

## Development of Haptic Glove for Remote Control

황요섭\* · 이장명†  
(Yo-Seop Hwang · Jang-Myung Lee)

**Abstract** - The remote control of mobile robot is widely used to perform dangerous and complex tasks such as underwater exploration and cleaning of nuclear reactor. For this purpose, the obstacle avoidance process will proceed to ensure a safe drive. In this paper, we tested that mobile robot drive in which replaced a pipe with a box. After we measured the distance around the obstacle through a sensor of robot, we got the information that changed haptic force from the distance of the obstacle.

**Key Words** : Haptic glove, Viscosity force, Force smoothing, Mobile robot

### 1. 서론

햅틱(haptic) 감각은 손을 사용하여 느끼는 모든 지각을 의미하는 단어로 정의되어 사용되었으나, 최근에는 인체의 모든 촉각기관을 사용하여 느끼는 지각으로 의미가 넓혀지고 있다. 모바일 로봇은 위험한 곳에 사람 대신 로봇을 투입한다는 구상은 군사작전, 범죄수사, 우주항공, 우주탐사 분야에서 최대의 관심사가 되었다. 모바일 로봇은 카메라를 장착한 바퀴 달린 차량에서 무기를 탑재한 무인 비행기까지 다양한 목적에 사용되어 셀 수 없을 정도로 많은 생명을 구했다. 앞으로도 그 중요성은 더욱 커질 것이다. 모바일 로봇에 장착한 각종의 센서를 이용하여 모바일 로봇 주변의 환경을 인식하고 장애물을 회피할 수 있다. 카메라 정보만 이용하는 경우에 조작자가 모바일 로봇과 장애물간의 거리를 판단하기는 어렵다. 조작자는 모바일로봇을 제어할 때 거리 정보를 알지 못하기 때문에 장애물이나 주변 환경의 변화를 인지하기가 어렵다. 그래서 수행착오를 발생한 후 주변 환경을 인지하게 된다.[1][2]

본 논문에서는 조이스틱형태가 아닌 글러브형태를 적용하여 모바일로봇을 제어를 효율적임을 입증 하였다. 또한 모바일 로봇과 장애물간의 거리 정보에 힘의 형태로 변환하고 힘 반향을 전달할 수 있는 모바일 로봇 원격제어시스템을 구현하고, 모바일 로봇의 파이프 주행 실험을 통하여 촉각정보를 이용하여 제어의 타당성과 효율성을 입증하였다. 모바일로봇 정면에 부착된 초음파 센서는 정방향의 거리 값을 측정하며 양 측면에 부착된 거리 센서를 이용하여 장애물간

의 거리 값을 감지하여 Haptic glove의 진동모터에 Feedback 하여 조작자에게 모바일로봇의 거리를 알 수 있다. 또한 조작자의 손 떨림이나 오동작을 막기 위해 점성힘 알고리즘을 이용하여 모터의 점성힘을 가하므로 손 떨림이나 오작동 방지에 하며, 장애물이 급격하게 사라지거나 나타날 경우 급격한 힘의 변화를 막기 위해 Force Smoothing Algorithm을 적용하여 점차 힘이 증가하며, 파이프 실험을 통하여 이를 검증했다.

### 2. 햅틱 인터페이스(Haptic interface)

기존의 햅틱 인터페이스(Haptic Interface)는 조이스틱에 햅틱(Haptic)을 구현한 형태가 주를 이뤘다.[3]-[6] 대표적으로 PHANTOM, CyberGrasp이 여러 가지 힘 반향 조이스틱을 개발해왔다. 일반적인 조이스틱의 경우 조이스틱의 위치에 따라 x축과 y축에 관한 좌표 값을 받아서 모바일 로봇을 움직이며, 장애물을 발견했을 경우 조이스틱은 2가지 축에 따라서 촉각을 느끼기 위해서는 2가지 요소의 Force를 이용해야 한다.



그림 1 2힘을 이용한 조이스틱  
Fig. 1 Two force use Joystick

\* 준 회원 : 부산대학교 로봇협동과정 석사과정  
† 교신저자, 정회원 : 부산대 전자전기공학과 정교수  
E-mail : jmlee@pusan.ac.kr  
접수일자 : 2010년 11월 15일  
최종완료 : 2011년 4월 25일

본 논문에서는 햅틱 글러브(Haptic Glove)를 이용하여 손가락 마디에 설치되어 있는 Flexible Sensor를 사용하여 손가락의 움직임에 따라 모바일 로봇을 제어할 수 있으며, 기존의 햅틱 장치와 다르게 한가지의 힘만을 이용하여 힘을 느끼며 이를 이용하여 제어 할 수 있다. [7][8]



그림 2 햅틱 글러브  
Fig. 2 Haptic glove

또한, 햅틱 글러브에서 촉감을 느끼기 위해 진동 모터를 사용하였다. 햅틱 글러브의 검지, 중지, 무명지에 모터 한 개(총3개)를 설치하였다. 만약 모바일 로봇의 왼쪽에 장애물이 있으면 검지에 진동이 오게 되고 오른쪽에 장애물이 있으면 무명지에 진동이 오게 된다.

장애물의 위치	촉감을 느낀 손가락
모바일 로봇의 왼쪽	검지
모바일 로봇의 오른쪽	무명지
모바일 로봇의 앞쪽	중지

그림 3 장애물의 위치와 촉감의 관계  
Fig. 3 Obstacle position and touch relation

마지막으로 모바일 로봇의 앞에 장애물이 있으면 중지에 진동이 오게 된다. 진동 모터의 진동 발생 원리는 회전축에 부착된 편심체가 회전할 때 생기는 힘을 이용하는데 이를 가진력 이라고 한다.

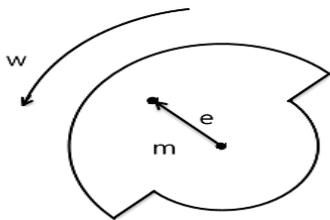


그림 4 진동 모터 내부의 편심  
Fig. 4 vibration motor inside eccentricity

그림 2의 편심체의 가진력의 크기와 회전주파수의 크기는 아래 식과 같다.

$$F = m \cdot e \cdot w^2 \tag{1}$$

$$f = \frac{w_{const}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{T - T_f}{D + G} \tag{2}$$

여기서  $m$ 이 편심 질량,  $e$ 가 편심거리,  $w$ 가 회전 각속도,  $T$ 가 구동 토크,  $D$ 가 점성 마찰 계수,  $G$ 가 회전 계수, 의미 한다.

### 3. 햅틱 렌더링(Haptic Rendering)

햅틱 렌더링(Haptic Rendering), 또는 햅틱 모델링(Haptic Modeling)은 햅틱 인터페이스(Haptic Interface)에서 가상의 물체, 혹은 실제 물리적인 환경과 물리적 장치사이에서 사실적인 힘(Realistic Force)을 느끼게 하는 데 필요한 일련의 계산적인 모든 과정을 가리킨다.[9][11]

햅틱 인터페이스(Haptic Interface)는 물리적 장치를 이용하여 사람이 직접적인 접촉이 없이도 촉각정보를 전달하는 시스템으로써 사람에게 원격지에 있는 물체의 물리적 특성을 전달하는 Teleoperation을 말한다.[12][15]

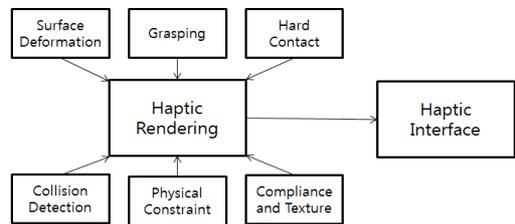


그림 5 햅틱 인터페이스  
Fig. 5 Haptic Interface

햅틱 인터페이스(Haptic Interface)와 두 종류의 가상 힘을 정의하였다. 첫째 점성 힘(Viscosity Force)으로 조작자의 손 떨림이나 오동작, 조이스틱의 놓침으로 인한 이동로봇의 오동작을 막기 위한 힘이다. 둘째는 장애물 힘(Obstacle Force)으로 이동로봇 주변의 장애물에 대한 위치 정보를 바탕으로 한 힘이다. 또한 장애물의 갑작스런 출현으로 인해 장애물 힘(Obstacle Force)의 급격한 변화를 막고 조작자가 부드럽게 느끼게 하기 위한 알고리즘으로 Force Smoothing Algorithm을 제시한다. 최종적으로 조작자에게 전달되는 전체 힘은 점성 힘(Viscosity Force)과 장애물 힘(Obstacle Force)합으로 결정된다.

#### 3.1 점성힘 알고리즘

조작자가 갑작스런 힘을 가하면 햅틱 글러브의 큰 저항변화가 생겨 모바일 로봇의 모션이 급작스럽게 변화가 생기게 된다. 이런 급작스런 변화는 로봇에 오작동이 발생할 수 있다. 이런 급작스런 변화를 막기 위해 점성힘을 구현하였다.

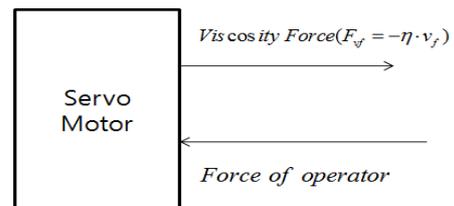


그림 6 점성힘 알고리즘  
Fig. 6 viscosity Force algorithm

조작자의 손 떨림에 의해 발생하는 동작은 핸드글러브의 위치를 변화시키는 힘을 발생하게 되는데 이 변화를 막기 위해 손가락이 구부러지는 방향과 펴지는 방향으로 점성을 가하여 모바일 로봇의 오작동을 막을 수 있다. 손가락이 구부릴 때 생기는 점성힘의 관계식은 다음과 같다.

$$F_{v,x} = -\eta * v_z \quad (v_z = \text{velocity of probe at } z\text{-axis}) \quad (3)$$

여기서  $v_z, v_x$ 는 프로브의 각축방향으로의 속도,  $\eta$ 는 점성률을 의미한다.

### 3.2 장애물 힘 알고리즘

장애물 힘은 모바일 로봇과 주변 장애물간의 거리를 측정하여 조작자에게 힘의 형태로 변형하여 로봇의 주변 환경에서 장애물 방향으로 진행하지 않도록 하는 힘을 말한다.

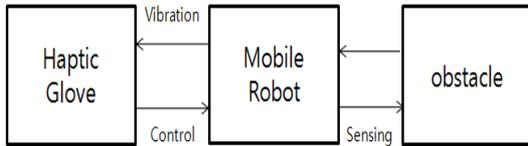


그림 7 장애물 힘 알고리즘  
Fig. 7 Obstacle force algorithm

장애물이 이동로봇에 가까이 접근했음을 조작자에게 알리고, 조작자가 이를 인식하고 장애물을 빨리 회피할 수 있도록 큰 힘을 전달한다. 이 벡터의 힘의 크기는 아래의 식과 같다.

$$f_{oi} = (f_{oi,x}, f_{oi,z}) = \left( \frac{d_i - d_{max}}{d_{max}} \right) \cos\theta \left( \frac{d_i - d_{max}}{d_{max}} \right) \sin\theta \quad (4)$$

장애물 검출을 위해서 이동로봇에는 여러 개의 센서가 부착되어 있어 여러 장애물이 검출되는 경우가 생기는데 이 경우에는 각 방향의 크기들 중 최대값을 선택하여 조작자에게 전달하여 가장 가까운 장애물에 대해 우선적으로 회피하도록 했다. 관련 식은 아래와 같다.(진행방향 반대 무시)

$$f = |\max \Phi \cdot f_{oi,x}| \quad (5)$$

최종적으로 장애물 힘은 아래와 같다

$$F_o = k \cdot f \quad (6)$$

여기서 k는 힘의 크기를 조절하기 위한 scaling factor이다.

### 3.3 Force smoothing 알고리즘

모바일 로봇이 급작스런 장애물을 만나게 되면 힘이 급격하게 증가하게 되어 조작자는 당황하게 되고 적절한 명을 내

리지 못하게 되어 모바일 로봇의 주행이 원활하게 이루어지지 못하게 된다. 따라서 Force smoothing 알고리즘을 사용하여 장애물 힘의 변화를 줄이는 시스템을 구현하였다.

$$f_x = \begin{cases} -\max_{i=1}^n \{|\phi_{-x} \cdot f_{oi,x}|\} = -\max_{i=1}^n \left\{ \phi_{-x} \cdot \frac{d_i - d_{max}}{d_{max}} \cos\theta_i \right\} & \text{if } x \geq 0 \\ \max_{i=1}^n \{|\phi_{+x} \cdot f_{oi,x}|\} = \max_{i=1}^n \left\{ \phi_{+x} \cdot \frac{d_i - d_{max}}{d_{max}} \cos\theta_i \right\} & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

이때  $\phi_{-x}, \phi_{+x}$ 는 모바일로봇의 진행방향과 장애물과의 관계를 나타낸다.

$$\phi_{-x} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_i < d_{max} \text{ and } \cos\theta_i > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\phi_{+x} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_i < d_{max} \text{ and } \cos\theta_i < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Force Smoothing Algorithm의 관계식은 아래와 같다.

$$F_{ob,k+1} = F_{ob,k} + \Delta f_{ob} \cdot dt \quad (\Delta f_{ob} > f_{th})$$

$$= F_{ob,k+1} \quad (\text{otherwise}) \quad (9)$$

$f_{th}$ 는 장애물 힘의 변화량의 경계 값으로 이 변화량보다 크게 되면 조작자에게 많은 힘이 가해지게 되므로 장애물 힘의 변화량이 경계 값을 넘어서게 된다면 위의 식을 사용하여 힘을 감쇠 시켜준다.

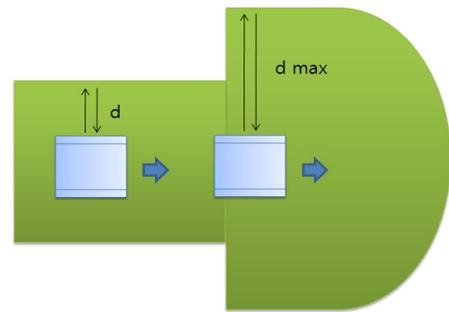


그림 8 부드러운 힘 알고리즘  
Fig. 8 Force smoothing Algorithm

그렇지 않은 경우에는 힘이 작기 때문에 알고리즘을 적용시키지 않는다.

## 4. 실험 결과

앞에서 제시된 알고리즘 및 구성시스템의 암실에서 유용성을 보이기 위하여 이동로봇이 사각파이프 통과 실험을 수행하였다. 시스템 흐름은 그림 7과 같다.

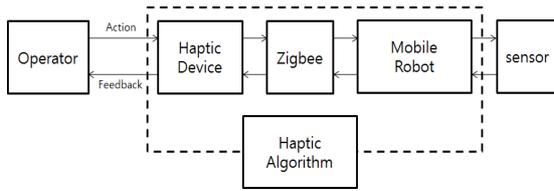


그림 9 시스템 흐름도  
Fig. 9 System Flow chart

조작자는 햅틱 글러브를 이용하여 모바일 로봇에게 전진 후진 좌우 등의 명령을 전송하게 된다. 이를 수신한 모바일 로봇은 조작자의 명령에 따라서 이동을 하면서 모바일 로봇에 장착되어있는 센서를 통하여 주변 환경을 인지할 수 있다. 모바일 로봇의 앞에 달려있는 초음파센서를 통해서 앞쪽의 물체를 인식 하여 모바일로봇의 양쪽에 설치되어있는 거리센서를 통하여 모바일 로봇의 주변 환경을 인지할 수 있다. 이에 따라서 조작자는 직접적인 눈으로 환경을 인지하지 못하더라도 촉각을 통하여서 주변 환경을 인지 할 수 있다.

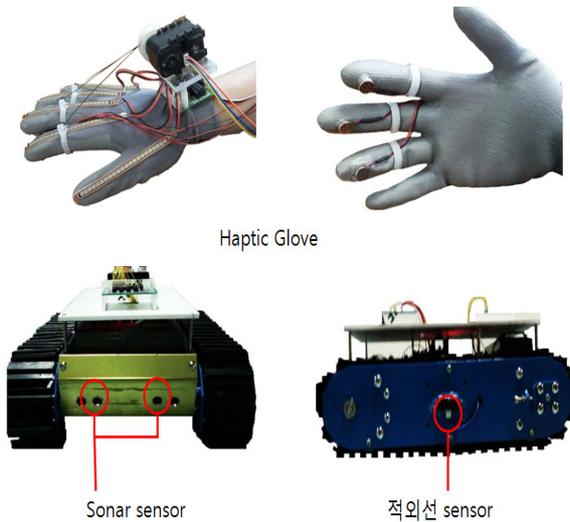


그림 10 Haptic Glove의 하드웨어  
Fig. 10 Haptic Glove Hardware

본 실험에서는 햅틱 렌더링을 위한 2 가지 경우에 대하여 각각 실험을 하여 그 결과를 얻었다. 첫 번째 장애물힘만 가지는 경우, 두 번째는 장애물힘이과 Force Smoothing Algorithm이 적용된 경우이다.

4.1 장애물 힘만 방영된 경우

모바일 로봇이 이동하는 동안 로봇의 주변에 장애물이 있을때 모바일 로봇의 양쪽에 부착되어있는 거리센서(IR sensor) 를 통하여 장애물과 모바일 로봇과의 거리를 감지하게된다. 이때 감지한 거리값을 햅틱 글러브에 전송하여 햅틱 글러브에 장착되어있는 진동모터를 통하여서 모바일 로봇과 장애물의 거리를 촉각으로 인지할 수 있다. 또한 그림 9는 모바일 로봇의 앞면에 부착되어있는 초음파센서(Sonar sensor) 를 통하여 먼 거리에 있는 장애물을 인지한다.

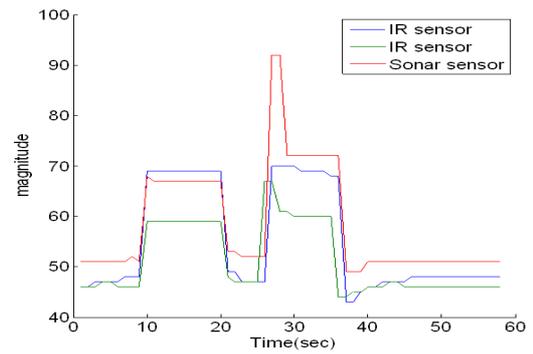


그림 11 햅틱 글러브에 따른 센서 변화량  
Fig. 11 Haptic glove, according to the change in sensor

4.2 Force Smoothing Algorithm 적용

그림 10은 모바일 로봇의 장애물 힘에 따라서 힘 변화가 나타내었다. 그림 10에서 받은 힘을 그림 11에서 추정하였다. 추정과정에서 장애물힘의 변화량이 경계값을 넘어설 때 적당한 기율기로 장애물힘을 증가시켜서 원하는 장애물 힘까지 도달하도록하여 조작자가 느끼는 장애물힘의 변화가 부드럽게 일어나도록 하였다.

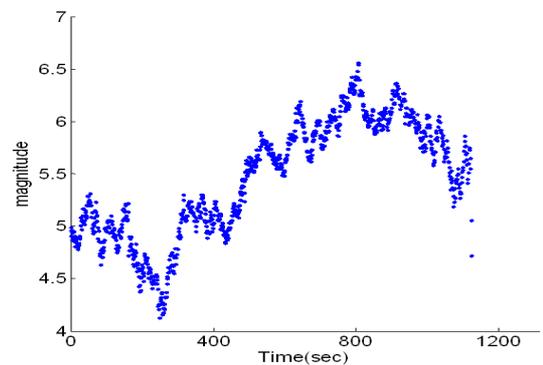


그림 12 장애물감지에 따른 힘  
Fig. 12 According to an obstacle is detected force

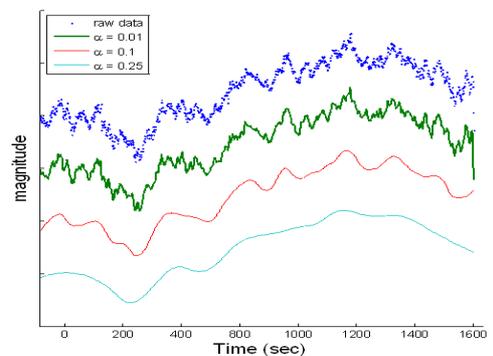


그림 13 Smoothing 추정  
Fig. 13 Smoothing Estimation

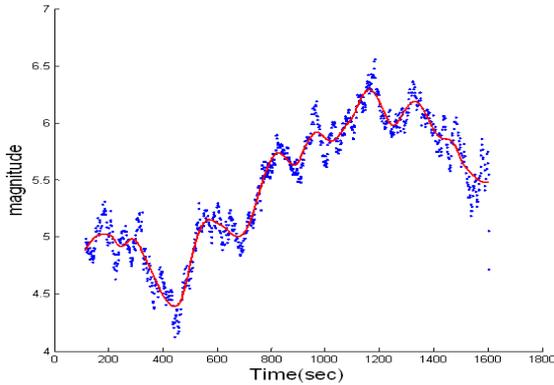


그림 13 Smoothing Algorithm 적용  
Fig. 13 Smoothing Algorithm Apply

그림 11에서 GAIN에 따라서 부드러워지는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 그림 12에 적용하였으며 Smoothing Algorithm을 적용하여 급격한 변화가 준 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 햅틱 장치를 이용하여 이동로봇의 힘 방향 제어를 통해 부드럽고 안전한 모바일 로봇의 주행을 위한 방법과 실험을 통한 실제 구현과 유효성을 검증하였다. 힘 방향이 없이 이동로봇 주변의 환경 정보를 변환하여 장애물 힘 정보를 이용하였으며, 조작자에게 전달되는 급격한 힘의 변화를 통하여 조작자의 당혹감을 막기 위해서 Force Smoothing Algorithm을 적용하여 이동로봇의 부드럽고 안전한 주행이 가능하도록 했다.

또한 조이스틱 장치를 이용한 햅틱 제어기는 Host Computer를 거쳐 로봇과 조이스틱 간의 통신이 이루어진다. 그래서 시간적, 부가적이 장치들이 필요하지만 햅틱 글러브를 이용하면 Host Computer를 이용하지 않기 때문에 시간이나 비용이 효율적이다. 차기 개발과제로는 성능개선과 비전을 이용하여 산업현장에서 간편하게 사용할 수 있게 개발 할 것이다.

#### 감사의 글

- ※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0010)
- ※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 특수환경 Navigation/Localization 기술 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C7000-1001-0004))

#### 참 고 문 헌

- [1] 고에경, 최준영, 김홍철, 이장명, "힘 방향 조이스틱을 이용한 햅틱 인터페이스" 제어·로봇시스템학회, 2007.
- [2] 김래현, "햅틱 렌더링 기술", 대한기계학회, 2007.
- [3] 박시영, "가상의 주행 시뮬레이션을 위한 햅틱 시스템 개발", 부경대 대학원, 2007.
- [4] 이경노, 이두용, "가상현신을 위한 다중접촉시간 햅틱 렌더링", 제어·로봇 시스템학회, 2008.
- [5] 김상연, "햅틱시스템:let's feel the touch sensation" 한국로봇공학회, 2008.
- [6] 이채현, "모바일 햅틱 디스플레이를 위한 렌더링 시스템", 2008.
- [7] 김예슬, "햅틱과 영상의 시간 지연 차이에 따른 원격조종시스템의성능분석" 한국기술교육대학교, 2009.
- [8] 김영미, 차중은, 서용원, 이관행, 류제하, "가상 휴대용 전자제품과의 햅틱 상호작용 시스템", 한국멀티미디어학회, 2009.
- [9] 조진수, "시각장애인을 위한 3차원 햅틱 비전 시스템 개발", 경원대학교, 2009.
- [10] 문화성, "1 자유도 햅틱 시스템을 이용한 가상 벽 충돌 특성 및 힘 반향에 대한 연구", 전북대학교, 2009.
- [11] 류제하, 김재하, 서창훈, 임요안, 김종필, "햅틱 제어 기술 동향", 대한기계학회, 2009.
- [12] Kawasaki, H.; Mouri, T., "Design and Control of Five-Fingered Haptic Interface Opposite to Human Hand", IEEE, 2007.
- [13] KAWASAKI, Haruhisa MOURI, Tetsuya IKENOHATA, Sho OHTSUKA, Yoshio ENDO, Takahiro, "Multi-Fingered Haptic Interface Robot Handling Plural Tool Devices", IEEE, 2007.
- [14] Ae-Kyoung Ko; Joon-Young Choi, "A haptic interface using a force-feedback joystick", IEEE, 2007.
- [15] Ozawa, R.; Ueda, N., "Supervisory control of a multi-fingered robotic hand system with data glove", IEEE, 2007.

#### 저 자 소 개



#### 황 요 섭

2010년 진주산업대 메카트로닉스과 졸업.  
2010년~현재 부산대학교 대학원 로봇협동과정 석사 과정 재학 중. 관심분야는 Haptics, 로봇제어, Navigation and Localization시스템.



### 이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업.  
1982년 동 대학원 공학석사. 1990년  
USC(미국 남가주 대학교)공학박사.1982  
년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부  
교수. 관심분야는 지능로봇시스템 제어,  
마크로 프로세서 응용, 특수환경  
Navigation and Localization.