

# 로봇의 팔을 햅틱 인터페이스로 사용하여 로봇의 이동을 제어하는 기술 Robot Mobile Control Technology Using Robot Arm as Haptic Interface

정 유 철\*, 이 성 수\*\*\*

Yu Chul Jung\*, Seongsoo Lee\*\*\*

## Abstract

This paper proposed the implementation of haptic-based robot which is following a human by using fundamental sensors on robot arms without additional sensors. Joints in the robot arms have several motors, and their angles can be read out by these motors when a human pushes or pulls the robot arms. So these arms can be used as haptic sensors. The implemented robot follows a human by interacting with robot arms and human hands, as a human follows a human by hands.

## 요 약

본 논문에서는 로봇의 팔을 기본 센서로 사용하여 별도의 센서 없이 사람을 따라다니는 햅틱 기반 로봇을 제안한다. 로봇 팔의 관절 각각에는 움직임을 생성하기 위한 모터가 있으며, 로봇 팔에 힘을 가하여 움직이면 각 관절의 각도가 변하면서 모터에서 그 각도를 출력 신호로 내보낼 수 있다. 따라서 사람이 로봇의 팔을 잡고 당기거나 밀면 로봇에서는 그 움직임을 각도로 읽어들이는 촉각 인터페이스로 활용할 수 있다. 구현된 로봇은 사람이 팔로 로봇 팔을 잡아끄는 움직임을 측정하여 움직이며 사람이 손을 잡고 이끌어서 사람을 따라다닐 수 있다.

*Key words : intelligent robot, human-robot interaction, following robot, mobile robot, haptic interface*

## 1. 서론

\* Colleague of IT, Kumi University, Uganda

\*\* School of Electronic Engineering, Soongsil University, ssllee@ssu.ac.kr, 010-9182-3835

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

“This research was supported by the MKE(The Ministry of Knowledge Economy), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the NIPA(National IT Industry Promotion Agency) (NIPA-2013-H0301-12-2006).”

Manuscript received Mar. 4, 2013; revised Mar. 20, 2013 ; accepted Mar. 21. 2013

최근 지능형 로봇 연구는 사람-로봇간의 상호작용 및 지능 향상에 비중을 두고 있으며, 발달된 산업용 로봇기술을 바탕으로 가사보조, 의료, 예술, 완구, 도우미 등 다양한 방면에서 로봇의 지능화가 가속화되고 있다.[1][2] 이에 따라 상황을 예측하고 환경에 대처할 수 있는 능력을 갖추어야 하고, 이를 위해서 로봇 지능의 개발, 특히 사람의 행동과 감정을 이해하고 그에 대응하는 역할을 담당하기 위한 상호작용과 관련한 기술 개발이 매우 중요하다.

사람과 로봇간의 자연스러운 상호작용에 있어서 사

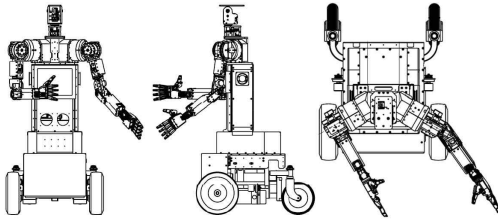


Fig. 1. RoMAN humanoid robot  
그림 1. RoMAN 휴머노이드 로봇

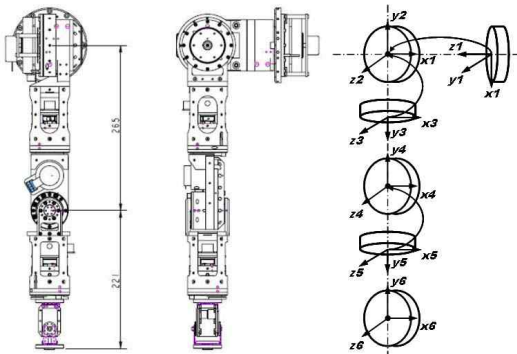


Fig. 2. RoMAN arm configuration  
그림 2. RoMAN 팔의 구성

람의 직접적인 정보뿐만 아니라 경험이나 지식에 기반을 둔 정보를 활용하면 로봇과 보다 자연스러운 상호작용을 할 수 있다.[3] 따라서 음성, 촉감, 시점, 몸짓 등과 같이 사람의 맥락정보를 인터페이스로 활용하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히 촉감(haptic)은 사람의 동작을 로봇 시스템에 명령으로 제공하는 동시에, 로봇에서 피드백된 힘 정보를 재현함으로써 사용자가 시스템의 상황을 즉각적이고도 현실감 있게 느낄 수 있게 하는 장점이 있다.[4]

사람의 촉감은 근감각과 질감으로 나눌 수 있으며, 이에 따라 햅틱 인터페이스도 두 가지로 나누어 개발되어 왔다. 근감각에 관련된 햅틱 인터페이스는 물리적으로는 ‘힘’과 연관되어 있으므로 힘을 생성하기에 유리한 로봇 모양과 같은 기구적 구조를 띠고 있다. 질감에 관련된 햅틱 인터페이스는 접촉하고 있는 표면의 질감, 온도 등에 관련이 있으며 복잡한 물리적 요소들로 이루어져 있어서 질감을 재현하고자 하는 질감 햅틱 디바이스들의 모양도 매우 다양하다.[5]

본 논문에서 활용한 ‘RoMAN’의 팔은 6개의 관절을 가진다. 이것은 위치 및 속도 제어와 힘 제어가 가능하기 때문에 근감각 햅틱 인터페이스로 이용할 수 있다. 6개 관절 각각에는 로봇 팔의 움직임을 생성하기 위한 모터가 있으며, 입력 신호를 가하면 모

터에서 발생하는 힘에 의해 각 관절의 각도가 변하며 팔이 움직인다. 이때, 역으로 로봇 팔에 힘을 가하여 움직이면 각 관절의 각도가 변하면서 모터에서 그 각도를 출력 신호로 내보낼 수 있다. 따라서 사람이 로봇의 팔을 잡고 당기거나 밀면 로봇에서는 그 움직임을 각도로 읽어들이는 인터페이스로 활용할 수 있다. 이 방법의 가장 큰 장점은 로봇의 팔을 기본 센서로 사용함으로써 별도의 센서가 필요 없다는 점이다.

본 논문에서는 인간이 로봇의 팔을 당기거나 밀는 움직임을 읽어들이 해석함으로써 로봇 움직임(mobile)을 컨트롤 할 수 있는 인터페이스를 설계하여 인간을 따라가는 휴머노이드 로봇을 구현하고, 이를 이용한 햅틱 기반의 로봇 움직임 제어 방법을 제안한다.

## II. ROMAN 로봇

본 논문에서 활용한 휴머노이드 로봇인 RoMAN은 그림 1과 같이 사람의 신체 기능을 모방한 neck module, arm module, hand module, torso module, mobile module로 구성되어 있다. RoMAN의 팔은 사람의 양팔과 유사한 기구로 설계되어 위치 및 속도 제어는 물론 힘 제어도 가능하다.[6]

RoMAN Arm은 6개의 회전관절로 구성되어 있으며, 모든 축에 DC 서보 모터가 있다. 각 축간의 통신은 CAN통신을 사용한다. 각 회전 좌표계는 그림 2와 같이 어깨 올림, 어깨 벌림, 어깨 돌림, 팔꿈치, 손목 회전, 손목 올림의 6개의 축인 축1~축6으로 구성되어 있고, 각각의 구동 범위는 표 1과 같다. 바퀴기반의 모바일 모듈은 전동식 휠체어와 같은 두 개의 구동바퀴와 두 개의 보조 바퀴, 전원장치, 디코더로 구성되며 RS-232 방식으로 입력을 받아 등속이동 및 특정

Table 1. Axis angle range of ROMAN arm module  
표 1. ROMAN 팔 모듈에서 각 축의 각도 범위

Human Joints	RoMAN Axis	Angle Range
Shoulder	축1	-60° ~ 180°
	축2	-35° ~ 80°
	축3	-90° ~ 70°
Elbow	축4	0° ~ 135°
Wrist	축5	-90° ~ 90°
	축6	-30° ~ 30°

거리이동을 제어 할 수 있다. hand module과 neck module은 RS-485 방식의 통신을 사용한다. 차대 제어는 RS-232 방식을 사용하여 정해진 프로토콜에 의해 명령어를 전달한다.

### III. 사람을 따라오는 로봇

RoMAN은 외부의 조이스틱을 이용하여 차대 제어를 하는 방식으로 설계되었으나 햅틱 인터페이스 제어를 위해 RoMAN의 팔을 이용하여 사람이 사람을 이끄는 것처럼 사용자가 로봇의 팔을 잡아 원하는 방향으로 로봇이 이동할 수 있게 개량하였다.

사람은 이동하자라는 의사를 전달할 때 팔을 잡아당기는 행동을 한다. 이 행동에는 이동의 시작과 이동 방향을 전달하려는 의도가 포함되어 있다. 당겨지는 팔에는 힘이 작용하는데, 이 힘은 그림 3과 같이 일반적으로 이동하고자 하는 방향과 같다. 당겨지는 팔은 이 힘에 의해 위치가 변하게 되고, 더 강한 힘 또는 다른 방향의 힘이 가해지기 전까지 그 위치를 유지하며 이동하자라는 의사를 받아들인다. 이 알고리즘을 로봇에 적용하기 위해서 로봇 팔의 위치와 가해지는 힘의 방향과 크기를 알아야 할 필요가 있다. 여기서 로봇 팔의 위치와 가해지는 힘은 위에서 언급했듯이 움직이고자 하는 방향으로 팔의 이동이 끝나면 계속적인 힘을 가하지 않기 때문에 당겨지는 팔에 작용하는 힘의 크기는 팔의 위치와 동일함으로 로봇의 움직임 제어는 팔의 위치만으로 가능하게 된다.

#### 1. 한 팔 로봇

본 논문에서는 로봇에 대한 사람의 위치 변화와 그에 따른 로봇 팔 각도변화의 상관관계를 알기 위해 그림 4와 같이 실험을 하였다. 실험 방법은 사람이 로봇의 팔을 잡고 직진 방향으로 잡아당겨 변한 위치를 기준으로 10도 간격으로 방향을 표시하였다. 그리고 각각의 각도마다 방향에 맞추어 사람이 이동을 하고 이때의 로봇 팔의 각도 변화를 측정하였다. 손목 부분인 5, 6축은 팔의 이동에 주된 영향을 받지 않으므로 고정시키고 1~4축의 각도변화만을 측정하였다. 로봇 팔의 각도 측정 방법은 팔의 각각의 축의 드라이버로부터 현재 각도를 알 수 있는데, 초기화 상태 이후 모터 회전수를 디코더를 통해 산출하고 제작된 응용프로그램을 통해 현재 각도를 실시간으로 얻을 수 있다.

그림 5는 한 팔 모드 실험의 결과로 X축은 진행방



Fig. 3. RoMAN arm interaction  
그림 3. RoMAN 팔의 상호작용

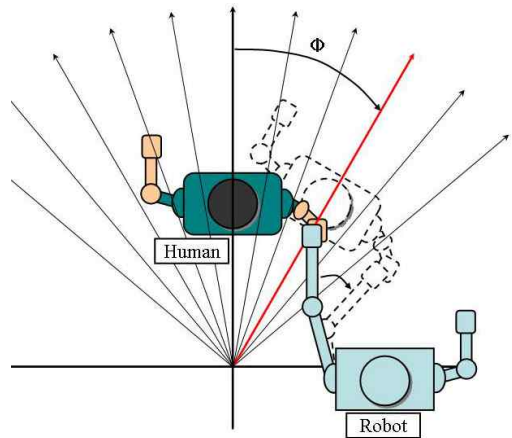


Fig. 4. One-hand mode  
그림 4. 한 팔 모드

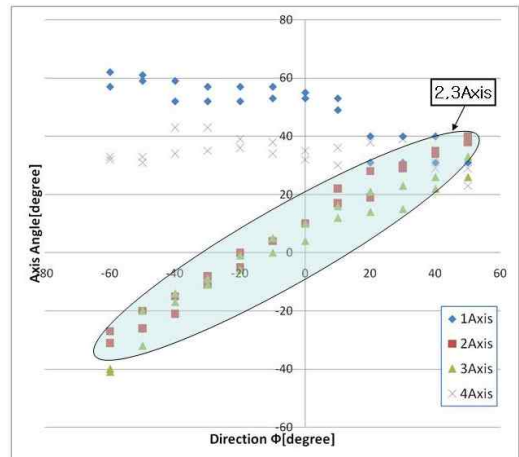


Fig. 5. One-hand mode test result  
그림 5. 한 팔 모드의 테스트 결과

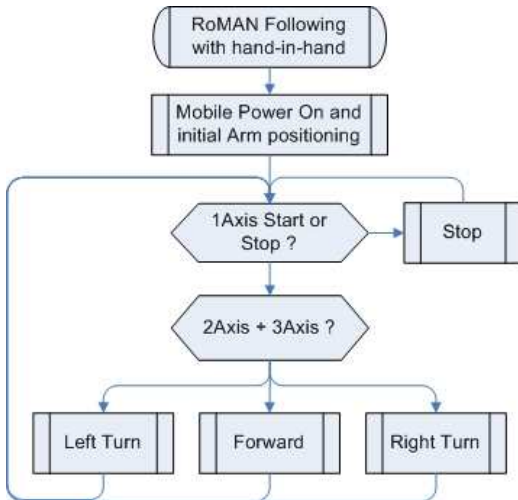


Fig. 6. Flowchart of one-hand mode test  
 그림 6. 한 팔 모드의 순서도

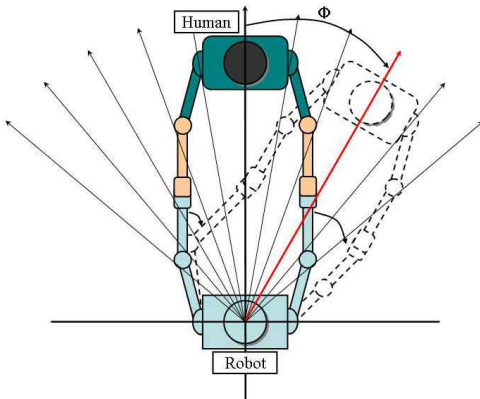


Fig. 7. Two-hand mode  
 그림 7. 두 팔 모드

향을 나타내며, Y축은 각각의 축의 각도를 나타낸다. 보는 바와 같이 사람 위치의 변화는 축2, 축3의 변화량과 관계가 크며 1차 함수와 같은 성격을 가진다. 축1과 축4 또한 사람의 위치 변화에 따라 변화하는 모습을 보이지만 그 관계가 뚜렷하지 않을 뿐만 아니라 변화량도 작다.

실험을 통해 얻은 결과를 이용하여 'forward', 'right turn', 'left turn', 'stop' 4가지 상황에 대해 팔의 각도 변화 범위를 상황에 맞게 시스템에 적용하였다. 시스템에 적용한 자세한 내용을 표 2에 나타내었다.

여기에서 'forward'가  $30^\circ < \text{축1각도} \leq 90^\circ$  and  $[-15^\circ$

$\leq (\text{축2각도} + \text{축3각도}) \leq 15^\circ]$ 라는 표기는 축1각도가  $30^\circ \sim 90^\circ$  사이이고, 축2각도와 축3각도의 합이  $-15^\circ \sim 15^\circ$  사이여야 한다는 것을 의미한다.

그림 5를 보면 사람의 진행방향이 왼쪽으로 갈수록 축2각도와 축3각도가 음수 값을 가지고, 오른쪽으로 갈수록 축2각도와 축3각도가 양수 값을 가짐을 알 수 있다. 이런 특징을 가지고 이동방향을 시스템에 적용할 때는 축2각도와 축3각도의 합을 이용하여 'left turn'과 'right turn'의 적용범위를 결정하였다. 'forward' 상태는 실험을 통해 안정적인 적용범위를 결정하였다. 표 2의 상태변화를 flowchart로 만들면 그림 6와 같이 나타낼 수 있다.

Table 2. One-hand mode control states and angle range  
 표 2. 한 팔 모드의 제어 상태 및 각 모드의 각도 범위

State	Angle Range
Stop	축1각도 $\leq 30^\circ$
Forward	$[30^\circ < \text{축1각도} \leq 90^\circ]$ and $[-15^\circ \leq (\text{축2각도} + \text{축3각도}) \leq 15^\circ]$
Left Turn	$[30^\circ < \text{축1각도} \leq 90^\circ]$ and $[(\text{축2각도} + \text{축3각도}) < -15^\circ]$
Right Turn	$[30^\circ < \text{축1각도} \leq 90^\circ]$ and $[15^\circ < (\text{축2각도} + \text{축3각도})]$

## 2. 두 팔 모드

두 팔 모드에서도 한 팔 모드와 같은 방법으로 그림 7과 같이 실험을 하였다. 실험 방법은 양손으로 로봇의 팔을 잡은 상태로 직진 방향으로 잡아 당겨 변환 위치를 기준으로 하고 로봇 어깨 축을 중심으로 하여 10도 간격으로 방향을 표시하였다. 그리고 한 팔 모드와 같이 각각의 각도에 대해서 팔의 각도 변화를 측정하였다.

RoMAN의 두 팔은 대칭성을 가지고 있기 때문에 같은 방향의 움직임에 대해서 양팔의 각도 변화가 서로 반대인 것을 알 수 있다. 그러므로 그림 8의 두 팔 모드의 실험 결과와 같이 오른쪽과 왼쪽 팔의 축2, 축3의 각도변화는 서로 엇갈리게 나타난다. 두 팔 모드 역시 축1, 축4는 일정한 각도 변화가 있었지만 큰 의미를 부여하기는 어렵다고 할 수 있다.

앞에서의 한 팔 모드에서와 마찬가지로 두 팔 모드에서 'forward', 'right turn', 'left turn', 'stop' 4가지 상황에 대해 팔의 각도 변화 범위를 상황에 맞게 시스템에 적용하였다. 시스템에 적용한 자세한 내용을 표 3에 나타내었다.

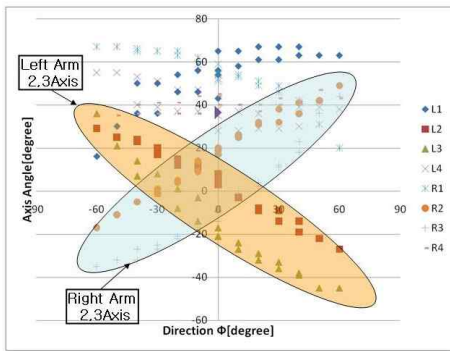


Fig. 8. Two-hand mode test result  
 그림 8. 두 팔 모드의 테스트 결과

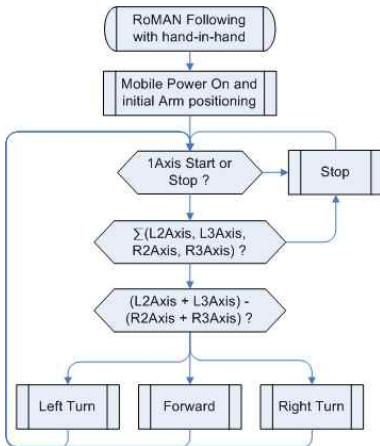


Fig. 9. Flowchart of two-hand mode  
 그림 9. 두 팔 모드의 순서도

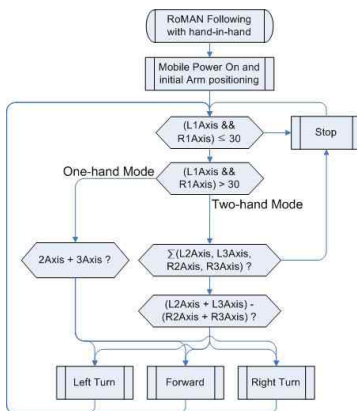


Fig. 10. Flowchart combining one-hand mode and Two-hand mode  
 그림 10. 한 팔 모드와 양 팔 모드가 결합된 순서도

표 3의 축L1~축L3는 왼쪽 팔의 어깨 부분의 축이고, 축R1~축R3는 오른쪽 팔의 어깨 부분의 축이다. 여기에서 'forward'가 [축L1각도>30°] and [축R1각도>30°] and [-40°≤(축L2각도+축L3각도-축R2각도-축R3각도)≤40°]라는 표기는 축1각도가 양 팔 모두 30° 이상이고, 축L2각도와 축L3각도의 합이 양 팔을 비교할 때 ±40° 이하여야 한다는 것을 의미한다.

표 3에서 양팔을 벌리거나 모으는 행동을 'stop'으로 적용하였다. 양팔이 벌어지거나 모아지면 양팔의 축2, 축3의 값 모두가 커지거나 작아지는 경향이 있어 양팔의 축2, 축3 값을 모두 합쳐 일정 값 이상이거나 이하이면 'stop' 상태로 되게 하였다.

'left turn'이나 'right turn'의 경우 그림 8을 보면

Table 3. Two-hand mode control states and angle range  
 표 3. 두 팔 모드의 제어 상태 및 각 모드의 각도 범위

State	Angle Range
Stop	[축L1각도≤30°] or [축R1각도≤30°] or [Σ(축L2각도, 축L3각도, 축R2각도, 축R3각도) >50°] or [Σ(축L2각도, 축L3각도, 축R2각도, 축R3각도) ≤ -30°]
Forward	[축L1각도>30°] and [축R1각도>30°] and [-40°≤(축L2각도+축L3각도-축R2각도-축R3각도)≤40°]
Left Turn	[축L1각도>30°] and [축R1각도>30°] and [(축L2각도+축L3각도-축R2각도-축R3각도)<-40°]
Right Turn	[축L1각도>30°] and [축R1각도>30°] and [(축L2각도+축L3각도-축R2각도-축R3각도)>40°]

알 수 있듯이 이동 하려는 방향의 팔의 '2Axis + 3Axis'이 양수 값을 가지고 반대 팔은 음수 값을 가지는 것을 알 수 있다. 이런 특징을 이용하여 왼쪽팔의 '2Axis + 3Axis'과 오른쪽팔의 '2Axis + 3Axis'의 차를 이용하여 표 3의 'left turn'과 'right turn'와 같이 나타내었다. 표 3의 상태변화를 flowchart로 만들면 그림 9와 같이 나타낼 수 있다.

### 3. 구현 결과

제안한 두 가지 모드에 대하여 통합된 알고리즘은 그림 10과 같으며, 이를 활용하여 어플리케이션 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램은 RoMAN 내부에 장착된 SBC (Single Board Computer)에 탑재되며, 외부의 컨트롤러 없이 RoMAN의 제어를 가능하게 해준다. 프로그램은 그림 11과 같이 RoMAN의 현재

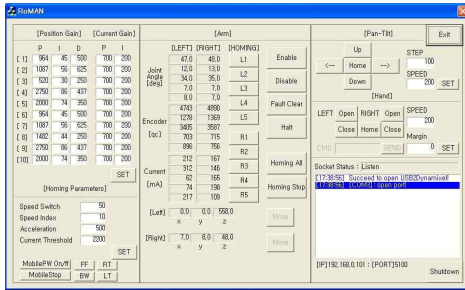


Fig. 11. RoMAN control program design  
 그림 11. ROMAN 제어 프로그램 설계



Fig. 12. Following human by hands (a) Two-hand mode  
 (b) One-hand mode  
 그림 12. 로봇이 사람의 손에 이끌려 따라가는 모습 (a) 두 팔 모드 (b) 한 팔 모드

팔의 각도와 방향, 작용하는 힘의 크기, 차대의 이동 상태 등을 RoMAN 전면의 모니터를 통해 나타내도록 구현하였다. 로봇이 실제 환경에서 손잡고 따라가기를 직접 시험한 사진은 그림 12와 같다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 사람과 로봇의 상호작용 인터페이스 개발을 목적으로 인간형 로봇인 RoMAN의 자체 센서를 활용하여 인간을 따라가는 HRI 로봇을 구현하였다. 이 로봇의 팔은 인간의 팔처럼 움직이기 위해 6 자유도를 가지며, 이를 이용하여 6가지 각도 움직임을 측정할 수 있다. 로봇 팔에 힘을 가하여 움직이면 각 관절의 각도가 변하면서 모터에서 그 각도를 출력 신호로 내보낼 수 있다. 따라서 사람이 로봇의 팔을 잡고 당기거나 밀면 로봇에서는 그 움직임을 각도로 읽어들이는 접촉식 인터페이스로 활용할 수 있다. 이 방법의 가장 큰 장점은 로봇의 팔을 기본 센서로 사용함으로써 별도의 센서가 필요 없다는 점이다. 구현된 로봇은 사람이 팔로 로봇 팔을 잡아끄는 움직임을 측정하여 움직이며 사람이 손을 잡고 이끌어서 사람을 따라다닐 수 있다.

#### References

[1] R. Paek, K. Han, and I. Shin, "Development of Multi-Link Mobile Robot for Rough Road Driving", Journal of IKEEE, vol. 14, no. 2, pp. 58-63, Jun. 2010.

[2] J. Kong, O. Kwon, E. Lee, "Implementation of the Timbre-based Emotion Recognition Algorithm for a Healthcare Robot Application", Journal of IKEEE, vol. 13, no. 4, pp. 43-46, Dec. 2009.

[3] B. Schilit, N. Adams, and R. Want, "Context-Aware Computing Applications", Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 85-90, Dec. 1994.

[4] T. Wosch and W. Feiten, "Reactive Motion Control for Human-Robot Tactile Interaction", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3807-3812, May 2002.

[5] K. Jyung and J. Park, "The State of the Art and R&D Perceptives on Haptics", Electronics and Telecommunications Trends, vol. 21, no. 5, pp. 93-108, Oct. 2006.

[6] <http://www.ntresearch.net>

#### BIOGRAPHY

**Yuchul Jung** (Member)



1996 : BS degree in Mechanical Engineering, Soongsil University.  
 1998 : MS degree in Mechanical Engineering, Soongsil University.  
 2007 : PhD degree in Mechanical Engineering, Soongsil University  
 2007~2008 : Senior Research, Agency for Defense Development  
 2008~2009 : PostDoc Researcher, Soongsil University  
 2010~Now : Dean in College of IT, Kumi University, Uganda  
 <Main Interest> Robotics, Human-Robot Interaction

**Seongsoo Lee** (Life Member)

1991 : BS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1993 : MS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1998 : PhD degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1998~2000 : Research Associate, University of Tokyo

2000~2002 : Research Professor, Ewha Womans University

2002~Now : Associate Professor in School of Electronic Engineering, Soongsil University

<Main Interest> Low-Power SoC Design, Multimedia SoC Design, Battery Management