

# 서비스 로봇을 위한 리액티브 감정 생성 모델

## Design of Reactive Emotion Process for the Service Robot

김형록<sup>1</sup> · 김영민<sup>2</sup> · 박종찬<sup>3</sup> · 박경숙<sup>4</sup> · 강태운<sup>5</sup> · 권동수<sup>6</sup>

Kim Hyoung-Rock<sup>1</sup> · Kim Young-min<sup>2</sup> · Park Jong-Chan<sup>3</sup>  
Park Kyung Sook<sup>4</sup> · Kang Tae Woon<sup>5</sup> · Kwon Dong-Soo<sup>6</sup>

**Abstract** Emotion interaction between human and robot is an important element for natural interaction especially for service robot. We propose a hybrid emotion generation architecture and detailed design of reactive process in the architecture based on insight about human emotion system. Reactive emotion generation is to increase task performance and believability of the service robot. Experiment result shows that it seems possible for the reactive process to function for those purposes, and reciprocal interaction between different layers is important for proper functioning of robot's emotion generation system.

**Keywords:** Emotion Model, Human-Robot Interaction, Cognitive Emotion Model

### 1. 서 론

로봇 공학 기술이 발전함에 따라, 로봇의 활용 영역은 산업현장으로부터 가정, 사무실과 같은 인간의 일상 생활과 밀접한 영역으로 확장되고 있다. 로봇 활용 영역의 확장에 따라, 산업용 로봇에서는 중요하게 여겨지지 않던 새로운 기능이 로봇에게 요구되고 있다. 첫째, 로봇은 집이나 사무실과 같이 원래 인간의 편의를 위해 설계된 공간에 배치될 것이다. 따라서, 로봇은 주변의 사람에게 위해를 주지 않으면서, 사람이 움직이고 조작하는 방식과 유사하게 동작하고 행동할 수 있어야 한다. 둘째로, 사람들이 로봇을 이용하기 편하게 해주려면, 로봇은 사람의 자연스러운 의사 소통 방법을 이용해서 사람과 상호작용할 수 있어야 한다. 마지막으로, 로봇의

외형 디자인도 로봇의 활용을 위해 중요한 요소가 될 것이다. 이 중에서 로봇이 인간과 자연스럽게 의사 소통할 수 있는 기능의 부족은 로봇이 인간의 일상 생활에서 널리 활용되는 것을 막는 가장 중요한 장애물이다. 그러므로 인간-로봇 상호작용에 대한 연구는 최근 많은 연구자들의 주목을 끌고 있다.

로봇이 인간과 자연스럽게 상호작용 하기 위해서, 로봇은 멀티 모달(multi-modal) 상호작용, 인지 상호작용, 그리고 감정 상호작용 기능을 가지고 있어야 한다. 멀티 모달 상호작용은 로봇이 다양한 센서로부터 인식한 정보들을 통합하여 인간의 의도나 현재의 상황을 이해하는 상호작용 기능을 의미한다. 인지 상호작용은 로봇이 부여 받은 작업을 수행하기 위해 작업의 매 단계 마다 필요한 정보를 인간에게 직접적으로 요구하지 않고 로봇 스스로 작업에 필요한 정보를 상호작용 내용에서 유추하거나 로봇이 가지고 있는 기존의 지식을 이용하여 작업을 더 지능적으로 처리하는 상호작용 기능을 의미한다. 감정 상호작용은 인간-로봇 상호작용에서 다른 상호작용 기능과 또 다른 중요한 역할을 차지한다. 특히 인간-로봇 상호작용에서 감정 표현을 통한 정보들은 화자의 의도와 다른 대상에 대한 호/불호(valence)를 간접적으로 전달한다. 그러므로 감정은 인간과 로봇 사이의 상호작용을 더 자연스럽게 사교적(social)으로 만들어 줄 수 있다. 이러한 감

\* 본 연구는 정보통신연구진흥원 SoC 기반기술 개발 과제 지원으로 수행되었음.

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계공학과 박사과정, 인간로봇상호작용핵심연구센터  
(E-mail : kimhr@robot.kaist.ac.kr)

<sup>2</sup> 한국과학기술원 기계공학과 박사과정  
(E-mail : kimym@robot.kaist.ac.kr)

<sup>3</sup> 한국과학기술원 기계공학과 석박사 통합과정  
(E-mail : parkjc@robot.kaist.ac.kr)

<sup>4</sup> 한국과학기술원 기계공학과 초빙교수 인간로봇상호작용연구센터  
(E-mail : parkks@robot.kaist.ac.kr)

<sup>5</sup> (주)코어정보시스템 연구소장/CTO (E-mail : taewk@coreinfo.co.kr)

<sup>6</sup> 한국과학기술원 기계공학과 교수, 인간로봇상호작용핵심연구센터장  
(E-mail : kwonds@kaist.ac.kr)

정 상호작용을 위해서, 로봇은 사용자의 감정 상태를 이해하고, 현재의 상황에 대해 인간이 이해할 수 있는 방법으로 로봇 자신의 감정을 표현할 수 있어야 한다. 그러므로 인간이 어떻게 자신의 감정 상태를 결정하는지의 메커니즘을 이해하는 것은 로봇의 감정 시스템을 설계하기 위한 중요한 시급성이 될 것이다.

비록 감정이라는 것은 인간이 일상 생활을 하면서 누구나 겪는 자연스러운 심리적 현상이지만, 이러한 감정 상태가 어떻게 발현되는지에 대해서는 완벽하게 밝혀지지 않고 있다. 감정이라는 현상에 내재된 원리를 이해하기 위해 심리학과 이와 관련된 신경생리학, 인공 지능 등의 다양한 분야에서 많은 연구들이 진행되고 있다. 이러한 연구들의 결과 인간의 감정 메커니즘에 대한 많은 이론들이 제안되었다. Shachter에 따르면, 감정의 생성은 인간 내부의 두 가지 요소의 상호작용에 따른 발현 결과이다<sup>11</sup>. 이 두 가지 요소는 생리적인 각성(Physiological arousal)과 이러한 각성을 유발시키는 상황에 대한 인지적 판단(cognition)이다. 생리적인 각성 정도는 외부 자극에 의해 발현되는 감정 상태의 강도에 영향을 미치고, 인지적 판단은 어떠한 종류의 감정 상태가 발현되는지에 영향을 미치게 된다. 또한 Ortony, Collins, 그리고 Clore는 감정 상태는 사건(event), 행위자(agent), 그리고 대상물(object)을 기준으로 현재의 상황이 당사자에게 좋은 영향을 주는지 혹은 나쁜 영향을 주는지에 대한 인지적 평가(cognitive appraisal)의 결과로 결정된다고 제안하였다<sup>12</sup>. 이러한 연구들에 따르면 감정 상태를 결정하기 위해 인간의 현재의 생리적 상태나 외부 자극의 상태에 대한 인지적 처리 과정이 밀접하게 연관되어 있음을 알 수 있다. 그러므로, 로봇이나 컴퓨터와 같은 인공 개체가 사람과 감정 상호작용을 할 수 있도록 하기 위해서는, 감정 상태를 결정하는 인지적 처리 과정을 모델링하고 구현하는 것이 중요하다. 그러나 인간의 감정 상태는 인지적 과정을 거쳐 결정될 뿐만 아니라, 무의식적으로(unconsciously) 혹은 반사적으로(reactively) 표현되기도 한다<sup>13,14</sup>. 그러므로 인간의 감정 시스템은 서로 다른 특성을 갖는 여러 계층으로 구성되어 있고, 따라서 감정 반응은 이러한 서로 다른 계층간의 복잡한 상호작용에 의해 생성되는 것으로 이해되고 있다<sup>15,16</sup>. A. Sloman의 H-CogAff 아키텍처는 이러한 계층화된 인지/감정 구조의 한 예이다<sup>15</sup>. H-CogAff 아키텍처는 리액티브(reactive), 딜리버러티브(deliberative), 그리고 메타 매니지먼트(meta-management)의 세 계층으로 구성된 하이브리드(hybrid) 아키텍처이다. 각각의 계층은 감정

상태를 만들어내는데 서로 다른 역할을 담당하고 있으며, 계층적으로 구조화 되어 있다. 리액티브 계층은 외부 자극에 대해 즉각적이고 기계적인 반응을 만들어 내게 된다. 딜리버러티브 계층은 계획 수립, 의사 결정, 추론과 같은 인지적 처리 과정의 결과에 따른 감정 반응을 담당하고 있다. 메타 매니지먼트 계층은 리액티브, 딜리버러티브 계층의 동작을 감독하고 평가하며, 이 계층들의 동작을 조절하기도 한다. 이외에도 Ortony도 리액티브(reactive), 루틴(routine), 리플렉티브(reflective)의 세 계층으로 구성된 아키텍처를 제안하였다<sup>16</sup>. 지금까지 언급한 연구들을 기반으로, 로봇의 감정 상태는 리액티브 혹은 딜리버러티브 계층의 한 가지 특징만으로 모델링 되기 어려우며, 서로 다른 특징을 가지는 여러 계층으로 구성된 하이브리드 아키텍처로 모델링 되어야 한다는 것을 추론할 수 있다.

인간의 감정 시스템에 대한 연구 이외에 로봇을 위한 감정 생성 아키텍처의 연구에서도 많은 하이브리드 아키텍처들이 제안되었다<sup>17,18,19</sup>. C. L. Lisetti 는 로봇의 감정 상태가 생리적 측면과 주관적 측면의 서로 다른 계층에 의해 발현되는 하이브리드 아키텍처를 제안하였다<sup>17</sup>. 그러나 생리적 시스템과 주관적 경험에 따른 시스템 간에 상호 영향을 미치는 연결 부위를 완벽하게 설계하지는 않고 있다. 인간형 로봇 ISAC에 적용된 감정 생성 아키텍처는 인지 모델링에 기반하고 있으며 계층화된 구조로 설계되었다<sup>18</sup>. ISAC의 감정 아키텍처에서 감정은 로봇의 의사 결정에 영향을 미치며, 리액티브 혹은 딜리버러티브 감정 반응이 로봇의 메모리, 계획 수립, 주의 집중 상태와 같은 서로 다른 요소의 상호작용에 의해 발현된다.

본 연구의 최종 목적은 서비스 로봇의 감정 생성을 위한 하이브리드 아키텍처를 설계하고, 각 계층이 어떻게 영향을 주고 받으며 로봇의 감정 시스템이 인지 시스템과 어떻게 연동하는지를 제안하는 것이다. 본 논문에서는 감정 생성 아키텍처의 전체 프레임워크(Framework)를 제안하고, 하이브리드 아키텍처의 구성 요소 중 리액티브 감정 생성 시스템의 설계에 대해 논하고자 한다. 또한 예비 실험을 통해 리액티브 감정 생성 시스템이 설계 의도 대로 동작하는지 확인할 것이다.

2장에서는 서비스 로봇의 감정 생성을 위한 하이브리드 아키텍처의 프레임워크를 간략하게 소개할 것이다. 3장에서는 전체 아키텍처중 리액티브 시스템의 설계를 제안하고자 한다. 4장에서는 리액티브 시스템의 동작을 확인하기 위한 예비 실험 결과를 제시한다.

## 2. 감정 생성 아키텍처

외부의 자극에 대해 감정 반응을 생성하는 아키텍처는 리액티브(reactive) 계층과 딜리버리티브(deliberative) 계층으로 구성되어 있다 (그림 1). 리액티브 계층은 외부 자극의 특정 패턴에 대해 즉각적이고 자동적인 감정 반응을 생성한다. 리액티브 계층에 의해 생성되는 감정 반응은 미리 정의된 자극의 특정 패턴에 밀접하게 연관되어 있다. 기본적으로 리액티브 계층의 감정 반응은 중대한 위협을 초래할 수 있는 상황에 대처하기 위한 감정 반응이다. 딜리버리티브 계층에서 감정 상태와 이에 따른 로봇의 행동은 외부 자극과 로봇이 현재 수행하는 작업, 그리고 로봇의 동기 상태에 대한 인지적 평가에 의해 결정된다. 인지적 평가를 위해 외부 상황에 대한 정보는 OCC 모델에서 정의된 변수인 매력적인 정도(Appealingness), 칭찬할 만한 정도(Praiseworthiness) 그리고 바람직한 정도(Desirability)를 기준으로 해석된다. OCC 모델은 Ortony, Clore 그리고 Collins가 제안한 감정 생성의 인지적 평가 구조 모델이다<sup>2)</sup>. 여기서 매력적인 정도는 외부의 대상물(object)이 자신이 좋아하는 대상인지 싫어하는 대상인지를 판단하는 기준이다. 칭찬 받을 만한 정도는 자신(self-agent)의 행동 혹은 타자(other-agent)의 행동이 칭찬할 행동인지 비난 받을 행동인지를 판단하는 기준이다. 마지막으로 바람직한 정도는 현재 일어난 사건(event)이 자신의 목적을 이루기 위해 바람직한 사건인지 목적의 달성을 방해하는 사건인지를 판단하는 기준이다. 딜리버리티브 계층에서 위와 같은 세 가지 변수를 기준으로 해석된 외부 상황의 정보는 세 변수의 조합에 따라 OCC 모델을 통해 현재 로봇의 감정 상태로 결정이 된다. 이러한 감정 상태는 미리 정의된 로봇의 개성(personality)에 따라 감정 표현의 강도, 지속 시간이 변화되거나 다른 종류의 감정으로 바뀌게 된다. 감정 생성 아키텍처의 입력과 출력 변수들은 본 연구가 대상으로 하고 있는 서비스 로봇이 가지고 있는 기능에 따라 정의 되었다<sup>10)</sup>. 리액티브 계층과 딜리버리티브 계층에서 생성된 로봇의 감정 상태는 로봇의 감정 표현 기능을 통해 외부로 표현될 뿐만 아니라, 로봇의 작업 관리자(Task manager)에도 영향을 미친다.

작업 관리자는 로봇에게 주어진 작업 명령을 수행하기 위해 계획을 수립하고 로봇의 적절한 행동을 지시하는 기능을 담당하고 있다. 외부의 위협에 대해 즉각적으로 생성된 로봇의 감정 상태는 작업 관리자에게 위험 신호를 보내고 로봇의 행동을 위협에 대처할 수 있게 수정할 수 있도록 유도한다. 위협 상황에 의한 감정 생

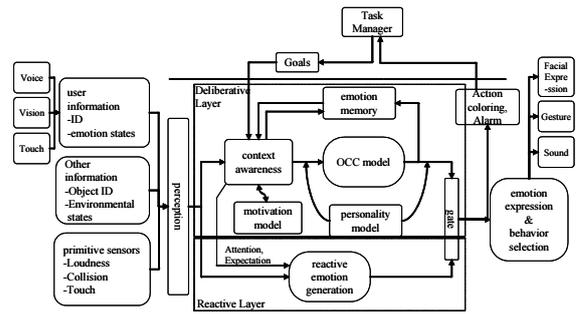


그림 1. 감정 생성의 전체 아키텍처 (Architecture)

성 이외에도 로봇의 행동은 감정 상태에 따라 서로 다르게 구성될 수 있다. 본 연구에서 감정 상태에 따른 로봇 행동 수정은 ‘action-coloring’ 으로 정의 한다. Action coloring은 로봇의 행동이 로봇의 작업 목표를 방해하지 않는 수준에서 로봇의 감정 상태를 표현하기 위해 행동 특성을 변화시키는 것을 뜻한다. 제안된 전체 아키텍처에서 각각의 구성 요소들은 현재 개발 단계에 있으며 전체 시스템 모두가 통합되지는 않았다. 3장에서는 전체 아키텍처 중에서 리액티브 계층의 설계에 대해 설명하고자 한다.

## 3. 리액티브 감정 생성 프로세스의 설계

리액티브 계층은 외부 자극에 대해 즉각적인 감정 반응을 생성하기 위한 프로세스이다. 리액티브 프로세스는 계산 속도가 빠르고 외부 자극에 대해 자세한 인지적인 해석 과정을 포함하지 않는다. 인간의 두뇌에서도 이와 유사한 기능의 정보 처리 과정을 발견할 수 있다<sup>13)</sup>. 소리 자극에 대한 공포 반응의 연구에 따르면, 인식된 소리 정보는 두뇌의 시상(thalamus) 부위를 통해 편도체(amygdala)와 대뇌 피질(neocortex) 양쪽으로 전달된다<sup>14)</sup>. 편도체로 전달된 신호는 편도체 내의 중앙 핵(central nucleus)로 전달되고, 이 결과 자극에 대한 즉각적인 행동 반응, 자율 신경계의 변화 그리고 호르몬 변화가 생성된다. 이와 반대로 대뇌 피질로 전달된 신호는 인지적 프로세스에 의해 분석되고 이 결과 자극에 대해 계획된 반응이 다시 편도체로 전달되게 된다. 이 두 가지 정보 처리 과정 중 시상에서 편도체로 연결되는 정보 처리 과정은 즉각적 반응의 특성을 가지고 있으며 이는 리액티브 프로세스로 정의될 수 있다. 리액티브 프로세스에 의한 반응은 긴 진화 과정을 통해 개체의 생존 적합성(fitness for survival)을 높일 수 있도록

자극에 대해 미리 정의된 반응들이다. 그러나 로봇에서 리액티브 프로세스의 특징을 가지는 감정 반응을 인간과 같은 범주의 생존 적합성을 기준으로 설계하는 것은 큰 의미를 가질 수 없다고 여겨진다. 이는 로봇이 인간과는 다른 존재 목적을 가지고 있고, 로봇 시스템의 구성 요소 또한 인간의 구성 요소와는 다르기 때문이다.

서비스 로봇의 생존 적합성은 로봇의 활용 목적에 따라 다양하게 정의될 수 있을 것이다. 본 연구에서는, 서비스 로봇의 생존 적합성의 범주를 로봇의 작업 수행 성능(task performance)과 생명감(believability)으로 정의하였다. 서비스 로봇의 역할은 인간의 일상 생활에서 인간에게 도움을 주는 것이다. 그러므로 로봇이 자신에게 부여된 작업을 아무런 문제 없이 잘 수행하고 미리 계획된 작업 수행의 예외적인 상황에 잘 대처하는 것은 서비스 로봇의 가치를 결정하는 중요한 요소가 될 것이다. 외부 환경의 급작스런 변화에 대해 즉각적으로 생성된 감정 반응은 로봇의 전체 시스템에서 위험을 알리는 정보로 이용될 수 있고, 이 정보에 따라 로봇은 환경 변화에 대처하기 위해 행동의 우선 순위를 변경하고 위험을 초래하는 자극으로 로봇의 주의를 변경할 수 있게 된다. 자극에 대한 감정 자체는 외부 위험 요소를 제거하는데 직접적으로 도움을 주지는 않는다. 하지만 급작스런 환경 변화에 대한 즉각적 처리는 결국 로봇의 작업 수행 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 생각한다.

또한 서비스 로봇은 지능과 감정을 가지고 있는 개체로 설계되고 있기 때문에 인간에게 일반적인 가전 제품과는 다른 존재로 인식 되는 것을 목표로 하고 있다. 로봇이 생명을 가지고 있는 개체로 인식되는 것은 이러한 목표를 달성하기 위한 가장 기본적인 요소이다. 이를 위해 서비스 로봇은 외부 자극을 인지하여 이에 지능적으로 대처할 뿐만 아니라 로봇의 관찰자에게 로봇이 자극을 인지하고 있고 여기에 적절하게 대처할 수 있음을 보일 수 있어야 한다. 특히 외부 자극에 대한 호/불호의 반응은 로봇의 의도를 간접적으로 전달할 수 있는 방법이다. 호/불호의 반응을 통해 인간은 로봇이 주변 환경에 대해 나름의 판단 기준과 의도를 가지고 있음을 이해할 수 있다. 따라서 서비스 로봇의 리액티브 감정 프로세스는 로봇의 작업 수행 성능과 생명감을 높이기 위한 목적 하에 설계되어야 할 것이다.

### 3.1 리액티브 감정 생성의 자극 판단기준

리액티브 감정 생성을 위해 외부 자극의 특징을 판단하는 첫 번째 기준으로 자극의 색다름(unexpectedness)을 정의하였다. 로봇의 작업 목적을 달성하기 위해 로봇은

로봇이 현재 알고 있는 주변 환경에 대한 정보를 기준으로 로봇의 행동을 계획하게 된다. 만약 계획된 행동이 예상대로 진행되고 주변 환경에 큰 변화가 있지 않다면, 작업 수행과정에서 로봇이 경험하는 외부의 자극은 로봇이 미리 예상하고 있는 범위를 벗어나지 않을 것이다. 그러나 외부 자극이 이 예상 범위를 벗어나면 리액티브 프로세스는 자극의 색다름에 의해 감정 반응을 생성하게 된다. 자극의 색다름에 의한 즉각적인 감정 반응은 로봇의 내부 정보 처리 과정에서 경보 신호로 동작하며, 또한 이 감정 표현에 의해 관찰자에게 로봇이 현재 작업 수행과정 중에 문제에 부딪혔음을 알려주게 된다. 관찰자에게 표현된 감정 상태는 로봇이 직접 문제가 되는 상황을 해결할 수 없는 경우, 관찰자가 나서서 문제를 해결하도록 유도하는 수단이 될 수 있을 것이다.

외부 자극 평가의 두 번째 기준은 로봇의 현재 주의 상태(attention)이다. 로봇의 주의 상태는 제한된 정보 처리 능력 때문에 다른 정보를 무시하는 것이 아니라 주변 상황의 정보 처리에 우선 순위를 부여하는 역할을 한다. 로봇이 현재 어떠한 자극에 로봇의 주의를 집중하고 있는지는 관찰자가 판단하기 어렵다. 그러나 로봇이 현재 주의를 집중하고 있는 자극이 감정 반응을 유발하는지 아니면 로봇이 주의를 집중하고 있지 않은 자극이 감정 반응을 유발하는지에 따라 로봇의 감정 표현이 달라진다면, 로봇이 현재 어느 자극에 주의를 두고 있는지를 간접적으로 전달할 수 있으며 이는 로봇이 생명체와 같은 주의 집중 능력을 가지고 있다는 생명감을 부여할 수 있을 것이다.

외부 자극 평가의 마지막 기준은 자극에 대한 호/불호(valence)이다. 자극에 대한 호/불호의 기준에 따라 감정 반응은 긍정적 혹은 부정적으로 달라지게 된다. 작업 수행 성능의 관점에서는 이러한 호/불호의 반응이 현재 주어지는 외부 자극이 로봇의 작업 수행에 방해가 되는지 도움을 주는지 판단할 수 있는 기준이 된다. 로봇에게 생명감을 부여하는 관점에서는, 호/불호의 반응을 통해 로봇이 외부 자극에 대해 가지고 있는 가치 판단 기준을 이 감정 반응을 통해 보여주어 로봇의 생명감을 높이는데 도움을 줄 것이다. 그러므로 본 연구에서 제안하는 리액티브 프로세스에 의한 감정 생성은 외부 자극의 색다름, 로봇의 현재 주의 상태 그리고 자극에 대한 호/불호에 따라 결정되는 함수로 정의할 수 있다.

$$\text{Emotion} = f(\text{unexpectedness, attention, valence}) \quad (1)$$

### 3.2 리액티브 감정의 종류

3-1장에서 정의된 리액티브 프로세스의 감정 생성을 위한 자극의 평가 상태에 따라 로봇은 어떠한 종류의 감정을 표현해야 할 것인가? 인간에 있어 리액티브 프로세스를 통해 표현되는 감정의 종류는 여러 연구들의 정의의 기준에 따라 서로 다르다. 본 연구에서는 리액티브 감정 반응은 생명체의 발달 단계 초기에서 개발되는 감정이라는 정의를 따르기로 한다. 따라서 유아의 발달 심리 분야에서 연구된 감정의 종류를 기반으로 로봇의 리액티브 프로세스에 필요한 감정 종류를 정의하였다. 유아의 발달 심리 연구에 따르면 초기에 개발되는 감정 반응은 유아의 생존 적합성을 높이는 역할을 하게 된다. 그러므로 본 연구에서 목적으로 하는 로봇의 생존 적합성을 높이기 위한 리액티브 감정의 종류로서도 유사하게 활용 될 수 있다고 여겨진다.

그림 2는 유아의 감정 분화에 대한 K.M.B. Bridges의 연구 결과를 보여주고 있다<sup>[11]</sup>. 유아의 감정은 단순한 흥분 상태에서 시작하여 호/불호를 구별하는, 예를 들면 기쁨(delight)과 불쾌(distress)와 같은 감정으로 분화하게 된다. 기쁨과 불쾌로 분화된 감정은 분노(anger), 질투(jealousy) 그리고 즐거움(joy)등과 같은 감정으로 세분화 된다. 이렇게 세분화되는 감정 상태 중에서 서비스 로봇의 리액티브 프로세스에 이용할 감정으로 기쁨(delight), 불쾌(distress), 분노(anger), 그리고 공포(fear)의 4 가지를 선택하였다 (표 1). 기쁨과 불쾌는 대상에 대한 기본적인 호/불호를 나타내는 감정 표현이다. 분노와 공포는 자극에 대한 부정적인 반응을 자극에 접근하는 방향으로 표현하는지 아니면 자극을 회피하는 방향으로

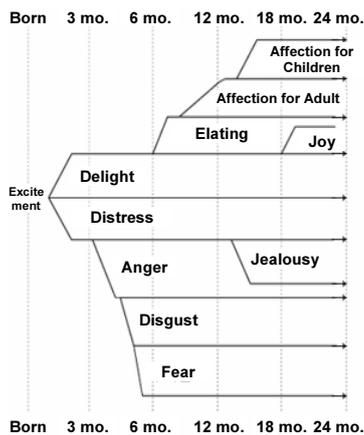


그림 2. 유아의 감정 분화 단계 (K.M.B. Bridges, 1932)

표 1. 리액티브 프로세스에서의 감정 상태 종류

감정	정의
기쁨(Delight)	Positive valence
불쾌(Distress)	Negative valence
분노(Anger)	Negative valence + Approach
공포(Fear)	Negative valence + Avoid

표현하는지에 따라 달라지는 반응이다. 이러한 4가지 종류의 감정의 선정을 통해 이 4가지 감정만이 리액티브 프로세스에 필요한 감정 종류라거나, 외부 자극에 대해 가능한 모든 반응을 포괄할 수 있다고 주장하려는 것은 아니다. 이외에도 다른 여러 종류의 감정들이 리액티브 감정 생성의 목적에 따라 추가될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 우선 이 4가지 감정을 이용하여 3-1장에서 정의된 외부 자극의 판단 기준에 따라 상황에 적합한 감정 반응을 생성 하는 프로세스를 설계한다. 추후에 리액티브 프로세스에서의 자극 판단 기준이 추가된다면, 다른 종류의 감정도 추가 될 수 있을 것이다.

### 3.3 리액티브 감정 생성 규칙

외부 자극의 특징에 따른 감정 상태의 종류를 결정하기 위해, 자극의 색다름, 로봇의 주의 상태 그리고 자극에 대한 호/불호를 기준으로 외부 자극의 변화에 따른 감정 종류를 결정하는 규칙들을 정의한다.

표 2는 제안된 규칙을 나타내고 있다. 로봇이 현재의 자극에 주의를 집중하고 있고, 이것이 로봇이 예측하는 범위 내의 자극이면 로봇은 이 자극에 대한 선호 정도에 따라 기쁨이나 불쾌의 감정을 나타낸다. 이와 달리, 주의를 기울이고 있는 자극이 예상하고 있는 범위를 벗어난 것이나 이 자극이 로봇이 선호하는 자극일 경우 로봇은 기쁨의 감정을 나타낸다. 하지만, 이 자극이 로봇이 선호하지 않는 자극일 경우, 로봇은 이 자극에 대해 분노의 감정을 나타낸다.

표 2. 리액티브 감정 생성 규칙

주의 집중 상태	자극의 색다름	호/불호	감정 반응
주의 집중	예상 범위	좋아함	기쁨
주의 집중	예상 범위	싫어함	불쾌
주의 집중	예상 위배	좋아함	기쁨
주의 집중	예상 위배	싫어함	분노
주의 집중 없음	예상 위배	좋아함	기쁨
주의 집중 없음	예상 위배	싫어함	공포

로봇이 주의를 기울이지 않고 있는 자극의 경우, 이 자극이 로봇이 예상하고 있는 범위의 자극일 때는 로봇은 아무런 감정 변화를 표현하지 않는다. 이는 로봇이 현재 주의를 기울이고 있지 않는 자극은 로봇의 현재 작업과 관련이 적은 자극이며, 이 자극이 예상 범위 내에서 주어지는 것이 정상적인 상황이라고 정의하였기 때문이다. 그러나 주의를 기울이고 있지 않은 자극이 예상 범위를 넘어 주어졌을 때 로봇은 이 자극에 대한 로봇의 선호에 따라 기쁨이나 공포의 감정을 나타낸다.

리액티브 감정 생성 프로세스에서 제안된 규칙을 이용하기 위해서는, 로봇의 센서로 인식된 데이터(raw data)는 자극의 색다름, 로봇의 주의 상태, 자극에 대한 호/불호를 기준으로 분류 되어야 한다. 자극의 색다름과 로봇의 주의 상태는 리액티브 프로세스 자체에서 구분되는 정보가 아니라 딜리버러티브 프로세스에서 로봇이 주변 환경에 대해 인지적으로 판단하고 있는 정보와의 비교를 통해 구분되는 기준이다. 만약 특정 센서의 정보가 로봇의 작업 수행 과정에 필요하다면, 로봇은 이 센서의 정보에 주의를 기울이고 다른 센서의 정보들에는 우선 순위를 낮게 두게 된다. 그러므로 각 센서에 대한 로봇의 주의 상태는 로봇의 현재 작업과 행동 상태에 따라 결정되게 된다. 센서 정보에 대한 자극의 색다름은 센서 정보에 대한 기대 치를 기준으로 결정된다. 센서 정보의 기대 치는 로봇이 주변 환경에 대해 알고 있는 환경 모델에 따라 변화하게 된다. 아래의 식 (2)를 통해 각 센서 값에 대한 자극의 색다름 정도가 구분될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{If } f_{\text{env}} \geq \text{Diff}_{\text{thresh}} \text{ then Unexpectedness} &= \text{예상 위배} \\ \text{Else Unexpectedness} &= \text{예상 범위} \end{aligned} \quad (2)$$

Where,

$f$  : 센서 데이터

$f_{\text{env}}$  : 환경 모델에 따른 센서 데이터의 기대치

$\text{Diff}_{\text{thresh}}$  : 데이터 차이의 threshold

마지막으로, 센서 데이터에 대한 호/불호는 리액티브 프로세스에 내재된 특징이다. 로봇은 미리 정의된 센서 데이터 범위에 대한 선호도를 기준으로 주어진 센서 값에 대한 호/불호를 구분하게 된다. 인간을 비롯한 생명체에서는 이러한 호/불호가 학습될 수 있지만, 본 연구에서는 우선 자극에 대한 선호를 미리 정의된 것으로 고정하였다.

#### 4. 예비실험 결과

제안된 리액티브 감정 프로세스를 평가하기 위해, 로봇은 작업 수행을 계획하고 환경 모델을 구축하며 주의를 변화시킬 수 있는 딜리버러티브 계층과의 연동이 필요하다. 그러나 본 논문에서의 예비 실험은 제안된 리액티브 프로세스의 동작을 평가하기 위한 것으로, 로봇의 주의 변화와 환경 모델을 시나리오 형태로 리액티브 프로세스에 제공하도록 하였다. 실험에 사용된 로봇 시스템은 그림 3과 같다.

로봇의 주행을 위한 시스템은 Evolution Robotics사에서 개발된 ‘Scorpion’ 로봇을 기반으로 하였다<sup>[12]</sup>. 로봇 시스템은 음성 인식을 위한 마이크와 접촉을 판단하기 위한 촉각 센서 그리고 충동을 감지 하기 위한 범퍼를 갖추고 있다. 또한 로봇에 장착된 디스플레이상의 3차원 아바타(avatar)와 로봇의 동작 그리고 음향 효과를 이용해 로봇의 감정 상태를 표현하도록 하였다. 이 로봇 시스템을 이용하여 로봇은 사용자와 소리와 접촉을 이용하여 상호작용 하고 주어진 작업을 수행하기 위하여 정해진 위치로 이동하는 상황을 가정하였다. 예비 실험을 위한 시나리오는 다음과 같다.

Case 1: 사용자는 현재 자연 언어를 이용해 로봇과 상호작용을 하고 있다. 로봇은 사용자의 명령을 듣기 위해 마이크를 이용한 청각 정보 채널에 주의를 집중하고 있으며, 로봇은 적당한 크기의 사람 목소리가 마이크를 통해 인식 될 것으로 예상하고 있다. 또한 사람이 근처에 있으므로 사람과의 접촉이 일어날 수도 있지만 갑작스런 충동은 일어나지 않을 것이라고 예상하고 있다.

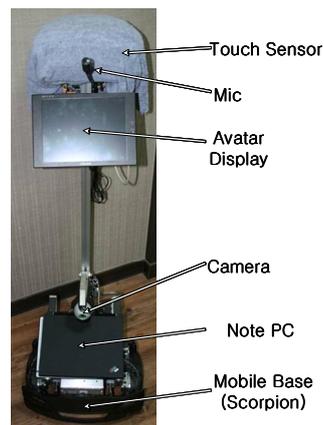


그림 3 예비 실험을 위한 로봇 시스템

Case 2: 로봇은 명령 받은 작업을 수행하기 위해 목적지로 이동하고 있다. 이동 중에는 예상치 못한 장애물이 나타날 수 있으므로 로봇은 충돌을 감지하는 범퍼 센서에 주의를 집중하고 있다. 로봇은 이 경로에 장애물이 없다는 것을 예상하고 경로를 계획했을 것이므로 충돌이 발생하지 않을 것으로 예상하고 있다.

제안된 리액티브 프로세스가 설계 의도와 부합하게 동작하는지 확인하기 위해, 위와 같은 2가지 시나리오 상황에 대해 로봇에게 여러 가지 자극을 주도록 하였다. 이 예비 실험에 대한 결과를 제시하기 전에 4-1장에서부터 4-3까지 실험에 이용된 센서 정보의 처리 방법에 대해 간략하게 소개하고, 4-4장에서 실험 결과를 제시할 것이다.

#### 4.1 소리 정보의 처리

로봇에 장착된 마이크를 통해 인식되는 소리 정보에는 사람의 목소리, 실내의 잡음 그리고 로봇 자체에서 발생하는 잡음등 다양한 소리 정보가 혼합되어 있다. 이 센서 정보에서 어떠한 정보들이 섞여 있는지 정확하게 구분하는 것은 매우 어렵다. 그러나 제안된 예비 실험에서는 사람의 목소리인지의 여부를 판단하는 것이 중요하므로, SFM(Spectral Flatness Measure) 정보와 소리의 크기(volume)를 이용하여 인식된 소리 정보가 사람의 목소리인지와 적당한 크기의 소리인지만을 판단하고자 한다. SFM은 소리 신호의 산술 평균과 기하 평균 사이의 비율이다. SFM은 소리 신호가 사람의 목소리인지의 여부를 판단할 수 있는 소리 정보의 특징이다<sup>14)</sup>. 그림 4는 사람의 소리가 인식된 경우와 책상을 두드리는 소리가 인식된 경우의 SFM 값의 변화를 나타낸다. 사람의 목소리인 경우 소리의 크기는 책상을 두드리는 경우와 비슷하지만 SFM 값이 0.45 이하의 범위에서 변화하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 소음과 사람의 목소리 모두 0.35에서 0.45 사이의 값을 가지는 경우가 있으므로 0.35와 0.45 사이의 범위를 이력 영역으로 정의하고 사람의 목소리를 구분하도록 하였다. 소리의 크기가 적당한지는 사람의 목소리와 소음의 경우를 다르게 적용하도록 하였다. 소리의 크기를 0에서 1사이의 값으로 표준화 했을 때, 사람의 목소리의 경우 0.5 이상일 경우 매우 큰 소리로, 사람의 목소리가 아닌 경우에는 0.2 이상일 경우 매우 큰 소리로 구분하도록 하였다. 소리의 크기가 기준치 내일 경우에는 로봇은 이 소리에 대해 특정한 선호도를 갖지 않도록 하였으며, 너무 큰 소리에 대해서는 부정적인 선호도를 갖도록 하였다.

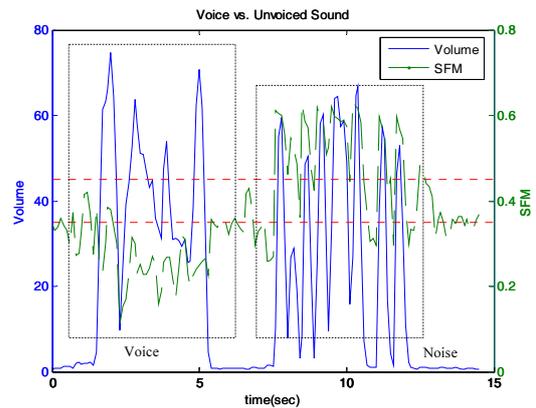


그림 4. 목소리와 소음에 대한 소리의 크기와 SFM 값의 변화

#### 4.2 접촉 정보 처리

FSR(Force Sensing Resistor)센서를 이용해 사람의 접촉을 구별하는 방법으로 많은 연구들이 진행되어 왔다<sup>14,15)</sup>.

넓은 범위에 걸쳐 눌러지는 힘을 FSR 센서에 집중시키고, 사람의 힘에 민감하게 반응할 수 있도록, FSR 센서를 그림 5 와 같이 배열하고, 울퉁불퉁한 패드를 이용해 사람의 힘이 센서에 잘 전달될 수 있도록 하였다. 이러한 센서의 배열을 통해 25cm\*20cm 범위를 9개의 센서만으로 감지할 수 있었다.

접촉 패턴은 FSR센서를 통해 감지되는 시간과 힘의 크기를 통해 인식 가능하다. ‘때리기’는 짧은 시간 안에 동작이 끝나게 되고, 감지되는 최대의 힘은 ‘때리기’와 ‘도닥이기’를 구분할 수 있는 기준이 된다. 접촉 패턴 중 ‘쓰다듬기’는 접촉 부위가 연속적으로 이동하는 반면, ‘밀기’의 경우는 거의 움직이지가 않는다. 이러한 일반적인 특성을 그림 6 에서 확인 할 수 있고, 이를 기준으로 ‘밀기’와 ‘쓰다듬기’를 구분할 수 있다. 그림 6의 그래프는 시간에 따라 각 센서에서 감지되는 전압의 변화를 나타내준다. 그림 6의 FSR1부터 FSR9은 그림 5의 (b)와 같이 배치된 9개의 FSR 센서에서 측정된 전압 신

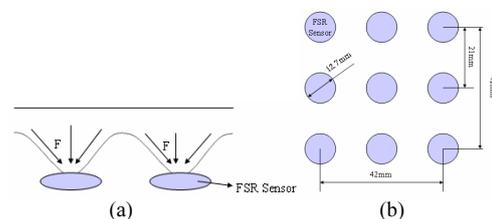


그림 5. (a) FSR 센서 접촉력을 증가시키기 위한 구조 (b) FSR 센서 배열

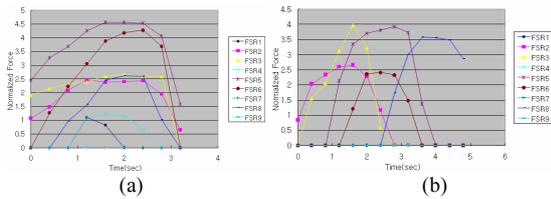


그림 6. 각 접촉 패턴에 대한 센서 신호  
(a) 밀기, (b) 쓰다듬기

호의 변화를 나타낸다. 그림 6의 (a)와 (b) 에서 차이를 알 수 있듯이, 각 센서의 ‘반응 시간의 중간 점’의 분산의 크기로 ‘밀기’와 ‘쓰다듬기’의 구분이 가능하다. 로봇은 ‘토닥이기’와 ‘쓰다듬기’에 대해 긍정적인 선호도를 갖고, ‘때리기’와 ‘밀기’에 대해 부정적인 선호도를 보이게 된다.

4.3 충돌 정보 처리

실험에 이용된 로봇 시스템은 ‘Scorpion’로봇을 기본 베이스로 하고 있기 때문에 범퍼 센서와 근접 IR(Infra Red)센서를 갖추고 있다<sup>[12]</sup>. 이 센서들을 이용하여 로봇은 장애물과 충돌한 경우를 인식할 수 있다. 로봇은 충돌에 대해서는 부정적인 선호도를 가지며, 충돌이 일어나지 않는 경우에 대해서는 특별한 선호도를 갖지 않도록 하였다.

4.4 실험 결과 분석

4장에서 제안된 시나리오의 case 1에 대한 실험에서, 로봇은 현재 사용자와 음성을 통해 상호작용 하고 있다고 가정하였다. 이 때 사용자가 로봇의 마이크를 통해 큰 소리를 지르며 로봇의 범퍼를 반복적으로 차도록 하였다. 그림 7은 이 때 로봇의 감정 상태의 변화를 보여 준다. 먼저 로봇은 소리를 인식하는 마이크 센서에 주의를 집중하고 있다. 따라서 갑자기 큰 소리가 들렸을 때 이 자극은 부정적인 기대되지 않던 자극이기 때문에 로봇은 분노의 감정을 표현하게 된다. 이후 4초 이후부터 범퍼를 통한 충돌이 계속 인식 된다. 이 때 로봇은 마이크 센서에 주의를 집중하고 있고 충돌을 예상하고 있지 않으므로 범퍼의 충돌 인식에 대해 로봇은 공포의 감정 반응을 표현한다. 이것은 주의를 기울이고 있지 않은 예상 밖의 부정적인 자극에 대한 공포 반응의 규칙 때문이다. 이 때 범퍼의 충돌이 계속 반복될 경우 로봇의 주의 상태를 범퍼 센서로 바꾸도록 하였다. 이 후 반복적인 범퍼 자극에 대해 로봇의 감정 반응은 분노로 변화하게 된다. 로봇은 현재 환경이 충돌이 계속적으로 일어나는 것으로 예상하고 있지 않으므로 다시 주의를

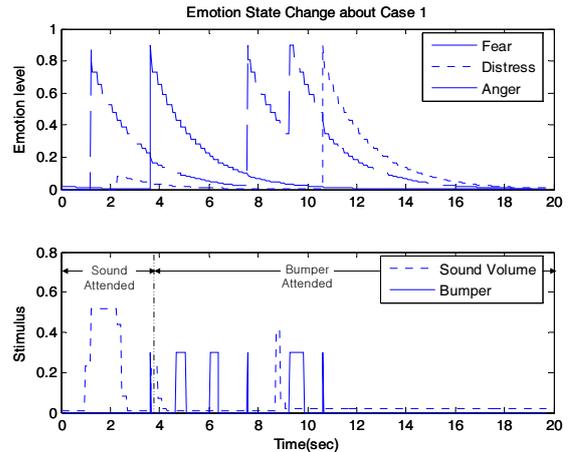


그림 7. Case 1 실험에서의 센서 신호와 로봇의 감정 상태 변화

집중하고 있는 예상 밖의 부정적 자극에 대해 분노의 반응으로 변화하게 되는 것이다. 이 후에도 범퍼의 자극이 계속되면 로봇이 예상하는 주변 환경이 충돌이 계속 발생하는 환경으로 변화하게 된다. 따라서 로봇은 주의를 기울이고 있는 예상하는 부정적인 자극에 대해 불쾌의 감정 표현을 표현하게 된다.

이 예비 실험을 통해, 제안된 리액티브 감정 생성을 통해 로봇이 주변 자극의 변화에 대해 설계 의도 대로의 감정 반응을 표현하는 것을 확인할 수 있었다. 이 실험에서 환경 모델의 정보 변화와 주의 상태의 변화는 리액티브 프로세스 밖에서 인위적으로 주어졌다.

시나리오 case 2에 대한 실험에서는 로봇이 현재 작업 수행을 위해 이동하고 있는 상황으로 가정하였다. 이 때 사람이 로봇의 주행 경로에 끼어들어 로봇과 충돌 하도록 하였다. 그림 8은 이 때 로봇의 감정 상태 변화를 보여 준다. 우선 로봇은 주행 중이므로 충돌 가능성을 염두에 두고 범퍼 센서에 주의를 기울이고 있다. 이 때 충돌이 발생하면 로봇은 주의를 기울이고 있지만 예상 밖의 부정적인 자극이므로 분노의 감정을 표현하게 된다. 이 때 사용자가 로봇을 달래기 위해 로봇을 부드럽게 쓰다듬도록 하였다. 이 자극은 로봇이 예상하지 않던 자극이지만 로봇이 선호하는 자극이므로 로봇은 기쁨의 감정을 표현하게 된다. Case 2에 따른 실험에서는 리액티브 프로세스를 통해 사용자와 로봇 사이에 아주 간단한 형태의 감정 상호작용이 일어날 수 있음을 확인하였다. 로봇은 자신의 작업 수행이 갑자기 방해 받은 것에 대해 분노를 표현하였으며, 이에 대한 사용자의 친근한 접근에 대해 즉각적으로 반응을 보일 수 있었다.



그림 8. Case 2 실험에서의 센서 신호와 로봇의 감정 상태 변화

2가지 예비 실험을 통해, 제안된 리액티브 감정 생성 프로세스가 설계 의도대로 동작하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 로봇의 주의 집중 상태와 주변 환경에 대한 예상 등 단순화된 정보만으로도 자극에 대한 감정 반응이 좀더 상황에 적합하게 만들어 질 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 리액티브 프로세스의 구체적인 동작을 위해서는 전체 아키텍처를 구성하는 딜리버러티브 레이어, 작업관리자 등과 밀접한 연동이 필요하다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

제안된 리액티브 감정 생성 프로세스는 인간의 감정 생성 메커니즘에 대한 연구를 기반으로 즉각적이고 직관적인 리액티브 프로세스 특성과 인지적 평가에 따르는 딜리버러티브 프로세스의 특성을 모두 가지는 하이브리드 아키텍처에서 동작할 수 있도록 설계되었다. 리액티브 프로세스의 설계에서 로봇의 센서 입력 정보의 판단 기준을 자극의 색다름, 로봇의 현재 주의 상태, 자극에 대한 호/불호로 정의하고 이에 따라 생성되는 기쁨, 불쾌, 분노, 공포의 4가지 감정을 결정하는 규칙을 정의하였다. 센서 입력으로부터 감정 상태 결정에 이르는 프로세스는 단순한 정보 처리 규칙으로 정의되었으며, 이는 감정 상태를 더욱 상황에 적합하게 표현할 수 있도록 하는 자극의 색다름, 로봇의 주의 상태와 같은 정보를 상위 프로세스인 딜리버러티브 프로세스로부터 제공 받도록 했기 때문이다. 제안된 리액티브 프로세스를 이용한 예비 실험에서 자극의 변화에 따라 감정 상태가 즉각적으로 다양하게

변화하는 것을 확인할 수 있었다.

하지만, 리액티브 프로세스 설계의 주요 목표인 작업 수행 성능 향상과 로봇의 생명감 향상은 목적에 부합하는 딜리버러티브 프로세스의 설계와 작업 관리자와의 정확한 연동 등 전체 제안된 아키텍처가 모두 완성되어야 확인할 수 있으리라 예상된다. 따라서 추후 전체 감정 상호작용 아키텍처의 상세 설계가 필요하다고 생각되며 이 과정에서 리액티브 프로세스와 딜리버러티브 프로세스간의 연동에 대해 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 실제 로봇 시스템에서 표현되는 감정을 사용자가 어떻게 받아들이고 평가하는지에 대한 연구는 감정 생성 시스템의 설계 요소를 명확히 파악하기 위해 앞으로 중요한 연구이다.

제안된 감정 생성 아키텍처는 앞으로의 연구를 진행하는데 기반이 되는 프레임워크며 이를 통해 로봇과 인간의 감정 상호작용에 대한 연구를 진행할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Schachter, "The Interaction of Cognitive and Physiological Determinants of Emotional State," in *Anxiety and Behavior*, C. D. Spielberger, Ed. New York: Academic Press, pp.193-224, 1966.
- [2] A. Ortony, G. L. Clore and A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*, New York: Cambridge University Press, 1999.
- [3] Robert W. Levenson, "Blood, Sweat, and Fears The Autonomic Architecture of Emotion," *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, vol 1000, pp.348-366, 2003.
- [4] Jean-Marc Fellous and Joseph E. Ledoux, "Toward Basic Principles for Emotional Processing What the Fearful Brain Tells the Robot," in *Who Needs Emotions?*, J.M. Fellous & M.A. Arbib, Ed. New York: Oxford University Press, pp.78-115, 2005.
- [5] A. Sloman, R. Chrisley and M. Scheutz, "The Architectural Basis of Affective States and Processes," in *Who Needs Emotions?*, J.M. Fellous & M.A. Arbib, Ed. New York: Oxford University Press, pp.203-244, 2005.
- [6] A. Ortony, D. A. Norman and W. Revelle, "Affect and Proto-Affect in Effective Functioning," in *Who Needs Emotions?*, J.M. Fellous & M.A. Arbib, Ed. New York: Oxford University Press, pp.173-202, 2005.
- [7] C. L. Lisetti, "Emotion Generation for Artificial Agents via a Hybrid Architecture," in *Proc. of the Autonomous Agents Workshop on Emotion-Based Agent Architecture(EBAA'99)*, Seattle, May 1, 1999.
- [8] P. Ratanaswasd, C. Garber, and A. Lauf, "Situation-Based Stimuli Response in a Humanoid Robot," in *Proc. Of the 14th Int'l Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, Nashville,

August 13-15, 2005.

[9] A. Camurri and A. Coglio, "An Architecture for Emotional Agents," IEEE MultiMedia, vol. 5, no. 4, October, pp.24-33, 1998.

[10] H.R. Kim, K.W. Lee, and D.S. Kwon, "Emotional Interaction Model for a Service Robot," in Proc. Of the 14th Int'l Workshop on Robot and Human Interactive Communication, Nashville, August 13-15, 2005.

[11] K.M.B. Bridges, "Emotional Development in Early Infancy," Child Development, vol. 3, no. 4, Dec. 1932, pp.324-341.

[12] Evolution Robotics Inc., <http://www.evolution.com>

[13] James D. Johnston, "Transform Coding of Audio Signal Using Perceptual Noise Criteria," IEEE journal on Selected Areas in Communications, vol. 6, no. 2, Feb. 1988, pp. 314-323.

[14] Hiroyasu Miwa, "Study on the mental model for humanoid robots," Ph.D. dissertation, Dept. Mechanical Eng., Waseda University, Tokyo, Japan, 2004 (in Japanese).

[15] Hiroyasu Iwata, and Shigeki Sugano, "Human-Robot-Contact-State Identification Based on Tactile Recognition," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 52, no. 6, Dec. 2005, pp. 1468-1477.



**김형록**

2000 서울대학교 기계항공공학부(공학사)  
 2002 한국과학기술원 기계공학(공학석사)  
 2002~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정

관심분야 : Human-Robot Interaction



**김영민**

1999 연세대학교 기계공학(공학사)  
 2001 포항공과대학교 기계공학(공학석사)  
 2001~2006 인간친화복지로봇 연구센터 위촉연구원

2006~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정  
 관심분야 : Human-friendly emotional interaction and interface design of social robots



**박종찬**

2004 한국과학기술원 기계공학(공학사)  
 2004~현재 한국과학기술원 기계공학과 석박사 통합과정

관심분야 : Human-Robot Interaction Robot Personality



**박경숙**

1988 중앙대학교 전자계산학과(이학석사)  
 2000 연세대학교 인지과학(이학박사)  
 1995-2005 혜전대학 컴퓨터과 부교수

2006~현재 한국과학기술원 기계공학과 초빙교수 인간로봇상호작용연구센터

관심분야 : Human-Robot Interaction



**강태운**

1982 연세대학교 전자공학(공학석사)  
 1982~1999 한국전자통신연구원 연구실장/책임연구원  
 2000~2001 목원대학교 겸임교수

현재 ㈜코야정보시스템 연구소장/CTO

관심분야: Hybrid Sensor Network and on a Chip Human-Robot Interaction



**권동수**

1982 한국과학기술원 생산공학(공학석사)  
 1991 Georgia Institute of Technology 로보틱스(공학박사)  
 1991~1995 Oak Ridge 국립연구소 선임연구원

1995~2006 한국과학기술원 기계공학과 조교수, 부교수  
 2006~현재 한국과학기술원 기계공학과 교수 인간로봇상호작용연구센터장

관심분야 : Human-Robot Interaction, Telerobotics, Medical Robotics, Haptics