

논문 2011-06-42

초음파 센서 기반 장애물 인지 이동 로봇 설계

(Design of Ultrasonic Sensor Based Obstacle Recognition Mobile Robot)

문인석, 홍원기*, 류정탁
(Inseok Moon, Won-Keel Hong, Juang-Tak Ryu)

Abstract : Intelligent robots are widely needed in various areas of industry from extremely dangerous environments to service tasks. For autonomous mobile robots, it is significant to move itself safely to a destination point, recognizing its surroundings. Advances in sensor technology and its applications are achieved in order to develop an intelligent robot. In this paper, a mobile robot with a path-finding algorithm is presented. The path-finding algorithm is the one that does not only find a path to designated destination and also recognizes obstacles on the way, calculating its distance. 10 ultrasonic sensor are mounted on the front and rear of the mobile robot to figure out its position. Specular reflection and wide viewing angle, which are inherent characteristics of ultrasonic waves, cause errors in measuring distance.

Keywords : Autonomous mobile robot, Ultrasonic sensor, Distance measurement, Path-finding algorithm

1. 서론

IT 기술의 발전으로 자율주행 이동 로봇은 우주 산업, 사람이 접근하기 힘든 산업현장 뿐만 아니라 일반 가정에 이르기 까지 그 효용성이 점차 확대되고 있다. 이런 이동로봇이 주어진 역할을 다 하기 위해서는 목표점까지 이동할 수 있는 이동기능, 주변 환경을 인식할 수 있는 주변 인지 기능, 상황에 따라 행동을 결정할 수 있는 판단·처리 기능을 갖추어야 한다 [1]. 이런 기능들을 갖추기 위해 센서 응용 기술을 바탕으로 한 자율주행 이동로봇의 연구가 활발히 진행되어 왔다 [2-5]. 특히, 초음파 센서는 거리뿐 아니라 시야에 관계없이 장애물의 존재 유무에 대한 직접적인 정보를 얻을 수 있는 특징이 있다. 또한, 다른 센서들 보다 하드웨어적으로 간단하고 시스템 구성 비용이 적게 들며 데이터를 실시

간으로 처리가 가능하다는 장점을 가지고 있기 때문에 장애물 회피를 위한 자율주행 이동로봇에 널리 연구되고 있다 [6-10]. 그러나, 초음파 센서는 지향각 (large beam angle) 이나 경면 반사 (specular reflection) 등의 문제로 인해 거리 측정에 오류가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 장애물을 회피하는 방법들이 여러 방면으로 연구되어 왔다 [11]. 그중 하나로 초음파 신호의 물리적인 특징을 모델링에 의해 구석과 평면을 인식하는 방법을 들 수 있다. 하지만 이 역시 경면반사를 고려하지 않아 불확실한 반사점 인식으로 인해 정확한 거리 정보 획득에 어려움이 있다 [12].

본 논문에서는 자율주행 서비스 로봇을 설계하고 로봇의 사이즈에 대응하여 최소한의 초음파 센서(SRF10)를 접목하여 장애물을 회피하는 알고리즘을 제시하고 실험 하였다. 로봇은 기본적으로 3개의 초음파 센서를 가지고 좌우 및 전방의 장애물을 탐지하고 탐지된 거리 정보를 바탕으로 로봇과 장애물간의 거리와 각도를 계산하여 방향을 결정하게 하였다. 방향을 결정한 로봇은 충분한 거리 확보를 한 뒤 결정된 곳으로 방향을 전환하게 하였다. 또한 경로 이탈을 방지하기 위해 장애물과 최적의 회피 알고리즘을 제시한다. 이는 대표적인 장애물 회피

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2011. 03. 29., 수정일 : 2011. 04. 11.,
채택확정 : 2011. 06. 03.

홍원기 : 대구대학교 정보통신공학부 교수

※ 본 논문은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

방법VFF(Virtual force field)에 문제점인 최적경로 탐색에 대한 시간 문제를 해결 한다. 하지만 실험을 통해 살펴 본 결과 제시한 알고리즘은 지향각 및 경면반사의 문제를 지니고 있다. 따라서 추 후 초음파 센서를 통한 거리 측정 오류 줄이기 위한 방법으로 칼만 필터를 적용해 수집된 데이터를 이용하여 최적의 거리를 계산하는 방법을 연구 할 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 초음파를 이용한 로봇의 장애물 회피에 대한 연구를 소개한다. 3장에서 자율주행 이동 로봇 시스템을 구성하는 하드웨어와 최적의 이동 경로와 장애물 회피를 위한 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제시한 알고리즘과 로봇의 구현 및 실험 환경과 결과를 기술하며, 5장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구에 대하여 논한다.

II. 장애물 회피 방법

1. 초음파 센서 기반 장애물 회피 방법

초기의 장애물 회피기법은 포텐셜 필드의 개념을 가진 히스토그램 격자를 이용한 월드 모델을 사용하였다. 이를 가상의 힘 공간(Virtual force field)이라 한다. VFF는 격자 지도 기반 사각형 모양의 active window를 형성하고 grid를 만든다. 이 격자한 개를 Active Cell(AC)이라고 한다. 초음파 센서 중심에서 장애물이 검출되면 Cell의 값을 1씩 증가시켜준다.

그림 1과 같이 장애물이 있을 시 초음파 센서를 이용하여 거리 정보를 획득하고 그 반발력으로 F_r 을 생성한다.

$$F_r = \sum_i F_i \quad (1)$$

각 반발력은 로봇의 중심에서 타겟 위치를 이용하여 인력 F_t 를 발생한다. 이때 로봇 전방 중심의 위치는 절대 좌표계의 원점이고 인력의 위치와 크기를 구할 수 있다.

$$F_i = F_t(\Delta x\hat{x} + \Delta y\hat{y}) \quad (2)$$

그 반발력에 인력을 더함으로써 합력 R을 구하고 이는 로봇의 이동 방향과 속력이 된다.

$$R = F_t + F_r \quad (3)$$

계산된 최종 힘벡터인 R을 이용하여 로봇은 방향을 틀어 장애물을 회피하여 목적지로 이동하게 된다.

VFF는 자율주행 이동로봇에 많이 활용되고 있다. 하지만 이 방식은 최적경로 탐색시 회귀하는 시간이 상대적으로 길다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 실시간 거리에 따른 이동로봇 회피 각도에 대한 알고리즘을 제시 하였다.

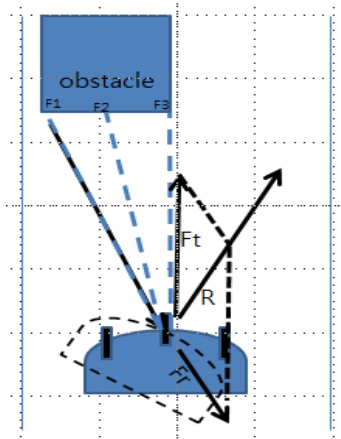


그림 1. VFF 방법 과 장애물 회피

Fig. 1. VFF method and obstacle avoidance

III. 자율주행 이동로봇 시스템

1. 이동로봇 시스템 설계

1.1 하드웨어 구성

로봇시스템은 모터, 모터제어보드(SDQ-DA04EX), 센서 제어보드, 초음파센서(SRF10)로 구성된다. 자율 주행 시스템은 초음파 센서에서 센서 제어 보드의 I2C통신을 통해 거리를 측정하고 측정된 데이터 값에 따른 해당 명령어를 모터 제어 보드로 전송하게 된다. 해당 명령어를 전송 받은 모터 제어 보드는 전압값 조절로 인해 로봇을 움직이게 한다. 로봇을 위한 센서의 제어를 위해 CPU(Atmega128)기반의 센서 제어 보드를 제작하였고 이를 이용해 초음파센서를 제어하고 거리를 측정하여 장애물을 회피하도록 설계 하였다. 모터의 구동은 모터 제어 보드에서 신호를 보내게 되는데 전달받은 명령어를 알

맞은 전압값으로 바꾸어 모터를 원하는 방향으로 움직이게 한다.



그림 2. 자율주행 이동로봇
Fig. 2. Autonomous mobile robot

1.2 초음파 센서

초음파 센서의 거리측정 원리는 초음파 센서에서 발사된 초음파 펄스가 피 측정물의 표면에서 반사되어 다시 초음파 센서로 되돌아 올 때까지의 시간을 측정하여 측정 대상에 따른 정보를 얻는 방법을 사용한다. 즉 초음파를 송신 후 되돌아 올 때까지의 지연시간을 측정하고 공기 중에서 초음파의 온도에 따른 음속을 보상하여 거리를 산출하는 방법을 사용한다.

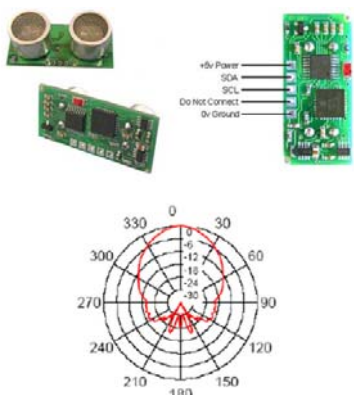


그림 3. 초음파 센서-SRF10
Fig. 3. Ultrasonic sensor -SRF10

본 시스템에서 사용되는 초음파 센서는 Devantech사의 SRF10을 사용하였다. 측정범위는 6Cm ~ 600Cm 까지 거리 측정이 가능하다. SRF10은 I2C bus 방식으로 통신을 하고, 각 센서에 사용자가 (E0, E2, E4, E6, E8, EA, EC, EE, F0, F2, F4, F6, F8, FA, FC, FE)16개의 address

중에서 선택하여 바꿀 수 있다. SRF10은 각각의 주소를 지정할 수 있고 마스터에서 각 주소를 전송하게 되면 슬레이브인 초음파센서에서 데이터를 받고 다시 마스터로 거리 값을 전달해 준다. 제안된 시스템에서는 로봇의 높이를 고려하여 E0 ~ F2 까지 12개의 초음파 센서를 사용하였다. 바닥에서 50cm까지는 로봇 하단부의 센서가 작동하게 되고 일반 책상 높이는 상단부 센서가 작동하게 하였다. 센서가 각 5ms 마다 측정하여 12개의 센서가 한번 측정하는데 걸리는 시간은 60ms(1초 20번 측정)이다. 또한 센서는 단순히 거리만을 측정하기 때문에 로봇이 물체의 위치를 알고 좌우 회피 결정을 하기 위해선 각 72° 빔 각도의 최소 3개의 초음파가 필요하다.

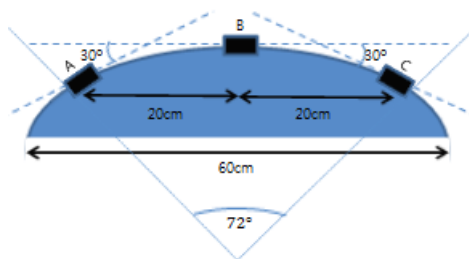


그림 4. 초음파 센서 배치
Fig. 4. Ultrasonic sensor placement

초음파센서는 그림 2와 같이 로봇의 전후방 각 6개씩 12개가 상하로 배치 되게 하였다. 각 초음파 센서간의 간격은 그림 3와 같이 좌우 20Cm 상하 60Cm로 배치되어 있다. 로봇의 앞과 뒤 모두 반원으로 굽어져 있으며 정면을 주시하는 초음파 센서를 중심으로 좌우 초음파 센서는 30도 틀어져 있다.

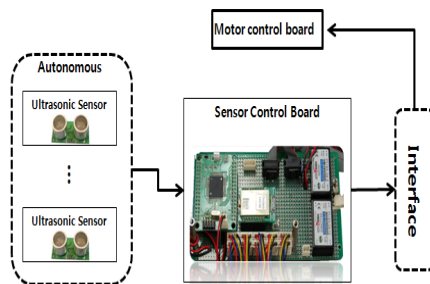


그림 5. 센서 제어 보드
Fig. 5. Sensor control board

그림 5는 센서 제어 보드를 제작한 것이다. 초음파와 마이크로 컨트롤러 사이 통신은 I2C bus 방식이며 이는 2선식 직렬통신 방식으로 항상 마스터와 슬레이브 사이에서 직렬로 데이터를 송수신 할 수 있다. 여기서 마스터는 ATmega128이 되고 초음파 센서들은 슬레이브가 된다. 초음파 센서는 각각의 주소가 있어서 마스터에서 각 주소마다 데이터를 전송하면 슬레이브인 초음파 센서에서 데이터를 받고 다시 마스터로 거리 값을 전달해 준다. 받은 데이터는 시리얼 통신을 거쳐 인터페이스 프로그램으로 전달해 준다. 전달 받은 데이터는 로봇이 움직일 수 있도록 명령어를 전달하게 된다.

1.3 모터 제어 보드

모터제어 보드 SDQ-DA04EX를 사용하며 이동 로봇의 센서 값에 따른 정지, 방향전환 등을 수행하는 역할을 한다. 이 보드는 디지털 신호를 아날로그 신호로 바꾸어주는 역할을 하며 센서 제어 보드로부터 해당 거리 측정 값을 받아 명령어를 전달하게 되면 명령어에 해당하는 전압값으로 변환하여 이동 로봇을 움직이게 한다. 표 1은 각각의 명령에 대한 전압 값을 보여준다.

표 1. 명령어에 대한 전압 값

Table 1. Voltage value for commend

명령어	LEFT Motor(D2)	RIGHT Motor(D3)
STOP	2.5V	2.5V
GO	2.5V	3V~4V
BACK	2.5V	1V~2V
TURN LEFT	1V~2V	2.5V
TURN GIGHT	3V~4V	2.5V
GO LEFT	1V~2V	3V~4V
GO RIGHT	3V~4V	3V~4V
BACK LEFT	3V~4V	1V~2V
BACK RIGHT	1V~2V	1V~2V

2. 소프트웨어 설계

2.1 장애물 회피 알고리즘

본 시스템의 시뮬레이션은 MFC를 사용하였으며 실시간으로 초음파 센서의 센싱 값을 확인 할 수 있게 하였다. 우선 이동로봇이 전진하게 되면 초음파 센서 A, B, C의 거리 값에 따라 이동 로봇의 방향이 결정되어 진다. 센서 거리값은 이동 로봇의 폭을 감안하여 70cm를 기준으로 한다. A와 B,C의 거리 값이 70cm 이하이면 일단 정지하게 되고 후

진을 하게 된다. 후진 후 장애물이 감지되거나 전방의 거리가 확보가 되면 전진을 하게 된다. A와 C의 차가 음수일 경우에는 오른쪽으로 방향을 전환한다. 여기서 왼쪽 혹은 오른쪽으로 전환 중 센서 B가 70cm 이상으로 거리가 확보되면 전진을 하게 된다. 이는 로봇이 벽면과의 거리를 멀게 떨어지게 하기 위함이다. 하지만 이동로봇이 이동 중 장애물을 만날 경우 제시한 알고리즘으로는 예상 경로를 상당부분 이탈하는 현상을 볼 수 있었다.

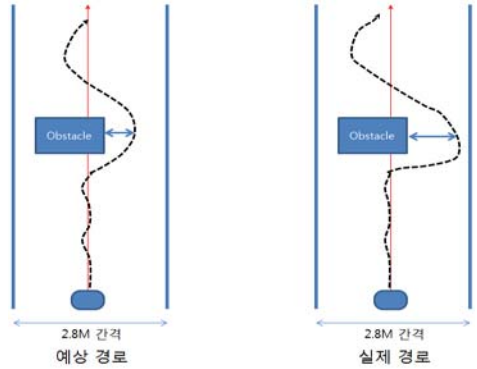


그림 6. 이동로봇의 경로 이탈

Fig. 6. Path departure of mobile robot

그림 6과 같이 장애물이 있는 복도 폭 2.8m 간격에서 로봇의 움직임을 살펴 보았다. 예상 경로는 장애물을 회피하고 오른쪽 벽에 의해서 다시 초기 경로로 돌아오는 경우를 예상 했다. 하지만 로봇은 장애물을 상당 부분 이탈해 다시 본 경로로 진입하기 힘든 모습을 보였다. 이를 해결하기 위하여 확장된 알고리즘을 제안한다.

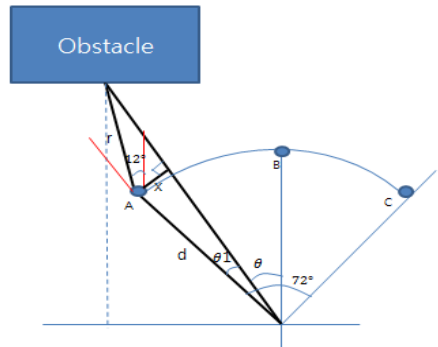


그림 7. 장애물 회피 방법

Fig. 7. Obstacle avoidance method

그림 7에서 볼 수 있듯이 이동로봇이 방향을 전환 할 때는 센서 A와 C의 값이 절대적으로 영향을 미친다. 이 알고리즘은 초음파의 지향각을 이용하여 센서 A와 C를 분석해 로봇의 이동을 결정하게 한다. 장애물이 좌측에 있을 경우 센서 A의 영향을 받게 된다. 이동로봇은 장애물과의 거리 r, 센서A에서 C까지의 지향각, 지향각 중심에서 센서까지의 거리d(30cm)는 상수이며 이를 이용해 센서와 각의 중심, 물체와의 삼각관계를 나타낼 수 있고 로봇 중심에서 삼각형의 빗면 까지 θ 각을 구할 수 있다. 단 여기서 센서 마다 지향각은 24° 이므로 물체와 센서의 각도는 평균값인 12° 로 고정 상수이다. 이 θ 각을 이용하여 로봇을 회전하면 장애물 회피를 최소화 하여 이동할 수 있다. 즉 장애물이 로봇과 멀수록 θ 각이 좁아 지며 가까울수록 θ 각이 넓어진 다. 따라서 θ 각을 구하기 위해 삼각형의 꼭지점인 센서 A에서 수직인 면까지의 거리를 x라 할 때 이 x에 관하여 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$r \sin(12 - \theta_1) = d(\sin \theta_1) \quad (4)$$

$$r = d \frac{\sin \theta}{\sin(12 - \theta_1)}$$

이 식을 통해 센서와 장애물 간의 거리 r에 따른 θ_1 값을 구할 수 있고 이 값을 이용하여 θ 만큼 이동로봇이 회전을 한다.

아래 그림 8은 회피 알고리즘을 나타낸다.

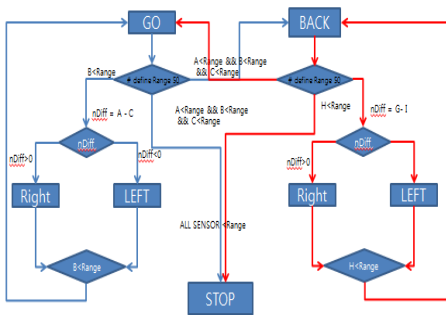


그림 8. 장애물 회피 알고리즘
Fig. 8. Obstacle avoidance algorithm

본문에서 제시한 알고리즘은 지향각을 고려하지 않은 상태에서 제시하였다. 지향각의 문제를 해결하

기 위해 추후 필터를 통하여 문제를 해결하고자 한다.

2.3 인터페이스 프로그램

인터페이스 프로그램은 자율주행 로봇의 전방과 후방의 초음파센서 상태를 실시간 그래프 로 체크 할 수 있도록 하였다. 로봇의 전방을 볼 때 좌측부터 녹색, 노랑, 빨간색 순으로 나뉘어져 있고 그래프의 높이는 거리를 나타 내었다. 현재 모터와 초음파 센서, RF 신호를 받을 수 있게 프로그램 되어 있다. 그래프 하나의 객체당 3개의 초음파를 읽게 하였고 총 12개까지 읽을 수 있도록 되어 있다. RF 신호는 추후 로봇의 최적경로 움직임에 쓰이게 된다.



그림 9. 인터페이스 프로그램
Fig. 9. Interface program

IV. 실험

실험은 폭 2.8m의 복도에서 장애물 회피 알고리즘을 적용한 것을 사용하여 로봇이 진전 시 좌측에 있을 경우와 우측에 장애물이 있을 경우 두가지 경우를 가지고 실험을 한다. 제시한 알고리즘을 적용한 후 장애물을 회피하는 것을 볼 수 있었고 그에 따라 초음파의 지향각으로 인한 데이터 오류를 확인할 수 있었다. 그림 10 그림 11 데이터는 초음파의 지향각에 대한 오류로 인해 값이 잘 못 들어오는 경우를 볼 수 있다. 좌측에 장애물이 있을 경우 센서 C가 알고리즘에 적용되어 우측방향으로 트는 것을 알 수 있다. 하지만 데이터 횟수가 20~25 구간과 30~40 사이에 발생하는 초음파의 오차 때문에 이동로봇의 움직임이 오작동 되는 것을 야기 시킬 수 있다. 또한 왼쪽으로 전환할 때 역시 센서 C가 작동되는 도중 거리 오차가 지속적으로 발생하

는 부분은 로봇이 오작동 하는 것을 볼 수 있다.

참고문헌

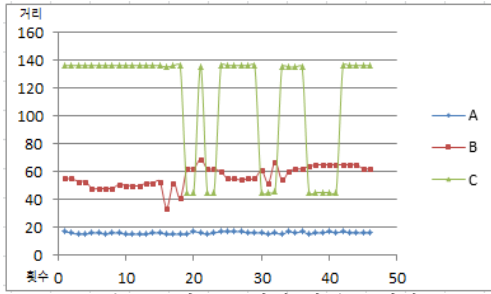


그림 10. 이동 로봇의 장애물 회피 (오른쪽으로 전환)

Fig. 10. Moving obstacle avoidance(Turn right)

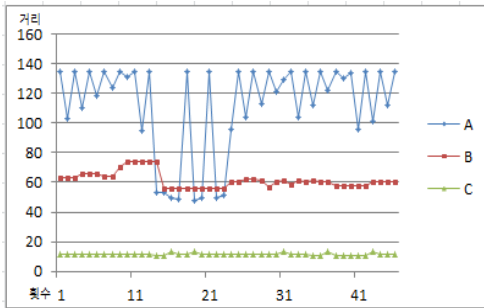


그림 11. 이동로봇의 장애물 회피 (왼쪽으로 전환)

Fig. 11. Moving bostactal avoidance(Turn left)

이 오류를 해결하기 위해 칼만필터를 적용하면 초음파의 오류를 줄일 수 있을 것으로 예상 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 초음파 센서 기반의 장애물을 인지하는 이동 로봇을 설계 하였다. 그리고 이동로봇에 있어서 초음파 센서를 이용하여 주변 환경을 인식하고 거리를 측정해서 장애물을 안전하게 회피 할 수 있는 알고리즘을 제시하고 시뮬레이션 하였다. 그리고 제시한 알고리즘을 통한 로봇의 움직임을 살펴 보면 초음파의 지향각과 경면 반사에 의해 거리측정 오류가 발생하는 현상을 알 수 있었다. 이는 추 후 연구한 칼만 필터를 접목하여 예상할 수 있는 초음파의 오류데이터를 최소화 시키는 연구를 수행 할 수 있다.

[1] 김지민, “초음파센서 기반의 환경인식을 이용한 자율 이동로봇의 최적경로”, 충남대학교 석사학위논문, 2005.

[2] 전상운, 정슬, “센서 융합기반의 추측항법을 통한 야지 주행 이동로봇의 위치 추정 및 제어”, 대한임베디드공학회, Vol.4, No.2, pp. 69-78, 2009.

[3] 김태의, 이상윤, 권경수, 박세현, “시선 인식을 이용한 자율 주행 휠체어 시스템”, 한국산업정보학회논문지, Vol.14, No.4, pp. 75-90, 2009.

[4] 문병현, 진영석, 류정탁, “무선통신과 모바일 기술을 이용한 차량용 센서 시스템 구현”, 한국산업정보학회논문지, Vol.14, No.2, 2009.

[5] H. Peremans, J. Van Campenhout. A High-Resolution Sensor Based on Tri-aural Perception. IEEE Transactions of Robotics and Automation, 1993.

[6] 김갑순, “초음파센서를 이용한 로봇의 소형장애물 감지 및 회피 연구”, 센서학회지, Vol.14, No.2, pp. 101-108 2005.

[7] 최우수, 송재복 “세 개의 초음파 센서를 장착한 이동로봇의 DWA 기반의 장애물 회피”, 제 3회 한국지능로봇 종합학술대회 논문집, 2008.

[8] 오세봉, 이우송, Le Xuan Thu, 한성현 “초음파 센서 기반 이동로봇의 장애물 회피”, 한국공작기계학회 논문집, pp. 282-286, 2007.

[9] 박은영, 임하영, 유환신, 김정하 “모형 차량을 이용한 차선인식과 장애물회피 알고리즘에 관한 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1484-1489, 2004.

[10] 대구기계부품 연구원 지능로봇연구팀, “지능형 이동로봇의 주행 연구동향1 : 장애물 회피기법”, 2010.

[11] 하운수, 김덕곤 “초음파센서의 지향성 및 경면 반사 현상을 고려한 환경인식”, 한국마린엔지니어링학회, Vol.30, No.8, pp. 919-926, 2006.

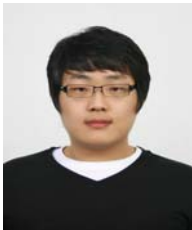
[12] B. Stanley, P. Mckerrow “Measuring range and bearing with a binaural ultrasonic sensor”, IEEE/RSJ Conference on Intelligent Robots and Systems, 1997.

[13] 진태석, 이장명 “단일 초음파 센서모듈을 이용한 이동로봇의 위치추정 및 주행”, 전자공학회 논문지, Vol.42, No.2, pp. 1-10, 2005.

- [14] 박찬영 “초음파를 사용한 무인 로봇의 위치 추정”, 한국정보기술학회 논문지, Vol.8, No.7, pp. 47-57, 2010.
- [15] T. Tsubiuchi “Nowadays trends in map generation for mobile robots”, In Proceeding of IEEE/RSJ international Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 848-833, 1996.
- [16] Y. Tetsutaka, “Obstacle avoidance of mobile robot using an ultrasonic sensor”, a master’s

저 자 소 개

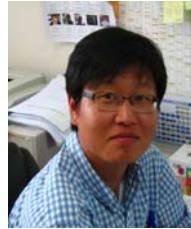
문 인 석(Inseok Moon)



2010년 : 대구대학교
정보통신공학과 학사.
현재, 대구대학교
정보통신공학과 석사과정.
관심분야 : 임베디드 시스템,
임베디드 소프트웨어, WSN.

Email : inth85@gmail.com

홍 원 기(Won Kee Hong)



2001년 : 연세대학교
컴퓨터공학과 공학박사.
2002년 : University of
California, Irvine, Post-
doctoral Fellows.
현재, 대구대학교
정보통신공학부 교수.

관심분야 : 임베디드 시스템, WSN.
Email : wkhong@daegu.ac.kr

류 정 탁(Juang Tak Ryu)



1992년 : 영남대학교
전자공학과 학사.
1996년 : 오사카대학교
전자공학과 공학석사.
1999년 : 오사카대학교
전자공학과 공학박사.

현재, 대구대학교 전자공학부 교수.
관심분야 : 나노 및 센서 공학.
Email : jryu@daegu.ac.kr