의 위치를 연속적으로 산출한다. mean-shift 컬러 추적기와 오메가 형상 검출기는 얼굴을 검출하기 위한 탐색 영역을 설정하는 역할을 하며, 근·원거리 얼굴검출기는 설정된 탐색 영역 내에 존재하는 얼굴을 검출한다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 로봇 환경에서의 원거리 얼굴 검출 시스템의 흐름도이다.

카메라로부터 획득된 320x240 저해상도 영상이 입력 되면 먼저 mean-shift 알고리즘을 사용하여 얼굴 스킨 컬러 추적을 수행한다^[8].

Mean-shift 알고리즘은 설정된 영역의 컬러분포와 가장 유사한 컬러분포를 가지는 영역을 추적하는 알고리즘으로 확률분포의 중심 값을 찾기 위해 확률분포의 기울기 값을 반복적으로 찾아가는 방법이다. 즉, 주어진 탐색 윈도우 내의 컬러 값들 중에서 설정된 영역의 컬러분포와 유사한 컬러분포를 가지는 픽셀들의 평균위치와 컬러공간에서의 평균값을 계산하고, 계산된 지점으로 이동하여 다시 같은 작업을 반복하여 탐색 윈도우 내의 극대 값이 존재하는 지점으로 수렴한다. Mean-shift 추적 알고리즘은 컬러 정보만을 사용하므로 추적하고자 하는 객체의 형태에 제약이 없고, 알고리즘이 간단하여 실시간으로 추적이 가능하다는 장점이 있다.

본 시스템에서는 고정된 얼굴 피부색 컬러 mean-shift 모델을 미리 구축하지 않고, 사용자의 피부색 컬러 모델을

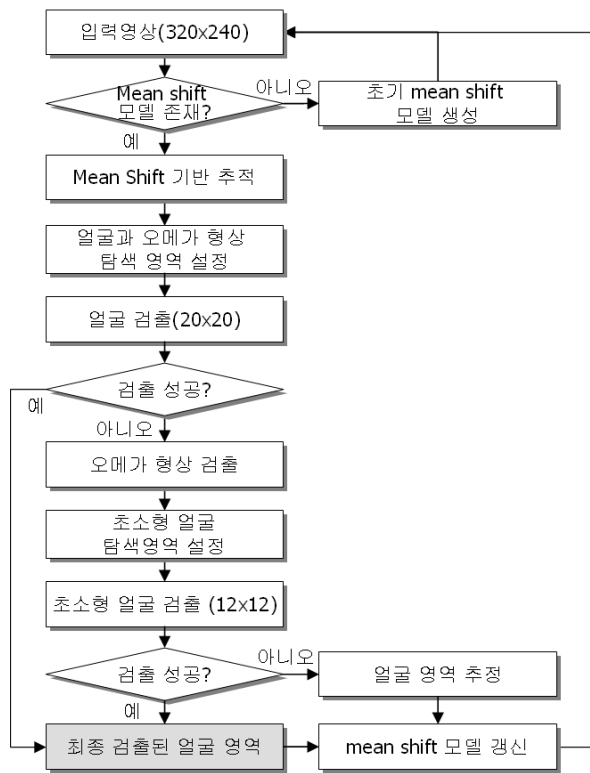


그림 1. 원거리 얼굴검출 시스템 흐름도

동적으로 생성한다. 즉, 입력 받은 영상에 대하여 얼굴 검출을 수행하여 검출된 얼굴 영역 내의 컬러로 초기 컬러 모델을 생성한다. 이 후 영상에서는 검출된 얼굴 영역을 기점으로 mean-shift 컬러 추적을 수행하게 된다.

Mean-shift 기반 컬러 추적기는 설정된 피부색 컬러 모델과 가장 유사한 컬러를 가지는 영역을 그 결과로 산출하게 되고 산출된 결과는 그림 2의 (a)의 ① 같다. Mean-shift 기반 컬러 추적기는 컬러 정보를 사용하고 있기 때문에 조명의 변화에 취약하며 추적하고 있는 컬러와 유사한 컬러가 배경에 존재하는 경우 추적의 정확도가 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 제안한 얼굴 검출 시스템에서는 mean-shift 기반 컬러 추적기를 직접적으로 얼굴을 검출하기 위한 목적이 아니라, 얼굴 검출기와 오메가 형상 검출기를 위한 탐색 영역 설정 목적으로만 이용한다. 그림 2의 (a)의 ②와 ③은 각각 mean-shift 컬러 추적 결과를 바탕으로 설정된 얼굴 및 오메가 형상 탐색 영역을 보여준다.

Mean-shift 컬러 추적기에 의하여 얼굴 탐색 영역이 설정되면, 전체 영상이 아닌 탐색 영역 내에서만 얼굴 검출을 수행한다. 본 시스템에서 적용된 얼굴 검출기는 adaboosting 기법을 기반으로 구현되었으며, 최소 20x20 픽셀 크기의 얼굴을 안정적으로 검출할 수 있도록 훈련되었다^[9]. 얼굴검출기를 훈련하기 위한 특징으로는 modified

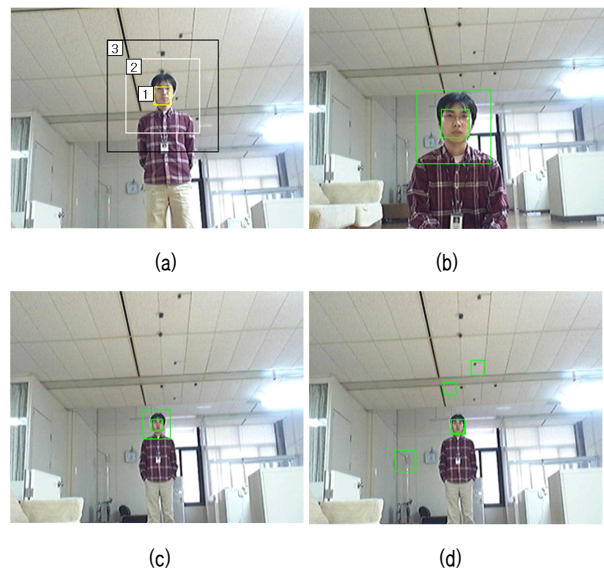


그림 2. 원거리 얼굴 검출 시스템의 중간 결과 영상들의 예 :
 (a) mean-shift 컬러 추적결과 ① 및 설정된 얼굴 탐색 영역 ② 및 오메가 형상 탐색 영역 ③
 (b) 근거리에서 검출된 얼굴 영역 및 오메가 형상 영역의 예
 (c) 원거리에서 검출된 얼굴 영역 및 오메가 형상 영역의 예
 (d) 탐색 영역의 설정 없이 전체 영상에서 원거리 얼굴 검출을 수행하였을 경우의 얼굴 오검출의 예

census transform(MCT)을 사용하였다^[10]. MCT는 3x3 탐색 윈도우 내에서 화소의 밝기 값을 511개의 패턴 중의 하나로 변환한다. 그림 3과 같이 중앙 픽셀 값을 9개 픽셀의 평균 값과 비교하여 평균 값보다 크면 1을, 작으면 0을 할당한다. 이러한 패턴들은 로컬 공간 정보들을 나타내므로 조명에 강인한 특성을 지닌다. 그림 4는 MCT 패턴과 조명에 강인한 특성을 지니는 MCT의 예를 보여준다.

얼굴검출 과정은 그림 5와 같다. 영상이 입력되면 지정된 비율에 의하여 영상을 축소하고, MCT를 수행한다. MCT에 의해 변환된 영상에서 adaboosting 기법으로 혼

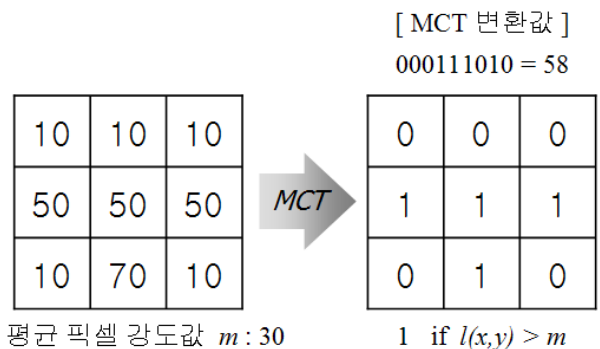


그림 3. Modified Census Transform의 예

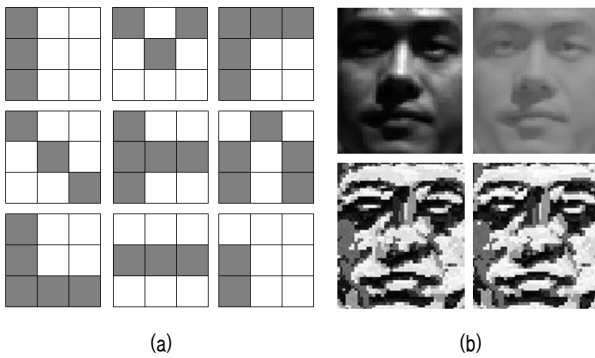


그림 4. Modified Census Transform(MCT):
(a) MCT 패턴의 예 (b) 조명의 변화에 강인한 MCT의 예

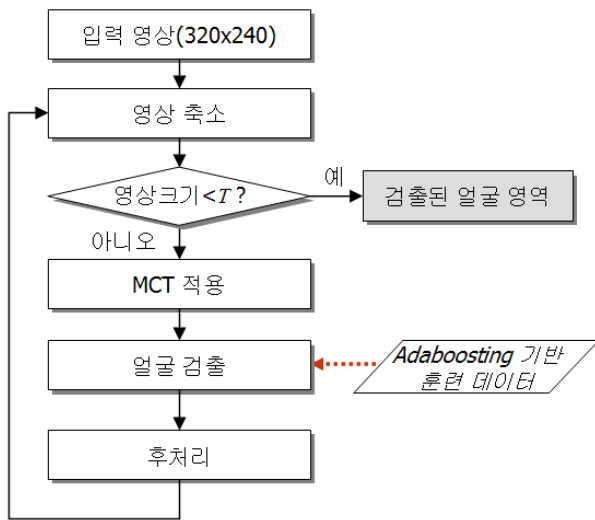


그림 5. Adaboosting 기반 얼굴 검출 흐름도

러던 데이터를 이용하여 얼굴을 찾는 과정을 거친다. 얼굴을 찾는 과정의 결과로 산출되는 얼굴 겹침 횟수, 검출된 얼굴의 확률 값 정보를 이용하여 얼굴을 검증하는 후처리 과정을 거친다. 후처리를 마친 후 다시 영상을 축소하여 동일한 과정을 거치며 이는 축소된 영상의 크기가 지정된 임계치 T 보다 작아질 때까지 반복한다.

사람과 로봇간의 거리가 약 3미터 이내의 비교적 가까운 거리라면 그림 2의 (b)와 같이 앞서 언급한 근거리 얼굴 검출기로 얼굴 검출이 가능하다. 그러나 사람이 로봇으로부터 3미터 이상 떨어진 위치에 존재하여 얼굴 영역의 크기가 20x20 픽셀 크기보다 작아진다면 얼굴을 검출할 수 없게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 앞서 언급한 근거리 얼굴검출기와 동일한 방법으로 최소 12x12 픽셀 크기의 매우 작은 얼굴도 검출할 수 있는 원거리 얼굴 검출기를 구현하였다.

그림 6에서와 보는 바와 같이 12x12 픽셀 크기는 눈, 코, 입 등의 얼굴 구성요소들을 모두 포함하기에는 매우 작은 크기이므로 이러한 크기를 가지는 얼굴을 모바일 로봇이 정확히 검출하기란 매우 어렵다. 다시 말해, 이러한 크기의 얼굴을 잘 검출할 수 있도록 훈련을 하게 되면 그림 2의 (d)와 같이 얼굴이 아닌 부분이 얼굴로 검출되는 오검출률의 증가가 불가피하다. 반대로 오검출이 발생하지 않도록 훈련을 하게 되면 얼굴이 거의 검출되지 않는다. 따라서 얼굴 검출기가 잘 훈련이 되었다고 하더라도, 얼굴 검출기만을 사용해서는 원거리 저해상도의 매우 작은 얼굴을 검출하는 문제를 해결할 수 없다.

본 연구에서는 원거리의 얼굴을 최대한 잘 검출할 수 있도록 훈련된 원거리 얼굴 검출기를 사용하되 얼굴 탐색 영역을 최대한 제한하여 설정함으로써 이러한 문제를 해결한다.

최소 20x20 픽셀 크기의 얼굴을 검출할 수 있는 근거리 얼굴 검출기가 얼굴 검출에 실패를 하면 오메가 형상 검출기가 구동된다. 오메가 형상이란 머리와 어깨를 포함하는 사람의 상반신 영역을 의미하며 얼굴에 비해 패턴이 단순하여 검출하기에는 다소 어렵지만 얼굴보다 물리적인 크기가 크므로 원거리에서도 검출이 가능한 장점이 있다. 오메가 형상 검출기 또한 얼굴 검출기와 마찬가지로 adaboosting 기법을 기반으로 구현하였으며, 최소 24x24 픽셀 크기의 오메가 형상을 검출할 수 있도록 설계하였다. 오메가 형상 검출이 성공하면, 원거리 얼굴 검출기는 검출된 오메가 형상 영역 내에서만 최소 12x12 이상의 얼굴을 검출한다.

마지막으로 원거리 얼굴 검출기에 의하여 최종 검출된 얼굴 영역 내의 컬러로 mean-shift 컬러 모델을 갱신하고 다음 영상에서는 갱신된 모델을 이용하여 mean-shift 컬러 추적을 수행한다. 원거리 얼굴 검출기가 얼굴 검출을 실패하면 검출된 오메가 형상을 기준으로 얼굴 영역이 추

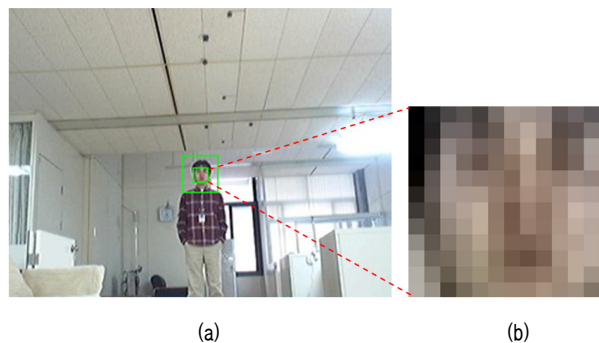


그림 6. 원거리에서 검출된 얼굴의 예 :
(a) 5미터에서 획득된 320x240 입력영상 (b) 12x12 얼굴영역

정되고, 추정된 얼굴 영역 내의 컬러로 mean-shift 컬러 모델을 갱신한다.

본 얼굴 검출 시스템에서 근거리 얼굴 검출기와 원거리 얼굴 검출기를 따로 두어 구성하는 이유는 훈련된 얼굴 크기에 따른 성능의 차이에 있다. 근거리 얼굴 검출기는 20x20의 비교적 큰 얼굴로 훈련되었기 때문에 12x12로 훈련된 원거리 얼굴 검출기에 비하여 오검출률이 낮아 그 결과의 신뢰도가 높다. 따라서 제한된 탐색 영역 내에서만 얼굴 검출을 수행한다고 하더라도 같은 조건이라면 근거리 얼굴 검출기를 구동하는 것이 전체 시스템의 신뢰도 향상에 유리하다.

이상 설명한 바와 같이 본 시스템은 mean-shift 컬러 추적기와 얼굴 및 오메가 형상 검출기를 유기적으로 결합하여 저해상도 영상에서의 원거리 얼굴 검출 문제를 해결하고 있다. mean-shift 컬러 검출기는 근거리 얼굴 검출기와 오메가 형상 검출기의 탐색 영역을 제공하고, 오메가 형상 검출기는 원거리 얼굴 검출기의 탐색 영역을 제공한다. 제한된 탐색 영역 내에서의 검출기의 구동은 검출률과 처리속도를 높이는 반면 오검출률을 현저히 줄이는 장점을 지닌다. 또한 최종 검출된 얼굴 영역으로 mean-shift 컬러 추적기의 컬러 모델이 다시 갱신되기 때문에, 조명의 변화에 취약하며 추적하고 있는 컬러와 유사한 컬러가 배경에 존재하는 경우 추적의 정확도가 떨어지는 mean-shift 컬러 추적기의 근본적인 오류를 보정한다.

3. 실험 결과

그림 7과 같이 근·원거리 얼굴 검출기의 훈련을 위해 인터넷 또는 직접 촬영을 통해서 25,060 장의 얼굴 영상과 60,000 장의 비 얼굴 영상을 수집하였다. 같은 방법으로 오메가 형상 검출기를 위해서도 9,666장의 오메가 형상 영상과 오메가 형상이 없는 50,000장의 영상을 수집하였다. 수동으로 표시한 두 눈의 좌표 값을 이용하여 수집된 영상에서 얼굴에 해당하는 영역을 잘라낸 후 동일한 얼굴 크기를 가지도록 정규화 하였다. 오메가 영상 또한 수동으로 표시한 오메가 영역을 포함하는 사각형의 좌표 값을 이용하여 정규화 하였다.

제안된 원거리 얼굴 검출 시스템의 평가척도로는 *recall rate*와 *precision rate*를 사용하였다.

$$recall\ rate = \frac{N_c}{N_t} \quad (1)$$

$$precision\ rate = \frac{N_c}{N_c + N_f} \quad (2)$$



그림 7. 얼굴과 오메가 형상 검출기의 훈련을 위해 사용된 영상의 예 :
 (a) 얼굴이 포함된 훈련용 영상의 예
 (b) 오메가 형상이 포함된 훈련용 영상의 예
 (c) 얼굴과 오메가 형상이 포함되지 않은 훈련용 영상의 예

N_c 와 N_f 는 각각 얼굴을 정확하게 검출한 정검출의 개수와 얼굴이 아닌 영역을 얼굴이라고 검출한 오검출의 개수이다. N_t 는 수집된 영상에 포함된 얼굴의 총 개수이다. 본 실험평가에서의 정검출이란 오직 얼굴 검출기에 의한 정검출만을 의미하며 mean-shift 컬러 추적기로부터 추적된 얼굴 영역이나 오메가 검출기로부터 추정된 얼굴 영역은 정검출 대상에서 제외한다.

제안된 시스템의 성능 평가를 위해 2가지의 서로 다른 종류의 데이터베이스를 구성하였다.

첫 번째 데이터베이스는 근·원거리에서의 얼굴 검출 시스템의 성능을 비교 평가하기 위해 카메라와 사람간의 거리를 달리하여 획득된 데이터베이스이다. 1미터에서 5미터까지의 5개의 거리 별로 9명의 사용자가 10개의 서로 다른 장소에서 촬영하여 총 450개의 동영상을 생성하였다. 각 동영상은 초당 5 프레임의 속도로 10초간 촬영하여 총 50개의 프레임으로 구성되어 최종 수집된 영상의 개수는 총 22,500장이다. 일반 가정과 유사한 환경으로 구성된 테스트베드 환경에서 촬영하였으며 촬영 대상자는 카메라를 정면으로 응시하고 좌우로 조금씩 움직이도록 요청 받았다.

두 번째 데이터베이스는 실제 로봇 환경에서 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위한 목적으로 구축되었다. 로봇이 10 degree/sec의 각속도로 제자리에서 좌우로 회전하는 상태에서 8명의 촬영 대상자가 3미터에서 5미터의 거리에서 자유롭게 움직이도록 요청 받았다. 4명은 실내에

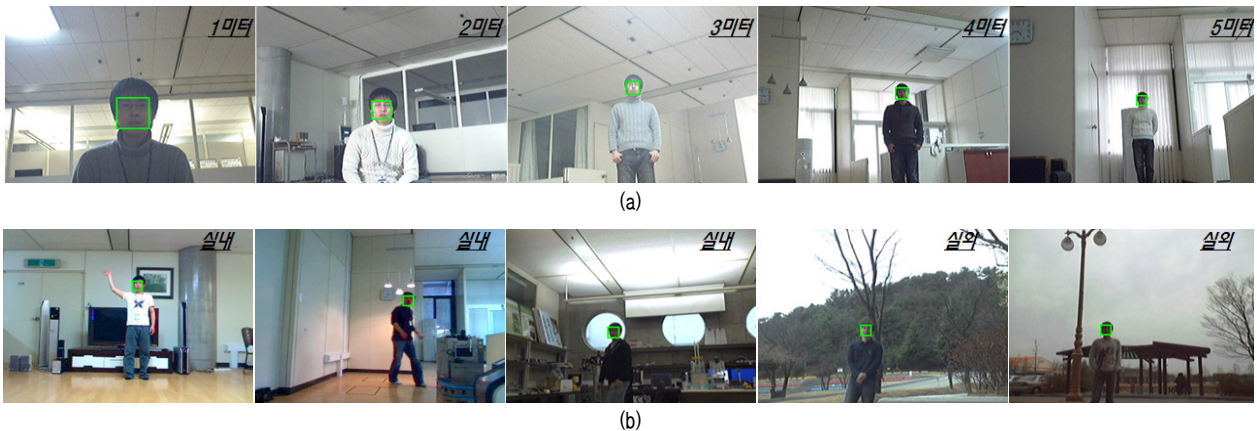


그림 8. 검출된 얼굴 영역의 예 :

- (a) 일반적인 가정환경에서 거리 별로 구성된 데이터베이스에서 검출된 얼굴 영역의 예 (1미터-5미터)
- (b) 실내외의 실제 로봇 환경에서 수집된 데이터베이스에서 검출된 얼굴 영역의 예 (실내/실외)

서 촬영하였고, 나머지 4명은 실외에서 촬영하였다. 초당 5프레임 속도로 총 5,196 프레임이 촬영되었고 이 중에서 정면 얼굴이 보이는 경우는 총 3,203회였다. 그림 8은 두 데이터베이스에서 사용된 영상의 예와 제안된 시스템에 의해 검출된 얼굴 영역을 보여준다.

두 가지 서로 다른 종류의 데이터베이스에 대하여 제안한 시스템의 성능을 평가한 결과는 표 1, 2와 같다.

표 1은 실내 가정환경에서의 거리 별 얼굴 검출 성능을 비교한 결과이다. 총 22,500장의 영상에 대하여 평균 0.9737의 recall rate를 보였으며 이는 제안한 얼굴 검출 시스템이 일반적인 가정환경에서 거리에 상관없이 강인하게 얼굴을 검출할 수 있음을 의미한다. 특히 평균 검출된 얼굴의 크기가 13x13인 원거리의 매우 작은 얼굴에 대해서도 0.9009의 recall rate를 나타내었다. 비록 근거리에서의 얼굴 검출 성능보다는 다소 낮지만 13x13 픽셀 크기가 아주 작은 크기임을 감안하면 우수한 결과라고 할 수 있다. 또한 평균 precision rate도 0.9980으로 매우 높으며, 이는 오검출이 거의 발생하지 않음을 의미한다.

표 1 가정 환경에서의 거리 별 얼굴검출 성능

거리 (미터)	검출된 평균 얼굴크기(픽셀)	N_i	N_c	N_f	Recall rate	Precision rate
1	61 x 61	4500	4499	0	0.9998	1.0
2	32 x 32	4500	4500	0	1.0	1.0
3	20 x 20	4500	4476	4	0.9947	0.9991
4	16 x 16	4500	4379	32	0.9731	0.9927
5	13 x 13	4500	4054	8	0.9009	0.9980
합		22500	21908	44	0.9737	0.9980

표 2 실제 로봇 환경에서의 얼굴검출 성능

순번	촬영환경	N_i	N_c	N_f	Recall rate	Precision rate
1	실내	357	340	49	0.9524	0.8740
2	실내	402	382	23	0.9502	0.9432
3	실내	366	331	32	0.9044	0.9118
4	실내	487	475	8	0.9754	0.9834
5	실외	467	397	42	0.8501	0.9043
6	실외	450	367	64	0.8156	0.8515
7	실외	329	261	48	0.7933	0.8447
8	실외	345	287	21	0.8319	0.9318
합		3203	2840	287	0.8842	0.9056

표 2는 실제 로봇 환경에서의 얼굴 검출 성능을 평가한 결과이다. 사람이 협조적으로 로봇을 바라보는 표 1에서의 성능과 비교해 볼 때 평균 recall rate가 0.8842로서 상대적으로 성능이 낮다. 하지만, 표 2에서 제시하는 성능은 매우 열악한 환경에서의 결과임을 고려하여야 한다. 다시 말해 표 2의 실험에 사용된 데이터베이스는 실내외의 다양한 조명 변화를 포함하고 있으며, 사람은 카메라를 의식하지 않고 원거리에서 계속해서 이동하고 있다. 더구나 저가의 웹 카메라로 촬영한 320x240 픽셀 사이즈의 저해상도 입력영상에서의 얼굴 검출 결과이다. 이러한 가혹한 환경을 모두 고려해 본다면 0.8842의 recall rate와 0.9056의 precision rate은 매우 고무적인 결과이며, 다양한 로봇 서비스에 충분히 적용 가능한 수준이라고 할 수 있다.

이상의 실험 결과에서는 편의상 한 명만이 존재하는 영상으로 실험을 수행하였으나, 제안한 원거리 얼굴 검출 시스템은 그림 9와 같이 다수명의 사람에 대해서도 안정적으로 동작한다.

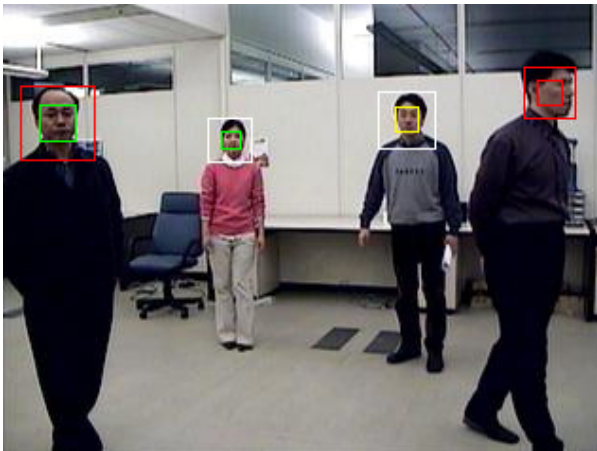


그림 9. 복수명의 얼굴을 검출한 예

4. 결론

본 논문에서는 로봇환경에서 원거리의 매우 작은 얼굴도 검출할 수 있는 시스템을 제안하였다. 본 연구의 기여 사항을 크게 두 가지로 요약하면 아래와 같다.

첫째, 로봇 환경에서의 얼굴 검출 기술의 요구사항을 만족하는 기술을 제안하였다. 즉, 제안한 시스템은 원거리에 위치하고 있는 매우 작은 얼굴도 안정적으로 검출할 수 있으며, 고정형 카메라가 아닌 모바일 로봇에 탑재된 이동형 카메라에서도 얼굴 검출이 가능하다. 또한 단일 카메라로부터 획득된 저해상도 입력 영상만을 이용하여 얼굴을 검출하므로 저가의 시스템에도 적용 가능한 장점을 지닌다.

둘째, 실제 지능형 로봇 서비스에 활용 가능한 수준의 실용적인 얼굴 검출 시스템을 개발하였다. 대용량의 실제적인 데이터베이스를 구축하여 실험한 결과에서 보여주듯이, 제안한 시스템은 열악한 환경에도 불구하고 얼굴 검출률이 높은 반면에 오검출률은 매우 낮아 상용화 로봇 서비스에 충분히 적용 가능한 수준이다. 본 기술은 사용자의 의도적인 협조를 기대할 수 없는 로봇용 얼굴인식, 사람과 로봇이 동시에 움직이는 휴먼 추종, 로봇과의 원거리 상호작용을 위한 제스처인식 등의 응용에 사용할 수 있다. 또한 원거리의 정확한 얼굴검출은 측면 및 후면 얼굴 추적의 안정성을 보장하는데도 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] M. Yang, D.J. Kriegman, and N. Ahuja, "Detecting

Faces in Images: A Survey," IEEE Trans. on PAMI, vol. 24, no. 1, pp. 34-58, 2002.

[2] L. Goldmann, U.J. Monich, and T. Sikora, "Components and Their Topology for Robust Face Detection in the Presence of Partial Occlusions," IEEE Trans. on Information Forensics and Security, vol. 2, no. 3, pp. 559-569, 2007.

[3] S. Kim, J. Lee, R. Lee, E. Hwang, and M. Chung, "User-Friendly Personal Photo Browsing for Mobile Devices," ETRI Journal, vol. 30, no. 3, pp. 432-440, 2008.

[4] Papero, http://www.nec.com.jp/products/robot/english/tech/image_03.html

[5] Asimo, <http://world.honda.com/ASIMO/technology/intelligence.html>

[6] G. Medioni, J. Choi, C.H. Kuo, A. Choudhury, Li Zhang, and D. Fidaleo, "Non-Cooperative Persons Identification at a Distance with 3D Face Modeling," IEEE Int'l. Conf. on Biometrics, pp. 1-6, 2007.

[7] K. Baek, H. Jang, Y. Han, and H. Hahn, "Efficient Small Face Detection in Surveillance Images Using Major Color Component and LDA Scheme," Lecture Notes on Computer Science, vol. 3802, pp. 285-290, 2005.

[8] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis", IEEE Trans. on PAMI, vol. 24, no. 5, pp. 603-619, 2002.

[9] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. I-511-I-518, 2001.

[10] B. Jun and D. Kim, "Robust real-time face detection using face certainty map," IEEE Int'l. Conf. on Biometrics, vol. 4642, pp. 29-38, 2007.



김도형

- 2000 부산대학교 전자계산학 (이학사)
- 2002 부산대학교 전자계산학 (이학석사)
- 2009 부산대학교 컴퓨터공학 (공학박사)

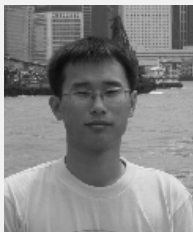
2002~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
관심분야: 인간로봇상호작용, 로봇비전, 패턴인식



조영조

- 1983 서울대학교 제어계측공학과 (학사)
- 1985 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사)
- 1989 한국과학기술원 전기및전자공학과(박사)

1989~2001 한국과학기술연구원 선임/책임연구원
2001~2004 (주)아이콘트롤스 기술연구소장
2004~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야: 로봇지능제어, 네트워크로봇응용



윤우한

- 2004 성균관대학교 정보통신공학부(공학사)
- 2006 포항공과대학교 컴퓨터공학(공학석사)
- 2006~현재 한국전자통신연구원 연구원

관심분야: 인간로봇상호작용, 패턴인식



이재연

- 1984 서울대학교 제어계측공학과 (학사)
- 1986 한국과학기술원 전기 및전자공학과 (석사)
- 1996 일본 동해(Tokai) 대학 광공학과 (박사)

1986~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
관심분야: 영상처리, 인간로봇상호작용, 로봇비전