

# 무인화 환경 기반의 상점 자동 관리를 위한 지능형 서비스 로봇 시스템

## A Development of Intelligent Service Robot System for Store Management in Unmanned Environment

안 호 석\*, 사 인 규, 백 영 민, 이 동 욱  
(Ho Seok Ahn<sup>1</sup>, In-Kyu Sa<sup>2</sup>, Young Min Baek<sup>3</sup>, and Dong-Wook Lee<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Korea Institute of Industrial Technology

<sup>2</sup>Queensland University of Technology

<sup>3</sup>The University of Tokyo

**Abstract:** This paper describes an intelligent service robot system for managing a store in an unmanned environment. The robot can be a good replacement for humans because it is possible to work all day and to remember lots of information. We design a system architecture for configuring many intelligent functions of intelligent service robot system which consists of four layers; a User Interaction Layer, a Behavior Scheduling Layer, a Intelligent Module Layer, and a Hardware Layer. We develop an intelligent service robot 'Part Timer' based on the designed system architecture. The 'Part Timer' has many intelligent function modules such as face detection-recognition-tracking module, speech recognition module, navigation module, manipulator module, appliance control module, etc. The 'Part Timer' is possible to answer the phone and this function gives convenient interface to users.

**Keywords:** unmanned store management robot, intelligent service robot, reconfigurable modular system architecture

### I. 서론

무인화 로봇 시스템은 자동차 생산 등 제조업 분야를 기반으로 발전되어, 현재는 원자력 발전소나 군사 분야 등 사람이 하기에 위험한 일을 대신 해줄 수 있는 분야로 진출하고 있다. 또한 의료 분야 같이 정밀한 작업을 위한 분야에서도 필요할 뿐만 아니라 로봇 수족관 등 엔터테인먼트를 위한 분야에서도 활용을 하기 위한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 정보를 제공하고, 사람 대신 집이나 상점을 관리해주고, 사람들에게 안내를 해주는 무인화 환경 기반의 지능형 서비스 로봇 시스템에 대한 연구를 중심으로 다룬다.

청소 로봇은 서비스 로봇 중 가장 많이 사용되고 있으며, Roomba [1], Roboking [2] 등 실내 바닥 청소용 로봇뿐만 아니라 사무실 청소 로봇인 DAVID [3], 빌딩 외벽 청소 로봇 Sky Cleaner [4] 등 다양한 로봇이 개발되고 있다. 집안의 가전기기를 관리하고, 방문자를 상대할 수 있는 홈 오토메이션 로봇의 연구도 활발히 진행되고 있으며, ApriAlpha [5]와 PaPeRo [6] 뿐만 아니라 ISSAC [7], ETRO [8], SHR100 [9], MARY [10], PBMoRo [11] 등이 있다. 노령화 시대가 되면서 장애인과 노인을 위한 침대[12], 복지 로봇 ROMAN [13] 등 많은 복지 관련 로봇들도 연구되고 있다. 이외에도 전시장의 안내 로봇 [14], 여행을 도와주는 가이드 로봇[15], 우편 분류 로봇[16], 음악 교사 로봇[17] 등 사람의 일을 대신 해줄 수 있는 다양

한 서비스 로봇이 연구되고 있다.

이러한 서비스 로봇 시스템을 구현하기 위해 다양한 시스템 구조가 제안되었다. D. Gluer는 복잡하고 예측하기 힘든 상황에서 발생할 수 있는 예외상황의 처리를 위한 시스템 구조를 제안했다[18]. Mumolo는 음성을 운율에 따라 묶어서 처리하는 Prosodic 모델 기반의 알고리즘을 제안했다[19]. Kleinhagenbrock은 정교한 휴먼-로봇 인터랙션을 위한 에이전트 기반의 로봇 시스템 구조를 제안했으며, 이동 로봇 BIRON에 적용했다[20]. 구형민은 변화하는 상황을 인식하여 스스로 기능과 구성을 변화하는 새로운 로봇 소프트웨어 구조를 제안했다[21]. Kanda는 간단한 발음과 함께 백 가지 이상의 행동을 수행할 수 있는 시스템 구조를 제안했다[22]. Mikio Nakano는 대화 기반의 서비스 로봇을 위한 행동 및 대화 계획기 모델을 제안했다[23].

본 논문에서는 무인화 환경 기반의 상점을 관리하기 위한 지능형 서비스 로봇의 시스템 구조를 제안하고 이를 기반으로 구현된 로봇 시스템을 소개한다. 상점을 관리하기 위해서는 사람을 인식하고, 주문을 이해하며, 물건을 인식해서 계산해야 한다. 또한 상점의 조명, 온도 등 시설을 관리할 수 있어야 하며, 주인에게 상점의 상태를 보고할 수 있어야 한다. 이런 많은 기능들을 연결하기 위하여 재구성이 쉬운 모듈화 기반의 시스템 구조를 설계한다. 각 지능 모듈들은 필요에 의해서 선택되고 다른 지능 모듈로 교체가 가능하다. 구현된 로봇 시스템은 사람 탐색 및 인식, 물체 인식 등의 영상 처리 모듈, 음성 인식 및 대화를 위한 음성 처리 모듈, 이동을 위한 네비게이션 모듈, 상점의 가전기기를 제어하고 관리하기 위한 가전기기 모듈 등을 가지고 있다. 또한 주인이 외부에서 상점의 상태를 알 수 있도록 PDA와 PC 기반의 프로그

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 2. 20., 수정: 2011. 3. 10., 채택확정: 2011. 3. 29.

안호석, 이동욱: 한국생산기술연구원 지능형로봇연구그룹

(hoseoka@gmail.com/dwlee@kitech.re.kr)

사인규: Queensland University of Technology(endd22@gmail.com)

백영민: The University of Tokyo(ymbaek@nml.t.u-tokyo.ac.jp)

램을 통해 정보를 제공한다. 특히, 로봇이 직접 전화를 받아 주인과 음성 통화를 함으로써 명령을 전달하고, 정보를 얻을 수 있는 기능도 구현했다.

II 장에서는 지능 모듈의 재설정을 위한 시스템 구조를 제안한다. III 장에서는 제안한 시스템 구조를 기반으로 구현한 로봇 시스템을 소개한다. IV 장에서는 로봇에 구현된 여러 기능을 검증하고, V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

**II. 지능 모듈의 재설정을 위한 시스템 구조**

지능형 로봇에는 음성 인식, 영상 인식 등 다양한 기능이 필요하며, 영상 인식일지라도 상황에 맞는 알고리즘을 선택해서 처리할 필요가 있다. 따라서 여러 지능 알고리즘들을 유기적으로 결합하고, 재설정을 할 수 있는 시스템 구조가 필요하다. 이를 위하여 서비스 로봇의 구성 요소를 크게 네 가지로 나누어 User Interaction Layer와 Behavior Scheduling Layer, Intelligent Module Layer, Hardware Layer로 하는 지능 모듈의 재설정을 위한 시스템 구조를 설계한다[24].

UIL (User Interaction Layer)은 로봇과 사람이 직접 의사소통하는 단계로 HRI (Human-Robot Interaction)이 직접적으로 이루어지는 단계이다. 사람이 로봇을 사용하는 과정에서 가장 직접적인 단계이므로 사용자의 편의성을 고려해야 하는 단계이다. 핸드폰이나 PC, PDA 등의 단말기와 이를 위한 User Interface를 위한 알고리즘 등이 UIL에 속한다.

BSL (Behavior Scheduling Layer)은 각 지능 모듈을 유기적으로 연결해주고 행동을 결정하는 서비스 로봇의 핵심 단계이다. 로봇의 종류와 목적에 따라서 연결이 달라질 수 있으며, 이 단계를 위한 별도의 스케줄링 알고리즘이 필요하다. 단일 프로세스의 경우에는 순차적인 스케줄링 알고리즘을 사용하며, 동시에 여러 프로세스가 필요한 경우에는 멀티 쓰레드 등의 방법을 사용한다. BSL은 로봇 운영의 메인 부분이므로 로봇의 목적에 맞는 알고리즘을 사용한다.

IML (Intelligent Module Layer)은 알고리즘들이 모여서 하나의 기능을 하기 위해 연결된 단계이며, 지능 모듈의 종류나 목적에 따라서 형태와 복잡도가 다르다. 각 지능 알고리즘들은 규격화된 형태의 IMC (Intelligent Macro Core)로 정의되며, 이들을 효율적으로 연결하기 위한 트리 구조의 ERI (Evolvable and Reconfigurable Intelligent) 구조를 사용한다[25].

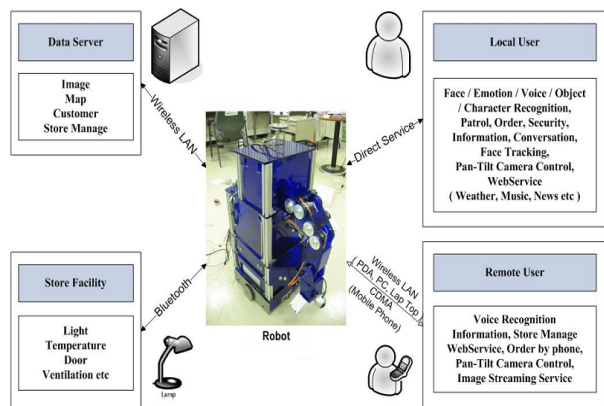


그림 1. 무인화 상점 관리 로봇 시스템 ‘알바생’.  
Fig. 1. The unmanned store management robot system.

HWL (Hardware Layer)은 각 IML에 종속된 하드웨어 기반의 장치이며, 이 단계에서 물리적으로 주변 상황의 인지가 가능하다. 또한 각 IML과 해당하는 HWL은 따로 묶어서 블록을 형성할 수 있으며, 이를 하드웨어적으로 분리하면 모듈화 로봇 시스템이 된다.

**III. 무인화 상점 관리 로봇 시스템**

지능 모듈의 재설정을 위한 시스템 구조를 기반으로 무인화 상점 관리 로봇 시스템을 구현했다. 그림 1은 개발된 무인화 상점 관리 로봇 시스템 ‘알바생’이다. 휠 타입의 구동부와 물체를 잡기 위한 6 자유도의 매니플레이터를 가지고 있다. 높이는 100cm이며, 무게는 30kg이고, 알루미늄 폴을 지지대로 사용하며, 아크릴 판을 이용하여 저가의 로봇 시스템을 구현했다. 메인 시스템은 Microsoft Windows XP 기반의 운영체제를 사용하며, Wireless LAN과 Bluetooth를 통신으로 사용한다. 센서는 2개의 Web Cam, 11개의 초음파센서, 1개의 Gas 센서를 사용한다.

그림 2는 구현한 로봇 시스템의 시스템 구조이다. 지능 모듈은 영상 처리 모듈과 음성 처리 모듈, 네비게이션 모듈, 매니플레이터 모듈, 헤드 Pan-Tilt 모듈, 가전기기 제어 모듈, 웹 서비스 모듈 등 8가지를 사용한다. 얼굴 인식, 물체 인식, 문자 인식, 음성 인식 및 대화 등의 지능 모듈을 이용하여 손님을 구분하고 기억할 수 있으며, 상품의 판매가 가능하다. 또한 상점 내의 모든 가전기기를 Wireless LAN과 Bluetooth를 통해 제어하고 관리할 수 있다. 상점 내의 모든 정보는 데이터 서버에서 관리하며, 로봇이 얻은 카메라 영상은 주인의 PDA를 통해 실시간으로 모니터링이 가능하다.

그림 3은 구현된 로봇 시스템의 각 부분 사진이다. 로봇은 6층으로 구성되어 있으며, 각 층은 각각 다른 기능을 가지고 있다. 맨 아래층은 구동부이며, 두 개의 바퀴와 이를 위한 모터 및 제어 관련 회로가 탑재되어 있다. 2층은 메인 시스템을 위한 산업용 PC가 위치해있으며, 다양한 지능 알고리즘이 처리된다. 3층은 가전기기 제어를 위한 회로와 각종 센서를 위한 부분으로 거리를 측정하기 위한 초음파 센서가 배치되어 있다. 4층은 매니플레이터의 제어를 위한 회로를 위한 부분

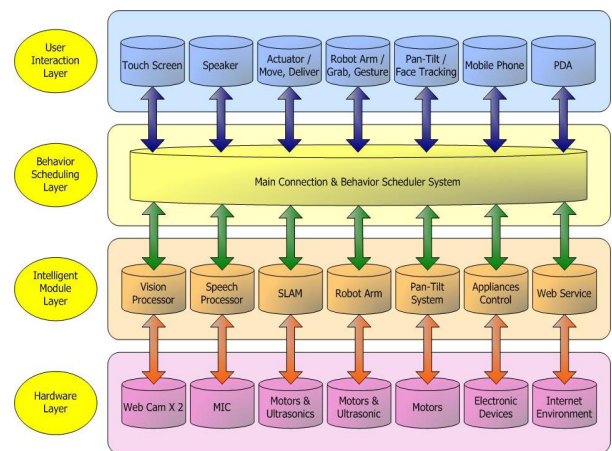


그림 2. 무인화 상점 관리 로봇의 시스템 구조.  
Fig. 2. The system architecture of the unmanned store management robot system.

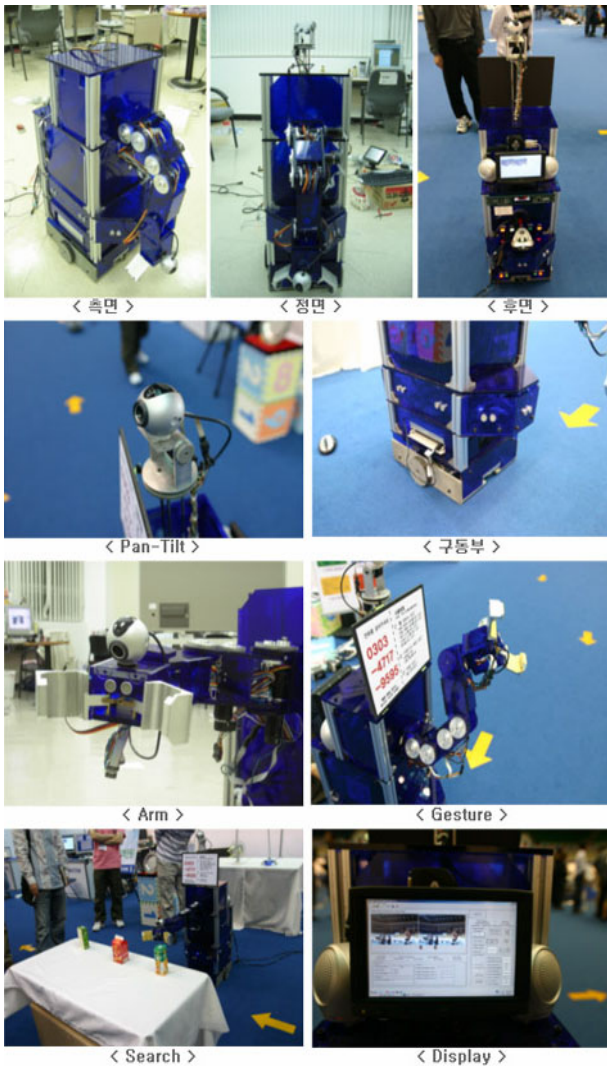


그림 3. 무인화 상점 관리 로봇의 각 부분.  
Fig. 3. The details of the unmanned store management robot system.

이고, 5층은 메니플레이터의 기구부를 위한 부분이다. 6층은 헤드 Pan-Tilt 모듈을 위한 부분이다.

**IV. 무인화 상점 관리 로봇 시스템의 기능**

개발한 무인화 상점 관리 로봇 시스템의 여러 기능을 실험했다. 그림 4는 실험을 위한 무인화 상점 환경이다. 로봇은 상점 안에 위치하며, 그림 5와 같이 주인이 입력해놓은 스케줄대로 상점을 관리한다.

**1. 얼굴 인식 및 추적**

얼굴 영상 처리 모듈은 얼굴 탐색 및 인식, 추적을 담당한다. 먼저 얼굴을 탐색하기 위해서 CBCH (Cascade of Boosted Classifiers working with Haar-like features) algorithm [26]을 사용한다. CBCH algorithm은 적은 계산량 덕분에 처리 속도가 빠르면서도 정확성이 높기 때문에 로봇에서 실시간으로 얼굴을 탐색하기에 좋은 방법이다. 손님과의 원활한 의사소통을 위해서 얼굴 움직임을 분석하여 Pan-Tilt 시스템을 이용하여 얼굴을 추적한다. 추적을 위해서 퍼지 물을 세우고, 퍼지 제어를 한다.

사람을 인정한 후, 얼굴을 인식함으로써 손님이 누구인지

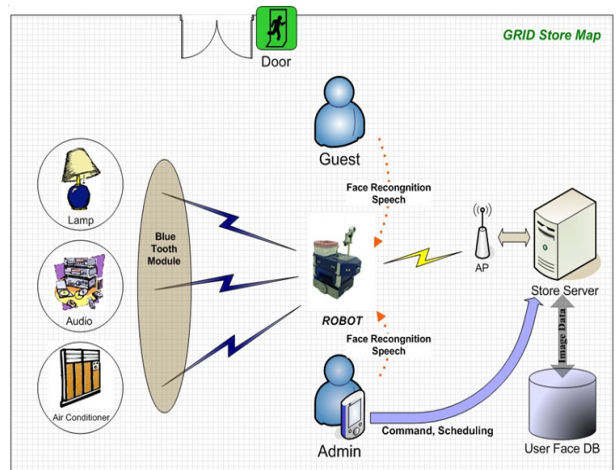


그림 4. 무인화 상점 관리 로봇의 시스템 실험 환경.  
Fig. 4. The experimental environment of the unmanned store management robot system.

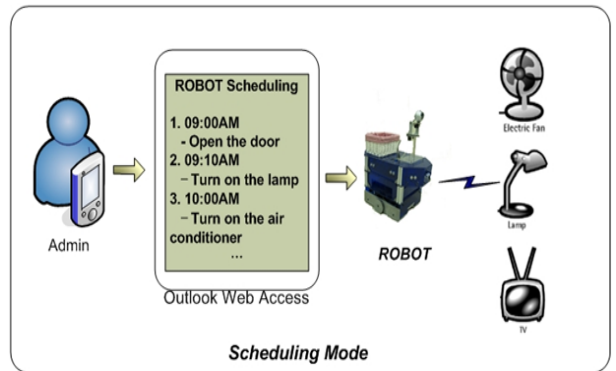


그림 5. 무인화 상점 관리 로봇의 스케줄 수행의 예.  
Fig. 5. The example of doing scheduled job of the unmanned store management robot system.

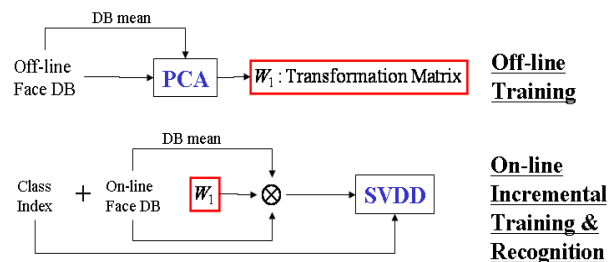


그림 6. 얼굴 인식 및 학습 알고리즘.  
Fig. 6. The face recognition and learning algorithm.



그림 7. 얼굴 인식 결과.  
Fig. 7. The results of the face recognition.

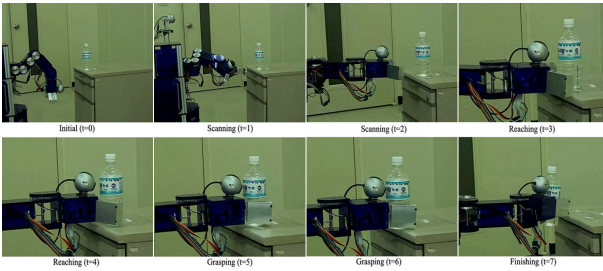


그림 8. 매니플레이터를 이용하여 물체를 잡는 과정.

Fig. 8. The grasping action process using manipulator.

알아본다. 얼굴 인식 과정은 크게 입력 영상으로부터 특징을 추출하는 단계와 추출한 특징을 기반으로 데이터들을 분류하는 단계로 나뉜다. 로봇에서는 실시간 얼굴 인식을 해야 하므로 점진적으로 짧은 시간 안에 학습이 이루어져야 유리하다. 이를 위하여 본 논문에서는 Off-line 상에서 다양한 얼굴 이미지에 PCA를 적용하여 특징 추출을 위한 변환행렬을 얻어낸 후, On-line 상에서 SVDD (Support Vector Data Description)를 분류기로 사용하여 학습 및 인식 속도를 빠르게 하였다[27]. 그림 6은 얼굴 인식 및 학습 알고리즘이고, 그림 7은 얼굴 인식 결과이다. 여러 명의 사람이 동시에 탐색되는 경우, 가장 가까운 사람을 인식하도록 처리했다.

## 2. 물체 인식 및 잡기

물체를 인식하고 잡기 위해서 물체 인식 방법으로 많이 쓰이는 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) algorithm [28]을 사용한다. 이는 인식하고자 하는 물체의 특징점을 DB화 함으로서, 물체의 가려짐에도 강인하고 빠른 인식이 가능하다는 장점을 갖고 있다. ‘알바생’은 매뉴플레이터의 앞부분에 위치한 하나의 카메라를 사용해 물체를 인식하기 때문에, 물체를 잡을 수 있는 거리를 측정하는 것이 어렵다. 따라서 먼저 영상처리를 통해 DB에 저장된 물체의 크기를 거리에 반비례한다고 가정하여, 대략적인 목표거리를 측정한다. 그리고 이 정보를 이용해서 물체가 영상의 가운데 위치하도록 Arm을 움직인다. 그 후 보조적으로 초음파 센서로 실제 물체와의 거리 위치를 측정하여, Arm을 물체에 접근시킨다. 최종적으로 물체가 잡을 수 있는 범위 안에 있으면 잡기 동작을 수행한다. 그림 8은 측정된 정보를 기반으로 매니플레이터를 이용해 물체를 잡는 과정이다.

## 3. 이동

상점은 물건이 고정된 위치에서 많이 벗어나지 않는 환경이므로 상점의 지도를 바탕으로 기본 경로를 생성할 수 있다. 하지만 손님이 많이 이동하는 환경이기 때문에 실시간으로 장애물을 인식하고 피해서 이동하는 기능이 필요하다. 이를 위해 그림 9와 같이 Gradient method [29] 기반 경로 계획 시뮬레이터를 개발하여 알고리즘을 테스트했고, 그림 10과 같이 실시간으로 5개의 초음파 센서를 사용해 탐색된 장애물을 피할 수 있도록 로봇에 적용했다[30].

장애물 회피를 위해 본 논문에서는 하위 레벨 Rule기반 행동장치를 구현했다. 이 방법은 Con-cave와 같은 장애물을 만났을 경우 Local minima에 빠질수 있지만, 구현이 쉽고 직관적이며 많은 계산량을 필요로 하지 않기 때문에 실시간 성능을 높이기 위해 사용한다. Path planner와 하위 행동장치는 우

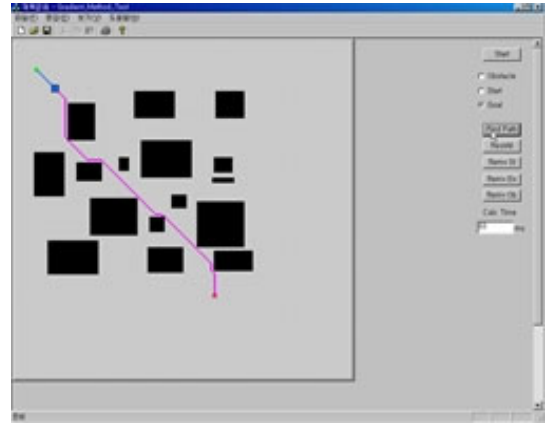


그림 9. 경로 계획 시뮬레이터.

Fig. 9. The path planning simulator.

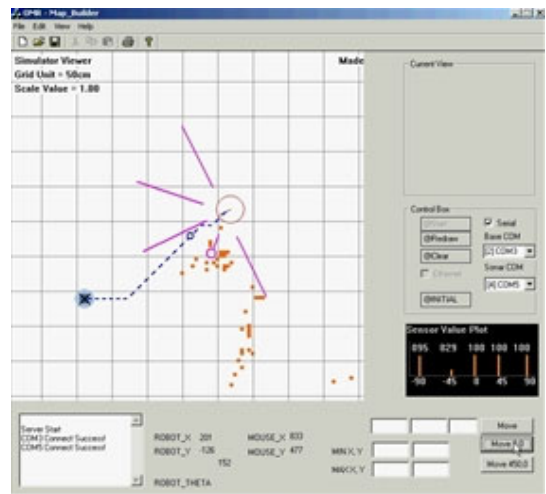


그림 10. 실시간 장애물 회피.

Fig. 10. The object avoidance in real-time.

선순위에 의해 구동되는데 하위 행동장치가 더 높은 권한을 갖고 로봇에게 목적지를 부여한다. 실시간 장애물 회피 및 지도 생성을 위해 고가의 레인지 파인더 대신 저가의 초음파 센서 5개를 사용했다. 일반적으로 로봇의 현재 위치를 알아내기 위해서는 Rao-Blackwellized particle filter [31] 방법을 이용했다.

## 4. 음성 인식 및 대화

음성 인식 모듈은 HMM (Hidden Markov Model) algorithm을 기반으로 한 HTK (HMM Took Kit)를 사용한다. 이를 위한 과정은 다음과 같으며, 1번부터 4번 과정은 준비 과정이고, 5번부터 8번 과정은 음성 인식 실행 과정이다.

1. Feature Vecture Extract: 레코딩된 음성에서 특징 벡터를 추출한다.
2. Transcription Label Create: 발음사전을 바탕으로 각 특징 벡터에 label을 부여한다.
3. Flat Starting with HCOMPV: HTK의 HCOMPV Tool을 이용해 세그멘테이션을 한다.
4. Embedded Training using HEREST: 반복 Training을 한다.
5. The Task Grammar: 인식할 문장을 입력한다.

6. Making Triphones from Monophones: Triphone을 생성한다.
7. Making Tied-State Triphones: Tied-State Triphone을 생성한다.
8. Speech Recognition from Tied-State Triphones: 음성 인식 과정을 종료한다.

5. 핸드폰 응답 서비스

사용자가 PC 등을 이용하여 원격으로 로봇에 접속해서 제어하는 방법은 많이 쓰이고 있지만, 간단히 사용하기에는 부족했다. 따라서 ‘알바생’은 VoIP를 이용하여 로봇에게 전화를 걸고, 로봇이 전화를 받아서 사람이 로봇 앞에서 음성으로 명령을 내리는 것과 같은 상황을 만듦으로써 간단하게 편리한 사용자 환경을 제공한다. 그림 11과 같이 시스템을 구성하며, 로봇이 전화를 받을 때, VoIP 모듈이 음성 데이터를 음성 인식 모듈로 전송하고, 그 이후의 과정은 로봇에게 직접 음성 명령을 하는 과정과 동일하다. 그림 12는 로봇에서 사용한 인터넷 폰이며, 그림 13은 로봇에게 전화가 왔을 때의 알람 및 자동으로 전화를 받고 음성 인식 모듈로 데이터를 전송하기 위한 프로그램이다.

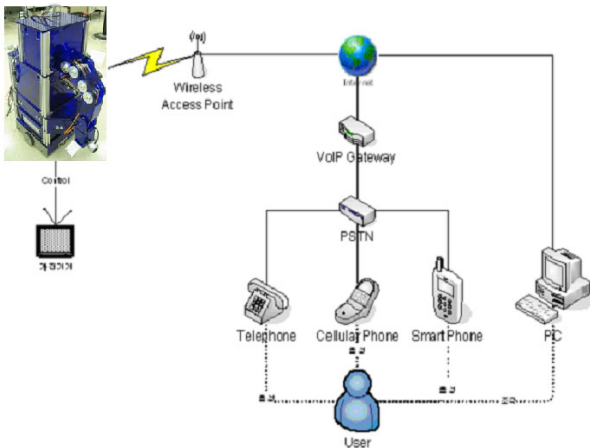


그림 11. 핸드폰을 이용한 로봇 제어 시스템.  
Fig. 11. The robot control system using cell phone.



그림 12. 실험에 사용한 인터넷 폰.  
Fig. 12. The internet phone used in the robot.

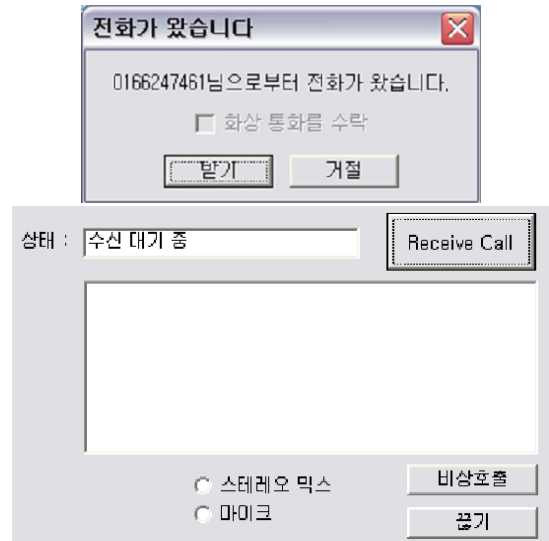


그림 13. 자동 전화 응답 프로그램.  
Fig. 13. The automatic call receiving program.

V. 결론

무인화 환경 기반의 상점에서 사람 대신 일을 할 수 있는 지능형 서비스 로봇 시스템을 개발했다. 이에 필요한 다양한 기능을 유기적으로 결합하기 위해서 User Interaction Layer와 Behavior Scheduling Layer, Intelligent Module Layer, Hardware Layer로 구성된 지능 모듈의 재설정을 위한 시스템 구조를 설계했다. 이를 기반으로 무인화 상점 관리 로봇 시스템 ‘알바생’을 개발했다. ‘알바생’은 손님을 알아보고 대응하기 위해서 실시간으로 처리가 가능한 얼굴 인식 및 추적 모듈, 음성 인식 및 대화 모듈을 가지고 있다. 또한 원하는 위치로 이동하여 물체를 찾고 잡기 위해서 이동 및 물체 인식, 메니플레이터 등의 지능 모듈도 가지고 있다. 주인이 쉽게 점포를 관리할 수 있도록 인터넷 환경에서 로봇이 전화를 받을 수 있도록 VoIP 모듈과 음성 인식 모듈을 결합한 서비스도 개발했다. 이를 통해 로봇이 상점에서 사람 대신 일을 할 수 있는 가능성을 확인했으며, 다수의 전국 규모 지능 로봇 경진 대회 및 전시회에 참가하여 좋은 성적을 거둠으로써 개발한 로봇의 성능을 객관적으로 입증했다. 추후 로봇에 탑재된 인공지능 모듈의 성능을 개선하고, 이동 및 메니플레이터의 정확성을 높일 수 있는 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

- [1] J. L. Jones, “Robots at the tipping point-the road to iRobot Roomba,” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 13, no. 1, pp. 76-78, Mar. 2006.
- [2] S. W. Kim, “Autonomous cleaning robot: Roboking system integration and overview,” *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2004)*, vol. 5, pp. 4437-4441, Apr. 2004.
- [3] E. Prassler, E. Stroulia, and M. Strobel, “Office waste cleanup: an application for service robots,” *In Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 1997)*, vol. 3, pp. 1863-1868, Apr. 1997.
- [4] H. Zhang, J. Zhang, G. Zong, W. Wang, and R. Liu, “Sky Cleaner 3: a real pneumatic climbing robot for glass-wall

- cleaning," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 13, no. 1, pp. 32-41, Mar. 2006.
- [5] T. Yoshimi, N. Matsuhira, K. Suzuki, D. Yamamoto, F. Ozaki, J. Hirokawa, and H. Ogawa, "Development of a concept model of a robotic information home appliance, ApriAlpha," *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, pp. 205-211, Sep. 2004.
- [6] M. Sato, A. Sugiyama, and S. Ohnaka, "Auditory system in a personal robot, PaPeRo," *In Proc. of the 2006 International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2006)*, pp. 19-20, Jan. 2006.
- [7] D. T. Nguyen, S.-R. Oh, and B.-J. You, "A framework for Internet-based interaction of humans, robots, and responsive environments using agent technology," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 6, pp. 1521-1529, Dec. 2005.
- [8] J. H. Han, J. Y. Lee, and Y. J. Cho, "Evolutionary role model and basic emotions of service robots originated from computers," *In Proc. of the 2005 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005)*, pp. 30-35, Aug. 2005.
- [9] M. Z. Kim, K. C. Kang, and H. K. Lee, "Formal verification of robot movements - a case study on home service robot SHR100," *In Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2005)*, pp. 4739-4744, Apr. 2005.
- [10] T. Taipalus and Kazuhiro Kosuge, "Development of service robot for fetching objects in home environment," *In Proc. of the 2005 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA 2005)*, pp. 451-456, Jun. 2005.
- [11] H. S. Ahn and J. Y. Choi, "Home automation system using intelligent mobile robot in ubiquitous," *In Proc. of the 2nd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, pp. 6-11, Nov. 2005.
- [12] Z. Z. Bien, K.-H. Park, J.-W. Jung, and J.-H. Do, "Intention reading is essential in human-friendly interfaces for the elderly and the handicapped," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 6, pp. 1500-1505, Dec. 2005.
- [13] U. D. Hanebeck, C. Fischer, and G. Schmidt, "ROMAN: a mobile robotic assistant for indoor service applications," *In Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 1997)*, vol. 2, pp. 518-525, Sep. 1997.
- [14] Y. Koide, T. Kanda, Y. Sumi, K. Kogure, and H. Ishiguro, "An approach to integrating an interactive guide robot with ubiquitous sensors," *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, vol. 3, pp. 2500-2505, Sep. 2004.
- [15] G. H. Kim, W. J. Chung, K.-R. Kim, M. S. Kim, S. M. Han, and R. H. Shinn, "The autonomous tour-guide robot Jinny," *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, vol. 4, pp. 3450-3455, Sep. 2004.
- [16] F. H. Wullschlegel and R. Brega, "The paradox of service robots-how passers-by can contribute in solving non-deterministic exceptional conditions encountered by service robots," *In Proc. of the 2002 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2002)*, vol. 2, pp. 1126-1131, Oct. 2002.
- [17] J. Solis, M. Bergamasco, K. Chida, S. Isoda, and A. Takanishi, "The anthropomorphic flutist robot WF-4 teaching flute playing to beginner students," *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2004)*, vol. 1, pp. 146-151, Apr. 2004.
- [18] D. Gluer and G. Schmidt, "A new approach for context based exception handling in autonomous mobile service robots," *In Proc. of the 2000 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2000)*, pp. 3272-3277, Aug. 2000.
- [19] E. Mumolo, M. Nolich, and G. Vercelli, "Pro-active service robots in a health care framework: vocal interaction using natural language and prosody," *In Proc. of the 2001 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2001)*, pp. 606-611, Sep. 2001.
- [20] M. Kleinhagenbrock, J. Fritsch, and G. Sagerer, "Supporting advanced interaction capabilities on a mobile robot with a flexible control system," *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2004)*, vol. 4, pp. 3649-3655, Sep. 2004.
- [21] H.-M. Koo and I.-Y. Ko, "A repository framework for self-growing robot software," *In Proc. of the 12th Asia-Pacific Conference on Software Engineering (APSEC '05)*, Dec. 2005.
- [22] T. Kanda, H. Ishiguro, M. Imai, T. Ono, and K. Mase, "A constructive approach for developing interactive humanoid robots," *In Proc. of the 2002 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2002)*, pp. 1265-1270, Dec. 2002.
- [23] M. Nakano, Y. Hasegawa, K. Nakadai, T. Nakamura, J. Takeuchi, T. Torii, H. Tsujino, N. Kanda, and H. G. Okuno, "A two-layer model for behavior and dialogue planning in conversational service robots," *In Proc. of the 2005 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005)*, pp. 3329-3335, Aug. 2005.
- [24] H. S. Ahn, I.-K. Sa, Y. M. Beak, K. H. Lee, H. S. Choi, J. K. Shin, K. C. Kyung, M. H. Kim, B. S. Lim, and J. Y. Choi, "Modular system architecture of intelligent service robots focused on smart adapted services," *In Proc. of the International Conference on Advanced Robotics*, pp. 1123-1128, Aug. 2007.
- [25] J. H. Na, H. S. Ahn, M. S. Park, and J. Y. Choi, "Development of reconfigurable and evolvable architecture for intelligence implement," *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 15, no. 6, pp. 35-39, Nov. 2005.
- [26] J. Barreto, P. Menezes, and J. Dias, "Humans-robot interaction based on haar-like features and eigenfaces," *In Proc. of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2004)*, vol. 2, pp. 1888-1893, Apr. 2004.
- [27] W.-S. Kang, J. H. Na, H. S. Ahn, and J. Y. Choi, "Face recognition system with SVDD-based incremental learning scheme," *The Journal of Korea Robotics Society*, vol. 1, no. 1, pp. 66-72, Sep. 2006.
- [28] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," *In Proc. of the 1999 International Conference on Computer Vision (ICCV 1999)*, pp. 1150-1157, Sep. 1999.
- [29] K. Konolige, "A gradient method for realtime robot control," *In Proc. of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2002)*, vol. 1, pp. 639-646, Nov. 2000.
- [30] H. S. Ahn, I.-K. Sa, Y. M. Beak, and J. Y. Choi, "Intelligent unmanned store service robot part timer," *Advanced in Service*

*Robotics*, i-Tech Book, pp. 1-26, Jul. 2008.

[31] M. Cummins and P. Newman, "Accelerating FAB-MAP with

concentration inequalities," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 26, pp. 1042-1050, Dec. 2010.



### 안 호 석

1980년 6월 24일생. 2005년 성균관대학교 정보통신공학부(공학사). 2006년 일본 AIST Intelligent Systems Research Institute 방문연구원. 2010년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사). 2010년~현재 한국생산기술연구원(KITECH) 로봇

융합연구그룹 선임연구원. 관심분야는 Human-Robot Interaction, Artificial Emotion, Android Robot, Intelligent Service Robot, Modular Robot.



### 사 인 규

1981년 1월 25일생. 2003년 성균관대학교 정보통신공학부(공학사). 2006년 성균관대학교 전기전자공학과(공학석사). 2006년~2009년 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 선임연구원. 2010년~현재 School of Engineering Systems, Queensland

University of Technology 박사과정 재학 중. 관심분야는 Indoor vSLAM with flying platform, Robot Localization, AUV.



### 백 영 민

1982년 2월 8일생. 2007년 연세대학교 전기전자공학부(공학사). 2009년 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학석사). 2010년 한국과학기술연구원(KIST) 연구원. 2010년~현재 School of Engineering, The University of Tokyo 박사과정 재학 중.

관심분야는 Surgical Robotics, Microsurgery, Surgical Image Processing.



### 이 동 욱

1973년 8월 24일생. 1996년 중앙대학교 제어계측공학과(공학사). 1998년 중앙대학교 제어계측학과(공학석사). 2000년 중앙대학교 제어계측학과(공학박사). 2002년~2004년 중앙대학교 정보통신연구원 연구전담교수. 2004년~2005년 The Univ.

of Tennessee 박사 후 연구원. 2005년~2010년 한국생산기술연구원(KITECH) 지능형로봇연구그룹 선임연구원. 2011년~현재 한국생산기술연구원(KITECH) 로봇융합연구그룹 수석연구원. 관심분야는 안드로이드 로봇, 인공지능, 인공생명, HRI.