

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제25권 제4호, 2020년 7월 (JBE Vol. 25, No. 4, July 2020)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2020.25.4.537>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

감정표현을 위한 FACS 기반의 안드로이드 헤드의 개발

최 동 운^{a)}, 이 덕 연^{a)}, 이 동 욱^{a)†}

Development of FACS-based Android Head for Emotional Expressions

Dongwoon Choi^{a)}, Duk-Yeon Lee^{a)}, and Dong-Wook Lee^{a)†}

요 약

본 논문에서는 FACS(Facial Action Coding System)에 기반을 둔 안드로이드 로봇 헤드의 개발을 통한 감정표현 방법을 제안한다. 안드로이드 로봇은 인간과 가까운 외모를 가진 로봇을 말하며, 인공 피부, 인공 근육을 가지고 있다. 감정 표현을 로봇으로 구현하기 위해서는 인공 근육의 개수와 배치를 정하여야 하는데 이를 위해 인간의 얼굴 움직임을 해부학적으로 분석하였다. FACS는 해부학을 기반으로 하여 표정을 만들 때의 얼굴의 움직임을 분석한 시스템이다. FACS에서는 표정은 AU(Action Unit)의 조합으로 만들어지며, 이 AU를 기반으로 로봇의 인공 근육의 수와 위치를 정하게 된다. 개발된 안드로이드 헤드는 30개의 인공 근육에 해당되는 모터와 와이어를 가지고 있으며, 표정 구현을 위한 인공 피부를 가지고 있다. 제한된 머리 공간에 많은 모터를 탑재하기 위해 spherical joint와 스프링을 이용하여 초소형 안구 모듈이 개발되었고, 와이어 경로의 효율적인 설계를 기반으로 30개의 모터가 배치되었다. 제작된 안드로이드 헤드는 30 자유도를 가지고 13개의 기본 감정 표현을 구현 가능하였고, 전시회에서 일반 관객들을 대상으로 인식률을 평가 받았다.

Abstract

This paper proposes the creation of an android robot head based on the facial action coding system(FACS), and the generation of emotional expressions by FACS. The term android robot refers to robots with human-like appearance. These robots have artificial skin and muscles. To make the expression of emotions, the location and number of artificial muscles had to be determined. Therefore, it was necessary to anatomically analyze the motions of the human face by FACS. In FACS, expressions are composed of action units(AUs), which work as the basis of determining the location and number of artificial muscles in the robots. The android head developed in this study had servo motors and wires, which corresponded to 30 artificial muscles. Moreover, the android head was equipped with artificial skin in order to make the facial expressions. Spherical joints and springs were used to develop micro-eyeball structures, and the arrangement of the 30 servo motors was based on the efficient design of wire routing. The developed android head had 30-DOFs and could express 13 basic emotions. The recognition rate of these basic emotional expressions was evaluated at an exhibition by spectators.

Keywords: android, robot, robot face, emotion, FACS

I. 서론

안드로이드 로봇의 가장 큰 특징 중 하나는 인간과 유사한 외모를 이용한 감정 표현에 있다. 물론, 안드로이드 로봇 이외에도 감정 표현을 할 수 있는 여러 로봇들이 존재한다. Kismet은 눈썹과 입, 귀로 감정표현을 구현하지만 인간의 얼굴과는 다른 형태를 가지고 있다^[1]. WE-4R^{II}는 피부는 없지만 입술과 눈썹 등의 움직임과 의인화된 얼굴로 감정을 표현한다^[2]. PIL ROBOT과 같이 화면상의 가상 얼굴 역시 로봇의 감정 표현의 수단이 될 수 있다^[3]. 안드로이드 로봇은 인간과 유사한 외모와 감정 표현 능력으로 비서, 아나운서, 공연 배우 등의 여러 목적으로 사용되어 왔다^[4,5]. 본 논문에서는 안드로이드 로봇 EveR-4에 탑재된 안드로이드 로봇 헤드의 개발을 다루고자 한다. EveR-4는 공연을 위해 제작된 안드로이드 로봇으로, 인간 배우의 동작을 모션 캡처하여 재현할 수 있고 표정을 지을 수 있는 얼굴로 감정 연기가 가능하다.

안드로이드 로봇 헤드 개발의 시작은 표현하고자 하는 감정의 종류를 정하는 것이다. 제안된 안드로이드 헤드는 13개의 기본 감정을 구현하는 것을 목표로 하였다. 기본 감정이란 문화적 차이와 상관없이 공통적으로 표현되는 감정으로, 연구자들마다 정한 기본 감정에는 여러 종류가 존재한다. 본 논문에서는 6명의 심리학자 (Ekman, Russell, Izard, Tomkins, Panksepp, Fehr and Sroufe) 들이 제시한 기본 감정들을 구현하기로 하였다. 제시한 기본 감정들에서 중복되거나 비슷한 감정을 제외한 13개의 기본 감정이 선정되었다. 해당 기본 감정을 로봇에 구현하기 위해서 FACS(Facial Action Coding System)를 사용하였다^[6].

FACS는 해부학을 기반으로 하여 표정을 만들 때의 얼굴의 움직임을 분석한 시스템이다. FACS에서는 표정은 AU (Action Unit)의 조합으로 만들어진다.

본 논문에서 개발된 안드로이드 헤드는 13개의 기본 표정을 구현하기 위해 30개의 서보 모터와 스틸 와이어를 인공 근육으로 사용하였다. 개발된 안드로이드 헤드는 20대의 동양 여성을 모델로 하였기 때문에 머리의 내부 공간이 매우 협소하므로 많은 수의 모터를 내장하기 위해서는 단일 부품의 소형화와 구조의 최적화가 매우 중요하다. 안구는 단일 부품으로는 가장 크기가 크기 때문에 소형화는 공간 확보에 큰 도움이 된다. 일반적으로는 gimbal 구조를 안구에 사용하지만 gimbal 구조는 구성 부품이 많아 소형화에는 적합하지 않다^[7]. 본 논문에서는 spherical joint와 스프링을 이용하여 초소형 안구를 개발하였다. 표정을 만들기 위한 서보 모터들은 와이어의 경로를 고려한 2개의 층으로 정렬이 된다. 이 2개의 층 구조는 와이어의 최적화된 경로와 정비의 용이성을 고려해서 설계되었고 30개의 서보 모터의 탑재를 가능하게 하였다. 기존의 로봇 혀는 주로 인공 미각을 위해 개발되었으나 본 로봇에서는 감정 표현을 강화하기 위해 2 자유도로 개발되어 장착하였다. 개발된 안드로이드 헤드는 목표인 13개의 기본 표정을 표현함을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

II. 감정 표현의 생성

1. 기본 감정의 선정

안드로이드 헤드는 기본 감정의 구현을 목표로 하였다. 감정 연구는 심리학에서 주로 이루어지고 있으며 기본 감정의 정의는 연구자들마다 달라서 여러 이론이 존재한다. 본 논문에서는 6명의 심리학자(Ekman, Russell, Izard, Tomkins, Panksepp, Fehr and Sroufe)들이 제시한 6개의 이론을 선택하였다. Ekman이 제시한 기본 감정은 6가지로 다음과 같다: fear, anger, sadness, happiness, surprise, disgust^[8]. Russell이 제시한 기본 감정은 5가지로 다음과 같다: fear, anger, sadness, happiness, love^[9]. Izard가 제시한 기본 감정은 10가지로 다음과 같다: fear, anger, enjoyment, interest, surprise, shame, disgust, contempt, distress, guilt^[10].

a) 한국생산기술연구원 로봇응용연구부(Applied Robot R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology)

‡ Corresponding Author : 이동욱(Dong-Wook Lee)
E-mail: dwlee@kitech.re.kr
Tel: +82-31-820-6312
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3814-5929>

* 본 논문은 한국생산기술연구원 "인간-로봇 공존형 케어로봇 개발을 위한 소프트 로봇틱스 기술 개발" 과제의 연구결과로 수행되었음 (과제번호: EO200005).

* This work was supported by the Korea Institute of Industrial Technology as under "Development of Soft Robotics Technology for Human-Robot Coexistence Care Robots (KITECH EO200005)."

· Manuscript received June 2, 2020; Revised July 21, 2020; Accepted July 21, 2020.

Tomkins가 제시한 기본 감정은 9가지로 다음과 같다: fear, anger, enjoyment, interest, surprise, shame, disgust, contempt, distress^[11]. Panksepp 가 제시한 기본 감정은 4가지로 다음과 같다: fear, rage, panic, expectancy^[12]. Fehr and Sroufe 가 제시한 기본 감정은 3가지로 다음과 같다: fear, anger, pleasure^[13]. 제시한 기본 감정들에는 중복되거나 비슷하여 하나로 대표되어도 가능한 감정들이 존재한다. 외적으로 비슷한 표현의 감정들은 대표 1개 감정으로 처리하여 목표인 13개의 기본 감정 (happiness = enjoyment = pleasure, sadness = shame, surprise, disgust, fear, anger = rage, distress, love, guilt, interest, contempt, panic, expectancy)을 선정하였다. 기본 감정은 심리학적인 분석이므로 이를 해부학적으로 분석해 실제 인간의 근육 움직임으로 해석할 필요가 있는데 이것이 FACS이다.

2. FACS를 기반으로 한 감정 표현 분석

FACS(Facial Action Coding System)는 심리학자 Paul Ekman과 Wallace Friesen이 3천개 이상의 표정을 연구하여 인간의 감정에 의해 나타나는 표정을 해부학을 기반으로 해당 표정을 만들 때의 얼굴의 움직임을 분석한 시스템이다. FACS에서는 감정에 해당하는 표정은 AU(Action Unit)의 조합으로 만들어지며, 이 AU가 로봇의 인공근육의 수와 위치를 정하는 근거가 된다. 감정을 만들기 위한 AU 조합은 얼굴 부위의 움직임을 나타내는 숫자와 움직임의 강도를 나타내는 알파벳(A, B, C, D, E) 그리고 좌-우 로 표기된다. 목표로 한 13개의 기본 감정을 위한 AU의 조합은 표 1에 표시되어 있다. 이 중, distress, guilt, panic, expectancy는 기존에 정의된 AU 조합을 찾을 수가 없어서 기존의 정의된 다른 감정 중 유사한 감정을 조정해서 사용하였다. distress는 유사한 Pain의 AU 조합을 사용하였고, guilt는 sadness의 AU 조합, panic은 fear의 AU 조합, expectancy는 desire의 AU 조합을 기반으로 하여 임의로 정의하였다. love의 경우는 happiness 와 구분이 힘들기 때문에 wink를 추가하였다. 물론, 기존에 존재한 기본 감정에 대한 AU 조합 역시 연구자들마다 정의가 조금씩 다르다. 표 2에는 해당 AU에 따른 얼굴 부위의 움직임이 기술되어 있다. AU9 같은 복잡한 움직임은 많은 개수의 모터가 필요하

며 구현이 쉽지 않다. 따라서 요구되는 AU들을 모두 구현하려면 매우 많은 수의 모터가 필요하지만 이것은 불가능에 가깝다. 제한된 헤드 내부 공간에 최대한 많은 모터를 장착하기 위해서 안구의 소형화와 모터 배치의 최적화가 연구되었다. 또한, AU19(Tongue Show)의 구현을 위해 로봇 혀가 개발되었다.

표 1. 13개의 기본 감정 구현을 위한 AU의 조합
 Table 1. AU combinations for 13 basic emotions

Basic emotion	Action unit combinations
happiness	6+12
sadness	1+4+15
surprise	1+2+5B+26
disgust	9+15+16
fear	1+2+4+5+20+26
anger	4+5+7+23
distress	4+6+7+9+17+18+23+24
love	6+7+12+25+26+46
guilt	1+4+54+64
interest	1+2+12
contempt	R12A+R14A
panic	1+2+4+5+27
expectancy	19+25+26

3. AU 기반으로 한 자유도의 선정

목표로 한 기본 감정들을 구현하기 위한 AU의 종류와 개수가 정해지면 이를 구현하기 위한 자유도의 결정과 모터의 배치가 필요하다. 표 2에서 볼 수 있듯이 대부분의 AU는 안구 주변과 입 주변 움직임에 집중되어 있다. 따라서 동작 부위는 크게 안구 움직임, 눈 주위 움직임(눈썹, 눈꺼풀), 입 주위 움직임(입술, 입 꼬리), 뺨의 움직임으로 분류 가능하다. 인간 안구를 모사하여 안구에는 좌우 각각 2 자유도(yaw, pitch), 총합 4 자유도를 할당하였다. 눈썹에는 좌우 총 6 자유도(Inner Brow Raiser L-R, Outer Brow Raiser L-R, Brow Lowerer L-R), 눈꺼풀에는 좌우 총 2 자유도(Upper Lid Raiser L-R)를 할당하였다. 입술의 근육 움직임은 오므리기와 내밀기로 나타나므로 위아래 입술 총합 4 자유도(Lip Stretcher Upper-Lower, Lip Tightener Upper-Lower)로 단순화할 수 있다. 입 꼬리는 올리기, 내리기, 벌리기로 좌우 6 자유도(Lip Corner Raiser L-R, Lip Corner Depressor L-R, Lip Corner Puller L-R)로 단순화하기로 하

표 2. AU에 따른 얼굴 부위의 움직임

Table 2. Facial motions depending on AUs

Action Unit	Facial actions
1	Inner Brow Raiser
2	Outer Brow Raiser
4	Brow Lowerer
5	Upper Lid Raiser
6	Cheek Raiser
7	Lid Tightener
9	Nose Wrinkler
12	Lip Corner Puller
14	Dimpler
15	Lip Corner Depressor
16	Lower Lip Depressor
17	Chin Raiser
18	Lip Pucker
19	Tongue Show
20	Lip Stretcher
23	Lip Tightener
24	Lip Pressor
25	Lips Part
26	Jaw Drop
27	Mouth Stretch
46	Wink
54	Head Down
64	Eyes Down

였다. Lip Corner Raiser는 목표 AU 조합에는 없지만, 표현의 강화를 위해 구현하기로 하였다. 뺨 움직임 구현을 위해 좌우 4 자유도(Cheek Raiser L-R, Dimpler L-R)를 할당하였다. AU19(Tongue Show) 구현을 위한 혀는 2 자유도(내밀기-넣기, 구부리기)로 구현하였다. 턱은 1 자유도(Chin Raiser), AU16(Lower Lip Depressor) 구현을 위해 아래 입술에 1 자유도를 할당하여 총 30 자유도를 정하였다. AU9(Nose Wrinkler)는 구현이 매우 어렵기에 본 얼굴에서는 제외하였다. AU에는 중복되거나 정의하기 어려운 움직임도 다수 존재하기에 일부 주관적 판단이 적용되었다. 인간의 안구 주변과 입 주변 근육은 orbicularis로 이루어져 있는데, 모터-와이어 구조로 orbicularis를 구현하는 것은 매우 어렵다. 따라서 몇 개의 포인트의 push-pull 운동으로 단순화하여 적용하기로 하였다. 적용된 실제 인공 근육의 움직임은 그림 1에 나타내어진다. 선정된 AU들과 30 자유도의 인공근육과의 상관관계는 표 3에 정리되어

있다.

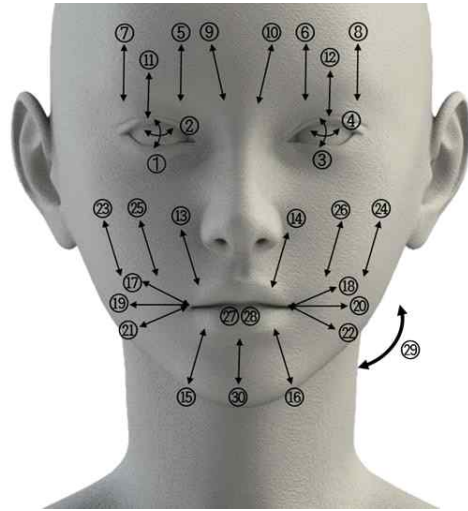


그림 1. 30개의 인공근육의 움직임

Fig. 1. Movement of 30 artificial muscles

표 3. 해당 AU 구현을 위한 인공근육의 상관관계

Table 3. Correlation between artificial muscles used to execute the corresponding AUs

Action unit (AU)	Corresponding artificial muscles
1	5, 6
2	7, 8
4	9,10
5	11,12
6	23,24,25,26
7	5,6,7,8
9	NONE
12	17,18,19,20
14	25,26
15	17,18,19,20
16	30
17	29
18	13,14,15,16
19	27,28
20	13,14,15,16
23	13,14,15,16
24	13,14,15,16
25	13,14,15,16
26	29
27	29,30
46	11,17,18,19,20,23,24,25,26
54	29
64	1,3

III. 하드웨어 설계

1. 초소형 안구 모듈과 혀 모듈의 설계

안구 부는 가장 크기가 큰 파트이기 때문에 소형화를 하면 공간을 크게 절약할 수 있다. 인간의 안구는 2 자유도 (yaw, pitch)를 가지고 있다. 2 자유도를 구현하는 전통적인 방식에는 gimbal 구조가 있으나, gimbal 구조는 소형화에는 적합하지 않기에, 스프링과 조합된 spherical joint가 사용되었다. Spherical joint는 2 자유도를 구현할 수 있는 가장 간단한 구조이나 3 자유도를 가지고 있어서 redundancy 문제가 발생한다. redundancy는 회전 축 방향의 roll 동작으로 나타난다[그림 2]. 인간의 안구에는 roll 동작이 없기 때문에 구속이 필요하다. Spherical joint 내부에 장착된 스프링은 자체의 torsional force 로 roll 동작의 회전을 방지한다. 총 3 자유도의 움직임이 RC서보 모터 (Dymond D47, HiTec Hs5085mg) 에 연결된 ball joint로 구동된다. 개발된 3 자유도의 안구 모듈의 사이즈는 64x40x40mm에 불과하다[그림 3]. 혀는 가장 복잡한 움직임을 지닌 기관이므로 그 구현이 매우 어렵기 때문에, 혀의 움직임을 내밀기-넣기, 구부리기 이렇게 2 자유도로 단순화하였다. 인간의 혀와 외관상 유사하고 자연스러운 움직임을 위해 실리콘 복합물을 사용하여 제작하였다. 혀의 내밀기-넣기 동작은 rack and pinion 구조로, 구부리기 움직임은 스틸 와이어를 이용하여 구현하였다. RC서보 모터(Dymond D47, Dymond D 60)가 사용되었으며 모듈의 사이즈는 100x60x60mm이다.

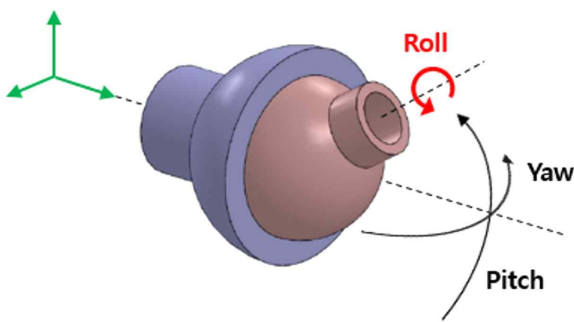


그림 2. Spherical joint에서의 롤 방향의 회전
 Fig. 2. Rotation towards the roll direction of the spherical joint

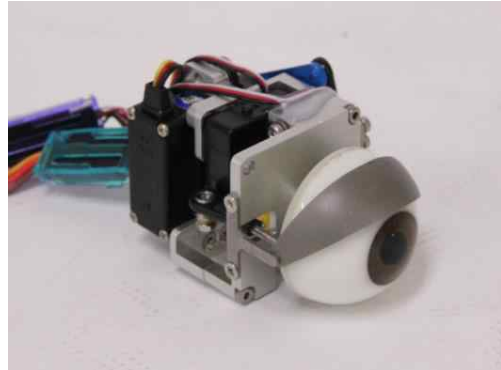


그림 3. 3자유도 초소형 안구 모듈
 Fig. 3. 3-DOF micro eyeball module

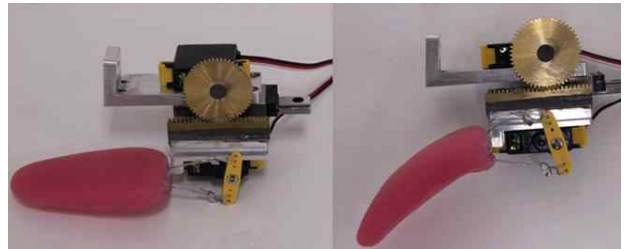


그림 4. 작동형 혀 모듈
 Fig. 4. Functional tongue module

2. 와이어 경로와 모터 배치 설계

많은 수의 모터를 내장하기 위해선 최적화된 설계가 필요하다. 피부의 움직임은 모터에 연결된 와이어가 피부에 연결되어 만들어진다. 밀기와 당기기 동작이 모두 가능해야 하기 때문에 스틸 와이어가 주로 사용된다. 이 때, 와이어의 구부러짐은 최소화되어야 한다. 와이어의 구부러짐이 크면 미는 동작 때 와이어의 휨 현상이 발생하기 쉬우며, 손상이 쉽게 일어난다. 따라서 와이어의 경로를 최우선으로 하면서 많은 수의 모터를 배치가 요구된다. 제안된 감정 표현을 위한 근육은 대부분 눈 주위와 입 주위에 위치해 있다. 각도와 길이를 고려할 때 눈 주위를 위한 최적 경로는 이마를 지나는 경로이고, 입 주위를 위한 최적 경로는 뺨을 지나는 경로이다. 이에 따라, 모터는 2개의 층으로 나뉘어서 배치되었다. 첫 번째 층에 위치한 모터들은 이마 쪽 경로를 지나가는 와이어를 움직이며 전방으로 향하여 배치된다. 두 번째 층에 위치한 모터들은 입 주변 움직임을 담당하며

뺨 쪽 경로를 지나가기 위해 아래쪽을 향해 배치된다[그림 5]. 제안된 구조로 인하여 최적의 와이어 경로를 확보하면서 모터간의 간격이 최소화된 배치가 가능하였다. 덧붙여, 각 층 간의 분리가 가능하고 모든 모터가 외부에 위치되어 정비의 용이성을 도모할 수 있었다. 사용된 모터는 RC서보 모터(HiTec Hs5085mg3.6kg.cm at 5V)이다.

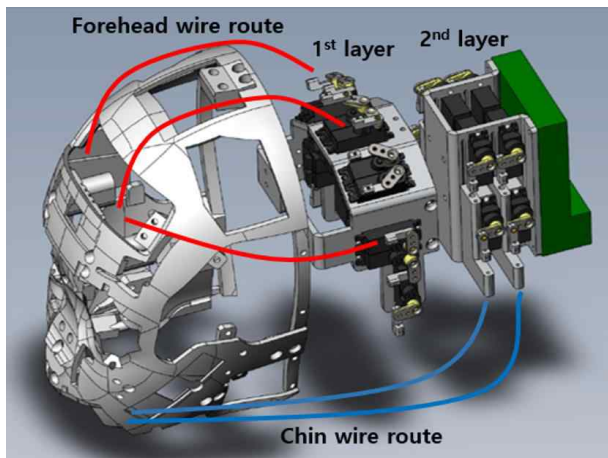


그림 5. 2층 내부 구조와 와이어 경로
Fig. 5. 2 layers inner frame and wire route

3. 내피 및 인공 피부의 제작

인공 피부와 내피는 얼굴의 외관을 결정한다. 얼굴의 외관은 3D 렌더링 프로그램(Cinema 4D)을 이용하여 독자 디자인으로 제작하였다. 피부를 주형하기 위한 실리콘 몰드는 생성된 디자인을 기반으로 RP(rapid prototype)로 제작되었다. 인공 피부는 인간의 피부와 유사한 질감을 위해 실리콘 혼합물로 제작되며, 실리콘과 유화제의 비율을 조절하여 최대한 인간과 가까운 질감과 내구성을 확보하려 하였다. 실리콘 혼합물 액상을 실리콘 몰드에 주입하여 인공 피부를 제작하게 된다. 내피는 인간의 두개골과 같은 역할을 하며 얼굴 형태를 결정하고, 안구와 모터 층이 결합되는 뼈대 역할을 한다. 내피는 피부 디자인을 기반으로 제작되며, -와이어 경로 고정 부품, 치아 등이 결합되기 때문에 강도가 요구되므로 ABS 수지로 제작되었다. 제작된 인공 피부와 내피 구조는 그림 6에서 확인할 수 있다.



그림 6. 내피와 인공피부
Fig. 6. Inner skin and artificial skin

IV. 실험 및 결과

개발된 안드로이드 헤드는 인공 근육과 인공 피부를 통해 다양한 감정 표현이 가능하다. 앞서 기술한 6개의 심리학 이론에 기반을 둔 13개의 기본 감정이 테스트를 위해 만들어졌으며 그 표현들은 다음과 같다: happiness/enjoyment /pleasure, sadness/shame, surprise, disgust, fear, anger/rage, distress, love, guilt, interest, contempt, panic, expectancy. 만들어진 얼굴의 감정 표현들은 전시회에서 일반 관람객 4262명 (2741 males, 1521 females)을 대상으로 로봇이 구현하는 감정을 제시된 감정 리스트 중에 고르는 형식으로 테스트 되었다^[4]. 감정 표현의 인식은 주관적인 요소가 높고 명확한 판단 근거를 제시하기 힘들다. 따라서 본 논문에선 제시된 감정 표현에 대한 참여자들의 정답률을 인식률로 간주하여 감정 표현의 효과를 측정하였다. 제시된 13 기본 감정들의 평균 인식률은 76.5% 이며 가장 인식률이 높은 감정 표현은 놀람 surprise (94.7%), 그리고 가장 낮은 인식률은 흥미 interest (54.6%)였다[그림 8]. 평균 인식률은 전체 감정들의 인식률의 총합을 응답 수로 나누어 산출하였다. 놀람의 인식률이 높은 이유와 흥미가 낮은 이유는 표현의 크기 차이라고 유추된다. 차후 인식률 차이에 대한 이론적인 분석이 필요하다.



그림 7. 13가지 기본 표정, 좌측 상단부터 우측 하단으로 : natural/neutral, happiness, sadness, surprise, disgust, fear, anger, distress, love, guilt, interest, contempt, panic, and expectancy
 Fig. 7. 13 Emotional expressions, from upper left to right, up to down: natural/neutral, happiness, sadness, surprise, disgust, fear, anger, distress, love, guilt, interest, contempt, panic, and expectancy)

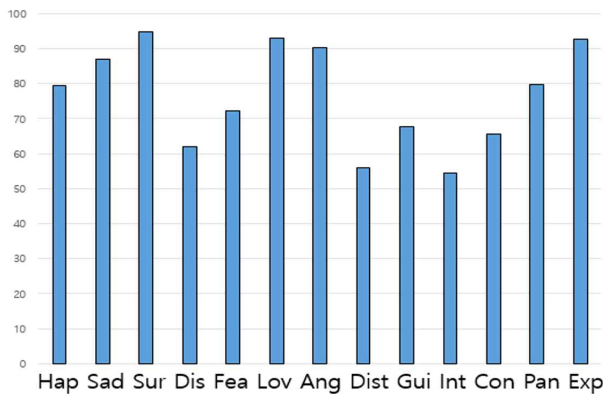


그림 8. 각 표현 별 인식률
 Fig. 8. Recognition rate for each expression

V. 결 론

본 논문에서는 FACS 기반의 안드로이드 헤드의 제작과 감정 표현 생성을 다루었다. 기본 감정을 구현하는 것을 목표로 하였고 기본 감정은 6개의 심리학 이론 (Ekman, Russell, Izard, Tomkins, Panksepp, and Fehr and Sroufe)을

기반으로 13개의 감정(happiness/enjoyment/pleasure, sadness/shame, surprise, disgust, fear, anger/rage, distress, love, guilt, interest, contempt, panic, expectancy)을 선택하였다. 목표 13개 감정 표현을 구현하기 위해서 FACS (Facial Action Coding System)를 기반으로 각 표정을 만들기 위한 AU(Action Unit)를 분석하였다. 30 자유도가 13개의 기본 감정을 구현하기 위한 AU 조합을 위해 결정되었고, 한정된 공간에 30개의 모터를 배치하기 위한 설계를 진행하였다. Spherical joint와 스프링을 이용한 초소형 3 자유도의 안구 모듈이 제작되어 공간 확보에 유리함을 가져올 수 있었다. 감정 표현 강화를 위한 작동형 혀 모듈도 제작되었다. 인공 피부를 작동하기 위한 스틸 와이어의 휨을 방지하기 위하여 2층의 모터 배치로 와이어의 최적 경로를 확보함과 동시에 30개의 서보 모터의 탑재가 가능하였다. 외형을 결정하는 인공 피부는 실리콘 혼합물을 주형 하여 만들어졌고, 두개골의 역할을 하는 내피는 ABS 소재 가공을 통해 만들어졌다. 13개의 기본 감정은 제작된 안드로이드 헤드를 통해 전시회에서 일반 대중들에게 감정 맞추기 게임 형태로 테스트되었다. 13개의 기본 감정의 평균 인식률은 76.5%이며 가장 인식률이 높은 감정 표현은 surprise (94.7%), 그리고 가장 낮은 인식률은 interest (54.6%)였다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] C. Breazeal, "Toward sociable robots," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.42, Issues 3 - 4, pp.167-175, March, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(02\)00373-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(02)00373-1).
- [2] 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: integration of humanoid robot hand RCH-1," *Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Sendai, Japan, pp.2203-2208, 2004, doi:10.1109/IROS.2004.1389736.
- [3] H. Ahn, P. Kim, J. Choi, S.B. Mansoor, W. Kang, S. Yoon, J. Na, Y. Baek, H. Chang, D. Song, J. Choi, and H. Ko, "Emotional Head Robot with Behavior Decision Model and Face Recognition," *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, Seoul, Korea, pp.2719-2724, 2007, doi:10.1109/ICCAS.2007.4406829.
- [4] H. Ahn, D. Lee, D. Choi, D. Lee, H. Lee, and M. Baeg, "Development of an incarnate announcing robot system using emotional interaction with human," *International Journal of Humanoid Robotics*, Vol.10, No.2, pp.1350017-1- 1350017-24, 2013, <https://doi.org/10.1142/S0219843613500175>.

- [5] S. Nishio, H. Ishiguro, and N. Hagita, "Geminoid: Teleoperated Android of an Existing Person," *Humanoid Robots: New Developments*, INTECH, pp.343-352, 2007.
- [6] P. Ekman, E.L. Rosenberg, "What the face reveals: Basic and applied studies of spontaneous expression using the Facial Action Coding System (FACS)", Oxford University Press, 1997.
- [7] N. Endo, S. Momoki, M. Zecca, M. Saito, Y. Mizoguchi, K. Itoh, and A. Takamishi "A Development of whole-body emotion expression humanoid robot," *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, Pasadena, CA, USA, pp.19-23, 2008, doi:10.1109/ROBOT.2008.4543523.
- [8] P. Ekman, W.V. Friesen, M. O'Sullivan, A. Chan, I. Diacoyanni-Tarlatzis, K.G. Heider, R. Krause, W. A. LeCompte, T. Pitcairn, P. E. Ricci Bitti, "Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion," *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.53, No.4, pp.712-717, 1987, <https://doi.org/10.1037/0022-3514.53.4.712>.
- [9] B. Fehr, J.A. Russell, "Concept of emotion viewed from a prototype perspective," *Journal of Experimental Psychology*, Vol.113, pp.464-486, 1984, <https://doi.org/10.1037/0096-3445.113.3.464>.
- [10] C.E. Izard, "Human Emotions," *Springer Science+Business Media New York*, 1977, doi:10.1007/978-1-4899-2209-0.
- [11] S.S. Tomkins, Affect, imagery consciousness, *Springer Publishing Company, Inc*, Vol.1, 1962.
- [12] J. Panksepp, "Toward a general psychobiological theory of emotions," *Journal of Behavioral and Brain Science*, Vol.5, pp.407-468, 1982, <https://doi.org/10.1017/S0140525X00012863>.
- [13] L.A. Sroufe, "Socioemotional development," *Handbook of infant development*, 1979.
- [14] H. Ahn, D. Lee, D. Choi, D. Lee, M. Hur, and H. Lee, "Appropriate emotions for facial expressions of 33-DOFs android head EveR-4 H33," *Proceedings of International Conference on Robot and Human Interactive Communication*, Paris, France, pp.1115-1120, 2012, doi:10.1109/ROMAN.2012.6343898.

저 자 소 개

최 동 운



- 2005년 2월 : 한양대학교 기계공학과 공학사
- 2007년 2월 : 한양대학교 기계공학과 공학석사
- 2007년 7월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용연구부부문 선임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-3933-7615>
- 주관심분야 : 안드로이드, 로봇, 기계 설계 및 제어

이 덕 연



- 2004년 2월 : 명지대학교 정보공학 공학사
- 2007년 7월 : 한양대학교 컴퓨터공학 공학석사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용연구부부문 선임연구원
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-4311-8987>
- 주관심분야 : 안드로이드로봇, 센서, 임베디드시스템

이 동 욱



- 1996년 2월 : 중앙대학교 제어계측공학과 공학사
- 1998년 2월 : 중앙대학교 제어계측학과 공학석사
- 2000년 8월 : 중앙대학교 제어계측학과 공학박사
- 2002년 4월 ~ 2004년 4월 : 중앙대학교 전자통신연구원 연구전담교수
- 2004년 8월 ~ 2005년 7월 : 테네시대학교 박사후 연구원
- 2015년 12월 ~ 2018년 12월 : 한국생산기술연구원 로봇그룹 그룹장
- 2005년 11월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 로봇응용연구부부문 수석연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-3814-5929>
- 주관심분야 : 감성로봇, 공연전시용 로봇, 안드로이드, 인간-로봇 상호작용