

# 로봇 감성 기술

Robot Emotion Technology

## 지능형 로봇 특집

박천수 (C.S. Park)	지식및추론연구팀 선임연구원
류정우 (J.W. Ryu)	지식및추론연구팀 연구원
손주찬 (J.C. Sohn)	지식및추론연구팀 팀장

## 목 차

- .....
- I. 서론
  - II. 감성적 문맥 인식
  - III. 로봇 감성 및 행동 표현
  - IV. 결론

공공 서비스, 홈 서비스, 엔터테인먼트, 매개치료, 개호 등의 다양한 분야에서 인간과 로봇간의 상호작용을 통한 감성적인 교류에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 점차 시각, 음성 인식을 통한 사용자 중심의 감성 인식에서 촉각 기반의 상호 작용을 통한 감성을 생성하고 다양한 형태로 감성을 표현하는 로봇들에 대한 개발이 이루어질 것이다. 이에, 본 고에서는 내·외부 센서들을 통한 감성에 영향을 주는 감성적 문맥 인식 기술과 로봇 감성 및 행동 표현에 대한 기술 개발 동향에 대하여 살펴 보도록 한다.

## I. 서론

기존의 로봇 분야에서는 단순한 센서 정보를 이용하여 미리 정의된 조건에 따른 감성 생성, 행동 선택 및 감성 표현에 대한 방법적인 연구가 주를 이루었다. 최근 들어, 내·외부 센서를 통한 상황 변화 및 시각, 음성, 접촉 등을 통한 인간-로봇 간의 상호작용이 가능한 감성 로봇에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다[1],[2].

로봇의 내·외부 환경 변화에 대한 상황을 인식하는 것이 감성 표현에 중요한 요소이지만 로봇의 감성 표현 및 동작 제어 방법에 초점이 맞추어져 있어 다양한 센서들로부터 입력되는 정보를 인식하는 방법에 대한 연구는 미흡하다. 또한, 시각(vision)을 통한 인식 정보를 이용하여 인간의 감성을 파악하거나, 음성 인식을 통한 음성의 강도, 템포, 억양 등을 파악하여 감성을 파악하는 데는 아직도 한계가 있으며, 감성 표현의 수단으로는 주로 얼굴을 이용한 감성 표현에 집중되어 있고, 접촉과 같은 다양한 신체 부위를 통한 인간과 로봇 간의 감성적인 교류 및 감성 표현 기술은 아직 미흡하다.

그러나 최근, 보다 생물체와 가까운 로봇을 개발하기 위해 다양한 센서들이 개발되고 있으며, 특히 MIT에서는 보다 자연스러운 인간과 로봇의 상호작용을 위해서 Huggable 프로젝트[3]를 통해 로봇 전체에 “sensitive skin”을 설치하려는 연구가 진행되고 있다. 이처럼 점차 시각, 음성 인식을 통한 사용자 중심의 감성 인식에서 촉각 기반의 상호작용을 통한 감성을 생성하고 다양한 형태로 감성을 표현하는 로봇들에 대한 개발이 이루어질 것이다.

따라서, 본 고에서는 내·외부 센서들을 통한 감성에 영향을 주는 감성 문맥 인식기술에 대한 기술 개발 동향을 살펴 보고, 다양한 감성 로봇 플랫폼에서 사용되는 감성 모델과 행동 표현에 대한 연구 및 인간과의 접촉을 통한 정서적인 교감을 할 수 있는 형태의 최근 연구 개발 동향을 살펴보고자 한다.

대표적인 로봇감성에 대한 연구로는 MIT의 Kismet[2],[4], Waseda 대학의 WE-4RII[5]-[7], 지능시스템의 Paro[8],[9], NEC의 PaPeRo[10],

MIT의 Leonardo[11],[12] 등을 들 수 있다.

## II. 감성적 문맥 인식

감성적 문맥 인식(emotional context perception)이란 센서들을 통하여 감성로봇의 감성을 변화시킬 수 있는 상황을 인식하는 것이다.

기존에 주로 연구된 감성적 문맥으로는 시각 센서와 청각 센서를 통해 사람의 감성 상태(human affective state) 또는 인식된 사용자와의 관계이다. 사용자의 관계는 로봇이 사용자를 인식하여 자신에게 적대적인 사람인지 우호적인 사람인지 판단하고 그에 따라 변화된 감성을 행동으로 표현함으로써 사용자에게 지속적인 관심을 가지도록 연구하고 있다. 그러나 사람의 감성 상태는 주로 로봇의 감성을 변화시키는 요인으로 사용되기 보다는 로봇이 사람의 감성 상태에 따라 서비스를 제공할 수 있도록 연구되어 왔다.

시각 센서와 청각 센서뿐만 아니라 최근 촉각 센서를 통해 사람과의 상호작용에서 인식될 수 있는 감성적 문맥에 대한 연구가 진행되고 있다. 지금까지 엔터테인먼트 로봇 혹은 애완용 로봇에서 일반적으로 촉각 센서는 강화학습(reinforcement learning)에서 보상(reward)과 처벌(penalty)을 주기 위한 채널로 이용되어 왔다.

이외에도 로봇의 감성을 변화시킬 수 있는 상황을 감지하기 위해 조도 센서, 온도 센서, 가속도 센서, 후각 센서, 배터리 잔량 센서가 보편적으로 로봇에 사용되고, 타이머(timer)를 이용하여 로봇의 24시간 주기 리듬(circadian rhythm)을 계산하여 감성 변화에 반영시키고 있다.

다음은 시각 센서, 청각 센서, 촉각 센서 각각을 이용하여 로봇의 감성을 변화시키기 위한 요인으로 어떠한 것들이 연구되고 있는지 살펴보고자 한다.

### 1. 시각 센서

말을 사용하지 않은 의사소통(non-verbal com-

munication) 방법으로는 얼굴의 표정과 몸짓(gesture)이 있다. 특히 얼굴 표정은 의식적으로 또는 무의식적으로 감성 상태가 잘 나타나는 의사소통이다. 그리고 Eckman과 그 동료들은 얼굴 표정이 환경과 문화에 상관없이 보편적으로 나타내는 의미가 같다는 것을 증명하였고, 얼굴 표정으로 나타내거나 판단할 수 있는 감성을 행복, 슬픔, 화남, 두려움, 놀람, 싫음과 같이 6가지로 정의하였다[13]. 따라서 얼굴 표정은 자신의 감성 상태를 나타내는 수단으로 뿐만 아니라, 상대방의 감성 상태를 알 수 있는 중요한 요인이 된다.

얼굴 표정에 따른 감성 인식은 주로 인간과 컴퓨터 상호작용(HCI) 분야에서 사용자의 감성 상태를 파악하여 그에 따른 적합한 정보를 제공할 수 있도록 하기 위해 연구되고 있으며, 최근 인식 방법의 성능과 안정성을 높이기 위해 음성 정보를 같이 고려하는 다중모달 감성 인식(multimodal emotion recognition) 방법[14],[15]이 소개되고 있다.

인간과 로봇 상호작용(HRI) 분야에서도 로봇이 사용자별로 다른 정보를 제공해주거나 행동을 보여주기 위해 사용자의 얼굴을 보고 인식하는 기술들이 제한적으로 적용되거나 연구되고 있으나, 로봇이 사용자의 얼굴 표정으로 사용자의 감성을 인식하는 연구는 초기 단계이다.

G. Littlewort와 M.S. Bartlett는 인간과 공존할 수 있는 사회적 로봇(social robot)이 인간과 자연스럽게 의사소통 하기 위해서 요구되는 기술 중의 하나가 사용자의 얼굴 표정을 통해 자율적으로 감성을 인식하는 것으로 보고 있다. 그들은 비디오 스트림 데이터에서 실시간으로 처리될 수 있는 AdaBoost와 SVM을 결합한 인식 방법을 제안하였고[16], 제안한 방법을 ATR에서 개발중인 social robot Robovie에 적용하여 평가한 결과, 4명의 사람과 로봇이 판단한 결과가 0.87%의 상관계수(correlation coefficient)를 보임으로써 가능성을 확인하였다[17].

## 2. 청각 센서

로봇이 사용자와 의사소통을 하면서 사용자의 감

성 상태를 인식할 수 있는 또 다른 중요한 채널은 청각 센서를 이용한 음성이다.

얼굴 표정에 따른 사용자 감성 상태 인식과는 다르게, 음성을 통한 사람의 감성 상태를 인식할 때에는 감성 상태에 따른 구조화된 발화(structured utterance)를 찾기가 어렵기 때문에 일반적으로 화자(話者)들에게 주어진 문장들을 감성 상태에 따라 말하도록 하여 화자마다 감성 상태에 따른 발화를 생성한다. 그러나 이렇게 생성된 구조화된 발화는 화자가 의식해서 감성 상태에 따라 발화하기 때문에 실생활에 나타나는 감성에 따른 발화와는 차이가 있을 뿐만 아니라 화자간의 차이도 있다. 이러한 문제들 때문에 [18]에서는 영화에서 화자의 감성이 나타나는 대사들을 인위적으로 추출하여 실험에 사용하였고, Kazunori Komatani는 불특정 다수의 감성 상태를 인식할 수 있도록 발화의 기본 주파수(fundamental frequency), 크기, 길이와 발화간의 시간을 기반으로 계산된 29개의 특징을 제안하였다[19].

로봇이 자신과 대화하는 사람의 감성 상태에 따라 대화를 한다면, 사람에게 보다 친근한 느낌을 줄 수 있는 사회적 로봇이 될 것이다. 따라서 이러한 관점에서 연구들이 진행되고 있다.

대화 중에 화자에게 나타날 수 있는 감성은 즐거움, 당혹감과 같이 일시적으로 나타나는 감성과 호감, 긴장감과 같이 대화 중에 변하지 않은 감성으로 구분된다. Kazunori Komatani는 전자를 일시적 감성(temporary emotion)으로 정의하고 후자를 영구적 감성(persistent emotion)으로 정의하였으며[19], Takayuki Kanda는 전자를 자율 감성(autonomic emotion)으로 정의하고 후자를 자가 감성(self-reported emotion)으로 정의하였다[20].

Kazunori Komatani와 Takayuki Kanda 모두 자신이 제안한 방법을 social robot Robovie에 적용하여 평가하였다. 특히 Takayuki Kanda는 사람들이 일반적으로 긴장한 상태에서 로봇과 대화를 하기 때문에 대화 중에 즐거움과 같은 자율 신경이 사람에게 나타나지 않게 되므로 기존 방법의 성능이 낮아진다고 분석하였다. 따라서 그는 화자의 발화와

얼굴 표정을 이용하여 화자가 긴장하고 있는지를 판단하고 화자의 긴장을 풀 수 있도록 도와주는 행동을 선택하는 긴장 완화 메커니즘(tension-moderating mechanism)을 제안하였다.

### 3. 촉각 센서

애완용 로봇과 휴대용 로봇(portable robot)들이 관심을 받으면서, 접촉을 통한 인간과 로봇간의 상호작용에 대한 관심이 높아지고 있다.

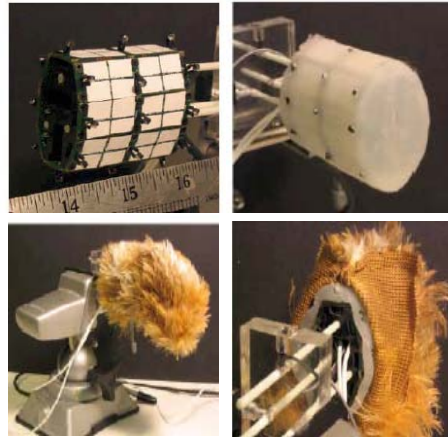
로봇에서 접촉 센서는 자율 주행을 위한 위치 측정이나 장애물 회피와 같은 목적으로 사용되거나 이족 로봇에서 보행시 몸의 균형을 유지할 때 또는 로봇이 자신의 손으로 물체를 조작할 때 동작을 제어하기 위해 사용되어 왔다.

Communication robot project에서는 물리적인 상호작용을 통해 사람의 감성을 측정하는 것과 접촉을 통해 사람과 자연스럽게 상호작용할 수 있는 로봇을 개발하는 것을 목표로 하였고, 그 결과 접촉의 압력을 측정할 수 있는 NITTA Corp.에서 개발된 I-SCAN 접촉 센서를 이용하여 때리는 행동과 가볍게 치는 행동 그리고 쓰다듬는 행동과 같은 접촉행동(touching behavior)을 인식할 수 있는 방법을 제안하였다[21].

Huggable project에서는 정서 치료에 사용될 수 있는 휴대용 로봇을 개발하는 것을 목적으로, 로봇이 자신의 신체 전부에서 접촉을 느낄 수 있도록(그림 1)과 같은 sensitive skin을 발표하였다. Sensitive skin은 QTC 힘 센서와 열 센서로 구성되어 있다[22].

그리고 이러한 접촉 센서를 통해 로봇이 사용자에게 느낄 수 있는 9가지의 접촉행동을 인식한 초기 연구 결과가 발표되었다[3].

Shigeki sugano는 로봇이 일상에서 사람과 공존하기 위해 로봇에게 느껴지는 접촉 상태를 판단해야 한다고 하였고 PIFACT 항목을 <표 1>과 같이 정의하였다[23]. 그는 사람-로봇 PIFACT 정의 시스템을 개발하였으며, 개발한 시스템을 WENDY에 적용



(그림 1) Sensitive Skin

<표 1> PIFACT 항목

Touch	Beat	Pick	Scrub	Hit
Push	Pull	Grasp	Collide	Thrust
Tug	Grip	Smite	Poke	Draw
Seize	Pat	Jab	Drag	Pinch
Tap	Jog	Tweak	Stroke	Slap
Nudge	Scrape	Scratch	Punch	Prod
Rub				

하여 평가하였다. 접촉을 감지하기 위해 WENDY 어깨와 팔 부분에 힘 센서인 FSR 센서를 부착하였다.

## III. 로봇 감성 및 행동 표현

내·외부 센서들의 정보를 이용하여 감성 생성에 영향을 줄 수 있는 특징을 생성하고, 이를 바탕으로 감성을 생성하여 다양한 형태로 감성을 표현하는 로봇들이 개발되어 왔다.

내·외부 자극에 대한 로봇의 감성을 생성하기 위하여 다양한 감성 모델이 사용되어 왔다. 감성 모델은 크게 두 가지 형태로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 2, 3차원 공간상에서 감성 공간을 정의하고 매핑시키는 연속적인 다차원 감성 모델이 있다. 이에 대한 대표적인 모델이 WE-4RII, Kismet에서 사용되는 3D 감성 모델이다. 3D 감성 벡터공간상에 특징 축을 두어 값을 계산함으로써, 연속적인 감성의 변화

를 유지할 수 있고, 다양한 감성 표현이 가능하다. 하지만, 계산량이 많고 다소 복잡하다.

둘째, 조건에 만족하도록 미리 정의한 트리 형태의 구조를 갖는 이산적 감성 모델로 나눌 수 있다. 이에 대한 대표적인 모델이 OZ project[24]에서 사용되는 OCC 모델[25],[26]이다. OCC 모델은 구현하기에는 용이하지만, 감성에 대한 연속적인 변화를 표현하기가 쉽지 않다.

이러한 감성 모델을 통하여 생성된 감성은 얼굴, 제스처, 이모티콘, 소리, 텍스트 등의 형태로 표현되어야 한다. 본 고에서는 대표적인 감성 관련 로봇에 대한 연구 동향 및 각 로봇에서의 감성의 생성 및 행동 표현에 대하여 살펴 보도록 한다.

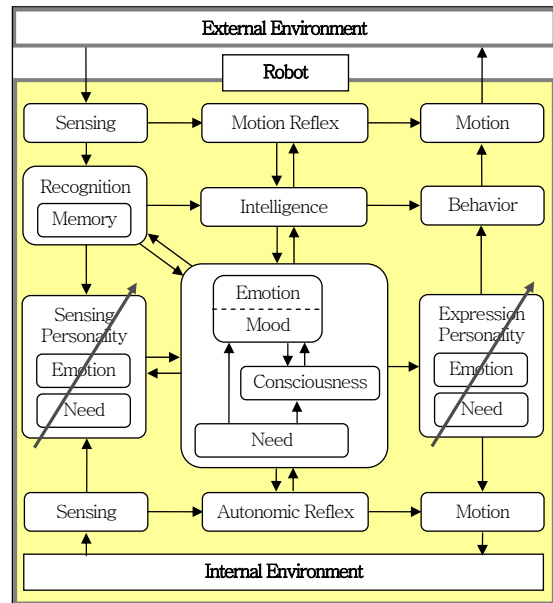
### 1. WE-4II

WE-4RII (Waseda Eye No.4 Refined II)는 Waseda 대학에서 1995년부터 개발하고 있는 감성 표현 휴머노이드 로봇이다. WE-4RII는 인간과 유사한 감성을 표현하여 인간과의 커뮤니케이션을 증대시키기 위한 목적으로 연구되고 있다. WE-4RII는 내·외부 자극에 대하여 감성 모델(mental model)을 변화시키고, 얼굴 표정이나 색깔 및 몸 동작 등을 이용하여 감성을 표현한다.

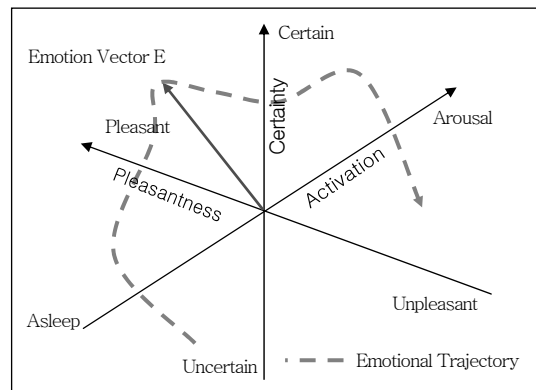
(그림 2)는 WE-4RII의 감성 모델을 나타내며, 두 개의 큰 흐름으로 나뉜다. 하나는 외부 환경 변화에 대한 흐름이고, 또 하나는 내부 상태 변화에 대한 흐름이다[5].

WE-4RII는 시각, 접촉, 음성, 온도 및 후각 등의 외부 자극과 배고픔, 자기 보호, 탐구의 욕구 등의 내부 자극을 받아서 (그림 3)에서 정의한 감성 공간의 3가지 축(pleasantness, activation, certainty)에 영향을 주어 감성을 변화시킨다. 이때, SPT을 이용하여 3D 감성 공간의 3가지 축에 +/- 요인을 구별하여 관리하며, 벡터 공간상에서 감성 벡터를 계산하여 감성을 생성한다[6],[7].

WE-4RII는 Ekman의 기본 6정서를 기반으로 “행복”, “화남”, “혐오”, “두려움”, “슬픔”, “놀람”과 “중립”의 총 7개의 감성을 표현할 수 있다.



(그림 2) 감성 모델



(그림 3) 3D 감성 공간

### 2. PARO

(그림 4)과 같이 Paro는 바다표범 형태(seal type)의 정서 위안 로봇이다. Paro는 사람의 행동을 보조하는 것보다, 사람의 마음에 즐거움이나 평온함 등의 정신적인 영향을 주어 사람과 공존할 수 있는 방향으로 연구가 진행되어 왔으며, 로봇을 이용한 매개 치료(robot therapy)에 사용되고 있다.

Paro에는 시각, 청각, 촉각 등의 센서가 있어 접하는 사람이나 주변 환경의 변화를 느낀다. 조도 센서를 이용하여 빛의 변화(밝음, 어두움)를 감지하고,



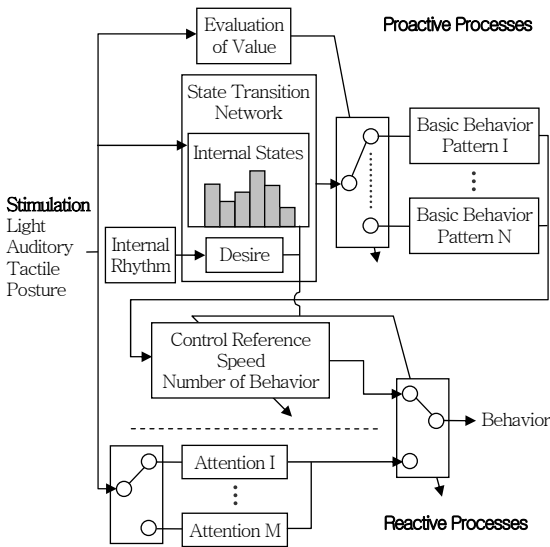


(그림 4) 바다표범 형태 로봇: Paro

촉각 센서를 이용하여 쓰다듬거나 때리는 것을 인식하고, 청각센서를 이용하여 음원의 방향을 추적할 수 있다.

Paro는 이동성을 최소화 하고, 인간과의 접촉을 통한 감성 교류를 목적으로 함으로써 내·외부 자극에 대한 행동의 형태도 활동적이거나 다양하지는 않다[8].

(그림 5)는 파로의 행동 생성 시스템에 대한 구조를 나타낸다. 행동 생성 시스템은 proactive와 reactive processes의 두 가지 계층 구조로 구성되고, 3가지 형태의 행동(proactive, reactive and physiological)을 생성한다. Proactive 행동은 주로 내적 상태, 욕구, 생체리듬 등을 기반으로 상태 전이 네트워크를 구성하여 생성된다. Paro는 proactive



(그림 5) Paro의 행동 생성 시스템

행동을 생성하기 위하여 행동 계획(behavior planning)과 행동 생성(behavior generation) 계층으로 구성된다. Reactive 행동은 주로 갑작스러운 자극에 대한 반응을 행동으로 나타낸다. 또한 생리학적인 행동은 졸림 및 생체 리듬의 변화 등에 대한 반응을 행동으로 표현한다[9].

Paro의 울음 소리는 harp 바다표범의 새끼의 울음 소리를 사용하였으며, 머리카락이 움직이는 것으로, 놀라거나 기뻐하는 감정을 표현하도록 행동한다. 또한, Paro는 상냥하게 어루만질 수 있거나 포옹되거나 하면 기쁘게 느끼고, 얻어맞으면 화를 내고, 수염을 만지면 부끄러워하며 고개를 돌린다[8].

### 3. PaPeRo

NEC사의 PaPeRo는 가정 환경에서 사람들과 함께 생활 가능한 개인용 로봇을 목표로 1997년을 시작으로 현재까지 연구가 진행되고 있다.

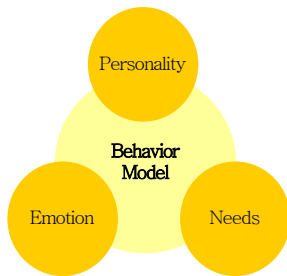
PaPeRo는 성격, 욕구 및 감성의 3가지 요소를 이용하여 행동모델을 구성한다. 3가지 요소는 각기 행동을 결정하는 데 영향을 주는 요인으로 작용한다 ((그림 6), (그림 7) 참조).

심리학자 Goldberg는 인간의 성격은 적극성(extroversion), 협조성(agreeability), 지성(intellect), 근면성(conscientiousness), 정서 안정성(emotional stability)의 5개의 요소로 결정된다고 제시하였다. PaPeRo는 상기 5개의 요소 중에서 3개의 요소를 사용하여 성격을 표현할 수 있도록 하였다.

각 요소에 대하여 PaPeRo가 행동하는 예를 들면



(그림 6) NEC사의 PaPeRo

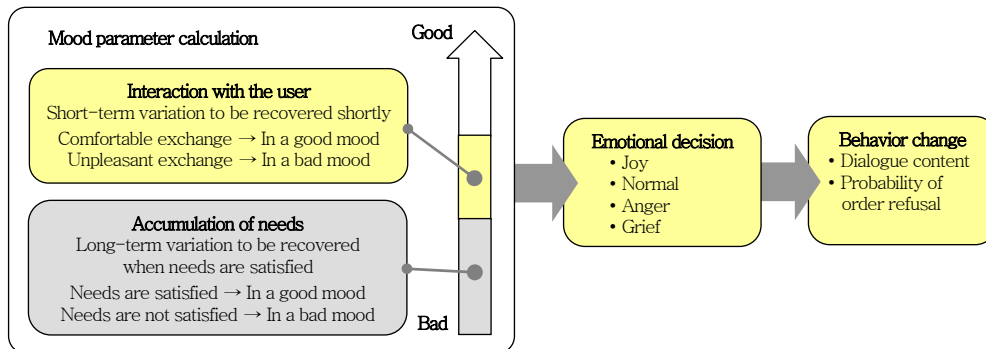


(그림 7) PaPeRo의 행동 모델

다음과 같다. 적극적인 성격을 가진 PaPeRo는 사용자에게 일기 예보를 알려주고, 게임을 제안하거나 댄스를 선보임으로써 적극적인 성향을 보인다. 협조성이 높은 PaPeRo는 사용자가 ‘댄스 해’라고 명령하자마자 댄스를 시작하는 반면, 협조성이 매우 낮은 PaPeRo는 사용자가 부탁해도 거절한다. 지적인 PaPeRo는 뉴스를 읽을 때 표제뿐만 아니라 내용까지 읽어 준다.

PaPeRo의 행동 모델의 요소 중 하나인 욕구는 Maslow’s의 욕구 모델을 기반으로 욕구를 파라미터를 정의하여 사용한다. Maslow’s 욕구 모델은 생리적 욕구, 안전의 욕구, 친화의 욕구, 자아의 욕구, 자기 실현의 욕구의 5개의 요소가 있으며, 발생된 욕구는 생리적 욕구가 다른 욕구보다 우선시 되어 행동으로 표현된다.

(그림 8)은 PaPeRo 행동 모델에서의 감성에 의한 행동의 변화를 나타낸다. PaPeRo는 기분(mood) 파라미터를 두어 욕구 파라미터에 영향을 받는 것은 장기적으로 변화하도록 하였고, 사용자의 접촉을 통



(그림 8) PaPeRo 행동 모델에서의 감성

한 자극에 대해서는 즉각적인 반응을 하도록 기본 파라미터에 의해 감정이 결정되며, 감성에 의해 발화 내용이나 행동 표현 방법이 변한다[10].

#### 4. Leonardo

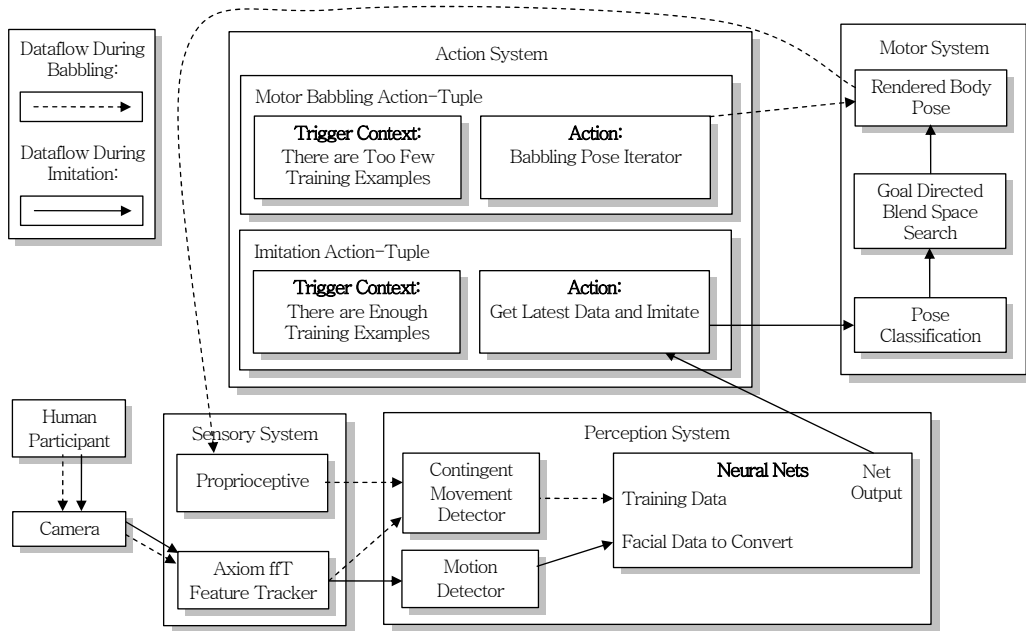
Leonardo 프로젝트는 MIT와 Stan Winston Studio가 합작으로 개발하고 있으며, 인간과의 사회적 상호작용에 대해 초점을 두어 연구가 진행중에 있다[11].

(그림 9)는 Leonardo의 시스템 구조를 나타내며, sensory 시스템, perception 시스템, action 시스템과 motor 시스템으로 구성된다. 시각 센싱 소프트웨어인 Axiom fIT를 이용하여 얼굴 표정 및 모션을 인식하여 인간의 표정을 흉내 내는 포즈를 생성한다[12].

### IV. 결론

본 고에서는 감성 로봇에서의 시각이나 청각 및 촉각을 통한 감성의 변화에 영향을 줄 수 있는 감성적 문맥 인식 방법들을 살펴 보았고, 다양한 감성 로봇 플랫폼에서 사용되는 감성 모델과 감성에 대한 행동 표현 방법에 대한 기술 개발 동향에 대하여 고찰하였다.

점차 엔터테인먼트, 청소, 방법, 개호 로봇 등과 같은 다양한 로봇이 우리의 생활의 일부로서 그 역



(그림 9) Leonardo의 시스템 구조

할을 수행함에 따라, 인간-로봇 간의 상호작용을 통한 감성적 교감이 가능한 형태의 연구가 더욱 필요하며, 사용자에게 지속적인 흥미를 주기 위한 감성 표현에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

SPT Sensing Personality Table  
 SVM Support Vector Machine  
 WENDY Waseda Engineering Designed sYmbiont

### 약어 정리

FSR Force Sensing Resistor  
 PIFACT Physical Interference and intended contACT  
 QTC Quantum Tunneling Composite

#### ● 용어해설 ●

**SVM:** 데이터들을 분류하기 위한 최적의 분리 경계면을 제공하는 지도 학습 방법. 최적의 분리 경계면은 각 클래스의 데이터 사이의 중간에 위치하도록 학습된다.

**AdaBoost:** 매 단계마다 여러 weak classifier를 이용하여 샘플들을 인식하고, 인식된 샘플에 대해서는 가중치를 감소시키고, 오인식된 샘플에 대해서는 가중치를 증가시켜 다음 단계의 weak classifier에 반영하는 학습 방법. 최종 classifier는 각 단계에서 생성된 weak classifier들의 합으로 구성된다.

### 참고 문헌

- [1] T. Fong, I. Nourbakhsh, and K. Dautenhahn, "A Survey of Socially Interactive Robots," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol.42, 2003, pp.143-166.
- [2] C. Breazeal, "Emotion and Sociable Humanoid Robots," *Int'l J. Human-Computer Studies*, Vol.59, No. 1-2, July 2003, pp.119-155.
- [3] Walter Dan Stiehl and Cynthia Breazeal, "Affective Touch for Robotic Companions," *ACII 2005*, LNCS 3748, 2005, pp.747-754.
- [4] Kismet, Sociable Humanoid Robot, <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>
- [5] WE-4RII, Emotion Expression Humanoid Robot, <http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/research/eyes/we-4rii/index.htm>
- [6] Hiroyasu Miwa, Tetsuya Okuchi, Kazuko Itoh, Hideaki Takanobu, and Atsuo Takanishi, "A New Mental Model for Humanoid Robots for Human Friendly



- Communication - Introduction of Learning System, Mood Vector and Second Order Equations of Emotion -,” *Proc. of the 2003 IEEE Int’l Conf. on Robotics & Automation*, 2003, pp.3588-3593.
- [7] Hiroyasu Miwa, Kazuko Itoh, Munemichi Matsumoto, Massimiliano Zecca, Hideaki Takanobu, Stefano Roccella, Maria Chiara Carrozza, Paolo Dario, and Atsuo Takanish, “Effective Emotional Expressions with Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII,” *Int’l Conf. an Intelligent Robots and Systems*, 2004, pp.2203-2208.
- [8] PARO, Seal Type Mental Commit Robot, <http://paro.jp/english/index.html>
- [9] Kazuyoshi Wada and Takanori Shibata, “Robot Therapy in a Care House - Results of Case Studies -,” RO-MAN06, 2006, pp.581-586.
- [10] PaPeRo, NEC Personal Robot, [http://www.incx.nec.co.jp/robot/english/robotcenter\\_e.html](http://www.incx.nec.co.jp/robot/english/robotcenter_e.html)
- [11] Leonardo, <http://robotic.media.mit.edu/projects/Leonardo/Leo-intro.html>
- [12] C. Breazeal, D. Buchsbaum, J. Gray, D. Gatenby, and B. Blumberg, “Learning from and about Others: Towards Using Imitation to Bootstrap the Social Understanding of Others by Robots,” *Artificial Life*, Vol.11, 2005, pp.1-32.
- [13] P. Eckman and W.V. Friesen, “Facial Action Coding System: Investigator’s Guide,” Consulting Psychologists Press, 1978.
- [14] Nicu Sebe, Ira Cohen, Theo Gevers, and Thomas S. Huang, “Emotion Recognition Based on Joint Visual and Audio Cues,” *ICPR 2006*, 2006, pp.1136-1139.
- [15] Carlos Busso, Zhigang Deng, Serdar Yildirim, Mutaza Bulut, Chul Min Lee, Abe kazemzadeh, Sungbok Lee, Ulrich Neumann, and Shrikanth Narayanan, “Analysis of Emotion Recognition Using Facial Expressions, Speech and Multimodal Information,” *ICMI 2004*, 2004, pp.205-211.
- [16] Gwen Littlewort, Marian Stewart Bartlett, Ian R. Fasel, Joel Chenu, Takayuki Kanda, Hiroshi Ishiguro, and Javier R. Movellan, “Towards Social Robots: Automatic Evaluation of Human-robot Interaction by Face Detection and Expression Classification,” *Advances in Neural Information Proc. System*, 2003.
- [17] Marian Stewart Bartlett, Gwen Littlewort, Claudia Lainscsek, Ian R. Fasel, and Javier R. Movellan, “Machine Learning Methods for Fully Automatic Recognition of Facial Expressions and Facial Actions,” *Proc. of the IEEE Conf. on Systems, Man & Cybernetics*, 2004, pp.592-597.
- [18] Celestino Alvarez Martinez and Antonio Barrientos Cruz, “Emotion Recognition in Non-Structured Utterances for Human-Robot Interaction,” *IEEE Int’l Workshop on Robots and Human Interactive Commun.*, 2005, pp.19-23.
- [19] Kazunori Komatani, Ryosuke Ito, Tatsuya Kawahara, and Hiroshi G. Okuno, “Recognition of Emotional States in Spoken Dialogue with a Robot,” *IEA/AIE 2004*, LNAI 3029, 2004, pp.413-423.
- [20] Takayuki Kanda, Kayoko Iwase, Masahiro Shiomi, and Hiroshi Ishiguro, “A Tension-moderating Mechanism for Promoting Speech-based Human-robot Interaction,” *IEEE/RSJ Int’l Conf. on Intelligent Robots and Systems*, 2005, pp.527-532.
- [21] Futoshi Naya, Junji Yamato, and Kazuhiko Shinozawa, “Recognizing Human Touching Behaviors Using a Haptic Interface for a Pet-robot” *In Proc. of the 1999 IEEE Int’l Conf. on Systems, Man & Cybernetics*. Oct. 1999.
- [22] Walter Dan Stiehl, Jeff Lieberman, Cynthia Breazeal, Louis Basel, Levi Lalla, and Michael Wolf, “The Design of the Huggable: A Therapeutic Robotic Companion for Relational, Affective Touch,” *In Proc. of AAAI Fall Symp. on Caring Machines: AI in Eldercare*, 2006.
- [23] Hiroyasu Iwata and Shigeki Sugano, “Human-Robot-Contact-State Identification Based on Tactile Recognition,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.52, No.6, 2005.
- [24] J. Bates, “The Role of Emotion in Believable Agents,” *Association for Computing Machinery*, Vol.37, No.7, 1994, pp.122-126.
- [25] A. Ortony, G. Clore, and A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press, 1988.
- [26] M. Arbib, A. Ortony, G. Clore, and A. Collins, “The Cognitive Structure of Emotions,” *Artificial Intelligence*, Vol.54, 1992, pp.229-240.