

휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇 플랫폼의 지형 적응성 및 사용자 친화성 향상을 위한 원격 조종기 설계와 개발

Design and Development of Terrain-adaptive and User-friendly Remote Controller for Wheel-Track Hybrid Mobile Robot Platform

김윤구, 안진웅*, 광정환, 문전일
(Yoon-Gu Kim¹, Jinung An¹, Jeong-Hwan Kwak¹, and Jeon-II Moon¹)
¹Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology (DGIST)

Abstract: Various robot platforms have been designed and developed to perform given tasks in a hazardous environment for surveillance, reconnaissance, search and rescue, etc. We considered a terrain-adaptive and transformable hybrid robot platform that is equipped with rapid navigation capability on flat floors and good performance in overcoming stairs or obstacles. The navigation mode transition is determined and implemented by adaptive driving mode control of the mobile robot. In order to maximize the usability of wheel-track hybrid robot platform, we propose a terrain-adaptive and user-friendly remote controller and verify the efficiency and performance through its navigation performance experiments in real and test-bed environments.

Keywords: terrain-adaptive, intuitive steering, remote control, wheel-track hybrid, mobile robot

I. 서론

현재까지 유용한 로봇들의 자율주행 성능수준은 가시권 내 또는 비 가시권 내의 원격조종으로 움직이는 수준에서 원활히 동작하며 그 임무 또는 기능을 수행하고 있다. 도심의 빌딩과 공공시설 안전관리 및 실내의 방범 활동, 지하철, 지하상가 등의 재해 발생 사전관리, 건물, 지하시설 붕괴 시 인명 구조 작업 지원 기능을 수행하는 로봇들이 가시권에서나 비 가시권에서 원격 조종에 의해 원활히 동작하도록 국내외에서 많은 연구, 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 원격 조종기의 조종성능은 곧 로봇이 미지(未知)의 환경을 극복하고 효율적으로 주행하며 로봇에 주어진 임무를 수행하기 위한 필수적인 로봇기술 요소가 되고 있다.

기존 많은 원격 조종 성능향상을 위한 Tele-operation 연구들에서는 대표적으로 네트워크 기반 원격조종의 엄격한 실시간성 보장 기술과 햅틱스(Haptics) 기술을 다루고 있다[1-7]. 원격 조종기 및 원격 제어 시스템은 일반적으로 메시지 전송을 위한 상용 네트워크 및 유무선 통신 게이트웨이를 통해 원격에서 하드웨어를 제어하는 다양한 네트워크 기반 기술의 통합이다. Chien-Liang Lai 등은 네트워크 제어 시스템 불안정으로 발생할 수 있는 시간 지연을 온라인으로 시간 지연 추정과 적응적 예측기를 구현하여 원격 제어의 실시간성 보장 구조를 제안하였다[1]. Tele-operation 연구의 또 다른 주요 분야로 햅틱스는 가상환경(virtual environment) 혹은 조종기와 로봇 등을 이용하여 원격에서 물체를 만지고 조작하는 환경에서 사용자에게 촉각 정보(haptic information)를 전달하는 방

법과 관련된 연구로 촉감을 재현하는 것을 목적으로 하여 원격수술로봇이나 원자로 및 위험한 작업용 로봇 등에 적용하는 활발한 연구가 진행되고 있다[7].

기존 원격 조종로봇의 조종기 기술형태는 가시권의 경우 원격 조종로봇의 주행 및 움직임을 보면서 조작하거나 비 가시권의 경우 원격로봇이 탑재하고 있는 카메라를 통한 전방 시야의 영상을 무선통신으로 수신하여 원격 조종자가 로봇을 조종하는 형태이었다. 특히, 비 가시권 원격 조종기의 경우 로봇에서 보내오는 전방(前方) 영상의 시야각이 좁고 수신 영상 품질이 좋지 않을 때 원격조종자의 원격조종 성능은 저하되고 비 가시권 영역의 원격로봇의 주행성과 활용성이 더불어 급격히 저하되는 경향이 있다. 이로 말미암은 원격로봇의 충돌 및 고립 등의 문제를 야기하게 된다.

본 논문은 현재의 로봇기술에 적용 가능한 원격 조종기의 조향(操向) 결정 성능 향상과 조향 운전 조이스틱의 사용성(Usability)을 높이는 방안을 제안하고 구현 및 실험을 통한 효용성을 검증하였다. 본 연구의 실험검증을 위해서 앞서 연구, 개발된 휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇플랫폼에 적용하여 원격조종 성능을 검증하였다.

본 논문의 구성은 II 장에서 기 개발된 휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇플랫폼의 개발 개요를 설명하고, III 장에서 원격 조종기의 성능향상을 위한 지형 적응성 향상 자세제어기와 사용자 친화성 향상 원격 조종기의 개념적 설계와 구현 및 적용 과정을 설명한다. IV 장에서는 실험 및 분석을 통한 검증 결과를 논의하고 V 장에서 본 연구 결과의 의의와 향후 진행방향을 정리한다.

II. 휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇플랫폼

본 장에서는 이미 개발된 휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇 플랫폼 개발 개요를 설명하고 원격조종 성능 검증을 위한 로

* 책임저자(Corresponding Author)

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

김윤구, 안진웅, 광정환, 문전일: 대구경북과학기술원

(ryankim9@dgist.ac.kr/robot@dgist.ac.kr/kajuha@dgist.ac.kr/jimoon@dgist.ac.kr)

※ 본 연구는 교육과학기술부 및 대구경북과학기술원(DGIST)의 기관 공유사업의 지원으로 수행되었음.

봇 플랫폼으로 적용하였다. 휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇 플랫폼 연구는 계단 및 위급현장에 투입되어 인명 및 화점탐색, 감시정찰, 요구조사 지원 등의 임무수행이 가능한 험지 주행용 전문서비스 로봇플랫폼 개발을 그 목적으로 하였다 [8-11]. 특히, 평지주행 시 신속성과 계단 등반 성능 효율성 증대를 중점으로 한 험지 주행용 플랫폼 구조 설계, 계단등반 성능지수 도출, 성능지수 기반 플랫폼 설계 파라미터 선정 등을 통한 휠-트랙 하이브리드 주행 구조의 로봇플랫폼을 설계, 제작하였다.

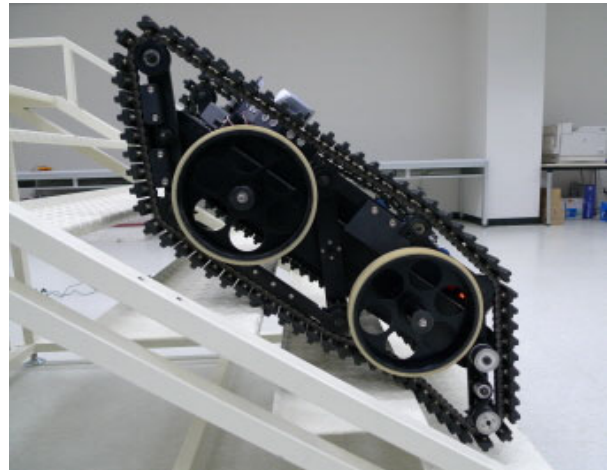
1. 휠-트랙 하이브리드 이동로봇플랫폼의 개념 설계

휠-트랙 하이브리드 플랫폼은 평지뿐만 아니라 계단, 비포장도로 등의 다양한 지형 조건에서 지형 적응성과 주행 유연성을 가지는 이동 로봇 플랫폼으로 고안, 설계 및 구현하였다. 더불어, 실험검증을 통한 계단 현상에서의 실용성을 제고하는 데 주된 개발 목적을 두었다. 그림 1은 주행 모드 전환 및 계단 등반에 따른 휠-트랙 하이브리드 로봇 플랫폼의 개념적 설계를 나타낸다. 계단 등반을 위해서는 4단계를 거치며 주행모드 전환과 등반을 수행한다. 먼저 1단계는 주행 단계로써 주행용 바퀴를 이용하여 신속하게 평지를 주행할 수 있다. 다음 2단계에서 3단계는 계단 등반 성능을 가늠할 수 있는 과정이다. 왜냐하면, 2단계에서 지면과 면 접촉 및 계단 모서리와의 선 접촉에서 3단계로 넘어가면서 지면에서의 선 접촉과 계단 모서리에서 선 접촉으로 바뀌는 시기이기 때문이다. 또한, 2단계에서 3단계로 진입하는 시기에서 로봇이 계단 면을 따라 일정 길이만큼 이동하게 되면 지면 접촉 지점을 중심으로 계단 면과 반대방향의 회전 모멘트가 발생하게 된다. 따라서 2단계와 3단계에서 미끄럼이 발생하지 않고 계단 등반 모멘트 값이 크다면 계단 등반 성능이 높다고 할 수 있다. 마지막으로 4단계는 계단을 오르는 단계로써 3단계를 성공적으로 수행하고 계단과의 미끄러움을 최소화하여 어려움 없이 계단을 등반할 수 있도록 하였다.

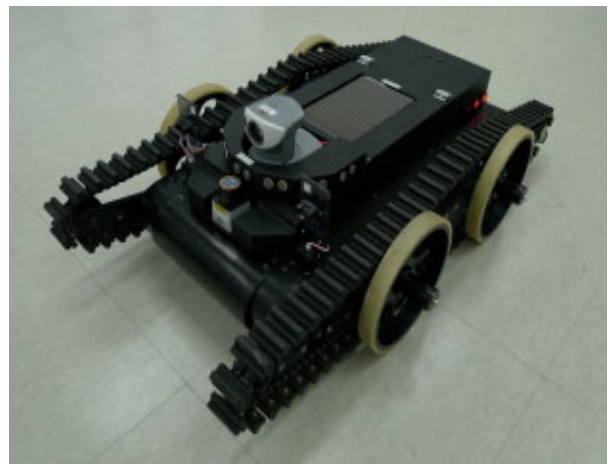
2. 로봇플랫폼 구현

그림 2에서는 앞서 설명한 구조적 개념설계와 성능지수 도출 데이터를 근거로 한 기구부 제작 완료한 로봇플랫폼의 Prototype을 보여주고 있다. 전체 치수는 계단 등반 시 트랙이 계단지형의 적어도 2개 이상의 계단이 트랙 면과 닿을 수 있는 조건이 만족하도록 하였다. 구동부는 평지 주행용

구동 모터 2 EA와 장애물 및 계단 등반용 가변트랙 자세제어용 모터 2 EA로 구성되어 있다. 트랙 자세제어용 모터를 좌우측 트랙에 각각 채용한 것은 로봇 전방 좌우측의 계단 및 험지 지형의 높이나 접근 각이 다를 경우 좌우측 트랙의 자세를 달리 적용시켜 지형 적응성을 높이고 로봇 플랫폼의 안정자세 유지를 보다 효과적으로 하기 위한 목적이다. 표 1에서는 설계된 로봇 플랫폼의 제작사양을 나타내고 있다.



(a) Tracked navigation mode.



(b) Wheeled navigation mode.

그림 2. 제안된 로봇플랫폼 프로토타입 개발.

Fig. 2. Prototype of the proposed robot platform.

표 1. 로봇 플랫폼 사양.

Table 1. Specification of robot platform.

Dimensions	1,070 x 600 x 343mm(Track) 1,146 x 600 x 240mm(Wheel)
Ground clearance	50mm(Wheeled navigation)
Net weight	50Kg(including 2 batteries: 2Kg)
Payload	20Kg
Max. forward speed	4.5Km/h(Tracked navigation)
Slope Climbing capability	40 degrees
Variable attack angle	10 to 160 degrees
Steering	Skid steering
Motor for driving	24V and 150W(gear ratio 43:1)
Battery	24V and 6Ah x 2

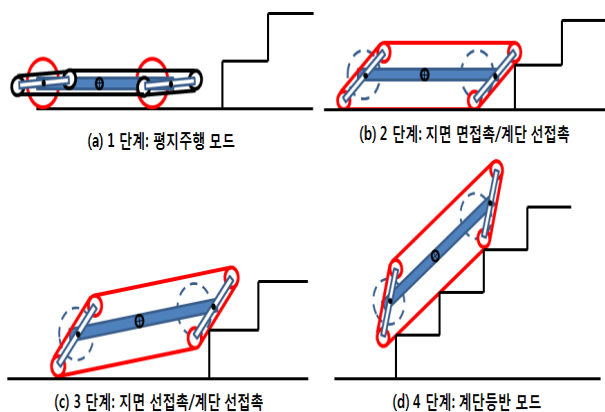


그림 1. 휠-트랙 하이브리드 로봇 플랫폼의 개념 설계.

Fig. 1. Conceptual design of wheel-track hybrid robot platform.

III. 원격조종 성능 향상 방안

원격 조종기의 성능향상을 위한 지형 적응성 향상 자세제어기와 사용자 친화성 향상 원격 조종기의 개념적 설계와 구현 및 적용 과정을 설명한다.

1. 지형 적응성 향상 자세제어기

휠-트랙 하이브리드 모바일 로봇은 평지와 험지에서의 주행모드 전환으로 주행 성능과 험지 적응성 향상에 대해 주안점을 두고 휠과 트랙을 복합하여 2가지의 주행모드를 가질 수 있도록 설계되었다. 평지를 주행할 시에는 변형 가능한 트랙이 접혀 있어 평지 주행모드로 동작을 하게 되며, 험지에서는 트랙이 펼쳐져 험지 지형 적응성과 극복능력을 높일 수 있는 험지 주행모드로 주행하게 된다.

주행모드 전환 방법에서 앞서 언급한 바와 같이 주행모드는 평지 주행모드와 험지 주행모드로 나뉘게 된다. 트랙 자세 제어기는 플랫폼의 PSD 센서가 약 1.5m 이내에 장애물을 감지할 경우, 플랫폼의 주행속도를 저속으로 변경하여 안전 주행하며 약 1m 이내의 접근에도 지속적 장애물 인식이 있는 경우 험지주행모드(계단등반모드)로 전환을 하게 된다. 이는 트랙의 자세 변형뿐만 아니라, 장애물의 높이와 거리에 따라 트랙의 진입각을 변경시켜준다. 장애물의 감지는 그림 3과 같이 무한궤도에 가깝게 부착된 거리 측정센서로 감지한다. 휠-트랙 하이브리드형 모바일 로봇의 거리측정 센서로는 Shaft 사의 PSD (Position Sensor Detector)를 이용하여 장애물의 거리를 측정한다. 장애물 측정을 위한 PSD 센서는 20~150cm의 측정범위 가지고 있다. 측정센서는 레이저, 초음파 등 다양한 센서가 있으나, 대부분의 레이저 센서는 고가이며, 초음파 센서는 가격이 저렴하나 외부 장애물에 대해서 오인을 할 수 있다. 그에 반해 PSD 센서는 매우 저렴한 가격에 비해 근거리에서 외부 환경에 대한 영향력이 적으며, 정확한 측정값을 가진다는 장점이 있다.

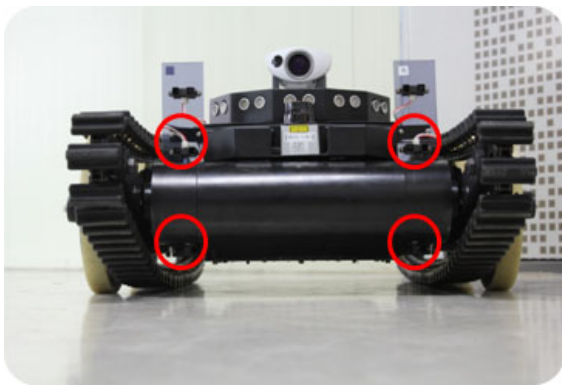


그림 3. 전방 장애물 인식용 PSD 센서 설치.
Fig. 3. Installation of PSD Sensors for obstacle recognition.

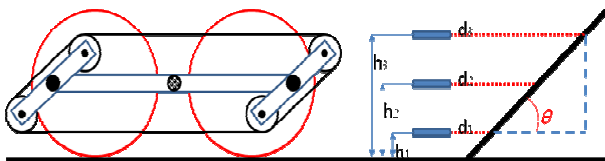


그림 4. 장애물 인식 높이 및 경사각 결정.
Fig. 4. Estimation of obstacle height and angle.

표 2. 장애물 경사각 및 높이 결정.

Table 2. Decision of obstacle angle and height.

Obstacle distances	θ	H
$d_1 \approx d_2 \approx d_3 \approx ND$	Wheeled navigation	Flat
$d_1 < d_2, d_3 \approx ND$	$\arctan 2\left(\frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1}\right)$	h_2
$d_1 > \approx d_2, d_3 \approx ND$	$\arctan 2\left(\frac{h_2}{d_2}\right)$	h_2
$d_1, d_2 \approx d_3 \approx ND$	$\arctan 2\left(\frac{h_1}{d_1}\right)$	h_1
$d_1 < d_2 < d_3$	$\arctan 2\left(\frac{h_3 - h_1}{d_3 - d_1}\right)$	h_3
$d_1 > \approx d_2, d_2 < d_3$	$\arctan 2\left(\frac{h_3 - h_2}{d_3 - d_2}\right)$	h_3
$d_1 > d_3$ or $d_2 > d_3$	$\arctan 2\left(\frac{h_3}{d_3}\right)$	h_3
$d_3 < \approx h_3$	Obstacle avoidance	Over h_3

그림 3에서는 전방 장애물을 감지하기 위한 PSD 센서의 설치된 모습을 보여주고 있다. 센서들은 지면에서 각각 60mm, 160mm, 260mm 떨어진 높이에 로봇 플랫폼 본체에 설치된다. 그림 4에서는 감지된 장애물의 높이 및 경사각을 추정계산하고 로봇의 트랙 진입 각을 결정하는 구조를 설명하고 있다. 장애물 극복을 위한 트랙자세 진입 각(θ)은 PSD 센서 간의 수직거리(h)와 PSD 센서에서 측정된 거리정보(d)에 따라 표 1과 같이 계산된다. 표 1의 ND는 No Detection을 의미하며 센서 감지 범위 내에 장애물이 감지되지 않음을 나타낸다.

2. 사용자 친화성 향상 원격 조종기

그림 5와 같이 기존 원격 조종기는 비 가시권에서 임무 수행하는 로봇에서 보내온 전방 시야 영상정보에 의존하므로 그 시야각이 좁고 수신 영상 품질이 좋지 않아 조종자의 원격 조종 성능은 저하되고 비 가시권 영역의 로봇의 주행성과 활용성이 더불어 급격히 저하되는 경향이 있다. 이로 인한 로봇의 충돌 및 고립 등의 문제를 일으키게 된다. 이러한 문제 해결을 위해 현재의 영상 정보에 의존한 로봇 조작 방법에 거리 센서 정보를 융합하여 원격 조종기의 조향 결정 성능향상과 조향 운전 조이스틱의 조작성을 높이는 기법을 제안한다.

그림 6에서는 로봇 주행 전방의 장애물 및 공간 거리정보를 거리센서(초음파 또는 레이저센서)로 인식하여 보다 넓은 범위의 전방 공간을 인지할 수 있도록 하고 더불어 원격 조



그림 5. 영상 정보를 이용한 제한적 원격 조종.
Fig. 5. Limited remote control by using only camera image.

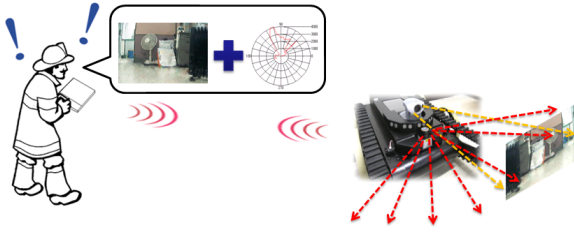


그림 6. 거리정보와 영상정보 융합을 통한 직관적 원격 조종.
Fig. 6. Intuitive remote control by fusing both camera image and range information.



그림 7. 직관적 조향결정 성능향상 원격 조종기 개념도.
Fig. 7. Conceptual remote control for enhancing the intuitive steering determination.

조종기의 화면 상에 영상정보와 거리정보를 오버랩하여 직관적 상황 인지 정보를 보여주도록 하였다. 조종자의 보다 넓은 로봇 전방 상황 인지와 직관적 조향 판단에 효과적 도움을 주도록 하였다. 그림 7에서는 제안된 조향 결정 및 조향 성능향상 원격 조종기 개발의 전체적 개념도를 보여주고 있다. 2D 영상정보만으로는 주행 경로를 판단, 조향하는 경우, 그 전방 경로의 원근(遠近)감이 조종자에게 익숙하지 않은 상황으로 원격조종 시 잦은 충돌과 고립되어 원활한 조종이 어렵고 더욱이 좁은 통로 및 사무실 환경의 경우 상황은 더 어렵게 된다. 이를 극복하기 위해 로봇 주행 전방의 장애물 및 공간 거리정보를 거리센서(초음파 또는 레이저센서)로 수집하고 Vision 센서로부터 수신된 영상정보를 융합하여 원격 조종기의 화면 상에 직관적 상황 인지정보를 제공하도록 하였다. 이는 영상정보만으로 조종할 때의 시야각 제한과 원근감 감쇠를 극복할 수 있는 효과가 있다. 또한, 원격조종의 조향과 속도를 조종하는 조이스틱에 햅틱기술을 채용하여 앞서 상황인지 및 조향결정 향상에도 불구하고, 적절하지 못한 방향으로의 조향을 시도할 때 조종자에게 조이스틱의 촉각과 힘 정보의 피드백을 주어 감각적으로 현재의 조향조작이 부적절함을 인식하도록 하였다. 전술한 원격 조종기의 시각 및 촉각적 운용성 증대로 최적주행 조향각 결정, 비가시권 장애물인식/회피 주행성능향상, 햅틱 피드백 기반 조종자 운용성 향상의 효과를 보였다.

2.1 원격 조종기 구성

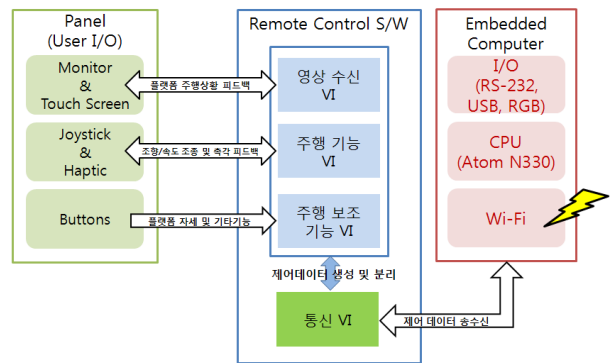
사용자가 원격 조종기를 이용하여 하이브리드 플랫폼을 제어할 시 직관적으로 조종할 수 있도록 사용자 인터페이스를 구성하였다. 사용자는 플랫폼을 조종하기 위해 조종기의 화면을 관찰하면서 조이스틱을 이용, 플랫폼을 동작시킬 수 있다. 그뿐만 아니라 하이브리드 플랫폼의 특징인 휠-트랙의 전환을 간편하게 할 수 있도록 자세제어 조작버튼을 배치하였다. 또한, 플랫폼에 장착된 카메라 Pan/Tilt를 위해 카메라를 조작하기 위한 조이스틱을 장착하였다. 그림 8은 개발된 원격 조종기와 시스템 구조를 보여준다.

내부에 장착된 전장은 크게 임베디드 컴퓨터용 보드와 배터리와 변압기를 포함한 전원부 및 사용자 인터페이스를 위한 패널부로 구성된다. 임베디드용 컴퓨터의 메인 CPU는 Intel 사의 Atom Dual Core Processor인 N330이 장착되어 있고, 빠른 데이터 처리와 적은 발열 및 적은 전력 소비를 위하여 일반 HDD보다 뛰어난 SSD를 장착하였다. 메모리는 DDR2 RAM 2GB가 내장되어 있다. 또한, 메인보드의 크기는 가장 작은 사이즈인 Mini-ITX(17*17cm) 규격이다. 크기가 작은 원격 조종용 휴대용 케이스는 키보드, 마우스와 같은 입력장치를 설치하기가 어렵다. 그리고 별도로 입력장치를 구비하는 것도 매우 불편하다. 그러므로 GUI 환경을 최대한 간단히 구성하며, 데이터를 입력하기 위하여 Touch Screen 방식의 LCD를 장착하였다. Touch 방식으로 마우스를 대체하고, 윈도우 내의 가상키보드 기능을 이용하여 데이터 입력도 가능하다.

휴대용 케이스 내부의 메인보드와 패널의 인터페이스 모듈에 전원을 공급하기 위해 24V 6,600mAh의 배터리를 사용하였으며 DC 변환을 위해 DC-DC 컨버터를 내장하였다. 내장 배터리로 실제 원격 조종기를 사용하였을 때 약 2시간 가



(a)



(b)

그림 8. 원격조종기(a) 및 시스템 구성도(b).
Fig. 8. Remote controller(a) and system architecture(b).

량 사용할 수 있는 용량이다. 원격 로봇의 영상 데이터와 레이저 스캐너 데이터, 각종 센서들의 데이터를 무선으로 수신하고, 제어 데이터를 송신하기 위하여 802.11g 방식의 Wireless LAN을 장착하였다. 그리고 송수신율을 높이기 위하여 접이식 7dBi의 안테나를 사용하였다.

원격 조종기용 통합 제어 소프트웨어는 하드웨어의 계측과 제어에 용이한 National Instrument 사의 LabVIEW를 이용하여 개발하였다. 그림 8(b)에서와 같이 소프트웨어 기능모듈은 하드웨어 기능모듈과 1:1 연관성을 가진다. 하지만, 일부의 하드웨어 기능모듈(전원부)은 제외된다. LabVIEW에서 소프트웨어 기능 모듈은 VI (Virtual Instrument)로 구성된다. 이는 일반 프로그래밍 언어에서 함수 또는 클래스로 분류될 수 있다. 원격 조종기의 통합 제어 소프트웨어는 크게 4개의 VI로 구성되며 영상 수신, 주행 기능, 주행 보조 기능 및 통신 VI가 된다.

영상 수신 VI는 플랫폼에서 송신되는 영상 데이터를 수신하여 모니터로 출력하는 기능을 담당한다. 그리고 사용자의 카메라 조작 상태를 확인하여, 플랫폼으로 카메라의 Tilt 및 Pan을 할 수 있도록 카메라의 조작 정보를 통신 VI로 제공하는 기능을 한다. 주행 기능 VI는 사용자가 조이스틱을 이용하여 만들어진 플랫폼 주행 정보(조향 및 속도)를 통신 VI로 제공한다. 그리고 피드백 데이터로 통신 VI에서 수신된 플랫폼의 주변 상황을 측정정보로 알 수 있도록 Haptic 모듈을 구동시켜준다. 그리고 주행 보조 기능 VI는 하이브리드 플랫폼의 핵심인 플랫폼 자세변형을 할 수 있는 자세제어 및 변형 속도를 조종하는 기능을 담당한다. 사용자의 입력에 따른 자세각 및 속도 변경을 감지하여 통신 VI로 제어 데이터를 전송한다. 마지막으로 통신 VI는 전반적인 데이터의 수신과 송신을 담당한다. 플랫폼과 원격 조종기간의 송수신 데이터의 유효성을 검증하고, 영상 수신, 주행 기능 및 주행 보조 기능 VI에서 전송된 데이터를 송수신 프로토콜에 맞게 데이터를 생성하고, 플랫폼에서 수신된 데이터는 프로토콜에 맞게 데이터를 분리하여 각 기능 VI가 동작할 수 있도록 데이터를 전송한다.

2.2 사용자 친화적 조향결정 지원 및 성능향상

조작성 향상을 위한 기본 기술은 로봇의 전방 사물에 대한 거리 정보를 정확히 파악하는 것이다. 본 연구에서는 거리 센서 중 레이저 스캐너 데이터와 초음파 센서를 사용하였다. 레이저 스캐너는 해상도가 높고 데이터는 비교적 정확하며 빠르다. 그래서 고정 및 유동 물체를 잘 인식할 수 있으나 빛의 난반사가 일어나는 곳의 물체 인식은 취약하며 반사물체의 색상에 따라 데이터 정보의 차이가 많이 발생한다. 초음파 거리 센서는 다른 거리 센서들에 비교하면 비교적 저렴하게 구성 가능하며 정적인 물체를 인식하는 것은 유용하다. 그러나 데이터의 정확도가 낮고, 움직이는 물체 인식이나 좁은 공간에서의 물체 인식에는 어려움이 있다. 이에 두 가지 센서의 장점을 잘 활용하고 단점을 보완하기 위하여 두 센서를 데이터를 로봇의 주변 환경 상황에 맞추어 적절히 조합하여 데이터를 활용하였다.

그림 9는 개발된 하이브리드 로봇플랫폼에 채용된 레이저 레인지 파인더(Hokuyo Laser-Range Finder, URG-04LX 모델

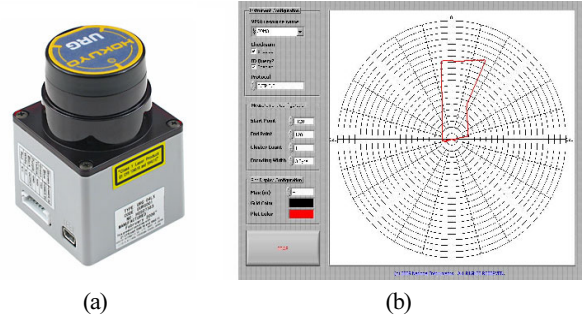


그림 9. Hokuyo URG-04LX(a) / 스캔 된 데이터(b).
Fig. 9. Hokuyo URG-04LX(a) / Scanned data(b).

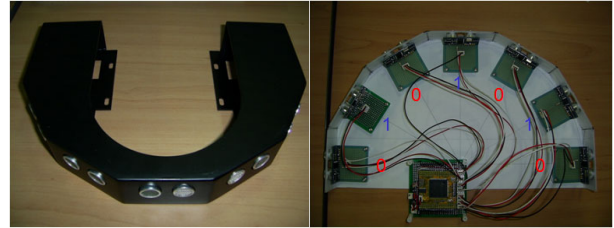


그림 10. DSP 기반 초음파 센서 거리 측정 모듈.
Fig. 10. Ultrasonic sensor distance measurement module based on DSP.

[12])와 스캔 수집된 데이터를 보여주고 있다. 또한, 그림 10의 DSP 기반 초음파 센서 거리 측정 모듈은 DSP를 이용하여 Delayed pulse의 time delay와 음파의 속도를 이용하여 초음파 센서의 거리 계산한다. 4개의 GPIO pin을 사용하여 Control pulse signal 출력 시 GPIO로 설정하며, Delayed pulse 입력 시 Capture로 사용한다. 초음파 센서 거리측정 모듈은 7개의 초음파 센서를 사용하고 있어 동시에 초음파 송수신 시 상호 간섭 및 충돌 문제를 발생하므로 0번 모드(4개)와 1번 모드(3개)로 구분하여 동시 송수신하고 20ms 간격으로 거리 측정하도록 하였다.

IV. 실험 및 분석

1. 지형 적응성 성능평가

개발된 로봇 플랫폼의 주행속력은 휠 주행 시 최고 7.3km/h, 트랙 주행 시 4.5km/h가 가능하며, 차륜 회전반경은 휠 주행 시 최대 70cm 이내이고, 트랙 수직변형 상태에서는 최소 60cm 회전이 가능하였다. 지형 적응적 트랙자세 제어기의 성능검증을 위해 테스트베드의 경사로와 계단에서 등반 성능을 확인하였다. 그림 11에서는 약 30도 기울기의 경사로를 직면했을 때 로봇이 자율적 모드 전환과 트랙자세 진입각을 결정하여 경사로를 등반하는 실험 상황을 보여주고 있다. 이때 로봇의 PSD 센서 거리정보를 기반으로 추정, 계산된 트랙자세 진입각은 35도로 그림 12에서와 같이 확인할 수 있다. 그림 12(a)는 각 PSD 센서의 감지거리 변화추이를 나타내고 그림 12(b)는 감지거리에 따라 결정되는 좌우측 트랙의 진입 각의 변화를 보여주고 있다. 실제 경사로 기울기와 추정된 진입 각의 차이는 각 센서에 측정된 거리정보의 오차에 기인한다고 보여진다. 이러한 차이는 PSD센서의 비선형적인 신호출력에 의해 나타나며 이를 보상하기 위해서는 실제 거

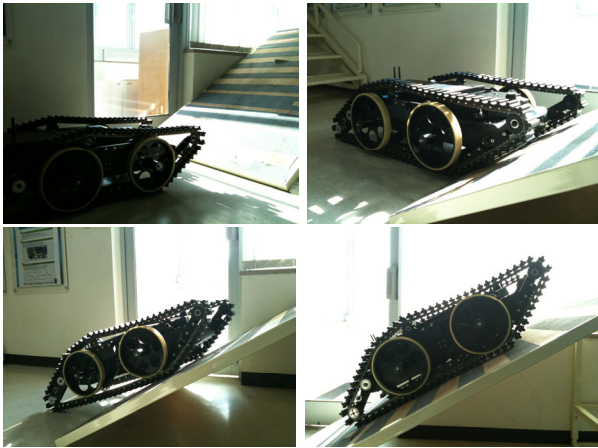


그림 11. 30도 경사로 등반 실험.
Fig. 11. Experiment on a slope with a gradient of 30 degrees.

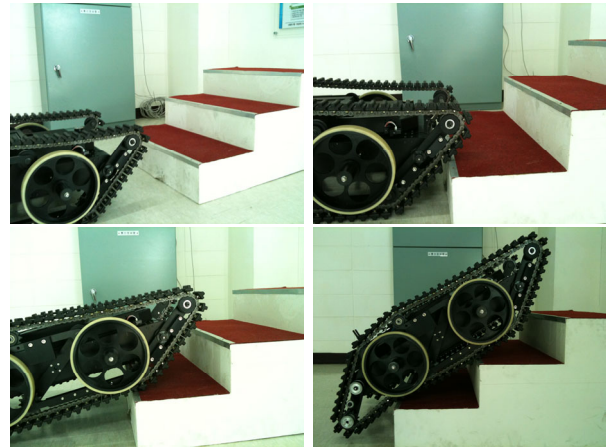


그림 13. 높이 160mm 계단 등반 실험.
Fig. 13. Experiment on stairs with a height of 0.16m.

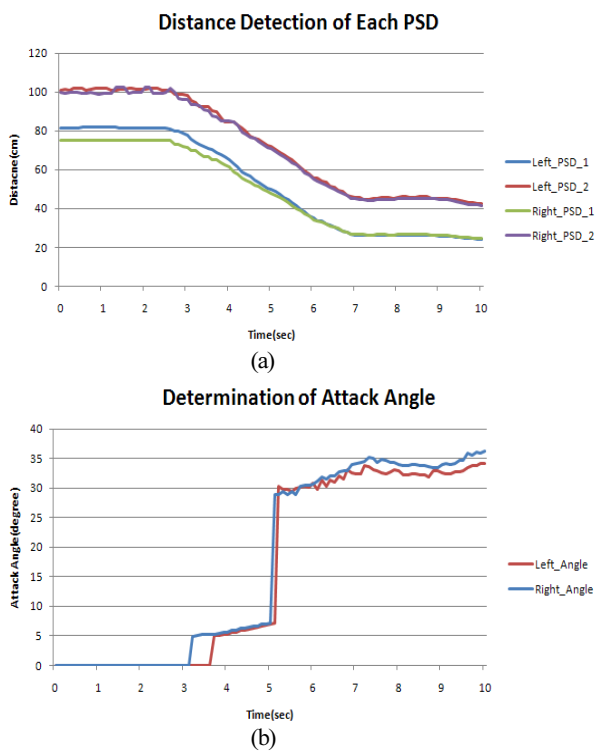


그림 12. PSD 센서의 거리측정 변화추이(a)와 트랙자세 진입 각 결정(b).
Fig. 12. Distance measurement change process of PSD sensors (a) and determination of an attack angle (b).

리에 대한 측정거리의 보다 정밀한 캘리브레이션(calibration)과 더불어 Lagrange 보간법(interpolation)이나 회귀분석(regression analysis)를 적용한 거리 측정 정밀도를 높이는 것이 필요하다. 테스트베드 계단 및 수직장애물 등반 실험에서의 트랙자세 진입 각 결정 및 등반 실험결과를 그림 13과 14에서 보여 주고 있다. 그림 13의 높이 160mm 계단 등반 실험과 그림 14의 220mm 수직장애물 등반실험에서도 정확한 진입 각 결정으로 장애물 극복 성능을 보여주었다. 실험을 통해서 본 연구의 개발 플랫폼은 약 40도 기울기 경사사와 약 300mm 높이 계단의 자율적 극복 주행 가능함

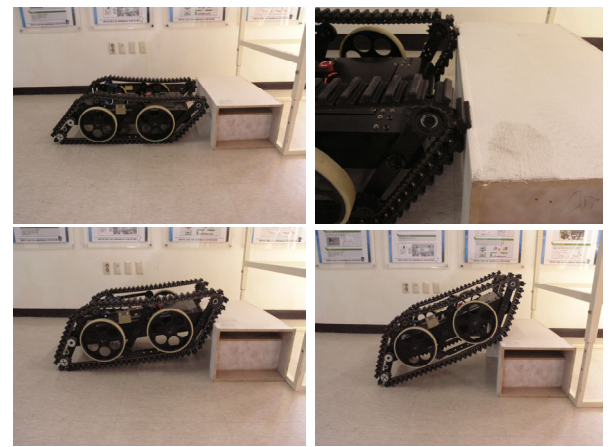


그림 14. 높이 300mm 수직 장애물 등반 실험.
Fig. 14. Experiment of climbing over a vertical obstacle with a height of 0.3m.

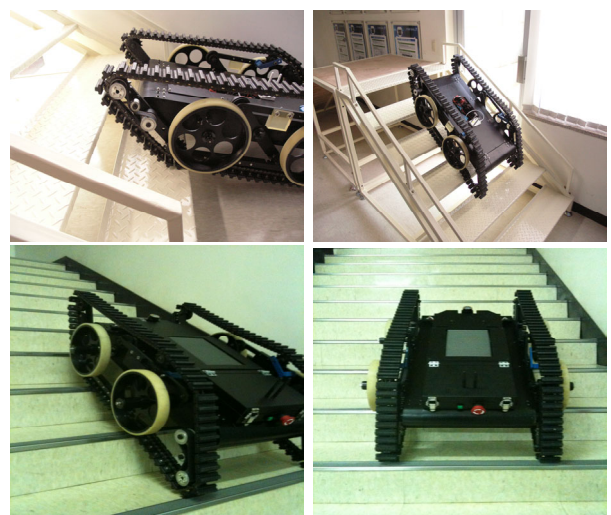


그림 15. 테스트베드 및 실제 환경에서의 계단 등반.
Fig. 15. Stairs climbing in test-bed and real environments.

을 검증하였다. 그림 15에서는 테스트베드 및 실제 건물 계단에서의 원활한 등반 성능으로 계단 주행 결과를 보여 주고 있다.

2. 사용자 친화성 성능평가

두 가지 거리 센서 정보의 정확도와 특성의 차이를 이용하여 최적의 거리 정보를 얻어내기 위한 데이터를 분석하고 융합하였다. 원 내부에 적색 선은 레이저 스캐너의 데이터이고 청색은 초음파 센서의 데이터이다. 원의 간격은 실제 거릿값으로 50cm이다. 일반적으로 두 센서 중 레이저 스캐너의 데이터가 상대적으로 정확하다. 그림 16과 같이 좁은 영역에서는 레이저 스캐너는 정확한 데이터를 출력하나 초음파는 실제보다 더 짧은 데이터를 출력한다.

건물 복도와 같은 장애물이 없는 넓은 공간에서의 거리 데이터는 그림 17과 같이 두 센서 모두 비교적 유사한 데이터를 얻을 수 있었다. 그러나 정확한 데이터를 출력하는 레이저 스캐너에서도 문제가 발생한다. 그림 18과 같이 유리나 난반사가 일어나는 물체가 있으면 레이저 스캐너의 신뢰성은 떨어진다. 이런 경우는 초음파의 데이터가 상대적으로 신뢰도가 높다. 단혀 있는 유리문에는 초음파 거리 정보가 잘 얻어지지만, 레이저 스캐너는 거리를 판단하지 못하고 최대값을 출력하고 있다. 이러한 장단점을 보완하기 위하여 레이저 스캐너 데이터에 가중치를 두고 거리 정보를 입력하며 초음파 데이터를 오류 구별 및 보완 데이터로 활용하여 레이저 스캐너만으로 구성되었을 때보다 비교적 정확한 데이터를 산출할 수 있었다.

원격 조종기의 화면 상에 영상정보와 거리정보를 오버랩

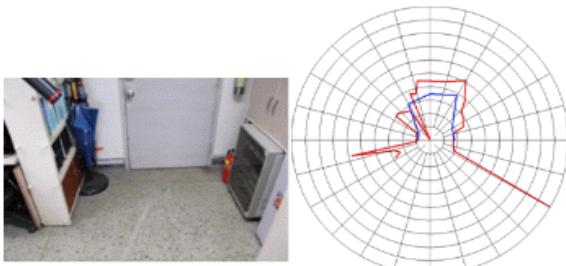


그림 16. 좁은 실내 공간에서의 거리 센서 데이터.
Fig. 16. Distance measurement data in a narrow indoor space.

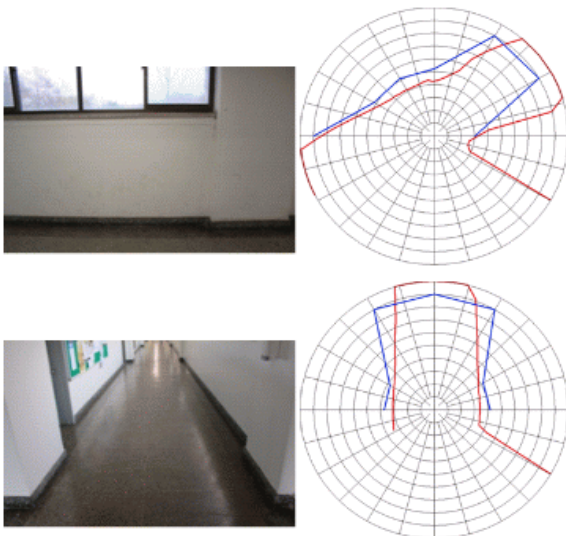


그림 17. 넓은 복도에서의 거리 센서 데이터.
Fig. 17. Distance measurement data in a wide corridor.

한 상황 인지정보를 제공하여 조종자는 로봇 전방 넓은 범위의 상황을 인지하고 원격조종에 필요한 조종자의 조향 방향 결정에 시각적으로 효과적 도움을 주도록 하였다. 수집된 거리 센서 정보와 영상정보를 종합하여 오버랩한 직관적 상황 인지정보를 제공해주기 위한 사용자 어플리케이션은 Windows XP 운영체제 하의 NI LabVIEW를 사용하여 GUI 프로그램을 작성하였다. 그림 19는 영상정보와 거리정보의 융합된 제공으로 사용자의 직관적 조향 결정과 이동경로 예상에 효과적 지원이 가능하도록 하였다. 또한, 장애물 감지거리에 따라 진동 모터의 강도를 지수곡선함수에 비례하여 동작하도록 제작하였다. 모터 진동강도의 사용자 의식 정도는 주관적이라 다를 수 있지만, 눈으로 보면서도 실제 공간감이 떨어져 조종하기 어려운 점을 보완할 수 있도록 촉각적으로 느끼게 해 줌으로써 보다 빠르게 조종할 수 있도록 하였다. 결과적으로 모바일 로봇을 원격 조종하여 목표 지점 도달하는 조종 시간에 있어 영상정보 만으로의 조종 시간보다 더 단축되는 것을 알 수 있었다.

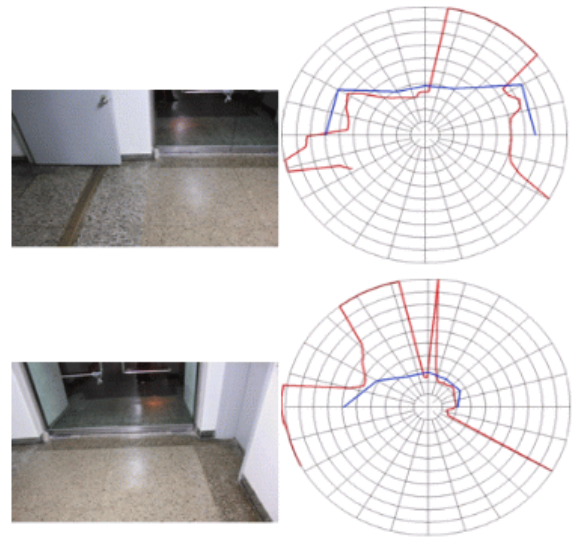


그림 18. 유리문 주변에 대한 거리센서 데이터.
Fig. 18. Distance measurement data in a space adjacent to a window door.

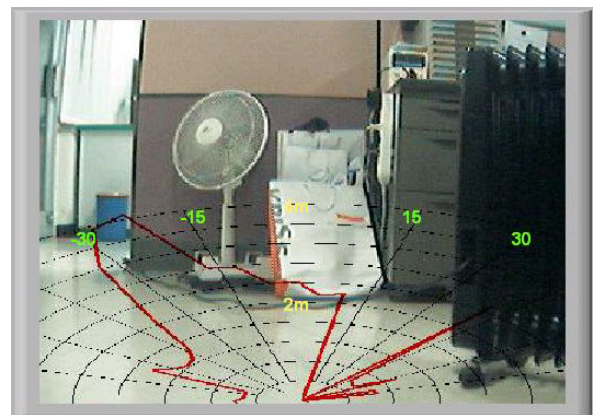


그림 19. 영상정보와 거리정보 통합기반 직관적 조향 결정.
Fig. 19. Intuitive steering determination based on fusion of image and distance measurement data.

V. 결론

기존의 원격 조종기는 카메라의 좁은 시야각에서 들어오는 시각적인 정보에만 의지하여 로봇을 움직여야 했기 때문에, 어떤 목표 지점까지 이동하는데 좌우 공간 확인을 위해 로봇의 잦은 회전이 필요했고, 많은 시간이 소비되는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 본 연구에서는 원격 조종기에 레이저 스캐너와 초음파 센서의 거리 정보가 융합되어 직관적 조향 결정 정보를 제공해주어 좌우 공간을 확인하면서 조향을 결정해야 하는 시간을 줄이고 로봇 이동경로를 예상하면서 조종하게 됨으로써 전체 목표지점 도달 시간이 평균적으로 단축되었다. 이 결과와 더불어 거리 센서들과의 융합된 정보로 원격 조종 시 직관적 최적 조향 결정과 로봇 이동경로 예상에는 도움을 받지만, 직접적 조향 조작감을 높이기 위해서는 적응시간이 필요하게 됨을 알 수 있었다. 이에 원격 조종 조이스틱에 햅틱 요소를 추가로 제공하여 조종자가 눈으로 보면서도 실제 공간감이 떨어져 조종하기 어려운 점을 보완하여 촉각적으로 느끼게 해줌으로써 좀 더 빠르게 조종해 나갈 수 있고 결과적으로 목표 지점 이동 시간도 상대적으로 보다 더 단축되는 것을 알 수 있었다.

향후 직관적 원격조종 정보 제공뿐만 아니라 촉각적 진동 또는 힘 피드백을 제공하는 조종간(操縱杆)을 모듈화 적용하여 보다 안정되고 신뢰성 있는 원격 조종기 개발로 다양한 원격 조종 전문서비스 로봇의 실용적 적용과 사용성(usability)을 높이고자 한다.

참고문헌

[1] C.-L. Lai and P.-L. Hsu, "Design the remote control system with the time-delay estimator and the adaptive smith predictor," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 6, no. 1, pp. 73-80, Feb. 2010.

[2] J. Kim, B. Choi, S. Park, K. Kim, and S. Ko, "Remote control system using real-time mpeg-4 streaming technology for mobile robot," *Proc. of IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 200-201, Jun. 2002.

[3] L. Ngai, W. S. Newman, and V. Liberatore, "An experiment in internet-based, human-assisted robotics," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2190-2195, May 2002.

[4] Y. Erol, H. H. Balik, S. Inal, and D. Karabulut, "Safe and secure PIC based remote control application for intelligent home," *International Journal of Computer Science and Network Security(IJCSNS)*, vol. 7 no. 5, pp. 179-182, May 2007.

[5] C. H. Kim, M. S. Kim, and J. J. Lee, "Systemic development of tele-robotic interface for the hot-line maintenance," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 10, no. 12, pp. 1217-1222, Dec. 2004.

[6] Y.-S. Kim and J.-H. Ryu, "Performance analysis of telerobotic systems with different haptic and video time-delay," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 3, pp. 286-292, Mar. 2010.

[7] M. A. Srinivasan and C. Basdogan, "Haptics in virtual environments: taxonomy, research status and challenges," *Comp. Graphics*, vol. 21, pp. 393-404, Jul. 1997.

[8] K. Jeong, J. Kang, G. Lee, S. Lee, Y. Seo, C. Choi, S. Jung, and S. Kim, "Development of a robotic system for searching human

victims in disasters," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 13, no. 1, pp. 41-45, Mar. 2007.

[9] W. Lee, S. Kang, M. Kim, and K. Shin, "Rough terrain negotiable mobile platform with passively adaptive double-tracks and its application to rescue missions and EOD missions," *ICCAS2005*, Jun. 2005.

[10] S. Shen, C. Li, C. Cheng, J. Lu, S. Wang, and P. Lin, "Design of a leg-wheel hybrid mobile platform," *Proc. of the 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2010)*, pp. 4682-4687, Oct. 2009.

[11] K. H. Choi, H. K. Jeong, K. H. Hyun, and Y. K. Kwak, "Obstacle negotiation for the rescue robot with variable single-tracked mechanism," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 13, no. 12, pp. 1222-1229, Dec. 2007.

[12] Hokuyo Laser-Range Finder, URG-04LX, http://www.hokuyo-robot.jp/02sensor/07scanner/urg_04lx.html



김윤구

2005년 영남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사). 2008년 동 대학원 (공학박사). 2008년~현재 대구경북과학기술원 선임 연구원. 관심분야는 지능로봇, 자율이동 로봇, 지능형 무인자동차, 자동제어.



안진웅

1997년 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사). 2005년 동 대학원 (공학박사). 2005년~2008년 광운대학교 정보제어공학과 교수. 2008년~현재 대구경북과학기술원 실용로봇연구소 소장. 관심분야는 군집지능, HRI, 진화컴퓨팅, 뇌기계인터페이스.



곽정환

2009년 영남대학교 컴퓨터공학과(공학석사). 2010년~현재 대구경북과학기술원 연구원. 관심분야는 지능로봇, 자율제어.



문전일

1986년 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사). 1998년 Syracuse University, Mechanical and Aerospace Engineering (공학박사). 2004년~2006년 LS산전 중앙연구소 소장. 2007년~2010년 호서대학교 로봇공학과 교수. 2011년~현재 대구경북과학기술원 로봇시스템연구부 부장. 관심분야는 임베디드 시스템 제어, 로봇적용 및 로봇 작업기술, 의료로봇 안전 및 성능 표준화.