

가정/공공용 서비스로봇의 신뢰성 향상을 위한 HRI통합기술의 개발

신동욱 백승민 이장원 이석한

성균관대학교

robotics@empal.com {lsh, smbak}@ece.skku.ac.kr

Development of HRI integration technology to improve dependability for Home/Public Service Robot

Dongwook Shin Seung-Min Baek Jangwon Lee Sukhan Lee

Sungkyunkwan University

요약

최근의 로봇에 대한 연구를 살펴보면 인간-로봇 상호작용과 시스템의 통합에 관련된 연구가 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 인식 및 인지에 관련된 요소기술들은 이미 상당한 수준에 올라서 있다. 이를 바탕으로 전 세계적인 로봇연구의 추세는 요소기술들의 통합을 통하여 완전한 개체로서의 로봇을 만들려고 하고 있으며 상업화된 시장으로 끌어내려는 쪽으로 변화하고 있다. 그러나 로봇을 상업화된 시장으로 끌어내기 위한 다양한 연구와 노력에도 불구하고 많은 부분에서 부족한 것이 현실이며, 지금까지 개별적으로 개발된 각 요소기술의 통합 또한 필수적이다. 특히 인간과 비슷한 인지능력의 확보를 위한 불확실성 극복능력과 개별적인 요소기술의 성능에만 의지하지 않는 인식능력의 확보는 서비스로봇의 신뢰성 향상을 위하여 필수적이다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 행위적 인지 개념을 제안하였으며 Cognitive Robotic Engine을 통하여 이를 구현하여 상용화된 서비스로봇 플랫폼에 적용하여 실험하였다.

1 서론

지금까지의 인간-로봇 상호작용 기술에 대한 연구는 인지 및 감정 상호작용 기술에 치중되어 있었으며 이러한 기술들을 통합하려고 하는 연구는 활발하지 못했다. 또한 증가하는 인간-로봇 상호작용 기술에 관한 연구와 인지 및 감정 상호작용 기술들의 괄목할 만한 진보에도 불구하고 서비스로봇은 여전히 실제 서비스 환경에서 만족할 만한 서비스를 제공하지 못하고 있으며 대체로 개념증명을 위한 실험실 차원의 개발이나 실증 또는 사전 기획된 순차적 시나리오에 의한 유사 인간기능의 전시 효과에 만족해야 했다.

서비스로봇을 제대로 동작시키기 위해서는 전체시스템을 통합하는 기술인 멀티모달(Multi Modal) 기술이 무엇보다 중요하다. 그러나 기존의 멀티모달(Multi Modal) 기술은 정보의 융합 혹은 다양한 행위의 연결을 통해 특정 센서의 데이터에 대한 의존성을 줄이는데 어느 정도 성공하였다. 그러나 서비스로봇이 실제 서비스 환경에서 직면하게 될 비동기적/동시다발적인 정보를 처리하는 데는 역부족이며 상용화를 위해서 저가의 센서를 사용할 경우 센서성능의 제한으로 인해 인식이 있어서 한계를 드러내고 있다. 이러한 이유로 인하여 기존의 시스템을 사용한 서비스로봇들은 실제 서비스 환경에서 활동하기 위해서는 적합하지 못한 것으로 판단된다. 결론적으로 실제서비스 환경에서 자연스러운 사용자-서비스로봇간의 상호작용 및 상호작

용의 인식률을 높이기 위해서는 하나의 또는 몇 개의 요소기술의 인식성능에 의존하지 않고, 비동기적/동시다발적인 정보를 효율적으로 처리 할 수 있는 발전된 개념의 정보처리기술과 요소기술의 통합 방법을 필요로 한다.

본 논문에서는 현재 연구되고 있는 HRI의 최신 동향에 대하여 살펴보았으며, 본론에서는 '가정/공공용 서비스로봇의 신뢰성 향상을 위한 HRI통합기술'을 실현하기 위한 접근방법으로써 '행위적 인지'개념을 도입한 '로봇 인지엔진'을 제안 하였으며 이를 바탕으로 실제 상용화된 서비스 로봇에 적용하여 실험한 결과를 보인다.

2 관련 연구

본 논문에서 언급하는 행위는 추론 시스템에 행위가 결합된 대표적인 시스템인 Behavior Based Robotics나 감정인식 및 표현에 관련된 연구에서의 행위와는 전혀 다른 개념이라고 할 수 있다. Behavior Based Robotics는 로봇의 현재 상태에서 가장 적절한 행위를 선택하기 위한 연구로 장애물회피와 같은 로봇의 주행능력 향상이 목적인 연구이며,[3] 감정인식 및 표현에 관련된 연구는 인간의 표정, 제스처 및 음성을 통하여 감정을 인식하여 인간이 이해 할 수 있는 물리적 행위로 변환하는 인간-로봇 사이의 효율적인 의사소통을 위한 시스템에 관련된 연구이다.[5]

지금까지의 로봇의 행위에 관련된 대다수의 연구는 로봇의 주행기술의 향상을 위한 것과 입력된 센서데이터를 분석하여 그에 대응하는 행위로 변환하는 연구가 대부분이었으며 로봇이 임무달성을 위해 필요한 증거나 정보들의 선택 및 수집을 통하여 확실성을 극복하기 위한 '행위와 인지시스템의 결합'에 관한 연구는 거의 없었다.

2.1 Behavior Based Robotics

기존의 로봇을 위한 통합 기술은 제어구조에 관한 연구와 밀접히 연관된다. 대표적인 행위기반 로봇제어구조(Behavior based robotic architecture)는 크게 상위 수준의 인지과정을 강조하는 숙고형(Deliberative)과 하위 수준의 인지과정을 강조하는 반사형(Reactive)으로 구분된다.[3] 숙고형(Deliberative)시스템은 센싱-계획-행동의 순차적 과정을 통하여 주어진 목적을 달성하는 문제 해결과정을 갖는다. 이러한 접근 방법은 복잡한 행동을 계획하고 수행할 수 있는 가능성을 제시하고 있으나, 정확한 환경모델에 근거해야만 예측 가능한 성능을 얻을 수 있으므로 동적인 요소와 불확실성이 많은 환경에서의 동작에 문제가 있을 수 있다. 이와는 달리, 반사형(Reactive)시스템은 분산된 개별모듈들이 각자 환경에서 얻어진 정보로부터, 즉각적인 반응을 산출하는 방식에 기초한다. 복잡한 계획 없이도 실제 곤충의 움직임과 같은 자연스러운 행위를 보여 줄 수 있다는 점에서, 많은 가능성을 제시하고 있지만, 추론, 판단과 결정, 계획과 같은 좀 더 복잡한 상위 인지과정을 실현하기 곤란하다는 단점이 있다. 지능형 서비스로봇에게 요구되는 기능의 실현에 적용하기에는 기존의 두 가지 접근방식 모두 한계를 가진다.

2.2 Agent System

Agent란 사용자를 대신해서 사용자 원하는 작업을 자동적으로 해결하여 주는 소프트웨어를 말한다. 즉, 특정목적에 대하여 사용자를 대신하여 작업을 수행하는 자율적 프로세스이며, 독자적으로 존재하지 않고 어떤 환경의 일부이거나 그 안에서 동작하게 된다. 초창기에는 인공지능에서 연구되어져 왔으나 현재는 독자적인 학문으로 발전하고 있다. 로봇 제어에 적용된 Agent System으로 대표적인 것은 IPC(Inter Process Communication)가 있다. 분산된 네트워크에 기반을 둔 메시지 전달 시스템을 제공하는 IPC는 CMU의 대표적인 로봇 구현에 많이 적용되어 왔다. 다만 IPC와 같은 소프트웨어 플랫폼은 본 연구를 위한 통신부에 사용은 가능하나 상위 수준의 통합 틀을 제공하지는 않는다.

2.3 Middleware

Middleware는 클라이언트 프로그램과 서버 프로그램 사이에 존재하면서 클라이언트와 서버간의 연결을 유지/관리하면

서, 클라이언트의 작업 처리요구를 서버에 전달하는 일을 하는 소프트웨어이다. Middleware의 기능으로는 첫째, 클라이언트와 서버간의 통신이 가능하도록 데이터 통로를 제공하는 기능. 둘째, 클라이언트와 서버간의 연결 세션을 유지/관리 하는 기능. 셋째, 클라이언트의 작업 처리에 필요한 서비스를 찾아주는 기능 등이 있다. 근래 CORBA, TAO등의 미들웨어가 로봇시스템에 적용되는 추세에 있으나 단지 여러 소프트웨어들 간의 원활한 통신 및 호환성을 확보하는 데에 목적이 있다. 본 연구를 위한 하나의 틀로서 생각해 볼 수 있으나 상위수준의 통합 틀로는 적절하지 않다.

2.4 Cognitive Approach

유럽의 대표적인 인지기반 지능형로봇 개발 프로젝트로서 "Cogniron Project"가 진행되고 있다. Cogniron에서는 사람이 살아가는 생활환경에서 로봇이 사람과 상호작용 하기 위하여 자신의 능력을 확장해 나갈 수 있는 학습, 추론, 인지, 등의 방법에 대한 연구를 수행한다. 스위스의 EPFL, 스웨덴의 KTH 등 유럽의 10개 우수 연구소에서 각기 다른 주제로 연구가 진행되고 있다. 인지 개념을 이용해 사람과 대화하며 상호교류 할 수 있는 로봇에 대한 연구가 수행되고 있다. EU의 Cogniron에서는 각 요소기술의 지능화 멀티-모달 접근방식을 추구하고 있으나 본 논문에서 제안하는 로봇의 능동적인 행위를 고려하고 있지 못한 한계가 있다.[4]

2.5 Emotion and Social Robot

MIT CSAIL에서는 지능형 휴머노이드 로봇인 COG 및 감성지능 로봇 Kismet, Leonardo 등을 개발하여, 인지/학습, 추론 등 각 요소 기술들과 이를 통합하는 지능 통합 구조를 연구하고 있다. Cog는 고차적인 인지 기능을 시뮬레이션 하는 것이 아니라, 관찰, 모방 등을 통한 학습으로 새로운 기능을 습득하는 것이 가능한 통합 구조에 초점을 둔다.

현재 Cog 연구는 로봇이 사람, 환경과의 상호작용을 사람처럼 자연스럽게 할 수 있는 지능의 구현과 아이들이 사회적 기술을 학습을 통하여 발전시키듯이 로봇도 발전 가능한 사회적 기술의 구현을 진행하고 있다. MIT의 Cog 프로젝트의 접근방식은 행위기반 로봇 제어구조(Behavior Based Robotic Architecture)를 적용하여 반사적인 행위(Reactive Behavior)의 구현에는 용이하나 실제 서비스와 같은 주어진 태스크를 수행하기에 문제가 있다. 실제 지능형 서비스 로봇은 불완전한 환경인식 기능만을 갖추고 있더라도 능동적인 행위를 이용하여 임무 완수를 위한 정보의 불확실성을 줄여가는 인지적 능력이 필수적이라는 측면에서, 기존의연구들은 로봇의 자연스러운 감지/추론/행동을 통합하는 프레임워크에는 적합하지 못하다.

3. 행위적 인지와 Cognitive Robotic Engine

3.1 행위적 인지

3.1.1 능동적인 정보수집을 위한 인간 인지행위의 예

인간 감각기관 개별적 인식성능은 한계가 있다. 그럼에도 개별적인 인식성능의 한계를 극복하고 불완전/불확실한 상황에서 신뢰성 있는 인지능력을 보여준다. 간단한 예를 들어 보자. 매우 시끄러운 파티장소에서 누군가가 자신을 불렀다고 느끼는 상황을 가정해 보기로 한다. 누군가가 자신을 불렀다고 느끼는 동시에 인간은 즉시 호출자를 찾기 위해서 능동적으로 돌아보며 누가 부르는지 찾거나 확인하기 위한 인지행위를 불확실성이 해소될 때 까지 수행한다. 다시 말해서 인간은 감지/추론/행위를 적절하게 통합하여 사용한다는 것이다. 인간의 인지행위와 기존의 멀티모달 시스템의 차이점은 바로 '능동적인 정보수집 및 정보융합 행위'이다.

3.1.2 '행위적 인지'란 무엇인가?

인간 감각기관의 개별적 인식성능의 한계와 마찬가지로 서비스로봇의 각 센서 또한 인식성능에 있어서 한계를 가지고 있다. 더욱이 특정 서비스에 적용할 수 있는 높은 인식력과 확실한 동작이 필요한 서비스로봇 시스템을 해상력이나 기능면에서 현저하게 떨어지는 저가의 센서들을 사용하여 구현하는 것은 단지 요소기술의 성능 향상만을 통해서는 한계가 있음이 명확하다. 또한 실제 서비스 환경에서 로봇이 인식을 실패하거나 불완전한 동작을 하게 되는 가장 큰 요인은 센서나 로봇주변의 환경에서 기인한 불확실성을 극복하지 못하는 데서 그 원인을 찾을 수 있다(그것이 센서자체의 불확실성이 되었든 아니면 인식 프로그램의 한계이든). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 하나의 요소기술을 사용해서 한 번에 인식하는 방법 보다는 단계적으로 부족한 정보들을 수집하여 인식하는 방법이 효과적이라 생각한다. HRI동작에 있어서 강인성을 확보하기 위해서 요소기술의 성능을 높이는 것이 아닌 정보가 부족하거나 불확실 할 때 능동적 정보수집행위를 통하여 단계적으로 부족한 정보들을 수집하는 방법을 사용하여 저가형 센서의 인식 한계와 각 요소기술의 불완전성을 보완하는 방법이 본 논문에서 제안하는 '행위적 인지'기반의 접근 방법이다.

3.2 로봇인지엔진 Cognitive Robotic Engine

로봇인지엔진의 목표는 사람의 자연스러운 인지과정을 모방하여 불확실성을 가지는 여러 가지 요소기술들을 자연스럽게 통합하는 것이다. 로봇인지엔진은 비동기/병렬적으로 처리되는 인식 프로세스들, 임무의 발생과 전환 및 행위 선택을 담당하는 제어부, 행위프로세스들의 세 부분으로 구성되어 있다.

3.2.1 로봇인지엔진의 구조

그림 1은 감지/인지 프로세스들과 행위 프로세스들의 그

이 있고, 이 두 그룹의 프로세스들이 비동기/병렬처리 구조위에서 유기적으로 연결되는 로봇 인지엔진의 전체적인 개념을 보여주고 있다.

감지/인지 프로세스들 사이에는 Precedence/Evidence Relation을 정의하여 정보처리의 연결/융합 관계를 설정한다. 행위는 사용하는 하드웨어의 자원에 따라 그룹이 나뉘지고, 동시에 실행될 수 있는 행위와 그렇지 않은 행위를 미리 분류한다. 각각의 감지/인지 프로세스들은 자신의 불확실성을 감소시키는 행위의 종류를 미리 정의한다. 이에 따라서 실제 입력된 정보를 이용한 추론을 통하여 불확실성을 감소시키기 위한 행위를 선택할 수 있게 된다.

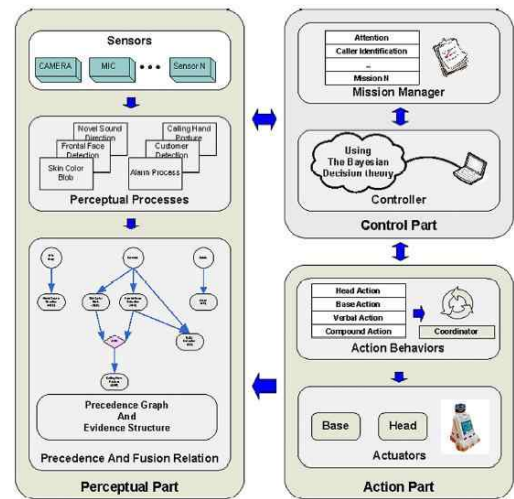


그림 1. 로봇인지엔진의 전체 구조

3.2.2 Precedence Relation

그림 3은 Precedence Relation 감지모듈들 사이의 선행관계를 AND/OR그래프로 표현한 것으로 그림 2는 호출자를 찾는 문제에 로봇인지엔진을 적용하는 경우의 예이다. 이 그래프에서는 센서와 직접 연결된 다수의 감지모듈들과, 1차적인 정보처리 후에 융합되는 모듈들 및 최종의 임무 모듈이 표현된다. 로봇을 호출한 사람을 찾아내는 문제를 해결하기 위하여, 카메라로부터 얻어지는 얼굴의 위치, 제스처 등의 시각정보와 다수의 마이크로로부터 얻어지는 음성명령 및 음원의 위치 등의 정보가 융합되어 처리된다. 만일 자원이 충분하다면, 모든 모듈을 동시에 실행하고, 얻어진 정보들을 융합하는 것으로 문제가 해결될 것이다. 그러나 실제 로봇의 경우 프로세싱 자원의 제약으로 모든 모듈을 동시에 실행하는 것은 불가능하거나, 불필요하게 된다. 로봇인지엔진에서는 우선 센서와 연결된 감지모듈이 새로운 입력이 들어오는 경우, 임무를 활성화 시키고, 임무를 수행하는데 충분한 정보가 아닌 불확실한 상황이라고 판단되는 경우에는, 충분한 증거를 얻기 위하여 필요한 새로운 감지모듈을 활성화 시키게 된다. 모든 감지모듈은 자신의 감지된 정보의 불확실성을 줄이는데 필요한 행위가 정의될 수 있기 때문에, 전체의 임무를 완수하는데, 적절한 행위를 선택 할 수 있게 된다.

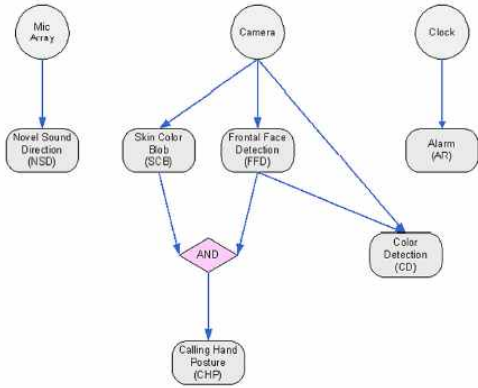


그림 2. Precedence Relation

3.2.3 Evidence Relation

로봇은 임무에 따라 증거구조가 다르다. 그림 3-1은 호출자를 찾는 임무에 대해서, 그림 3-2는 사용자 찾기 임무를 위한 증거구조의 예를 보여준다. 개별적인 프로세스의 신뢰도가 계속 갱신됨과 동시에 최종적인 임무에 대한 신뢰도가 계산된다. 본 논문에서는 Bayesian Theorem을 사용하여 신뢰도를 계산하였다. 식(1)

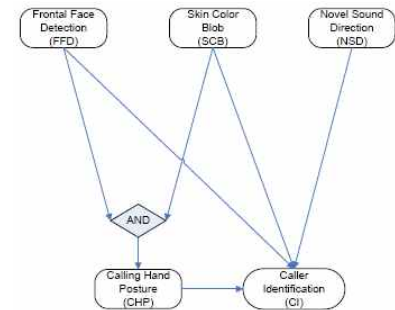


그림 3-1. 호출자 식별 임무의 증거구조

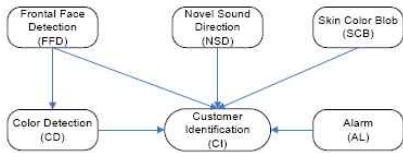


그림 3-2. 사용자 찾기 임무의 증거구조

$$\begin{aligned}
 \text{Mission Certainty (Mission)} &= \\
 P(\text{Mission} | \text{Evidences}) &= \frac{1}{1 + \frac{P(\text{Evidences} | \text{Mission})P(\text{Mission})}{P(\text{Evidences} | \text{Mission})P(\text{Mission})}} = \frac{1}{1 + \alpha} \quad \text{식(1)} \\
 \therefore \alpha &= \frac{P(\text{Evidences} | \text{Mission})P(\text{Mission})}{P(\text{Evidences} | \text{Mission})P(\text{Mission})}
 \end{aligned}$$

3.2.4 상호작용 공간의 고려

인간의 감지능력의 범위는 무한하지 않으며 유한하다. 시각의 한계가 있고 청각의 한계가 있으며 기타 감각의 한계역시 명확하게 제한적이다. 서비스로봇 또한 사용하는 센서의 능력에 따라서 감지/인지 능력의 범위가 유한하다. 서비스로봇에서 가까운 정보일수록 정확할 확률이 높아지며 멀리 떨어진 거리에서 감지된 증거는 부정확할 확률이 높아진다. 따라서 시간과 공간의 변수를 고려하여 로봇 주변에서 일어나는 주목할 만한 증

거들의 신뢰도를 계산해야 할 것이다.

시공간을 고려한 신뢰도의 계산을 위하여 서비스 로봇의 감지/인지 공간을 상호작용 공간 이라고 하였다. 상호작용 공간 외에서 일어나거나 감지되는 정보들은 무시한다. 상호작용 공간은 총 9X9의 Cell로 이루어져 있으며, 각각의 Cell은 50cm x 50cm의 크기이다. 서비스로봇은 순간순간 갱신되는 새로운 임무신뢰도 정보를 사용하여 시공간상의 신뢰도 분포를 계산해 낸다. 그림4는 상호작용공간상에서 호출자 인식임무 수행 중 신뢰도의 분포를 보여주는 그래프이다.

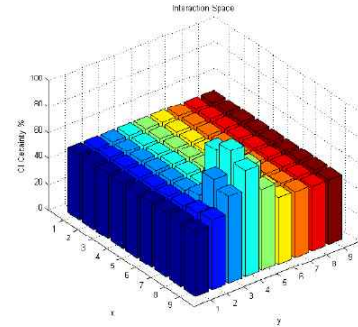


그림 4. 상호작용 공간상의 호출자 인식시의 신뢰도분포

4. 실험결과

다음은 상용화된 서비스로봇인 (주)유진로봇의 아이로비에 적용하여 실험한 결과이다. 불확실성을 극복하기 위한 로봇의 능동적인 행위를 볼 수 있으며 그에 따른 최종임무에 대한 신뢰도 변화를 볼 수 있다.

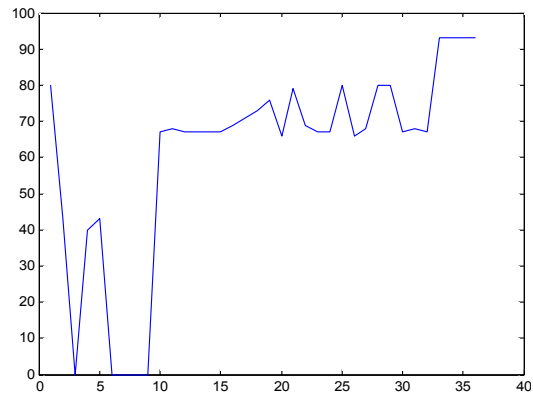
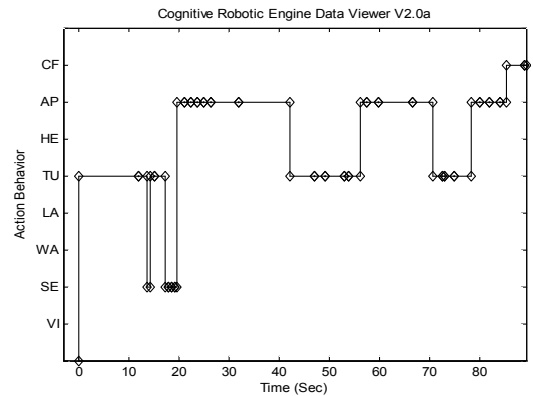


그림 5-1. 정보수집을 위한 능동적 행위의 변화와 임무 신뢰도 변화 그래프 1

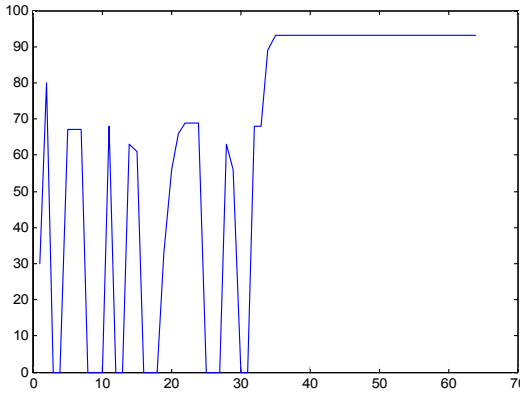
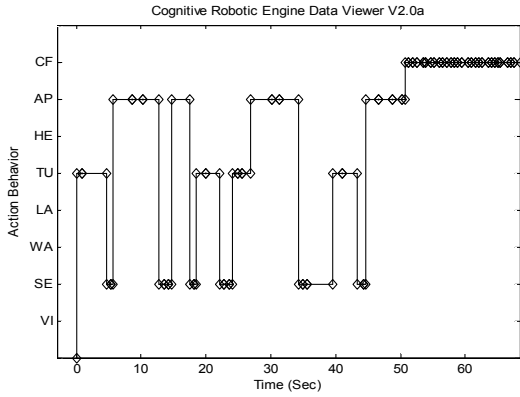


그림 5-2. 정보수집을 위한 능동적 행위의 변화와 임무 신뢰도 변화 그래프 2

그림 5-1, 5-2의 상단 그래프는 정보수집을 위한 능동적 행위의 변화를 보여주는 그래프다. 세로축은 로봇의 행위를 나타내며 표1과 같이 정의 된다. 가로축은 시간이며 단위는 ‘초(sec)’이다. 하단 그래프는 임무의 신뢰도 변화 그래프이며 세로축은 임무에 대한 신뢰도를 가로축은 행위가 활성화된 샘플링 스텝을 나타낸다. 상단 그래프에서 다이아몬드표시는 세로축에 정의된 행위가 활성화 된 시점을 나타낸다.

VI : Voice inquiry	SE : Searching
WA : Wandering	LA : Look around
TU : Turning	HE : Heading
AP : Approaching	CF : Caller Following

표 1. 능동적 정보수집을 위한 행위(Action Behavior)의 종류

그림 5-1과 5-2는 각각 다른 상황에서 호출자 인식을 위한 임무를 수행한 결과를 나타낸 것이다. 호출자는 제스처 또는 소리를 사용하여 로봇을 호출하여 호출임무를 발생시켰으며 로봇의 임무수행 중 로봇의 임무수행을 방해하는 행위(시야에서 사라짐 등)를 통하여 로봇의 능동적인 정보수집행위를 유발하였다.

두 실험을 비교해 보면 임무를 완료하는데 90초 와 50초 정도의 차이가 있었지만 불확실한 상황에서도 로봇은 임무를 수행하였으며 상황에 따라 적절한 정보수집 행위를 선택하는 것을 확인 할 수 있었다.

그림6은 로봇의 내부 프로세스 및 변수에서 에서 일어나는 상태를 모니터링하기 위한 모니터링 인터페이스다.

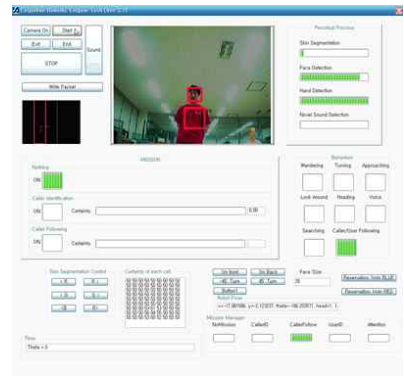


그림 6. 로봇 인지시스템 모니터링 인터페이스

5. 결론 및 향후과제

본 연구를 통하여 다음과 같은 기대성과 및 활용방안을 예상 할 수 있다.

저가센서의 한계로 인한 인식기능의 한계를 극복함으로써 가격대 성능비의 효과를 극대화 시킬 수 있으며 기존의 서비스 로봇과의 상호작용 부분에서 불편전하고 불편했던 부분들을 본 연구를 통하여 일정부분 개선함으로써 상용화된 그리고 상용화 예정인 서비스 로봇들의 상품성과 완성도를 높여 시장에서의 경쟁력과 사용자들로부터의 매력을 높일 수 있을 것이다. 또한 HRI통합에 관련된 기술은 세계적으로도 아직 개념 정립단계에 머물고 있는 기술이므로 원천기술 개발을 통해 세계적인 로봇 연구분야를 선도할 수 있다.

참고문헌

- [1] Sukhan Lee, Hun-Sue Lee, Seung-Min Maek, Jongmoo Choi, Dong-Wook Shin, ByoungYoul Song, Young-Jo Cho, (2006a). Caller Identification Based on Cognitive Robotic Engine, Proceeding of the IEEE International Workshop on Robot-Human Interactive Communication, pp. 417-423, Hertfordshire, UK, September 2006.
- [2] Sukhan Lee, Hun-Sue Lee and Dong-Wook Shin. (2006b). Cognitive Robotic Engine for HRI, Proceeding of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2601-2607, Beijing, China, October 2006.
- [3] R. C. Arkin, "Behavior-Based Robotics," MIT Press , Cambridge, MA, 1998.
- [4] <http://www.cogniron.org/>
- [5] Hiroyasu Miwa, et al., "Robot Personalization based on the Mental Dynamics", In Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent robot and Systems