

# 로봇과 인간의 상호작용을 위한 얼굴 표정 인식 및 얼굴 표정 생성 기법

## Recognition and Generation of Facial Expression for Human-Robot Interaction

김도형\*, 정성욱, 김도윤, 정명진

(Do Hyoung Kim, Sung Uk Jung, Do-Yoon Kim and Myung Jin Chung)

**Abstract :** In the last decade, face analysis, e.g. face detection, face recognition, facial expression recognition, is a very lively and expanding research field. As computer animated agents and robots bring a social dimension to human computer interaction, interest in this research field is increasing rapidly. In this paper, we introduce an artificial emotion mimic system which can recognize human facial expressions and also generate the recognized facial expression. In order to recognize human facial expression in real-time, we propose a facial expression classification method that is performed by weak classifiers obtained by using new rectangular feature types. In addition, we make the artificial facial expression using the developed robotic system based on biological observation. Finally, experimental results of facial expression recognition and generation are shown for the validity of our robotic system.

**Keywords :** facial expression recognition, rectangle feature, AdaBoost, facial expression generation, active vision, human-robot interaction

### 1 서론

휴머노이드(Humanoid)와 같이 인간과 유사한 형태와 기능을 가진 로봇 개발이 활발히 진행되면서, 로봇들의 활동 범위 또한 인간의 생활 영역인 회사, 가정으로 점차 확대되고 있다. 이러한 로봇의 사회 진출로 인해 로봇과 인간의 빈번한 접촉이 예상되고, 이러한 맥락에서 인간과 로봇과의 상호작용에 대한 연구 역시 그 중요도가 증가하고 있다[1].

인간과 로봇의 상호작용을 위해서는 상호 입출력이 자연스럽게 이루어져야 한다. 사람들끼리의 의사소통하는 모습을 상상해 본다면 서로간의 자연스러운 감정 표현이 얼굴의 표정이나 손짓 등으로 나타나는 것을 쉽게 발견할 수 있을 것이다. 로봇과 인간의 상호작용이 좀 더 원활하게 이루어지기 위해서는 인간의 감정 상태를 인식하고 로봇의 내부 상태를 적절하게 표현할 수 있어야 한다. 이러한 표현에 있어서 얼굴은 가장 중요한 역할을 수행한다. 표정 이외의 다른 행동들은 표정을 보조하는 역할을 하지만, 얼굴 표정은 다른 행위의 도움 없이도 한 사람의 감정을 전달하고 있다. 팔의 움직임이나 몸짓, 목소리의 변화 등도 감정을 표현하는데 쓰이기는 하나 얼굴 표정이 감정 표현의 주도적인 역할을 하고 있다[1-4].

미래의 지능형 로봇은 사용자인 인간의 기분이나 상태를

인지하여 이에 적절한 서비스를 제공하며, 자신의 상태 역시 감정의 형태로 표출되게 될 것이다. 자기의 상태나 감정을 표출하지 못하면 로봇은 단지 기계덩어리처럼 취급될 것이며, 사람과의 교감이 떨어져 인간 보조의 역할을 효과적으로 수행하지 못할 것이다[2]. 이러한 이유로 인간의 얼굴 표정을 인식, 인지하는 기술과 로봇의 감정을 얼굴로 표현할 수 있는 기술은 향후 인간과 로봇의 상호작용에 있어서 근저가 되는 기술이 될 것이다.

인간의 얼굴 표정은 심리적 요인에 의해서 결정되기 때문에 심리, 인지학적인 측면에서의 고찰도 필요하다. 심리학자인 Ekman의 조사에 의하면 사람의 얼굴 표정은 일반적으로 수초 이내에 사라지고, 놀람과 같은 급작스런 표정은 수백분의 일초 이내로 잠깐 나타났다가 사라진다고 한다[4]. 그러므로 얼굴 표정 인식에 있어서 실시간성을 보장하지 못하면 그 알고리즘의 정확도가 매우 떨어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 강인하면서 실시간성을 보장하며 인간의 얼굴 표정을 인식할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 또한, 로봇의 상태를 표출하기 위해 로봇의 눈썹, 눈꺼풀, 입과 같은 구성 요소들을 기계적인 움직임을 통해 감정 표현이 가능한 시스템을 개발하였다.

본 논문은 2장에서 제안된 얼굴 표정 인식 방법에 대해 먼저 설명하고 3장에서는 개발된 로봇 시스템을 이용하여 얼굴 표정을 생성하는 방법론에 대해 설명하고자 한다. 4장에서는 전체 로봇 시스템의 구성에 대해 설명하고 5장에서는 얼굴 표정 인식과 표정 생성에 대한 실험 결과를 보여 줌으로써 개발된 시스템이 인간과 로봇의 상호작용에 유용함을 보여주었고, 끝으로 본 논문의 결론을 맺고 추후과제를 언급하고자 한다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 9. 27., 채택확정 : 2006. 1. 4.

김도형, 김도윤, 정명진 : 한국과학기술원 전자전산학과  
(bborog@cheonji.kaist.ac.kr/nice@cheonji.kaist.ac.kr/mjchung@ee.kaist.ac.kr)

정성욱 : 한국전자통신연구원(brcastle@etri.re.kr)

※ 본 논문은 산자부에서 주관하는 뇌신경 정보연구 프로그램의 지원을 받아 수행되었음.

II. 얼굴 표정 인식

얼굴 표정 인식을 위해서 다양한 패턴 인식 기법이 사용되고 있다[5,6]. Lyons는 얼굴 표정 학습 영상을 분석하기 위해서 PCA(Principal Component Analysis)와 LDA(Linear Discriminant Analysis)를 변형하여 사용하였고, Padgett는 감정을 구분하기 위해 신경 회로망을 이용한 반면에 Otsuka는 히든 마코브(Hidden Markov) 모델을 도입하여 6가지 얼굴 표정을 인식하였다. Sebe는 Bayes 모델을 사용하여 감정 인식을 구현하였다. 최근에는 Bartlett가 얼굴 표정 인식을 위해 AdaSVM(Adaptive Support Vector Machine) 방법에 기반한 가버(Gabor) 특징을 제안하였고, Wang은 Haar 특징들을 AdaBoost(Adaptive Boosting)로 학습시켜 표정 분류기를 찾는 방법을 제안하였다[5,6,22].

기존의 방법 중에서 앞서 언급한 실시간성을 보장하는 알고리즘은 AdaBoost를 이용한 Wang 방법이 가장 적합한 성능을 보여주고 있다. 본 논문에서도 실시간성을 보장하기 위해 Wang 방법의 근간이 되는 연구인 Viola의 얼굴검출 알고리즘을 바탕으로 인식의 정확도를 좀 더 높이기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 기존의 Viola의 얼굴 검출 방법은 AdaBoost를 이용하여 사각 특징(rectangle feature)을 추출하는데 이 방법은 얼굴과 얼굴이 아닌 영상을 구분할 때는 효과적이지만 구분하고자 하는 영상들이 서로 비슷한 얼굴 표정 인식과 같은 분야에서는 정확성을 기대할 수가 없다. 본 논문에서는 이러한 견지에서 얼굴 표정을 잘 구분할 수 있는 좀 더 다양한 형태의 사각 특징을 제안하고 이를 이용하여 얼굴 표정을 분류하는 새로운 분류기를 제안하였다.

1. 전처리과정

얼굴 표정 인식을 하기 전단계로 얼굴 검출과 검출된 얼굴을 추적하는 단계가 필요하다. 여기에서는 얼굴 검출을 위해 실시간성이 보장된 Viola의 검출 방법을 도입하여 사용하였고, 검출된 얼굴의 추적을 위해 초기 얼굴이 검출되면 그 근처에서 얼굴 검색 창을 설정하고 그 영역에 대해서만 얼굴을 재 검출함으로써 얼굴 추적을 대신하였다. 얼굴이 검출될 때마다 정면얼굴인지 확인하고, 얼굴 표정을 검출할 정도의 충분한 크기일 경우 (50×50 픽셀) 패턴 분류 과정을 거쳐 얼굴의 표정을 인식하게 된다.

2. 새로운 사각 특징 형태 추출

본 논문에서는 인식률을 높이기 위해 얼굴 표정 인식에 적합한 새로운 사각 특징 형태를 찾아내는 방법을 제안하였는데, 총 7가지의 얼굴 표정을 인식하기 위해서 각 표정에 대해 가장 높은 인식률을 가지는 사각 특징 형태 5개씩을 추출하여 이를 얼굴 표정 인식에 사용하였다. 이러한 새로운 사각 특징 형태를 추출하기 위해 먼저 3×3 형태로 이루어 질수 있는 모든 사각 특징 형태를 고려하고 이로부터 적절한 사각 특징 형태를 추출하였다. 그림 2는 3×3의 구조를 가지는 모든 사각 특징 형태를 보여주고 있다. 본 논문에서는 이를 수행하기 위해 일본 여성 배우들의 7가지의 각기 다른 표정을 담은 JAFFE(Japan Female Facial Expression) 데이터베이스로 총 1065장의 얼굴 영상을 새로운 사각 특징 형태를 추출하기 위한 학습에 이용하였고, 앞서 언급한 바와 같이 3×3의 구조로 표현될 수 있는 모든 가능한 316

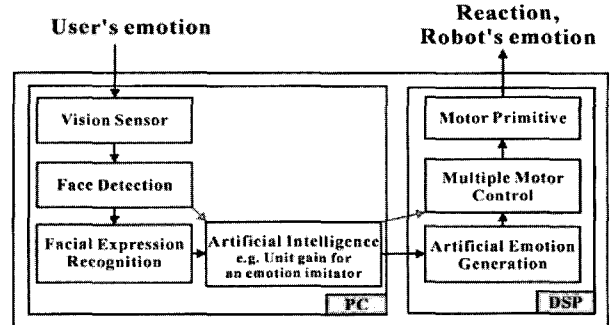


그림 1. 전체 시스템 블록 다이어그램. 영상 전처리, 얼굴 검출, 얼굴 표정 인식 알고리즘은 PC에서 동작; 로봇의 감정 생성과 모터 제어기는 고정 소수점 DSP에서 동작.

Fig. 1. The whole system block diagram. The image pre-processing, face detection and facial expression recognition algorithm run on a personal computer (PC) with a commercial microprocessor. In addition, the generation of robot's emotion and motor controller operate in a fixed point digital signal processor (DSP).

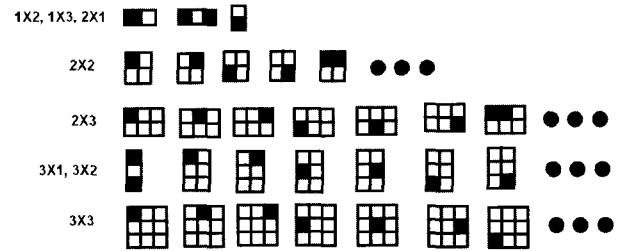


그림 2. 학습에 사용되는 3×3의 구조를 가지는 모든 가능한 사각 특징 형태.

Fig. 2. All possible rectangle feature types up to the 3×3 structure size for training.

개의 사각 특징 형태를 가지고 각 표정 당 가장 낮은 인식 오차를 갖는 사각 특징 형태를 5개씩 추출하였다. 새로운 사각 특징 형태를 추출하는 과정을 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

- 3×3 구조 형태 중 서로 중복되지 않는 범위 안에서 모든 가능한 사각 특징 형태(총 316개)를 구한다(그림 2).
- AdaBoost 학습 알고리즘을 이용하여 각각의 사각 특징 형태를 얼굴 영상 데이터베이스를 이용하여 7가지 얼굴 표정에 대하여 가장 효과적인 사각 특징 형태를 추출해 낸다.
- 추출된 결과에서 각 표정을 가장 잘 구분하는 약분류기(weak classifier)로부터 사각 특징 형태 5개를 결정하여 7가지 표정에 대해 총 35개의 사각 특징 형태를 추출한다.
- 이렇게 추출한 35개의 얼굴 표정 인식을 위한 사각 특징 형태와 7개의 기본 사각 특징 형태 모두를 후보로 간주하고 AdaBoost 알고리즘을 이용하여 각 얼굴 표정에 따른 약분류기를 찾아내고, 약분류기의 합의 형태로 강분류기를 구한다.

2.1 적분 영상(Integral Image)

사각 특징치는 적분 영상을 이용하면 빠르게 계산할 수 있다[23].  $(x, y)$  지점에서의 적분영상은  $(x, y)$ 의 좌측상의 부분의 픽셀값들의 총합이다. 그러므로 적분영상을 식 (1) 과 같이 정의할 수 있다.

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

여기서  $ii(x, y)$ 는 적분영상이고  $i(x, y)$ 는 본래 영상의  $(x, y)$ 에서의 밝기 값이다. 사각 특징치는 임의의 크기와 위치의 사각 영역 안의 영상 레벨의 값들의 합으로 구성되어 있는데 이를 계산하는 것은 사각형의 꼭지점에 해당하는 적분 영상 값들을 이용하여 사각 특징치를 빠르게 계산해 낼 수 있다[22-24].

2.2 AdaBoost 학습 알고리즘

구현된 시스템에서 적은 수의 효과적인 특징 즉, 약분류기를 찾는 것과 얼굴 표정 분류기(classifier)를 학습하는데 AdaBoost 학습 알고리즘을 이용하였다[22-24]. 강분류기를 학습시키는 부스팅(Boosting) 알고리즘의 과정을 설명하면 다음과 같다.

- 샘플영상  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 가 있는 상태에서 각각의 음(negative)영상과 양(positive)영상을  $y_i = 0, 1$ 이라고 정의한다. 이때 음영상과 양영상이라는 것은 해당하는 샘플이 구분하고자 하는 목표 샘플인지 아닌지를 명시하는 것이다.
- 초기 가중치(weight)는 균등하게 다음 식과 같이 설정한다.  $w_{1,i} = \frac{1}{2m}, \frac{1}{2l}$ . 여기서  $m$ 과  $l$ 은 각각 음영상의 샘플과 양영상의 샘플 수이다. 양영상이 구분하고자 하는 얼굴 표정을 담고 있는 영상이 되고, 음영상이 그 외의 얼굴 표정을 담고 있는 영상이 된다.
- $t$ 를 1부터  $T$ (약분류기 개수)까지 증가시키면서 아래의 사항을 반복한다.
  - 1) 가중치를 아래와 같은 방법으로 정규화 한다. 여기에서  $w_t$ 는 확률분포이다.

$$w_{t+1,i} = \frac{w_{t,i}}{\sum_{j=1}^n w_{t,j}} \quad (2)$$

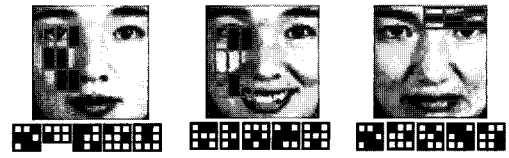
- 2) 각각의 특징점  $j$ 에 대하여, 약분류기  $h_j$ 를 학습시킨다.

$$h_j(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } p_j f_j(x) < p_j \theta_j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

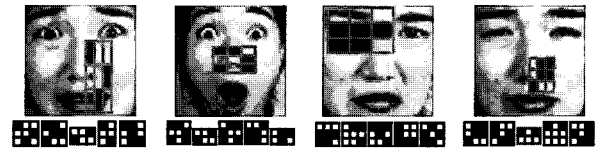
약분류기  $h_j(x)$ 는 특징점 값인  $f_j$ , 임계값인  $\theta_j$ , 그리고 극성을 나타내는  $p_j$ 로 이루어진다. 오차는 다음과 같이 결정된다.

$$\epsilon_j = \sum_i w_i |h_j(x_i) - y_i| \quad (4)$$

- 1) 가장 적은 오차( $\epsilon_j$ )를 갖는 분류기( $h_t$ )를 선택한다.
- 2) 가중치를 갱신한다.



(a) Neutral (b) Happiness (c) Anger



(d) Sadness (e) Surprise (f) Disgust (g) Fear

그림 3. 각 표정에 대하여 선택된 5가지의 사각 특징점 모양.

Fig. 3. Five selected rectangle feature types for each facial expression.

$$w_{t+1,i} = w_{t,i} \beta_t^{1-e_i} \quad (5)$$

여기서 만약 샘플  $x_i$ 가 바르게 분류되었다면

$e_i = 0$ , 반대의 경우엔  $e_i = 1$  이다.

- 최종 학습된 강분류기는

$$H(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } \sum_{t=1}^T \alpha_t h_t(x) \geq 0.5 \times \sum_{t=1}^T \alpha_t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$\alpha_t = \log \frac{1}{\beta_t}$$

이런 과정을 거쳐서 찾아낸  $T$ 개의 약분류기는 앞서 언급한 사각 특징의 형태, 크기, 위치에 의해 표현되는 특징치를 가지게 된다. 최종의 강분류기는 (6)에서 살펴볼 수 있듯이  $T$ 개의 약분류기의 가중 선형 조합(weighted linear combination)으로 이루어진다. 본 논문에서는 각 얼굴 표정에 대해 5개의 새로운 사각 특징 형태를 찾기 위해서 10개의 약분류기를 찾았고, 여기에서 새롭게 나타난 상위 5개의 사각 특징 형태를 새로운 사각 특징 형태로 사용하였다.

3. 선택된 얼굴 표정 인식에 효과적인 사각 특징 형태

그림 3에서 도시된 바와 같이, 각각의 얼굴 표정에 대해서 가장 인식률이 좋은 것부터 상위 5개의 새로운 사각 특징 형태를 왼쪽에서부터 나열 하였다. 얼굴 영상과 겹쳐서 표현된 사각 특징의 형태는 해당하는 표정을 가장 잘 구분하는 것으로 그 사각 특징의 정확한 위치와 크기를 보여주고 있다. 그림 3(a)에서 알 수 있듯이 평온(neutral)을 가장 잘 구분하는 사각 특징 형태는 입 바로 위와 볼 부분 그리고 눈의 흰자위 부분에 해당하는 얼굴 영상의 밝기 분포를 고려하고 있음을 살펴볼 수 있다. 이것은 일반적으로 사람은 웃을 때, 슬플 때나 화날 때 입 꼬리를 변화시키거나 눈 주위가 변하게 되므로, 이러한 부분이 고려된 것이다. 그림 3(b), (c), (d), (e), (f), (g)는 각각 기쁨, 화남, 슬픔, 놀람, 역겨움, 공포를 가장 잘 구분하는 5가지의 사각 특징 형태들을 순서대로 나열하고 있고 가장 오차가 적은 사각 특징 형태가 얼굴 영상과 겹쳐서 도시되어 있다.

각각의 얼굴 표정에 적합한 새로운 사각 특징 형태들은 해당하는 얼굴 표정의 특징들을 충분히 반영하고 있는 것에 반해, 기존의 사각 특징 형태는 단순한 형태로 구성되어 있어서 얼굴 표정을 구분하기에는 미흡한 면이 있다. 그러므로 본 논문 확장한 형태를 사용함으로써 분류기의 정확도를 증가시켰음을 알 수 있다. 정확도 증가에 대한 분석은 5장에서 자세히 살펴보기로 하자.

**III. 얼굴 표정 생성**

인공의 얼굴 표정 생성을 하는 연구는 크게 소프트웨어적인 측면과 하드웨어적인 측면으로 나뉘어져 연구가 진행되어 왔다. 소프트웨어적인 측면에서의 연구는 가상의 인공 얼굴을 3D 모델로 만들어 컴퓨터 모니터 상으로 그 인공 얼굴의 표정을 만들어 내는 접근 방법으로 일반적으로 인간 얼굴의 3차원 CAD 모델을 무수히 많은 다각형(polygon)으로 묘사하여 렌더링(rendering)하여 나타내고 여러 개의 제어 포인트를 두어 이를 움직임으로서 얼굴 표정을 생성해 낸다. 하드웨어적인 측면에서의 인공 얼굴 표정 생성은 결국 얼굴 로봇 연구 분야에 해당한다. 로봇의 표정을 생성하기 위해 기계적인 구조물등과 같은 구성 요소들을 하드웨어적으로 만들고 이들의 움직임으로 인공적인 얼굴 표정을 만들어 내는 방법이다. 본 논문에서는 하드웨어적인 측면의 접근방법에 주안점을 두고 있고, 이러한 측면에서 개발된 얼굴 로봇들을 외형적인 관점에서 살펴보았을 경우 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 실물형이고, 두 번째는 기계형이고, 마지막으로는 캐릭터형이다. 이러한 분류는 로봇 얼굴의 외형의 존재 유무와 외형을 이루는 재질의 유연성을 기준으로 분류하였다. 실물형은 사람과 유사한 피부 조직으로 외형이 구성되어 있는 반면 기계형은 외형이 존재하지 않고 기구부가 밖으로 드러나 있고, 캐릭터형은 사람의 피부와 같이 유연하지 않은 단단한 구조의 외형을 가지고 있다.

대표적인 실물형 얼굴 로봇으로 Saya와 Leonardo, k-bot 등이 있다[7-10]. 동경대학에서는 걸모양은 사람의 얼굴과 비슷하고, 근육 기반의 얼굴 움직임과 탄력성이 있는 인공 피부 재료를 사용하여 Saya를 개발하였다. 피부뿐 아니라 머리카락, 이빨도 사람과 유사하게 구현하였다. 또 다른 형태로 미국의 MIT와 Stan Winston studio의 협연으로 동물 형태의 Leonardo가 개발되었다. 이 로봇 역시 근육 기반에 동물의 가죽과 같은 재질로 피부를 구현하였다. 얼굴에만 32개의 자유도로 다양한 표정을 구현할 수 있도록 되어 있다.

기계형의 대표적인 얼굴 로봇은 MIT의 Kismet과 와세다 대학의 WE-4를 들 수 있다[11-18]. 이 두 로봇은 실물형과 달리 유연한 피부 재료를 사용하지 않고, 기구부를 걸로 들어내 보이거나 단단한 재료로 얼굴을 구현하였다. 표정 구현 방식에서도 근육 기반이 아닌 AU기반으로 실물형과 차이를 보이고 있다. 걸로 봐서는 인간의 얼굴과 유사성이 떨어져 어색해 보이기도 하나 현재 감정 표현 쪽에서는 가장 앞선 연구 결과를 보이고 있다. Kismet은 얼굴에 15개의 자유도로, WE-4의 경우는 26개의 자유도로 다양한 얼굴 표정이 나올 수 있게 구현되었다.

캐릭터형으로는 Carnegie Mellon 대학교의 Pearl이나 Philips사의 iCat과 같은 형태가 있다[19-21]. 캐릭터형은 외형을 가지고 있으나 유연하지 않은 단단한 재료로 구현되었고, 구조의 간편성을 위해 기구부 자유도의 수가 작고, 기구부 외의 LED와 같은 재료로 표정을 구현하기도 한다. 표정 구현 방식은 기계형과 같은 AU 기반으로 구현된다. Pearl의 경우는 5개의 눈 부위 자유도와 입의 모양은 LED나 2개의 자유도로 구현하였다. iCat의 경우는 13개의 자유도로 표정이 구현되도록 하였다.

표 1. 인간의 얼굴 표정의 단서들.

Table 1. Clues of human's facial expressions.

| 감정 | 단 서  |
|----|--|
| 기쁨 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 입 가장자리가 뒤로 당겨지고 위로 올라간다.</li> <li>- 입이 벌어져 이가 보이거나, 입만 약간 벌어지거나 또는 입이 열리지 않을 수도 있다.</li> <li>- 코에서 입 가장자리 위까지 주름이 생긴다.</li> <li>- 뺨이 올라간다.</li> <li>- 아래 눈꺼풀 밑에 주름이 생긴다.</li> </ul>                             |
| 슬픔 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 눈썹의 안쪽 끝부분이 당겨져 올라간다.</li> <li>- 눈썹아래의 피부가 안쪽부분이 올라가면서 삼각형 모양이 된다.</li> <li>- 윗눈꺼풀의 안쪽 끝부분이 올라간다.</li> <li>- 입술의 가장자리가 아래로 내려가거나 입술이 떨린다.</li> </ul>  |
| 놀람 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 눈썹이 올라가서 높게 곡선을 그린다.</li> <li>- 눈썹 아래 피부가 퍼진다.</li> <li>- 앞이마에 가로 주름이 생긴다.</li> <li>- 눈꺼풀이 열린다.</li> <li>- 턱이 떨어져 열리고 입술과 이가 벌어진다. 하지만 입을 잡아당기거나 긴장시키지는 않는다.</li> </ul>   |
| 화남 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세로 주름이 눈썹 사이에 나타난다.</li> <li>- 아래 눈꺼풀이 당겨지고, 올라가기도 한다.</li> <li>- 위 눈꺼풀이 당겨지고, 눈썹의 움직임에 의해 눈꺼풀이 내려질 수도 있다.</li> <li>- 눈을 동그랗게 뜨고 보게 되고 눈이 돌출될 수도 있다.</li> <li>- 입술을 견고히 서로 모아 누르고 입술이 퍼지거나 아래로 내려간다.</li> </ul> |
| 혐오 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 윗입술이 올라간다.</li> <li>- 아랫입술도 같이 올라가서 윗입술을 위로 누른다.</li> <li>- 코가 주름지게 된다.</li> <li>- 뺨이 올라간다.</li> <li>- 아래눈꺼풀아래 주름이 생기고 눈꺼풀이 위로 눌리는 형태이나 팽팽하게 당겨지지는 않는다.</li> <li>- 눈썹이 아래로 내려가서 윗눈꺼풀을 눌러 내린다.</li> </ul>        |
| 공포 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 눈썹이 올라가며 쳐진다.</li> <li>- 앞이마의 주름이 앞이마 전체를 가로질러 생기지 않고 가운데에 생긴다.</li> <li>- 윗 눈꺼풀이 올라가고 흰자위가 보이며 아래눈꺼풀이 팽팽히 위로 당겨진다.</li> <li>- 입이 열리고 입술은 약간 당겨지고 위로 올라가거나 입술이 늘어나서 뒤로 당겨진다.</li> </ul>                         |

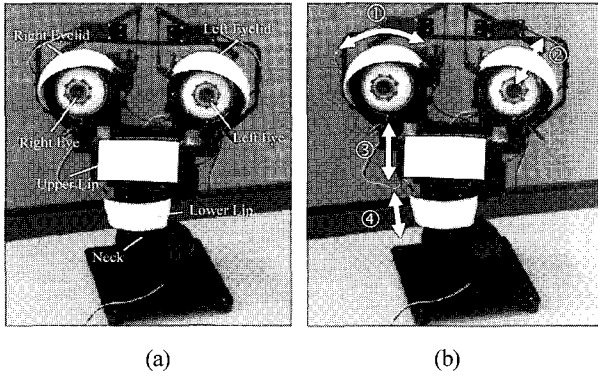


그림 4. 얼큰이의 얼굴 구성 요소; a) 눈과 목은 독립적으로 상하좌우, 눈꺼풀은 회전과 깜박임, 입은 상하 운동만 가능. b) 얼큰이는 회전이 가능한 눈꺼풀 움직임, ①. 눈꺼풀을 깜빡이는 움직임, ②. 곡선으로된 입술을 통해 웃음을 띠게 할 수도 있음, ③과 ④.

Fig. 4. Ulkni's facial components; a) The eyes and the neck can pan and tilt independently. The eyelids also have two degrees of freedom (DOF) to roll and to blink. The lips can tilt independently. b) In Ulkni, there is rotational movements of the eyelids, ①. Ulkni's eyelids can droop and it can also squint and close its eyes, ②. Ulkni can smile owing to the curvature of its lips, ③ and ④.

살펴본 바와 같이 개발된 얼굴 로봇은 다양한 외형적 형태를 지니고 있지만, 표정을 생성하기 위해서 인간의 얼굴 표정을 기반으로 겉보기에 유사하도록 개발자에 의해 만들어지는 것이 일반적인 방법이었다. 본 논문에서는 이러한 생성 방법에 대해 좀 더 체계화되게 인간의 얼굴 표정에서 얻을 수 있는 단서들을 추출하고 이를 바탕으로 로봇의 얼굴 표정을 생성하는데 이용하였다.

1. 인간의 얼굴 표정

얼굴 표정이나 감정에 대한 연구는 과거 정서 심리학자들 중심으로 많은 연구가 있어왔다. 특히 움직임 요소 기반으로 하는 연구에서 Ekman은 Action Unit(AU)으로 얼굴에 분포한 근육들의 움직임을 따로 정의하였고, AU를 기반으로 얼굴 표정과 그에 따른 감정을 분석하는 기법을 소개하였다[1]. 이렇게 Ekman이 정의한 AU과 실제 얼굴에 분포하는 얼굴 근육들과의 관계는 그림 5에서 살펴볼 수 있다. 그림에서 살펴볼 수 있듯이 한 개의 AU이 하나의 얼굴 근육에 대응되어 있는 경우도 있고, 하나의 AU이 여러 개의 얼굴 근육의 조합으로 대응되어 있는 경우도 있다. 또한 Ekman은 정의한 AU과 인간의 감정들과의 관계를 규명했는데 예를 들어 기쁨이라는 감정을 표현하기 위해서 AU 12 단독으로 움직이거나 AU 6과 AU 12가 같이 움직인다는 형태로 그 관계를 규명해 놓았고, 표 2는 6가지 기본 감정과 AU과의 관계를 정리한 것을 보여주고 있다.

본 연구에서는 개발된 로봇 시스템과 Ekman의 AU과의 관계를 분석하고 이를 바탕으로 로봇이 감정을 표현하기 위해 어떤 구성 요소들을 움직여야 될지 판단한 후 로봇의 표정을 생성해 내었다. 본 연구에서는 기본 6가지 감정(기

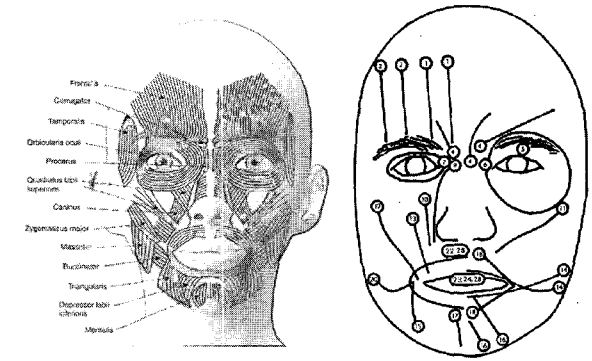


그림 5. 얼굴 근육과 Ekman의 AU와의 비교.  
Fig. 5. Comparison between facial muscles and Ekman's AUs.

표 2. 감정과 Ekman의 AU과의 관계.

Table 2. The relationship between emotion and Ekman's AUs.

| Emotion   | Ekman & Friesen (2002) | Friesen & Ekman (1984)            |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|
| Happiness | 12/13, 6+11+12/13      | 12, 6+12, 7+12                    |
| Sadness   | 1+4, 1+4+15/17         | 1, 1+4                            |
| Anger     | 4, 4+7+17+23           | 4+5                               |
| Disgust   | 9, 4+6+9+10+17+22      | 9, 10                             |
| Fear      | 1+5+25/26              | 1+2+4, 20                         |
| Surprise  | 1+2, 1+2+5             | 1+2+5(low), 1+2+26, 1+2+5(low)+26 |

표 3. Ekman의 AU와 얼큰이의 구성요소 움직임간의 관계

Table 3. The relationship between Ekman's AUs and facial components of Ulkni.

| Ekman의 AU         | 얼큰이 |
|-------------------|-----|
| 4                 | ①   |
| 5, 41, 42, 43, 45 | ②   |
| 10                | ③   |
| 24                | ③+④ |
| 16, 26, 27        | ④   |

쁨, 슬픔, 화남, 혐오, 놀람, 공포)에 평온을 추가하여 7가지 인공 얼굴 표정을 생성할 수 있는 로봇 시스템을 개발하였다.

2. 로봇 시스템의 얼굴 표정 생성

본 논문에서 얼굴 표정을 생성하기 위한 접근 방법에서 Ekman이 제안한 Facial Action Coding System(FACS)에 기초하여 얼굴의 구성요소인, 눈꺼풀이나 입 등을 움직여 얼굴 표정을 생성하였다[1,4]. 특히, 표 1은 Ekman의 관측에 의해 감정에 따른 얼굴 표정의 움직임에 대한 단서를 정리한 것이다[4]. 하지만, 개발된 로봇이 기계형이기 때문에 Ekman의 감정 표현에 대한 단서들 중 주름과 같은 부드러운 외피를 요구하는 단서들에 대해서는 구현할 수 없었다. 결국, 인간의 감정 표현의 단서들을 개발된 로봇 시스템에 적합하도록 변경하였는데 그 기준을 AU를 사용해서 적용하였다. 또한 로봇의 눈동자와 목의 움직임을 주어 관심 있는 물체를 응시하거나 감정을 표출할 수 있는 얼굴의 움직임을 생성해 낼 수 있도록 개발하였다. 이러한 제한 조건을

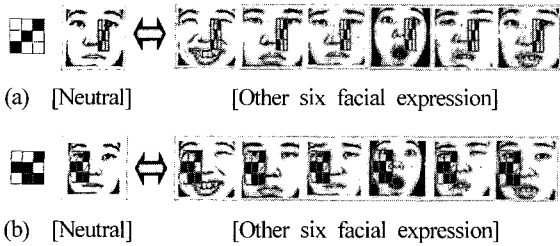


그림 6. 평온 감정 구분에 적합한 사각 특징 형태 비교; (a) 7가지 사각 특징 형태를 사용한 경우, (b) 제안된 새로운 42가지 사각 특징 형태를 사용한 경우.

Fig. 6. Comparison of the selected feature types for "neutral" facial expression; (a) in case of 7 (Viola's) feature types, (b) in case of the proposed 42 feature types.

바탕으로 실제로 재구성된 Ekman의 AU와 개발된 로봇 시스템의 구성요소 움직임 간의 관계를 정리하면 표 3와 같다. 생성된 얼굴 표정에 대한 결과는 5장에서 실험 결과에서 살펴볼 수 있다.

IV. 전체 시스템 구성

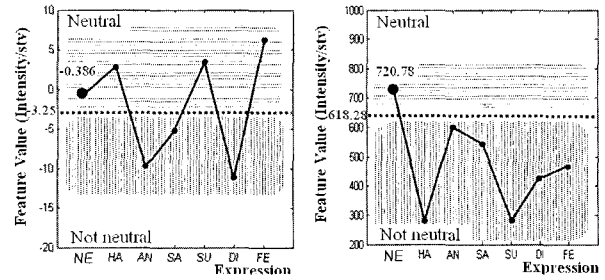
1. 얼굴 로봇 시스템

개발된 기계형 얼굴 로봇인 얼큰이(얼굴이 큰 아이; Ulkni)는 얼굴에 10개의 자유도가 있고, 목 움직임까지 포함하면 12개의 자유도로 감정을 표현하게 하였다[24]. 얼굴 표정만을 위해서는 눈꺼풀에 4개, 입에 2개의 자유도가 배치되었다(그림 4).

제작된 얼굴 로봇 시스템은 DC모터와 위치 제어가 내장된 R/C 서보를 액츄에이터(actuator)로 사용하며, 총 12개의 구동 부분을 가지고 있다. 영상 처리는 PC에서 이루어지며, 영상으로부터 계산된 각 관절의 최종 위치는 40MIPS 연산 속도를 가지는 고정 소수점형 DSP 제어기에 전달된다. 이 제어기에서 제안한 종 모양의 속도 함수를 동시에 12개를 생성하고, 매 제어 샘플마다 출력하도록 시스템을 구성하였다. 본 로봇 시스템은 2개의 카메라를 장착하고 있다. 각각의 카메라는 로봇의 눈 부분에 해당한다. 카메라의 영상정보는 IEEE1394a 형태로 PC로 전송되고 PC에서 그 영상을 받아 처리하도록 시스템이 구성되어 있다.

2. 모터 제어부

저크는 가속도의 미분값으로 저크가 크다는 것은 급격한 가속도의 변화가 있다는 것이고, 저크가 작다는 것은 가속도의 변화가 적어서 부드럽게 움직인다고 해석할 수 있다. 가속도 프로파일을 미분 가능한 형태로 구성하면 급격한 저크 발생을 방지할 수 있다. 저크는 액츄에이터에 무리를 주며, 시스템의 운동 방향이 급격히 바뀌게 되어 시스템의 파손까지 이어질 수 있다. 또한 목표 속도로 추종하는 추적 성능에도 많은 영향을 미치기 때문에 새로운 목표 위치가 갱신될 때 저크가 발생하지 않는 속도 프로파일을 생성하는 방법이 필요하다. 따라서 본 논문은 종(bell) 모양의 속도 함수를 도입하여 저크 발생을 억제하면서 모터를 제어할 수 있는 시스템을 구현한다. 종 모양의 속도 함수를 구



(a) (b)

그림 7. 평온 표정에 대한 인식 정도 비교 결과; (a) 7가지 사각 특징 형태를 사용한 경우, (b) 제안된 새로운 42가지 사각 특징 형태를 사용한 경우.

Fig. 7. Comparison of a classification result for "neutral" facial expression; (a) in case of 7 (Viola's) feature types, (b) in case of the proposed 42 feature types.

성하는데 있어서 제한 조건은 (1) 모양이 종 모양의 형태로 구현되어야 하며, (2) 연속적으로 미분이 가능해야 한다. 삼각 함수에서 사인(sine)과 코사인(cosine)은 연속적으로 미분을 취해도 계속 반복적인 형태로 나온다는 사실에 착안하여, 코사인 함수를 적절히 변형하여 종 모양의 속도 함수를 다음과 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned}
 v(t) &= 1 - \cos 2\pi t \\
 p(t) &= \int_0^t v(t) dt = t - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi t \\
 a(t) &= \dot{v}(t) = 2\pi \sin 2\pi t \\
 \dot{a}(t) &= 4\pi^2 \cos 2\pi t
 \end{aligned} \tag{7}$$

(단,  $0 \leq t \leq 1$ )

코사인 함수로 구성된 종 모양의 속도  $v(t)$ 는 1계, 2계 미분 가능하며, 2계 미분값인 저크 함수도 삼각 함수로 구성되는 미분 가능한 형태로, 부드러운 변화를 가지는 특징이 있다. 위 수식에서 실제적으로 사용하는 수식은  $p(t)$ 로서 관절 제어기는 매 제어 주기에 추종해야 할 위치 데이터를 받아 제어를 하는 형태가 된다. 따라서 기존의 제어기 앞단에 앞먹임(feed forward) 형태의 제어기가 부착되는 것으로, 액츄에이터와 제어기가 일체형으로 되어 있는 상업용 제품에도 손쉽게 구현이 가능하다. 또한 환형 버퍼(ring buffer)에다 생성된 속도 값들을 저장해 두고, 새롭게 속도가 갱신될 때 기존의 링 버퍼 값에 더하는 식으로 간단히 디지털 제어기를 구현할 수 있어 저가의 프로세서로도 구현이 가능하다는 장점이 있다.

V. 실험 결과

1. 얼굴 표정 인식

1.1 선택된 사각 특징 형태의 향상성

그림 6(a)는 기본 사각 특징 형태(7가지 형태)를 가지고 학습시켰을 경우에 평온 얼굴을 가장 잘 구별하는 사각 특징의 형태와 위치, 크기를 보인 것이고, 그림 6(b)는 본 논문에서 제안한 얼굴 표정 인식에 적합한 42가지의 사각 특



(a) Neutral & disgust (b) Anger & sadness

그림 8. 다양한 얼굴표정 영상에서 얼굴표정 검출 실험.  
Fig. 8. Facial expression recognition experiment from various facial expressions.

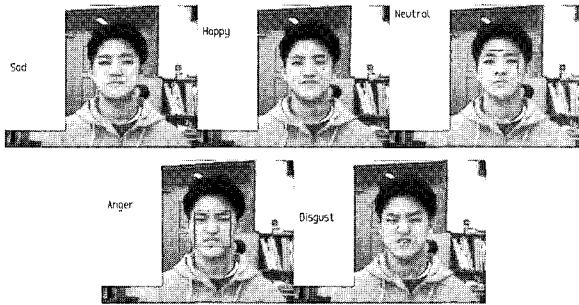


그림 9. 얼굴 표정에 대한 실시간 인식 실험 결과로 28, 53, 124, 162, 208번째 결과 영상을 순서대로 나열.  
Fig. 9. Experiment of recognizing the basic 7 facial expressions at 28th, 53rd, 124th, 162nd and 208th image.

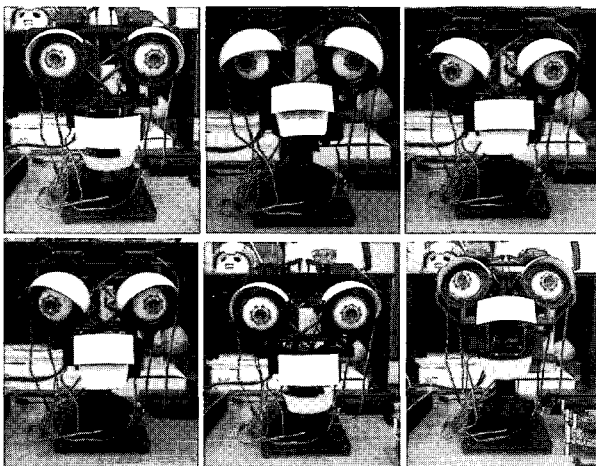


그림 10. 울크니로 구현한 6가지 기본 얼굴 표정 (기쁨, 슬픔, 화남, 혐오, 공포, 놀람).  
Fig. 10. Ulkni's 6 facial expressions (happiness, sadness, anger, disgust, fear, surprise).

표 4. 구현된 얼굴 표정 인식 시스템의 처리 시간.  
Table 4. Processing time of implemented facial expression recognition system.

|                  | 평균 처리 시간<br>(320×240 영상 기준) |
|------------------|-----------------------------|
| 초기 얼굴 검출         | 250~300 ms                  |
| 얼굴 추적 및 얼굴 표정 인식 | 40~50 ms                    |

징 형태를 가지고 학습시켰을 경우에 평은 얼굴을 가장 잘 구별하는 사각 특징의 형태와 위치, 크기를 얼굴 표정 영상에 적용시켜 나타낸 것이다. 각 표정의 특징치(사각형태의 흰색 부분의 밝기와 검은 색 부분의 밝기의 차)는 그림 7에 도시하였다. 그림 7(a)는 그림 6(a)의 사각 특징치를 보여주고, 그림 7(b)는 그림 6(b)의 사각 특징치를 도시화 한 것이다. 또한 그림 7에서 나타낸 점선은 평은을 가장 잘 구별하는 사각 특징치의 임계값을 나타낸다. 이 임계값은 학습을 통해서 구해졌다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 기본 사각 특징 형태를 이용하여 구한 경우에는 3가지 표정만을 제대로 분류해 평은이 아닌 것으로 구별한다. 하지만, 본 논문에서 제안된 사각 특징 형태를 사용하여 얻어낸 약분류기는 평은을 제외한 모든 감정들을 평은이 아닌 것으로 구분되는 것을 살펴볼 수 있다. 즉, 약분류기의 얼굴 표정 영상을 구분해 내는 정확도가 높아졌다는 것을 의미하게 된다. 따라서 각각의 약분류기가 표정을 구분하는 인식률이 높아진다면 전체의 강분류기의 인식률도 높아진다는 것은 자명한 일이다. 평은의 감정뿐만 아니라 본 논문에서 구분하고자 하는 그 외의 6가지 감정인 행복, 슬픔, 놀람, 혐오, 화남, 공포에 대해서도 같은 방법으로 기존의 사각 특징 형태와 본 논문에서 제안된 사각 특징 형태와 비교해 보면 분류의 정확도가 높아진 것을 살펴볼 수 있었다.

1.2 얼굴 표정 인식 실험 결과

본 논문에서 제안한 얼굴 표정 인식 알고리즘을 좀 더 평가하기 위해 한 사람의 여러 표정을 한 개의 영상으로 만든 후 특정한 얼굴 표정을 검출하도록 실험하였다(그림 8). 그림 8(a)에서는 평은과 역겨움 표정을 인식하고자 하여 그 결과를 얻었고, 그림 8(b)에서는 화남과 슬픔을 각각 인식하고자 하여 얻어낸 실험 결과이다. 그림에 도시된 것처럼 정확하게 각 표정들을 인식하고 있음을 알 수 있다.

본 얼굴 표정 인식의 목표였던 실시간성을 테스트하기 위하여 카메라로부터 받아들여지는 영상을 바로 실시간 처리하여 인식된 결과를 화면에 표현하였다. 그림 9에서는 그 실험 결과를 시간별로 저장한 결과를 보여주고 있다. 이 실험에서는 7개의 얼굴 표정인 평은, 기쁨, 화남, 슬픔, 놀람, 역겨움, 공포에 대해서 피실험자가 순서대로 표정을 연출하고 그 얼굴 표정을 인식하는 실험을 수행하였다. 그림 8에서 보여지는 것처럼 실시간성을 보장하며 빠르게 표정 인식 결과를 얻어내는 것을 살펴볼 수 있었다. 펜티엄4 2.8GHz의 CPU를 사용하고 카메라로부터 320×240 영상을 받아들인 경우, 피실험자가 정면을 바라보고 있는 환경에서 초기 얼굴 검출에 걸리는 시간이 250~300ms 정도 소요된다. 초기에 얼굴을 검출하는 과정은 전 영역에 대해서 후보 지역을 추출하고 그 후보영역에 패턴분류를 해야 되기 때문에 얼굴 추적에 걸리는 시간보다 많이 걸리게 된다. 일단 얼굴이 검출되면 추적모드로 바뀌어서 추적 창 내에서만 패턴 분류를 하기 때문에 수행시간을 현저히 줄게 된다. 따라서 구현된 시스템은 초기 얼굴이 검출 되었을 경우 얼굴을 추적하고 얼굴 표정을 검출하는데 초당 20~25 프레임의 속도로 얼굴 표정 인식 결과를 얻을 수 있다.

## 2. 얼굴 표정 생성

개발된 로봇 시스템의 표정을 생성하는 방법은 앞에서 언급한 바와 같이 Ekman의 인간의 얼굴 표정 분석한 데이터를 바탕으로 생성하였고, 그 결과는 그림 10에서 보여주고 있다. 그림 10에서 얼크리로 구현한 6가지 기본 얼굴 표정을 보여주고 있는데, 움직여서 표현할 수 있는 얼굴의 구성요소들이 상당히 제한적으로 제작되어 있어 표정이 부자연스러운 것들도 발견할 수 있었다. 예를 들어 화남과 역겨움은 인간의 얼굴 표정의 경우, 입술과 이마에 생기는 주름에 의해 그 표정의 차이를 구분할 수 있는데, 얼크리로 적용하고자 할 경우에는 화남 표정을 연출할 경우 입술을 견고히 서로 모아 누르고 아래로 내린 동작을 구현하는 것과는 표정을 연출하기 위해서 아랫입술과 윗입술을 올려서 아랫입술이 윗입술을 위로 누르는 동작을 구현하는 것의 결과가 매우 유사하게 나타난다. 이런 부분에 대한 문제점은 차후 로봇 시스템의 자유도를 추가하여 움직임이 가능한 얼굴의 구성요소를 더 추가하여 그 문제점을 해결해야 할 것이다.

## VI. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 인간과 로봇의 상호작용을 위해 근저가 될 수 있는 얼굴 표정 인식과 생성에 대한 기술에 대한 것으로, 새로운 사각 특징 형태를 이용하여 얼굴 표정 인식하는 방법을 제시하고, 인지·심리학적인 측면에서의 인간의 얼굴 표정 관찰 데이터를 기반으로 로봇의 얼굴 표정을 생성하였다.

얼굴 표정 인식 부분에 있어서는 AdaBoost 알고리즘을 이용하여 기존의 연구에서 쓰이던 기본 사각 특징 형태를 확장한 42개의 얼굴 표정 인식에 적합한 새로운 사각 특징 형태를 제안하였다. 또한, 실험을 통해 구한 42개의 사각 특징 형태를 이용한 얼굴 표정 인식 시스템이 기존의 기본 사각 특징 형태만을 가지고 한 얼굴 표정 인식과의 성능비교를 통해 본 논문에서 제안한 새로운 접근 방법이 얼굴 표정 인식에 더욱 효과적이라는 것을 보였다.

얼굴 표정 생성 부분에 있어서는 본 논문에서 로봇의 얼굴 표정을 생성하기 위해 가장 기본이 되는 얼굴 표정이 무엇인지 심리·인지학적인 측면에서의 관찰에 기반하여 정의하고, 각 얼굴 표정에 해당하는 특징들을 개발된 로봇에 적합하게 적용하여 효과적인 얼굴 표정을 생성할 수 있도록 하였고, 얼굴 표정을 생성하기 위해 사용되는 12개의 많은 액츄에이터를 부드럽게 제어하기 위해 효과적인 제어 방식을 제안하였다.

본 논문은 아직 몇 가지 제약점들을 가지고 있는데, 얼굴 표정 인식 알고리즘은 조명의 변화를 고려하는 전처리 과정이 없어 조명 변화에 대한 민감성이 어느 정도 존재하고 얼굴 표정 인식을 위한 학습 얼굴 영상이 정면을 바라보는 영상에 대해서만 수행하여 얼굴의 회전이 생기면 얼굴 표정 인식이 제대로 수행하지 않는 단점이 있다. 이 부분은 회전한 얼굴 표정 영상을 학습데이터로 사용하여 분류기를 다시 학습시켜 해결해야 할 것이다.

얼굴 표정 생성 부분은 얼굴 로봇의 감정 모델과 표정

모델을 효과적으로 설계하는 것이 앞으로 해결해야 할 중요한 주제이다. 어떠한 감정 모델 혹은 표정 모델을 사용하는냐에 따라 사람과 유사한 동적인 표정을 지을 수 있느냐가 결정될 것이다. 좀 더 로봇에 적합한 새로운 얼굴 표정 공간을 찾아내게 된다면, 로봇의 얼굴 표정을 매우 효과적으로 생성할 수 있으며 기준이 되는 표정 이외에도 매우 다양한 표정을 생성할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 인간과 로봇간의 상호작용을 원활히 하기 위한 여러 가지 측면 중에서 얼굴 표정에 관한 연구를 진행해 왔는데, 인간과 로봇간의 상호작용을 부드럽게 하기 위해서는 이러한 측면에서의 고찰뿐만 아니라 음성 인식과 생성과 같은 음성 분야의 연구와 주변 환경인지나 능동적으로 발생할 수 있는 사건에 대해 대처할 수 있는 인공지능 분야역시 중요한 부분이라고 할 수 있다. 이러한 분야의 연구 역시 병렬적으로 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 정명진, 이희승, 김도형, "로봇의 얼굴 표정을 통한 감정 표현 기법," 로봇공학회지, 제2권, 제3호, pp. 68-76, Summer 2005.
- [2] D. Evans, *Emotion*, Oxford University Press, New York, 2001.
- [3] C. Darwin and P. Ekman, *The Expression of The Emotions in Man and Animals*, Oxford University Press, New York, 1998.
- [4] P. Ekman and W. V. Friesen, *Unmasking the Face*, Malor Books, Cambridge, 2003.
- [5] M. Pantic and L. J. M. Rothkrantz, "Automatic analysis of facial expressions: the state of the art," *IEEE Trans. on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 12, pp. 1357-1362, 1999.
- [6] Y. Wang, H. AI, B. Wu, and C. Huang, "Real time facial expression recognition with adaboost," *Proc. of the 17th Int'l Conf. on Pattern Recognition*, vol. 3, no. 3, pp. 926-929, Cambridge, UK, August 2004.
- [7] F. Hara, H. Akazawa and H. Kobayashi, "Realistic facial expressions by SMA driven face robot," *Proc. of IEEE Int'l Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 504-511, 2001.
- [8] <http://www.kobalab.com>
- [9] <http://robotic.media.mit.edu/projects/Leonardo/Leo-intro.html>
- [10] <http://iiat.utdallas.edu/projects/hanson.htm>
- [11] C. Breazeal, *Designing Sociable Robots*, The MIT Press, Cambridge, 2002.
- [12] C. Breazeal, "How to build robots that make friends and influence people," *Proc. of the 1999 IEEE/RSJ Int'l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, Kyongju, Korea, Oct. 1999, pp. 858-863.
- [13] <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>
- [14] A. Takanishi, H. Takanobu, I. Kato, and T. Umetsu,



“Development of the anthropomorphic head-eye robot WE-3RII with an autonomous facial expression mechanism,” *Proc. of IEEE Int’l Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3255-3260, 1999.

[15] H. Miwa, T. Okuchi, K. Itoh, H. Takanobu and A. Takanishi, “A new mental model for humanoid robots for human friendly communication,” *Proc. of the 2003 IEEE Int’l Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3588-3593, Sept. 2003.

[16] H. Miwa, T. Okuchi, H. Takanobu, and A. Takanishi, “Development of a new human-like head robot WE-4,” *Proc. of 2002 IEEE/RSJ Int’l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2443-2448, Oct. 2002.

[17] H. Miwa, K. Itoh, M. Matsumoto, M. Zecca, H. Takanobu, S. Roccella, M. C. Carrozza, P. Dario, and A. Takanishi, “Effective emotional expressions with emotion expression humanoid robot WE-4RII,” *Proc. of 2004 IEEE/RSJ Int’l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2203-2208, Oct. 2004.

[18] <http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/research/>

[19] <http://www-2.cs.cmu.edu/~nursebot/>

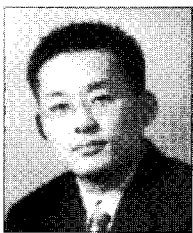
[20] [http://www.research.philips.com/technologies/syst\\_softw/robotics/](http://www.research.philips.com/technologies/syst_softw/robotics/)

[21] A. J. N. van Breemen, “Animation engine for believable interactive user-interface robots,” *Proc. of IEEE/RSJ Int’l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2004.

[22] 정성욱, *AdaBoost 기반 실시간 얼굴 표정 인식을 위한 효과적인 사각 특징점 추출*, 석사학위논문, 한국과학기술원, 2005.

[23] P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” *Proc. of IEEE Int’l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 511-518, 2001.

[24] D. H. Kim, D. Kim and M. J. Chung, “An active vision system with facial expressions,” *Proc. of 8th Int’l Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp. 1553-1558, Dec. 2004.



**김도형**

1998년 전북대학교 공과대학 제어계측 공학과 학사. 2000년 한국과학기술원 전자전산학과 석사. 2000년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정. 관심분야는 Human Computer Interaction, Robot Emotion, Computer Vision, Active

Vision, Visual Servoing.



**정성욱**

2003년 고려대학교 공과대학 전기전자 전과공학부 학사. 2005년 한국과학기술원 전자전산학과 석사. 2005년~현재 한국전자통신연구원 연구원. 관심분야 Face Expression Recognition, Computer Vision, Face Detection/Recognition, Human

Robot Interaction.



**김도윤**

1995년 고려대학교 자연과학대학 제어계측공학과 학사. 1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사. 1997년~현재 한국과학기술원 전자전산학과 박사과정. 관심분야는 Real time embedded vision system, Intelligent sensor network,

motion sensor.



**정명진**

1973년 서울대학교 공과대학 전기공학과 학사. 1977년 미시간대학교 전기공학과 석사. 1983년 미시간대학교 제어공학과 박사. 1976년 국방과학연구소 연구원. 1981년 1월~1983년 8월 미시간대학교 CRIM 연구 조교. 1983년 10월~

현재 한국과학기술원 전자전산학과 교수. 관심분야는 Service Robot. Human Robot Interaction.