

인간과 로봇의 상호작용을 위한 판단 · 표현기술 동향

Cognition-Expression Technology Trend for Human and Robot Interaction

IT 융합기술 특집

- I. 서론
- II. 국내 기술 동향
- III. 해외 기술 동향
- IV. 결론

박천수 (C.S. Park) 인간로봇상호작용연구실 선임연구원
 장민수 (M.S. Jang) 인간로봇상호작용연구실 책임연구원
 이동욱 (D.W. Lee) 한국생산기술연구원 수석연구원
 김재홍 (J.H. Kim) 인간로봇상호작용 연구실실장

* 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음(10041659, 인간친화적 로봇 서비스 환경에서 판단 적합성 90% 이상인 복합지식 기반 판단 및 의미기반 로봇 표현기술개발).

인간-로봇 상호작용 기술(HRI: Human-Robot Interaction Technology)은 로봇이 상호작용 상황과 사용자의 의도를 판단함으로써 상황에 적합한 반응과 행동을 계획하여 순조로운 의사소통 및 상호협력을 실행하게 하는 인식-판단-표현 연계 기술이다. HRI 기술은 인간의 지각, 인지, 표현 기능을 모사함으로써 로봇에 생명을 불어 넣는 로봇 핵심 기술로 개인서비스 로봇뿐 아니라 전문서비스 로봇 및 타 서비스 분야까지 폭넓게 적용될 수 있어 로봇융합산업 전반에 대한 파급력이 매우 큰 기술이다. 본고에서는 판단과 표현기술을 중심으로 HRI 기술의 국내외 기술 동향을 살펴보고 향후 HRI 기술이 나아가야 할 방향에 대해 기술한다.

I. 서론

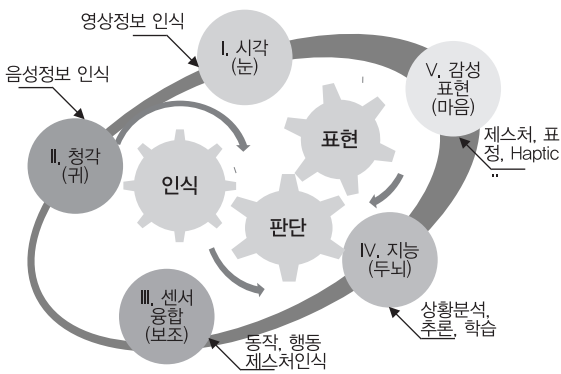
1. HRI 기술의 정의

HRI(Human-Robot Interaction Technology) 기술은 인간과 로봇의 자연스러운 의사소통과 순조로운 상호협력력을 목적으로 하는 융합 원천기술이며, 이러한 목적을 달성하기 위해 로봇이 상호작용 상황과 사용자의 의도를 정확하게 판단하고 맥락을 고려하여 상황에 적합한 행동과 표현을 표출하도록 만들 수 있는 방법과 기술을 연구한다.

HRI 기술은 기계와 인터페이스를 설계하기 위해 인간의 지각/인지/행위적 특성을 고려한다는 점에 있어서 HCI(Human Computer Interaction) 기술과 유사한 접근 방법을 취한다고 볼 수 있다. 그러나, 로봇이 컴퓨터와 달리 원천적으로 실체적이고 자율적인 지능 시스템이고, 그렇기 때문에 상호작용의 양방향성이 강하며, 로봇 제어의 특성상 상호작용을 위한 제어 수준이 다양하다는 측면에서 HRI 기술은 HCI 기술과 연구 주제와 기술적 접근 방법이 다르다.

2. HRI 기술의 구성

HRI 기술은 (그림 1)에 보이는 바와 같이 크게 인식기술, 판단기술, 표현기술로 구성된다.



(그림 1) HRI 기술의 개념적 구성

가. 인식기술

HRI 기술의 맥락에서 ‘인식’은 감각기관을 통해 상호작용 상대방과 주위 환경에 대한 지각정보(Perceptual Information)를 수집하는 기능이다.

인식기술은 각종 센서 장치를 통해 수집한 영상, 음성, 접촉 신호 등을 대상으로 상호작용과 관련한 데이터 패턴을 찾아내는데 활용된다. 대표적인 인식기술로 얼굴인식, 표정인식, 동작인식, 자세인식, 물체인식, 물체 추적, 음성인식, 음원인식, 음색인식, 접촉동작인식 등이 있으며, 인식기술을 구현하기 위해 카메라(RGB, 열감지, 적외선, RGB-D 등), 마이크, 관성 센서, 터치 패널 등의 다양한 감지장치를 활용한다.

나. 판단기술

‘판단’은 인식단계에서 수집한 지각정보의 의미를 해석하여 상호작용 상황과 상대방의 의도를 파악하고, 맥락에 맞는 표현과 행위를 계획하는 기능이다.

HRI 판단기술은 아직 체계적으로 정립되지 않은 분야라 할 수 있다. 판단기술은 인간의 마음이 형성되고 작동하고 계발되는 프로세스를 근간으로 하는데 아직 이에 대한 체계적인 이론이 정립되지 않은 까닭이다. 판단기술은 기억의 구조와 작용, 지식 표현과 추론, 감정의 변화, 문제해결, 학습과 발달 등의 폭넓은 인지적 기술을 포함하며 원천 기술적 성격이 강하다.

주요 기존 연구 내용은 사용자의 행동의도, 감정상태, 성격 등을 유추하는 상황 인식기술, 사용자와 상호작용의 미래 상태를 유추하는 상황 예측 기술, 맥락에 적합한 표현 내용과 방식을 판단하는 행위계획 기술 등을 포함한다.

다. 표현기술

‘표현’은 판단 기능을 통해 상호작용 맥락에 맞게 계획한 행위와 표현을 각종 표현 수단을 통해 효과적이고

명료하게 표출하는 기능이다.

명료하고 효과적인 표현을 위해 첫째, 표현 행위를 표출하기 위한 기계적 구조와 제어 아키텍처 기술이 필요하며, 둘째, 인간에게 자연스럽게 인지될 수 있는 표현 행위를 생성하기 위한 행위 제어 기술이 필요하다.

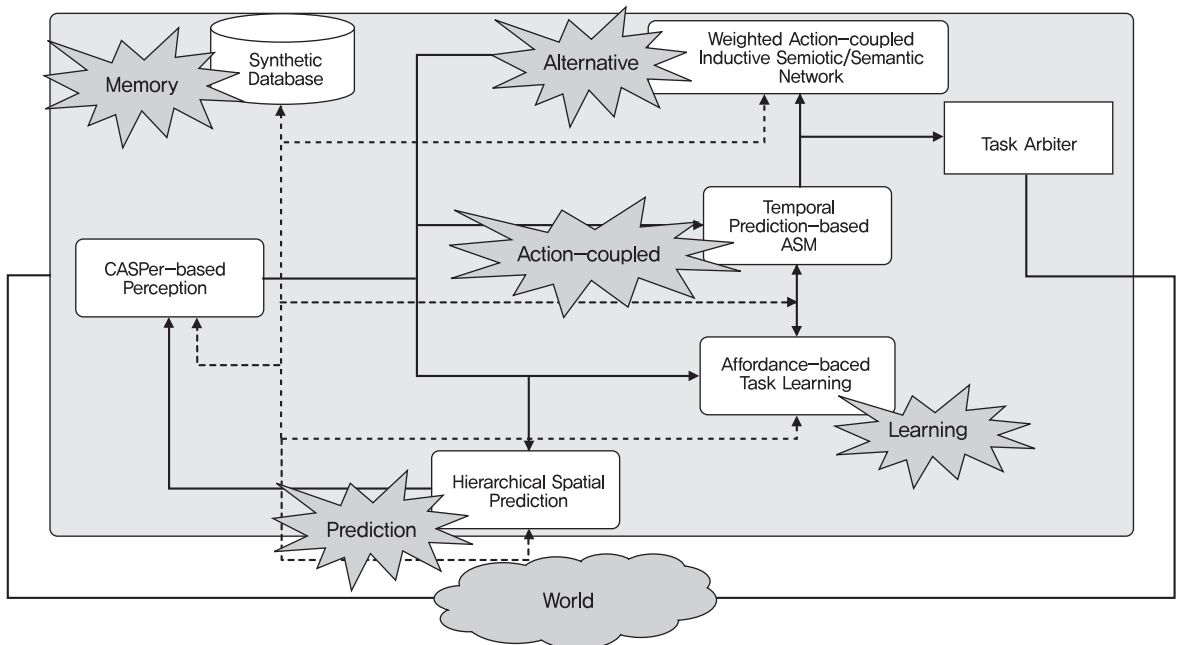
주요 표현기술 연구에는 높은 자유도와 풍부한 감정 표현이 가능한 얼굴 또는 머리 로봇 개발, 팔과 몸체를 이용한 동작 표현, TTS(Text-To-Speech)와 음향을 통한 의사 전달 및 감성 표현 등이 포함된다. 또한, 최근에는 전술한 다양한 장치와 표현 내용을 융합하고 동기화하여 표현의 명료성과 풍부함을 향상시키는 멀티모달 표현기술이 폭넓게 연구되고 있다.

본고는 HRI 인식, 판단, 표현기술 중 판단과 표현기술에 대해 주요 연구기관을 기준으로 분석한 동향 분석 내용을 기술하였다. II장에 국내 기술 동향을, III장에 해외 기술 동향을 적었으며, IV장에서 향후 발전 방향 및 결론에 대하여 기술한다.

II. 국내 기술 동향

1. 판단기술

한국전자통신연구원은 2004년에 대용량 지능 서버를 기반으로 한 로봇 상황 판단 및 서비스 실행 플랫폼인 URCS(Ubiquitous Robotic Companion Service Platform)를 개발하였다. URCS의 판단기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 분야의 상황인지 기술을 답습한 모델로써 사용자의 단위 요청에 대한 서비스 행위를 맥락에 맞게 계획하여 실행하는데 초점이 맞춰져 있다. 예를 들면, “내일 아침 7시에 깨워줘”와 같은 음성 명령을 해석하여 이해하고, 사용자의 취침 위치, 시간, 날씨 등을 고려하여 적합한 서비스 절차를 계획 실행하는 등의 서비스이다. URCS의 판단기술은 생성규칙(Production Rule)과 웹 온톨로지 언어인 OWL을 기반으로 한 지식 표현 및 추론 기술을 기반으로 개발되었다[1]. 동 기관에서 개발한 CAMUS(Context-Aware Middleware for URCS)



(그림 2) CASPer의 구조

System)는 URCS와 유사한 서비스 모델을 지향하는 상황인지 미들웨어 플랫폼으로서 온톨로지와 ECA (Event-Condition-Action) 규칙을 기반으로 한 판단기술을 포함한다[2].

한국과학기술원은 인간-로봇 상호작용 핵심 연구센터(HRI-PC)를 통해 로봇의 감성 인지 및 표현에 관련된 다수의 연구를 수행하였다. 그 결과로 사람의 목소리, 얼굴, 터치 행동 등의 지각정보를 기반으로 사용자의 내적 감정상태를 유추하고, 그에 상응하는 로봇의 감정상태를 모델링하여 표현하는 기술을 개발하였다.

한양대학교는 21C 프론티어 지능로봇 사업을 통해 지능 구현 지식 체계를 개발하였다. 그 목표는 공유 및 증식이 가능한 온톨로지 기반 지식을 구축하고, 추론을 기반으로 예상치 못한 상황을 감지함으로써 잠재적인 문제를 해결할 수 있는 로봇 지식 체계를 구축하는 것이다. (그림 2)는 개발된 지식 관리 체계인 CASPer(Context-adaptive Action-coupled, Synthetic Learning & Perception System for Robots)의 구조이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 기존의 국내 주요 판단기술 연구성과는 인간과 로봇 간의 직접적이고 지속적인 상호작용 보다는 사용자의 서비스 요청을 이해하고 맥락에 맞게 서비스를 제공하는 상황기반 서비스 제공에 무게 중심이 놓였음을 발견할 수 있다. 근래 들어 인간 친화적이고 쌍방향적이며 지속성 있는 HRI 기술개발이 로봇의 실용화에 꼭 필요하다는 인식 아래 국내 주요 산학연 기관들을 중심으로 로봇의 사회적 상호작용(Social Interaction) 능력을 향상하기 위한 노력이 전개되고 있으며, 로봇의 인지적 판단 기술에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다.

2. 표현기술

한국생산기술연구원은 2006년경부터 국내 최초로 인간을 닮은 안드로이드 타입의 에버(EveR) 시리즈 로봇을 개발하여 현재 에버4에 이르고 있다. 에버는 (그림

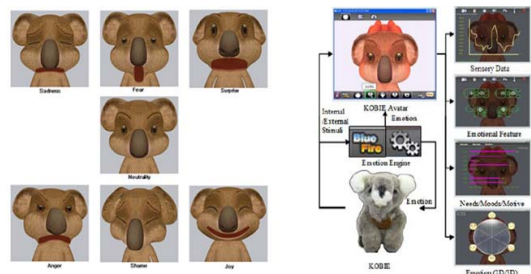


(그림 3) 해부학적 모델링을 통한 에버4의 풍부한 표현

3)과 같이 인간과 똑같은 외모를 지니고 있으며, 섬세한 얼굴 표정 제어를 통해 다양한 감정을 표현할 수 있다. 특히, 2011년에 개발된 에버4는 30개의 근육을 얼굴에 포함하고 있는데, 해부학적 근육 상호작용 분석 모델링을 기반으로 보다 풍부한 표정을 표현할 수 있게 되었다. 에버4는 국내외에서 국제박람회와 로봇 연극 등 다양한 문화예술 공연에 출연하기도 하는 등 그 풍부한 표현력을 인정받고 있다[3].

한국전자통신연구원은 2006년에 7가지 감성(놀람, 기쁨, 슬픔, 외로움, 부끄러움, 화남, 중립)을 생성할 수 있는 감성엔진을 장착하고 접촉 행동 인식을 통해 감성적 상호작용을 보여줄 수 있는 동물 형태의 로봇인 코비(KOBIE)를 개발하였다. 코비는 감성 중심의 상호작용을 통해 사용자의 정서적 안정을 향상시킬 수 있어 매개치료용 로봇의 연구용 플랫폼으로 활용 가능하다[4][5]. (그림 4)는 감성로봇 코비와 아바타를 통한 감성 표현을 나타낸다.

한국과학기술원은 감성 중심의 상호작용을 위한 로봇



(그림 4) 감성로봇 KOBIE와 아바타



(그림 5) KaMERO와 실벳

인 KaMERO를 개발하였다. KaMERO는 터치, 음성 등으로 들어 온 지각정보와 주변 상황정보를 융합하여 로봇의 감정상태를 결정하고, 얼굴 표정, 안테나, LED, 음향, 감정 TTS, 몸 움직임 등을 통해 감정을 표현한다[6]. 한국과학기술연구원에서 개발한 ‘실벳’도 감성적 상호작용을 주요 기능으로 포함한다. 이 로봇은 고령화 사회에 따른 노인 소외 문제 해결의 일환으로 로봇을 통한 고령자의 감성 치유를 추구하였다[7]. (그림 5)는 KaMERO와 실벳을 나타낸다.

업계의 경우 동부로봇, 유진로봇, 퓨처로봇 등이 LCD/LED, 로봇 동작, 아바타 등을 통한 표현이 가능한 로봇들을 출시하였다.



(그림 6) 지능형 애완로봇 제니보



(그림 7) 퓨처로봇의 스마트 서비스 로봇

동부로봇의 제니보는 (그림 6)과 같이 15개의 모터로 구성된 관절구동방식의 4족 보행로봇이다. 제니보는 음성인식과 영상인식을 기반으로 상황을 인지하고, LED와 동작을 통해 지능적 행동 패턴을 표현할 수 있다. 2010년에 유치원용 R-Learning 플랫폼으로 선정되기도 하였다.

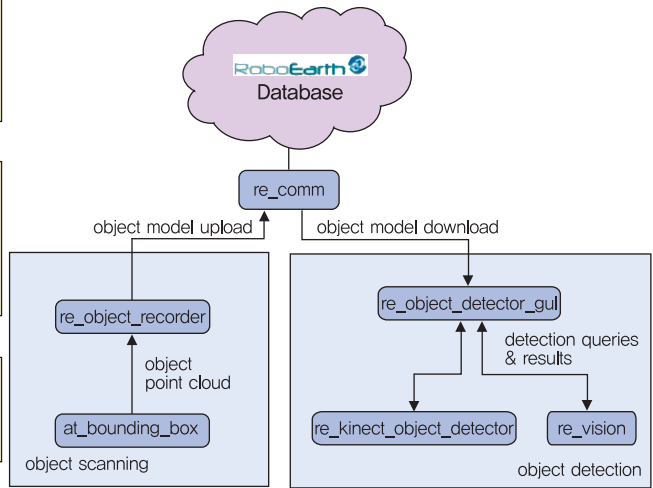
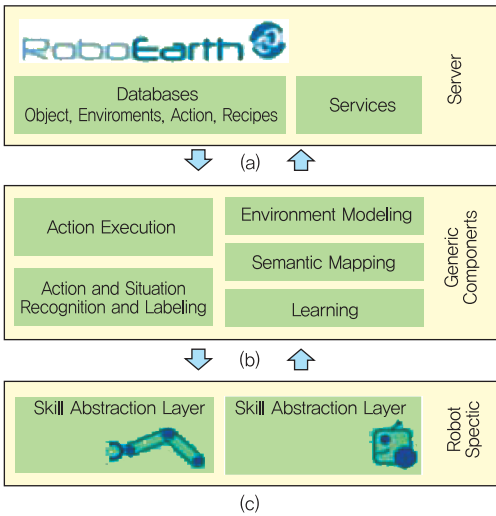
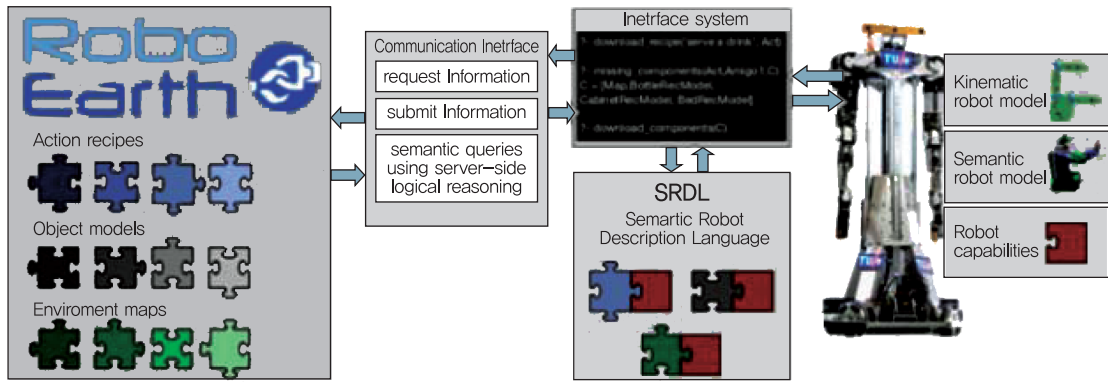
퓨처로봇의 스마트 서비스 로봇은 (그림 7)과 같이 LCD 화면을 주요 표현매개 장치로 활용한다. LCD 화면의 아바타를 통해 다양한 감성(기쁨, 만족, 실망 등)을 표현하며, 아바타는 립싱크를 통해 자연스런 발화 행위를 표출할 수 있다.

III. 해외 기술 동향

1. 판단 기술

RoboEarth 프로젝트는 2009년부터 진행된 오픈 소스 프로젝트로 로봇을 위한 WWW(World Wide Web)을 모토로 진행되고 있으며, 로봇의 행동과 환경을 학습하고 대용량 지식을 공유 및 재사용 할 수 있는 생태계를 구성하기 위한 연구를 진행하고 있다. RoboEarth는 (그림 8)과 같이 인식한 객체 모델, 내비게이션, 환경 지도, 행동 등에 대한 지식을 대용량 저장소에 저장하여 공유하고, 축적된 대용량 지식을 대상으로 추론을 통해 클라이언트 서비스를 제공하며 지식을 재사용할 수 있는 프레임워크를 제공한다. 주요 기능으로는 행위계획(action recipes)의 생성과 실행, 위치 인식(localization)과 매핑(mapping)의 통합, 3D 센싱, 로봇 제어에 대한 학습, 동적 객체 추적 등이 있다[8][9]. 현재, ROS(Robot Operating System) 오픈 소스를 통해 배포되고 있으며, RoboEarth 클라우드 엔진인 Rapyuta를 공개하여 서비스하고 있다[10].

독일의 TUM(Technische Universität München)대학에서 진행하고 있는 KnowRob 프로젝트는 RoboEarth

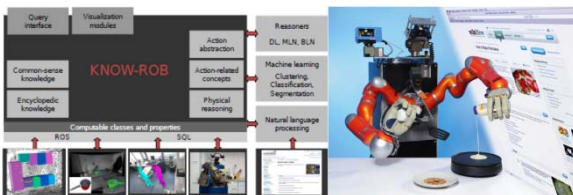


(그림 8) RoboEarth 시스템 및 ROS 배포 구조

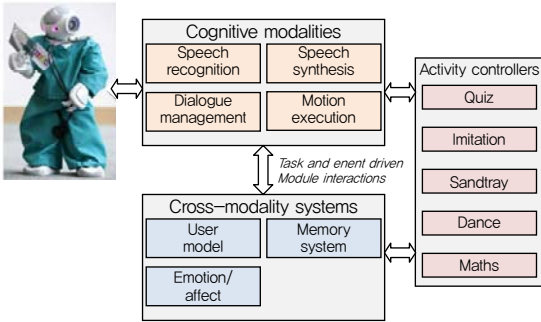
프로젝트와 연계하여 홈, 병원 등에서 서비스를 제공하는 연구이다. (그림 9)는 KnowRob의 구조와 로봇이 웹 지식을 마이닝하여 복잡한 요리를 수행하는 과정을 보여준다. KnowRob은 로봇이 제공할 수 있는 서비스를 Ehow, WikiHow, Cyc, Wordnet 등의 웹 지식을 통합하여 새로운 지식을 OWL을 통해 표현하며 로봇의 행위계

획을 생성하고, 생성된 행위계획을 기반으로 실제 환경에서 로봇의 상태 변화 및 환경변화 등을 파악하여 행위 계획을 실행하기 위한 방법을 제공하는 지식 프레임워크이다[11][12]. 실시간으로 변하는 로봇의 상태, 환경 변화 및 외부의 다양한 지식을 통합하여 표현하고 추론할 수 있는 메커니즘을 제공하며, 불확실한 상황 모델링을 위해 MLN(Markov Logic Networks), BLN(Bayesian Logic Networks) 등을 이용해서 확률적인 추론을 지원하며, ROS(Robot Operating System)의 오픈 소스 프로젝트로 관리되고 있다.

ALIZ-E 프로젝트는 인간-로봇 상호작용을 분 단위에서 하루 이상의 장기간(long-term)으로 가능하도록



(그림 9) KnowRob 구조 및 태스크 수행



(그림 10) ELIZ-E 통합 시스템 구조

하는 연구를 진행하고 있다. (그림 10)은 ELIZ-E 통합 시스템 구조를 나타낸다. 장기간 사용자와 로봇 간에 상호작용 시 발생하는 사회적 유대감(social bonds)을 통해 일상생활에서 어린이와 어른과의 상호작용 차이를 연구하고 있다. 또한, 감정, 개인화, 장기간(long-term) 상호작용에 대한 저장, 경험 및 상호작용 에피소드에 대한 개인화된 학습을 통한 성장에 대한 연구도 진행하고 있다[13].

CogX(Cognitive Systems that Self-Understand and Self-Extend) 프로젝트는 인간과의 상호작용을 통한 예

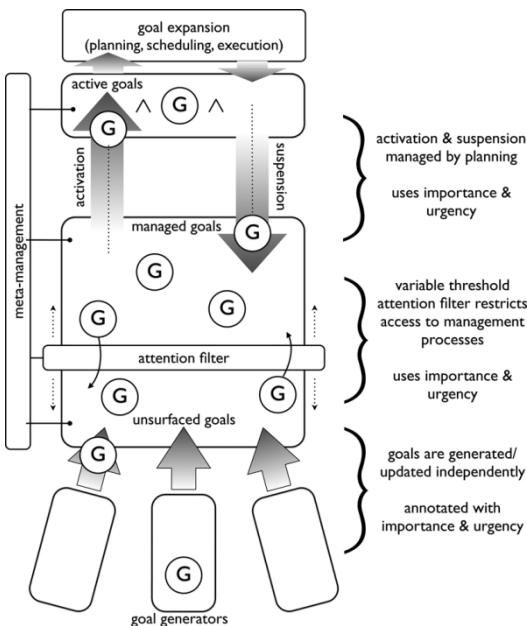
측 상황과 실 환경에서 발생하는 차이(novelty), 불확실성(uncertainty) 및 환경변화(environments change)에 대한 지식 표현 및 지식 확장을 위한 인지시스템 개발을 목표로 연구를 진행하고 있다. 자기이해(self-understanding)는 로봇이 가지고 있는 신념(belief)과 불확실성의 차이를 표현하는 것을 의미하며, 자기 확장(self-extension)은 행위계획과 실행을 통해 학습한 경험을 이용해 로봇이 가지고 있는 지식을 확장하는 것을 의미한다[14][15]. (그림 11)은 로봇의 목표 생성 및 관리 프레임워크를 나타낸다.

2. 표현기술

오사카 대학의 이시구로 교수는 세계 최초로 인간을 닮은 안드로이드 로봇 Replee 시리즈를 개발하였으며 [16], 애니메이션업체인 kokoro사로 기술 이전하여 안내로봇인 Actroid를 아이치 엑스포(AICHI EXPO, 2005)에서 선보였으며, 인간친화적인 인간형 로봇의 현실적인 가능성을 제시하였다. (그림 12)는 Replee Q1, Q2 및 Geminoid를 나타낸다.

또한, 자신과 똑같이 생긴 안드로이드 로봇 Geminoid를 개발하여 원격에서 자신의 강의를 대신하는 원격제어(tele-presence) 기술을 개발하였다.

Hanson Robotics는 (그림 13)과 같이 미국의 공상과학 소설가인 Philip K. DICK의 얼굴 로봇[17]을 개발하였다. 또한 우리에게 친숙한 아인슈타인 얼굴을 닮은 로봇 머리를 개발, KAIST의 휴보(Hubo)에 장착해 얼굴로



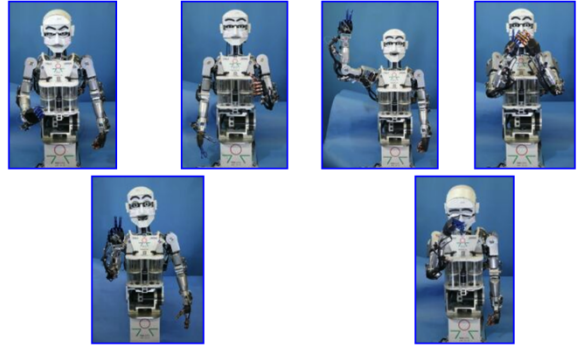
(그림 11) Goal 생성 및 관리 프레임워크



(그림 12) Replee Q1/Q2, Geminoid



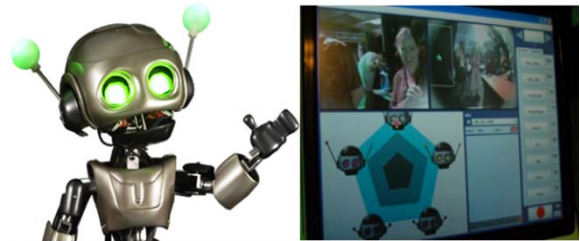
(그림 13) Philip K. DICK과 아인슈타인 휴보의 얼굴 로봇



(그림 15) WE-4RII의 감성 표현



(그림 14) HRP-4C



(그림 16) Quasi 및 제어 화면

봇[18]에 특화하여 자연스러운 얼굴 표정에 대한 연구를 진행하고 있다.

일본의 산업기술총합연구소에서는 휴머노이드 로봇 HRP 시리즈를 개발하여 사람 같은 움직임을 보이고, 사람과의 협동 작업이 가능한 연구를 진행하고 있으며, 가장 최근 모델인 HRP-4C는 (그림 14)와 같이 얼굴에 8개의 전기모터를 사용하여 감정표현을 하며, 사람과 함께 춤을 출 수 있다[19].

와세다 대학의 Takanishi 교수 연구실에서는 의인화 기법을 활용한 로봇 디자인 및 그에 맞는 멀티 채널 표현 연구를 진행하고 있으며, WE-4RII는 (그림 15)와 같이 감정표현에 특화시켜 개발하고 있는 로봇으로, 내·외부 자극에 대하여 감성 모델을 변화시키고, 시각, 접촉, 음성, 온도 및 후각 등의 외부 자극과 배고픔, 자기 보호, 탐구의 욕구 등 내부 자극을 받아서 감성 공간의 3가지 축 (pleasantness, activation, certainty)에 영향을 주어 감성을 변화시켜, Ekman의 기본 6정서를 기반

으로 ‘행복’, ‘화남’, ‘혐오’, ‘두려움’, ‘슬픔’, ‘놀람’과 ‘중립’의 총 7개의 감성을 표현할 수 있다[20].

CMU의 Robotics 연구소에서는 사회규범 아래 사람의 의도를 고려하여 사람과 로봇의 상호작용에 대해 연구를 수행하였다. Quasi[21]는 (그림 16)과 같이 외부로부터 다양한 정보를 받아들일 수 있으며, 인지한 정보에 따라 30개 이상의 모터를 움직여 다양한 감정표현과 로봇의 상태를 표현할 수 있다. 또한 다양한 인터페이스 장치를 활용하여 외부에서 직접 제어가 가능하다.

MIT에서는 미디어 랩의 personal robot 그룹에서 사회적 상호작용에 대한 연구를 중점적으로 진행하고 있다. Leonardo[22]는 인간과 사회적 상호작용을 표현하기 위해 인간의 인지 모델을 기반으로 연구되었으며, 자기 동기부여를 통해 내부 욕구를 발현하고, 환경정보로부터 다양한 감정적 대응을 자연스럽게 함으로써 환경에 효과적으로 대응하는 능동적·적응적 능력에 대한 연구를 진행하였다. Tofu는 몸(3자유도), 목(1자유도), 눈



(그림 17) Leonardo와 Tofu

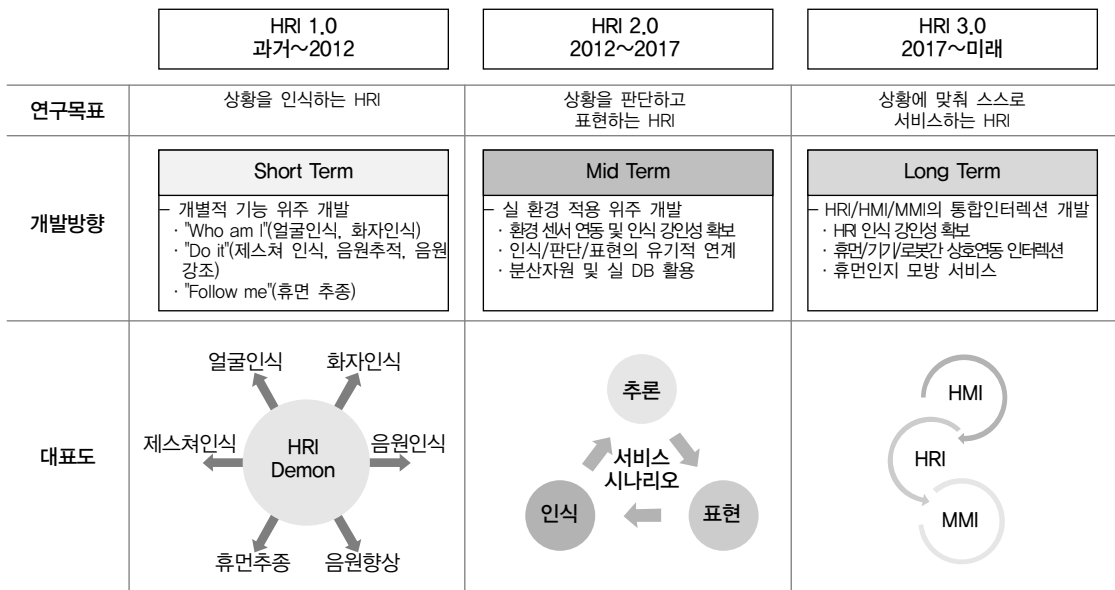
(OLED) 움직임으로 구성된 단순한 메커니즘의 로봇으로 디즈니 애니메이션 기업 중 하나인 'Squash and stretch'를 활용하여 다양한 표현이 가능하였다[23]. (그림 17)은 Leonardo와 Tofu의 외형을 나타낸다.

IV. 결론

HRI를 위한 판단 및 표현기술은 로봇이 상호작용 상황과 사용자 의도를 판단하고, 적합한 반응과 행동을 수행함으로써 인간과의 의사소통 및 상호협력을 가능하게 하여 로봇에 생동감을 부여하는 것으로 서비스로봇의

상용화를 위해 확보해야 할 핵심기술이다. 본고에서는 HRI 판단 및 표현기술에 대한 연구동향에 대하여 살펴 보았다.

(그림 18)은 HRI 기술의 발전방향을 나타낸다[24]. 초기에 연구된 HRI 기술은 원천 기술 중심의 개별적 기능 위주의 단위 기능(얼굴인식, 화자인식, 제스처 인식, 음원 추적, 휴먼추종 등)별 성능 향상을 목표로 한 기술로 정형화된 환경에서 인식가능하고, 시장 미성숙에 따른 수요자의 요구사항이 충분히 반영되지 않아 활용도가 낮은 한계가 있었다. 하지만, 교육, 의료, 복지 등과 같은 실 환경에서 수요가 증가하면서 HRI 기술에 대한 연구방향은 실 환경 적용 위주의 개발로 바뀌고 있다. 향후, 단위 기능별 연속적 모니터링에 기반한 인식기술개발에서 환경 센서 및 분산 자원 융합 인식기술개발로 전환될 것으로 예상되며, 인식 이후에 서비스 시나리오에 기반한 인식-판단-표현이 유기적으로 연동되어 서비스를 제공하게 될 것이다. 또한, HRI 기술은 시장 참여자와 기술 공급자가 정보 및 지식을 공유하고 컴퓨팅 자원들의 효율적 사용으로 실제 서비스에 대한 대응력을



(그림 18) HRI 기술의 발전 방향

높인 시장 지향의 개방형 HRI 기술로 발전할 것이며, 로봇서비스는 웹(Web)과 같이 지식이나 자원을 공유, 재사용 및 상호연동이 가능한 형태로 제공되어 교육, 의료복지, 오락, 사회안전 등 사람과 공간을 공유하는 다양한 분야에 공통으로 적용되는 핵심 요소기술로 활용될 것이다.

약어 정리

BLN	Bayesian Logic Networks
CAMUS	Context-Aware Middleware for URC Systems
CASPer	Context-adaptive Action-coupled. Synthetic Learning & Perception System for Robots
CogX	Cognitive Systems that Self-Understand and Self-Extend
ECA	Event Condition-Action
HCI	Human Computer Interaction
HRI	Human-Robot Interaction
MLN	Markov Logic Networks
ROS	Robot Operating System
URCSP	Ubiquitous Robotic Companion Service Platform

참고문헌

- [1] M.S. Jang, J.-C. Sohn, and Y.J. Cho, "Building semantic robot space based on the semantic web," RO-MAN, 2007, pp. 499-504.
- [2] H. Kim, Y.-J. Cho, S.-R. Oh, "CAMUS: a middleware supporting context-aware services for network-based robots," Adv. Robot. Social Impacts, 2005, pp. 237-242.
- [3] D.W. Choi et al., "Design of an android robot head for stage performances," Artificial Life and Robot., vol. 16, no. 3, 2011.
- [4] 류정우 외, "KOBIE: 애완형 감성로봇," 로봇공학회 논문지 제3권 제2호, 2008, pp. 154-163.
- [5] C.S. Park et al., "EMOTION EXPRESSION AND ENVIRONMENT THROUGH AFFECTIVE INTERACTION," Proc. 17th World Congress International Federation Autom. Control, Seoul, Korea, July 2008.
- [6] N.-S. Yuk and D.-S. Kwon, "Realization of expressive body motion using leg-wheel hybrid mobile robot: KaMERO1," Control, Autom. Syst., 2008, pp.2350-2355.
- [7] K.-G. Oh et al., "Eye Motion Generation in a Mobile Service Robot 'SILBOT II'," ARSO, 2010, pp. 59-64.
- [8] M. Waibel et al., "RoboEarth - A World Wide Web for Robots," IEEE Robot. Autom. Mag., vol. 18, no 2, 2011, pp. 69-82.
- [9] D.D. Marco et al., "Creating and using RoboEarth object models," ICRA, 2012, pp. 3549-3550.
- [10] D. Hunziker et al., "Rapyuta: The RoboEarth Cloud Engine," ICRA, 2013.
- [11] M. Tenorth et al., "Web-Enabled Robots," IEEE Robot. Autom. Mag., vol 18, no 2, 2011, pp 58-68.
- [12] M. Tenorth and M. Beetz, "KNOWROB - Knowledge Processing for Autonomous Personal Robots," Intell. Robots Syst., 2009.
- [13] T. Belpaeme et al., "Multimodal Child-Robot Interaction: Building Social Bonds," J. Human-Robot Interaction, vol. 1, no 2, 2013, pp. 33-53.
- [14] J.L. Wyatt et al., "Selfunderstanding and self-extension: A systems and representational approach," IEEE Trans. Autonomous Mental Development, vol. 2, no. 4, 2010, pp. 282-303.
- [15] D. Stachowicz and G.M. Kruijff, "Episodic-Like Memory for Cognitive Robots," IEEE Trans. Autonomous Mental Development, vol. 4, no. 1, 2012.
- [16] T. Minato et al., "Evaluating the human likeness of an android by comparing gaze behaviors elicited by the android and a person," Adv. Robot., vol. 20, no.10, 2006, pp.1147-1163,
- [17] ABC News, "I, Philip: Conversing Robot Could Be Step Closer to Living Androids, Developer Says," Dec. 30th. 2011.
- [18] J.-H. O et al., "Design of Android type Humanoid Robot Albert HUBO," IEEE/RJS International Conf. Intell. Robotics Syst., Beijing, China, 2006.
- [19] AIST press, "Successful Development of a Robot with Appearance and Performance Similar to Humans," Mar. 16th, 2009.
- [20] H. Miwa et al., "Effective emotional expressions with

emotion expression humanoid robot we-4rii,” Proc. IEEE/RSJ International Conf. Intell. Robots Syst., pp. 2203–2208.

[21] IEEE spectrum, “Robots Can Ape Us, But Will They Ever Get Real?,” Jul. 1st, 2006.

[22] W.D. Stiehl and C. Breazeal, “A sensitive skin for robotic companions featuring temperature, force, and

electric field sensors,” Proc. IEEE/RSJ International Conf. Intell. Robots Syst., 2006. pp. 1952–1959.

[23] Wired News, “Creepy MIT Tofu Robot Has OLED Eyes, Mimics Disney Cartoons,” Feb. 10th, 2009.

[24] 이상무, “인간로봇상호작용(HRI) 기술의 현황과 발전 방향,” KEIT PD ISSUE, vol. 8, 2011.