

이동물체 추적 가능한 이동형 로봇구동 시스템 설계 및 센서 구현

명호준^a, 김동환^{b*}

Robot Driving System and Sensors Implementation for a Mobile Robot Capable of Tracking a Moving Target

Ho Jun Myeong^a, Dong Hwan Kim^{b*}^a NID Graduate school, Seoul National University of Science and Technology^b Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Republic of Korea, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	29	March	2013
Revised	28	May	2013
Accepted	3	June	2013

Keywords:

Education robot
Smartphone control
Moving target tracking
Omni directional object identification

ABSTRACT

This paper proposes a robot driving system and sensor implementation for use with an education robot. This robot has multiple functions and was designed so that children could use it with interest and ease. The robot recognizes the location of a user and follows that user at a specific distance when the robot and user communicate with each other. In this work, the robot was designed and manufactured to evaluate its performance. In addition, an embedded board was installed with the purpose of communicating with a smart phone, and a camera mounted on the robot allowed it to monitor the environment. To allow the robot to follow a moving user, a set of sensors combined with an RF module and ultrasonic sensors were adopted to measure the distance between the user and the robot. With the help of this ultrasonic sensors arrangement, the location of the user could be identified in all directions, which allowed the robot to follow the moving user at the desired distance. Experiments were carried out to see how well the user's location could be recognized and to investigate how accurately the robot tracked the user, which eventually yielded a satisfactory performance.

1. 서론

최근 많은 연구자들이 로봇이 아동이 창의적인 생각을 하는데 도움을 준다는 결과를 보고하고 있다^[1]. 로봇은 다양한 유형으로 개발되고 있으며 교육용 로봇도 그 용도가 증대되고 있다. 또한 로봇이 이동하면서 데이터를 사용자와 교류해야 하므로 이동 로봇의 장애물 감지 및 회피 기술도 동시에 구현되어야 한다^[2]. 그러

나 기술이 발전되어 URC (Ubiquitous Robotic Companion)의 신개념 기술이 도입됨으로써 언제 어디서나 사용자와의 교류가 가능해지고 필요한 서비스를 제공 받을 수 있게 되었다. URC 기술은 네트워크를 활용하여 로봇이 제공할 수 있는 서비스를 확장시킬 수 있기 때문에 아동의 교육용 로봇에 매우 유용하게 적용될 수 있다. 로봇에 고성능 프로세서를 탑재하지 않고도 원격지 서버에서 네트워크를 이용해 필요한 콘텐츠를 가져와 구현 할 수 있다^[3].

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6362

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: dhkim@seoultech.ac.kr (Dong Hwan Kim).

URC 기술을 함께 접목하여 쉽게 적용할 수 있는 것으로 안드로이드(Android) 운영체제가 있다. 이 안드로이드 운영체제는 오픈 소스로서 스마트폰에서 사용되는 카메라와 와이파이(WiFi), 마이크, 스피커, 디스플레이 등 많은 디바이스 드라이버가 구현되어 있기 때문에 로봇의 개발을 보다 쉽고 저렴하게 할 수 있는 장점이 있다^[4].

본 논문에서는 교육을 위한 콘텐츠 개발은 제외하고 교육용 로봇에 필요한 안드로이드 운영체제를 탑재한 로봇 시스템 구현과 아동의 흥미를 유발 할 수 있는 형태의 로봇을 설계 및 제작하고, 스마트폰을 이용하여 로봇을 조작하며 로봇에 탑재된 카메라의 영상을 모니터링 할 수 있는 기능을 구현하였으며, 교육 또는 놀이를 할 때 사용자를 인식하고 추적할 수 있는 기능 등 이 구현된 로봇 시스템을 개발하였다. 사용자의 인식 및 추적에 관한 많은 연구들이 있지만 본 논문에서는 초음파 센서와 RF 모듈을 이용하여 사용자가 로봇의 어느 방향에 있어도 위치를 정확히 인식하고 추적 할 수 있는 방법을 개발하였다.

사용자(사람)나 이동물체를 인식하고 추적하는 많은 방법이 많으며 대표적인 방법으로는 레이저 레인지 파인더(LRF)를 이용하거나^[5-6], 카메라에 의한 영상처리를 사용하는 방법^[7-8], 초음파 센서 등 센서를 이용하는 방법^[9] 등이다. 레이저 파인더 센서를 교육용 로봇에 적용하는 경우 사이즈가 크고, 고가이며, 레이저 레인지 파인더의 특성상 여러 장애물과 추적할 사용자가 함께 있는 경우 사용자를 확인하지 못하는 불확실성의 문제가 있다. 영상 처리를 이용하는 경우 영상 자료구조의 특성상 계산에 드는 시간 비용이 많아지기 때문에 마이크로프로세서(microprocessor)만으로는 처리하기 어려운 단점이 있고, 주변 조명의 변화가 생기는 곳에서는 사용하기 적합하지 않다. 한편, 초음파 센서는 신호가 방사형이기 때문에 하나만으로는 정확한 위치를 알 수 없고, 장애물과 추적물체의 구별을 하기가 쉽지 않은 단점이 있고, 적외선(IR, Infra Red) 센서의 경우는 적외선이 직진성을 가지기 때문에 넓은 범위에서 물체를 인식하기 위해서는 센서의 수가 많이 필요한 단점이 있다.

본 논문에서 사용한 방법은 초음파 신호와 무선주파수(RF, Radio Frequency) 신호를 이용하여 추적해야 할 사람에 발신용 초음파 센서와 RF 모듈을 설치하고, 로봇에는 수신용 초음파 센서와 RF 모듈을 설치하여 초음파 신호와 RF 신호의 도달 시간의 차이를 이용하여 로봇의 수신용 초음파 센서와 물체 사이의 거리를 측정하는 방법이다. 이 방법의 가장 큰 장점은 인식해야 할 사람 또는 물체가 어느 방향에 있어도 인식 가능하다는 장점이 있고, 로봇을 소형으로 제작 가능하다. 또한 초음파 센서와 RF 모듈의 가격이 저렴하기 때문에 로봇의 제작 단가를 낮출 수 있다.

2. 로봇 시스템 구성

로봇의 크기를 최대한 작게 만들기 위하여 모터 2개만을 사용하는 이륜구동 형태의 로봇으로 설계하였다. 이륜구동 로봇의 장점으로는 로봇의 구동 속도가 빠르고 방향 전환에 있어서 제약이 없으며, 소음이 거의 없고 내구성이 좋은 장점이 있다.

Table 1은 본 로봇의 하드웨어 구성품에 대한 내용 및 기능을 정리하였다.

Fig. 1은 로봇에 필요한 부품들과 회로 보드들을 장착한 그림이다. 영상 데이터를 얻기 위한 1.3 M 픽셀(Pixel) 카메라와 사용자의 음성을 인식하기 위한 고감도 마이크, 음성 데이터를 출력하기 위한 2 W 스피커가 장착되어 있다. 또한 음성 인식 및 출력, 스마트폰으로 영상 데이터 압축 및 전송을 하기 위한 안드로이드 보드

Table 1 Robot hardware functions and devices

Items	Functions	Devices
Microprocessor	Data processing and control	TMS320F28335 chip
Communication module	Wireless communication	WiFi, Zigbee
Sensor	Distance measurement	RF, Ultrasound sensor
Embedded Controller	Smart phone associated	S5PV210 chip
Image	Image acquisition around robot	1.3 M pixels camera
Attachments	Microphone, memory	Audio CODEC, SD card

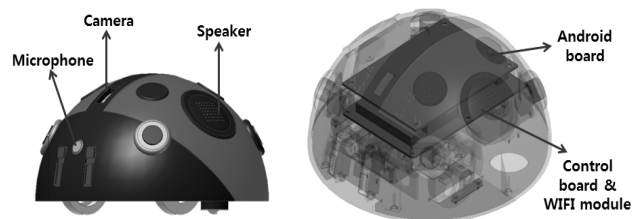


Fig. 1 Robot components layout

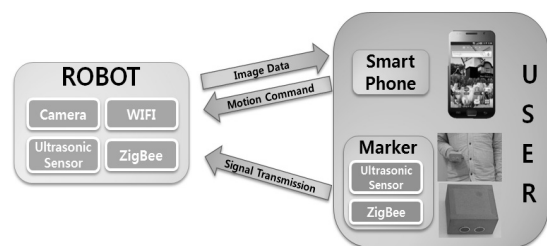


Fig. 2 System structure

와 센서 데이터 측정 및 모터 구동을 위한 제어 보드와 WiFi 모듈이 장착되어 있다. Fig. 2는 로봇의 통신시스템 구조를 간단히 나타낸 그림이다. 스마트폰에서 로봇을 조종하고 영상을 모니터링 하기 위해서 간단한 UI (User Interface)를 만들었다. 이 UI를 이용해 로봇을 구동하는 명령은 WiFi를 통해 로봇에 전송되며, 로봇에 장착된 카메라의 영상은 데이터를 압축하여 WiFi를 이용해 스마트폰으로 전송되고 스마트폰의 UI에서 실시간으로 모니터링 할 수 있게 하였다. 또한 마커는 초음파 신호와 RF 신호를 로봇으로 전송하고 로봇은 마커에서 발생하는 초음파와 RF신호를 수신하여 사용자의 위치를 인식하고 추적 할 수 있게 구현하였다.

본 연구에서 구성한 제어기로 안드로이드 플랫폼^[10-11]을 포팅하기 위해 ARM Cortex A8 기반 어플리케이션 프로세서가 탑재되어 있는 삼성의 S5PV210 칩을 사용하였다. Cortex A8 계열인 S5PV210 칩에는 MMU (Memory Management Unit)가 있기 때문에 안드로이드나 리눅스 같은 운영체제를 포팅 하여 사용할 수 있다. 또한 오디오 코덱(CODEC), 이더넷 제어기(Ethernet Controller), 유니버설 시리얼 버스(USB)나 유니버설 비동기 통신(UART) 등의 통신, 마이크로 시큐어 디지털 카드(Micro SD Card), 카메라

등을 사용할 수 있는 인터페이스가 구성 되어 있어 로봇에 사용하기 위한 각종 디바이스들을 탑재하기 용이하다. 로봇에서의 센서 값 측정 및 연산, 통신, 모터 구동 등의 실시간 제어를 위해 Texas Instruments (社) TMS320F28335 칩^[12]을 사용하였다.

Fig. 3은 전체적인 제어 시스템을 나타낸 그림으로 S5PV210에는 WiFi를 사용하기 위한 WiFi 모듈, 영상 정보 획득을 위한 1.3 M 픽셀의 카메라, 오디오 코덱을 사용하여 음성인식 및 음성전달을 위한 마이크와 스피커 등이 연결되어 있다. TMS320F28335에는 아날로그 디지털 변환기(ADC)와 입출력 포트(I/O Port)를 이용하여 센서들의 데이터를 측정하고, 펄스폭 조정(PWM)을 이용하여 모터를 제어한다. 그리고 직렬통신 포트(SCI Port)를 이용하여 WiFi모듈인 WIZ610과 통신을 하고, 다른 직렬통신 포트를 사용하여 장착된 RF 모듈인 지그비(Zigbee)와 통신한다.

압축된 영상 데이터를 전송하는 방법으로는 서버에 클라이언트가 접속되어 영상을 전송 받는 소켓 방식을 사용하였다. 로봇에 탑재 되어있는 S5PV210을 서버로, 스마트폰은 영상을 전송 받는 클라이언트로 정의하였다. Fig. 4는 로봇과 스마트폰 사이에서 영상 전송과 수신을 위한 소켓 통신 프로그램인 클라이언트-서버 방식을 보여주는 그림이다. 본 연구에서 개발된 로봇은 임베디드 제어기와 마이크로프로세서인 DSP (Digital Signal Processor)를 결합하여 DSP 만의 성능의 한계를 보완하였다. 스마트폰과 연동되어 실시간으로 로봇을 제어하고 영상이나 음성 정보를 받아 볼 수 있도록 제어기를 구성하였다.

프로그램이 시작되면 서버인 로봇의 S5PV210에서는 영상 전송을 위한 소켓을 생성하고 클라이언트에서 접속하기를 기다린다. 클라이언트에서 서버에 접속을 요청하면 서버는 요청 정보를 확인하여 클라이언트의 접속을 ‘허용(Accept)’한다. 접속 승인이 완료되면 서버에서는 카메라의 받아 압축된 영상을 클라이언트로인 스마트폰으로 전송한다. 이러한 구조로 설계함으로써 스마트폰에서는 실시간 카메라 영상을 수신하여 실시간으로 모니터링을 할 수 있게 된다.

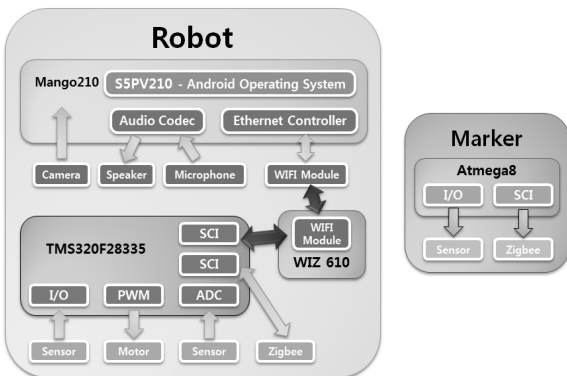


Fig. 3 Robot controller structure

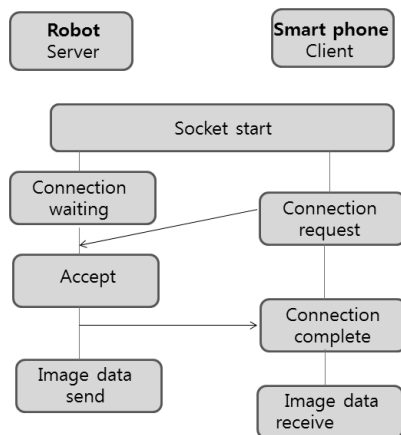


Fig. 4 Client-Server socket structure

3. 사용자 인식 및 추적 방법

로봇이 사용자의 위치를 인식하고 추적하기 위해서 LRF나 카메라를 이용한 영상처리, 센서의 사용 등 많은 방법이 있지만 단 하나만으로는 정확한 위치 인식과 추적은 어렵다. 하지만 카메라를 이용한 영상처리나 초음파센서나 IR센서 등은 사용자가 인식이 가능한 마커를 가지고 있을 경우에 좀 더 수월하게 사용자를 인식하고 추적 할 수 있다.

본 논문에서는 사용자의 위치를 인식하기 위해 초음파 센서를 사용하였고, 이 센서들을 로봇 주위에 4개를 설치함으로 사용자를

전 방향으로 감지할 수 있게 하였고 빠른 응답을 가지는 무선 모듈인 지그비와 결합함으로써 사용자와의 거리 측정도 가능하게 하였다. 초음파 센서만으로는 마커의 송신부와 로봇의 수신부의 시간 동기화를 할 수 없기 때문에 시간 동기화를 위한 RF 모듈인 지그비를 함께 사용하는 방법을 선택하였다^[13]. 이러한 방안은 기존의 초음파 센서만의 거리 측정의 한계를 극복하였고 지그비와의 동기화를 통하여 보다 정확한 거리 측정이 가능함을 확인하였다.

사용자 인식 및 추적을 하기 위하여 마커의 사용과 초음파 센서와 지그비를 사용함으로써 로봇을 소형으로 제작 가능하고, 비교적 적은 연산량으로 위치 인식이 가능하며 가격을 저렴하게 제작할 수 있다.

3.1 로봇의 초음파 센서 배치

센서를 Fig. 5와 같이 90° 간격으로 4개를 배치한 이유는 사용자가 로봇의 어느 방향에서라도 교육을 시작하거나, 추적 기능을 실행 시킬 경우 바로 사용자를 인식하고 추적 할 수 있게 하기 위해서이다.

3.2 초음파 센서와 지그비를 이용한 거리 측정 방법

RF 신호의 전달 속도는 초음파의 전달 속도에 비해 매우 빠르고

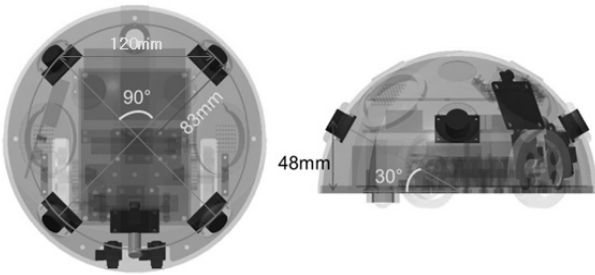


Fig. 5 Ultrasonic sensors arrangement

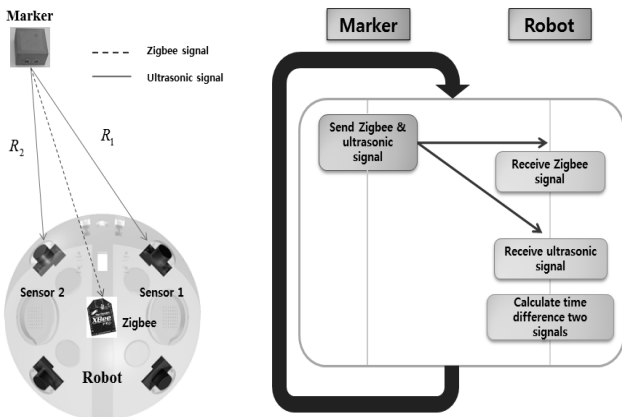


Fig. 6 Distance measuring scheme between the marker and the robot

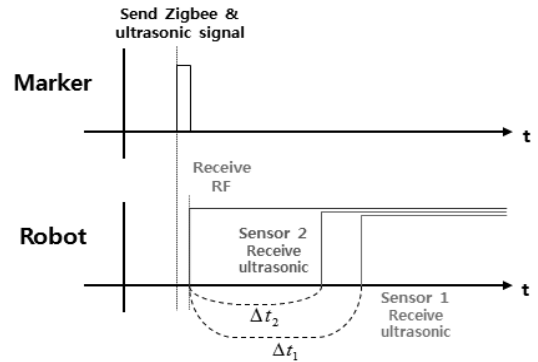


Fig. 7 Timing chart of the RF and ultrasonic signals

실내에서는 송신기(마커)와 수신기(로봇) 사이의 거리가 짧아 수신기는 RF 신호가 발생된 순간 그 신호를 받을 수 있다. 이 점을 이용하면 송신기(마커)에서 수신기(로봇)까지 거리는 RF 신호의 수신 후 상대적으로 느린 초음파 신호가 수신 될 때까지의 시간을 측정함으로써 계산 가능하다.

Fig. 6은 지그비와 초음파 센서를 이용해 마커와 로봇의 각 센서들과의 거리를 어떻게 측정하는지 나타내는 그림이다. 마커에서는 동시에 초음파 신호와 RF 신호가 발생한다. 로봇에서는 RF 신호를 마커가 RF 신호를 발생한 시간과 거의 같은 시간대에 수신하고, 4개의 초음파 센서에서 각각 마커의 거리에 따라 시간 차이를 두고 초음파 신호를 수신한다. RF 신호를 수신한 시간과 각 센서에서 초음파를 수신한 시간의 차를 계산하여 마커와 각 센서와의 거리를 측정한다.

Fig. 7은 로봇과 마커의 위치가 Fig. 6의 왼쪽 그림과 같을 경우의 신호를 수신하는 타이밍 차트를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 마커에서 초음파와 RF 신호를 동시에 발생하면 로봇에서는 RF 신호를 먼저 받는데, 그 사이의 시간 차이는 RF 신호가 전송 되는데 걸리는 시간으로 약 200 us 정도 지연이 발생한다. 센서에 도달하는 초음파 신호는 초음파 센서2 가 초음파 센서1 보다 마커와 가깝기 때문에 초음파 센서 2 신호가 도달하는 시간이 더 빠른 것을 알 수 있다.

$$R_1 = \Delta t_1 V_u \quad (1)$$

$$R_2 = \Delta t_2 V_u \quad (2)$$

위의 수식은 마커에서 로봇의 초음파 센서까지의 거리를 구하는 식으로, R_1 과 R_2 는 마커에서 로봇의 각 초음파 센서까지의 거리이고, Δt_1 과 Δt_2 는 초음파 신호가 도달하는 시간의 차이이고, V_u 는 초음파의 속도로 상온에서 약 340 m/s정도이다. 이와 같이 초음파와 RF 신호를 동기화시킴으로써 보다 정확하게 거리를 측정할 수

있는 방안을 제안하였으며 모든 방향에 대해서도 사용자를 찾아 낼 수 있는 방식을 제안하였다. 이 방안은 간단한 수식을 사용하여 비교적 저가의 센서만으로도 비교적 정확히 이동물체의 위치를 측정하고 추적하는 것이 가능한 방안이다.

3.3 사용자 위치 인식 방법

사용자 즉 마커의 위치를 알기 위해서는 로봇으로부터의 거리와 각도를 알아야 한다. 초음파 센서의 지향 각이 150 ~ 200° 이기 때문에 4개만으로 로봇의 어느 방향에서도 마커의 초음파 신호를 수신 할 수 있으며 넓은 초음파 수신 범위로 인해 마커에서 송신된 초음파 신호는 최소 2개 이상의 센서에서 감지가 된다. 로봇 주위에 장애물이 있거나 벽이 있을 경우에는 4개의 초음파 센서에 모두 감지가 될 수 있다. 이럴 경우 마커의 위치를 인식하기 어려우므로 4개의 초음파 센서 중에 가장 빠르게 감지된 센서와 2번째로 빠르

게 감지된 센서 2개를 이용하여 마커의 위치를 인식한다. 빠르게 감지되었다는 것은 4개의 센서 중 마커와 가장 가깝다는 것이 되고, 그 센서들은 보통 양 옆으로 붙어 있는 경우가 대부분이기 때문에, Fig. 8과 같이 마커의 위치를 로봇을 기준으로 크게 8구역으로 나눌 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 8에서 나는 여덟 구역 중에서 마커가 ③번 구역에 있을 경우 로봇에서부터 마커까지의 거리와 각도를 측정하는 방법을 나타낸 그림이다. 마커에서 발생한 초음파 신호를 빠르게 감지한 2개의 센서를 신호가 도달하는 시간 차이를 이용하여 계산한 거리 값 R_1 , R_2 와 두 센서 사이의 거리의 반인 d 를 사용하여 아래 수식을 이용하면 로봇에서 마커까지의 거리 r , 그리고 각도 θ 를 계산 할 수 있다. 여기서 d 는 Fig. 9에서와 같이 두 센서 사이의 거리의 반으로 60 mm이다.

기하학적 계산에 따르면 아래의 식이 성립된다.

$$\begin{aligned} R_1^2 &= h^2 + (d+a)^2 \\ R_2^2 &= h^2 + (d-a)^2 \\ r^2 &= h^2 + a^2 \end{aligned} \tag{3}$$

그러므로 마커까지의 거리 r 은 두 센서 간 거리 값과 센서 간 위치 값으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$r = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2 - 2d^2}{2}} \tag{4}$$

$\sin\theta = \frac{a}{r}$ 이므로 각도 θ 는 앞에서 구한 거리를 사용하면 아래 식과 같이 결정된다.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{R_1^2 - R_2^2}{4 dr} \right) \tag{5}$$

위의 수식에서 R_1 과 R_2 를 4개의 초음파 센서 중 신호를 빠르게 감지된 두 센서 중에서 상대적으로 짧은 거리를 R_2 , 긴 거리를 R_1 이라 놓으면 Fig. 9의 모든 구역에서 위의 수식으로 로봇과 마커사이의 거리 r 과, 각도 θ 를 구할 수 있고, 거리와 각도 값을 알게 됨으로써 사용자의 위치를 인식 할 수 있다. 여기서 구한 거리 r 과, 각도 θ 는 로봇과 사람에 착용된 마커간의 일정한 거리와 각도를 유지하는 목표 값으로 적용되어 로봇을 제어하게 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

마커가 로봇의 어느 방향에 있어도 마커의 위치를 인식 할 수

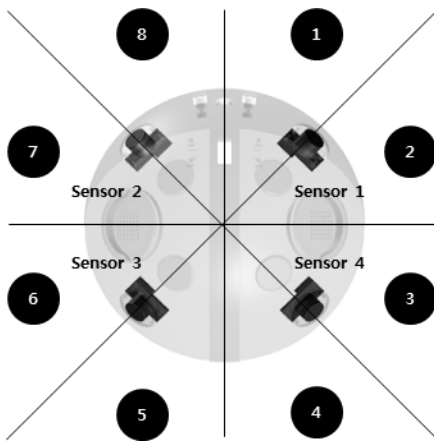


Fig. 8 Section partition for identifying the user location

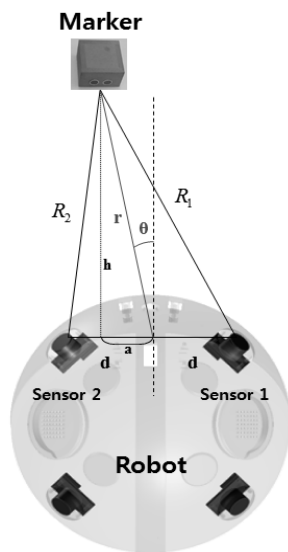


Fig. 9 Distance and angle of the marker

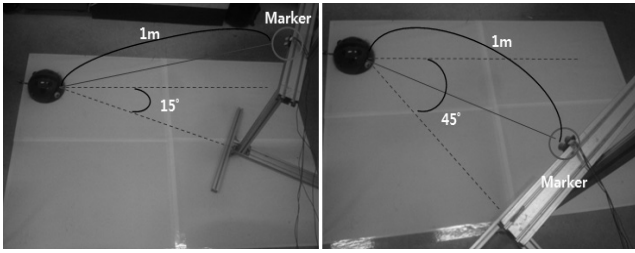


Fig. 10 Experimental apparatus for distance and angle measurement

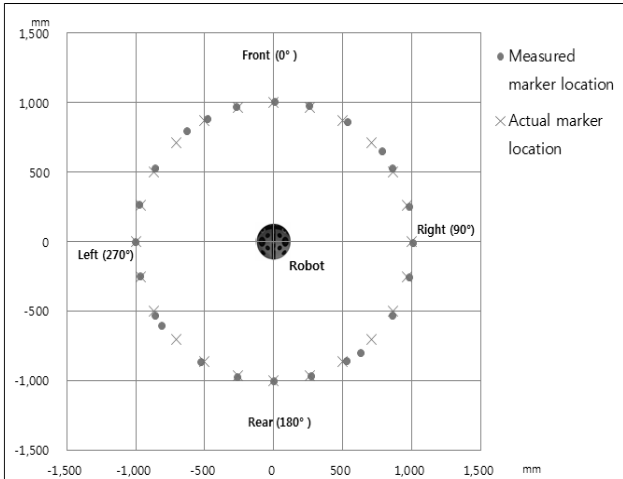


Fig. 11 Comparison of the measured marker position and the actual position

있는지 알아보기 위한 실험으로 로봇을 한자리에 고정 시켜 놓고, 마커의 위치를 변화시키며 데이터를 측정하여 측정된 거리와 각도가 실제 거리 및 각도와 일치하는지 확인해 보는 실험으로 실험 방법을 Fig. 10에 그림으로 나타내었다.

4.1 로봇과 마커의 높이는 같고 거리와 각도를 변화시킨 경우

로봇을 고정 시켜놓고 마커의 높이를 로봇과 같게 만든 상태에서 거리는 1,000 mm로 유지하고, 각도만 로봇의 정면을 0°로 기준하여 시계방향으로 15° 간격으로 변화 시키며 실험한 것으로 측정된 거리 값은 실제 거리 1,000 mm 보다 최소 3.3 mm, 최대 18.5 mm의 오차가 생겼다. 측정된 각도 값은 실제 각도인 0°, 90°, 180°, 270°에서 오차가 가장 작았고, 45°, 135°, 225°, 315°에서 오차가 가장 컸다.

위의 실험 결과 로봇과 마커의 거리 정보는 마커의 위치에 큰 상관없이 없는 것으로 나타났다. 로봇과 마커의 각도는 로봇의 정면에서 30° 이후부터 오차가 조금씩 커지다가 대각선인 45°에서 최대가 되고 다시 90°로 갈수록 오차가 적어진다는 것을 알 수 있었다. Fig. 11에 마커의 실제 위치와 측정된 마커의 위치를 비교하여 그림에 나타내었다.

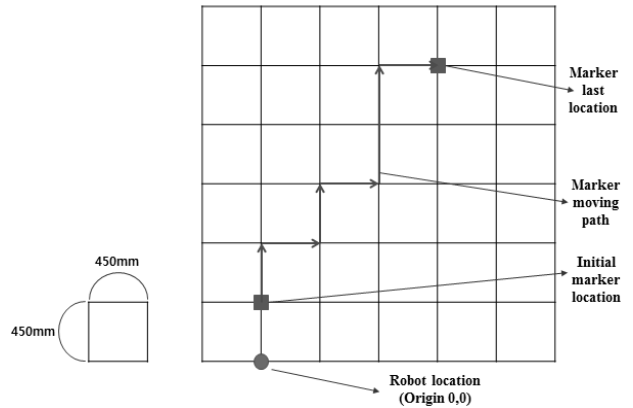


Fig. 12 Experiments on the recognition of the moving marker

마커가 로봇의 대각선 방향에 있을 때, 거리오차는 생기지 않지만 각도오차로 인하여 2%내외의 위치오차를 가졌으며, 그 외의 위치에서는 정확한 위치를 인식 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

4.2 로봇과 마커의 거리와 각도는 같고 마커의 높이만 변화시킨 경우

로봇을 고정한 상태에서 마커의 수평 거리를 1,500 mm, 각도는 0°와 15°로 유지한 상태에서 마커의 높이만 300, 500, 800, 1,000 mm로 변화시키며 실험한 결과 로봇과 마커 사이의 측정된 거리는 실제 로봇과 마커의 최단거리 값과 약 10 ~ 20 mm의 오차가 있었고, 측정된 각도는 실제 각도와 약 0.5°의 오차가 있었다. 실험의 결과 사용자가 마커를 소지하고 로봇의 어느 위치에 있더라도 로봇은 마커의 위치를 비교적 정확히 인식 할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제안한 센서의 위치 결정방법에 의하여 마커와 로봇간의 각도 및 높이에 상당한 견실성을 가짐을 확인하였으며 이를 기반으로 이동 물체에 대한 추적이나 거리 유지 등이 가능하게 되었다.

4.3 이동하는 마커의 위치 인식에 관한 실험 결과

첫 번째 실험 결과 로봇과 마커를 모두 고정 시켜 놓았을 경우에는 마커의 정확한 위치를 인식 하는데 큰 문제가 없었다. 하지만 마커를 소유한 사용자가 항상 제자리에만 있을 경우는 없기 때문에 사용자가 이동 중에도 로봇이 마커의 위치를 정확하게 인식 할 수 있는지를 알아보는 실험을 해 보았다.

Fig. 12에 실험 방법을 간단히 나타내었다. 한 면의 길이가 450 mm인 바닥의 타일 위에서 실험을 하였고, 한 지점에 로봇을 고정 시켜 놓고 마커를 초기 위치에서 최종 위치까지 화살표 방향을 따라 이동하면서 로봇과 마커 사이의 거리 및 각도를 측정하였다. 마

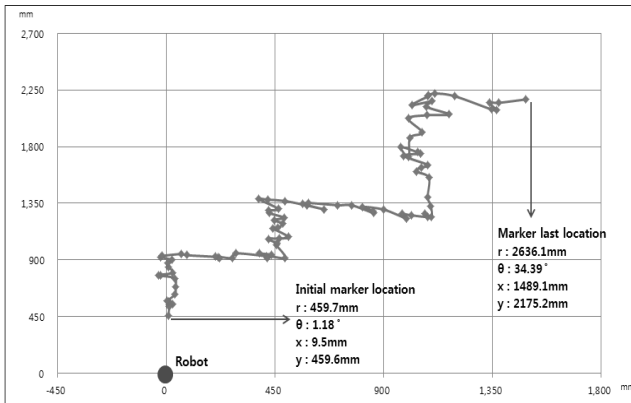


Fig. 13 Moving route of the marker

키는 10 cm/s의 속도로 이동하였으며 1초에 4번의 데이터를 로봇에 전송하였다.

로봇의 고정 위치를 원점(0, 0)으로 보았을 때 마커의 초기 위치는 (0, 450)로 거리 r 은 450 mm이고 각도 θ 는 0° 이며, 마커의 최종 위치는 (1350, 2250)으로 거리 r 은 2623.9 mm 이고 각도 θ 는 30.96° 이다.

Fig. 13은 위의 실험 방법과 같이 마커가 Fig. 12과 같은 이동경로를 따라 이동하는 동안 로봇에서 실시간으로 얻은 데이터를 이용하여 거리와 각도 값을 계산하였고, 계산된 거리와 각도 값을 토대로 마커의 이동경로를 그려 본 그림이다.

실험결과 Fig. 12의 이동경로와 비슷한 경로로 마커의 위치를 인식했다는 것을 알 수 있다. 측정된 마커의 첫째 위치(초기위치)와 최종 위치를 보면 초기 위치는 실제 위치와 거리 ± 10 mm, 각도는 $\pm 1^\circ$ 정도 오차가 생겼고, 최종 위치는 거리 15 mm, 각도 4° 정도의 오차가 생겼다.

로봇과 마커의 거리가 가깝고 각도가 30° 이내에서는 비교적 정확하게 이동경로를 따른 것을 보아 마커의 위치를 제대로 인식할 수 있다는 걸 알 수 있지만 로봇과 마커가 거리가 멀어지고 마커가 30° 를 벗어날수록 이동경로를 벗어난 것을 알 수 있다. 그러나 마커가 이동경로를 크게 벗어난 것이 아니기 때문에 마커가 움직이는 상황에서도 로봇이 마커의 위치를 인식하는데 지장을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

4.4 로봇의 사용자 추적 실험 결과

이 실험은 로봇이 사용자의 위치를 인식하고, 사용자를 추적하는지 알아보기 위한 실험으로, 움직이는 사용자와 일정 거리를 유지하면서 추적할 수 있는지 알아보기 위한 실험이다. 로봇이 사용자와 유지해야 할 각도와 거리는 로봇의 정면을 기준으로 각도는 $\pm 10^\circ$, 거리는 1 m를 유지할 수 있게 설정하였다.

Fig. 14를 보면 마커를 소지한 사용자를 로봇이 인식한 후 추적

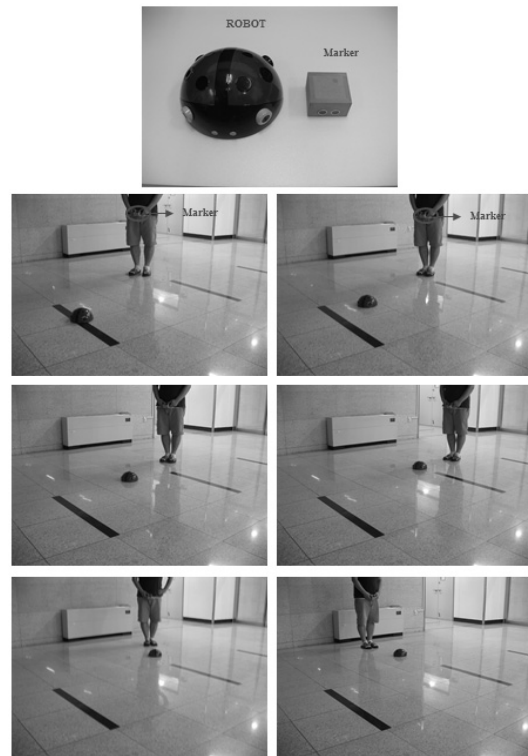


Fig. 14 Robot tracking to moving user

Table 2 Experimental results

Accessible Detection range	0 ~ 5 m	
Maintaining distance for tracking	1,000 mm	
Distance error for tracking	30 ~ 50 mm	
Maintaining angle for tracking	$\pm 10^\circ$	
Angle error for tracking	$\pm 2^\circ$	
Success rate for tracking (10 times trials each)	User in the accessible range and regardless of angle limitation	100%
	User in the accessible range and with keeping angle	90%
	User out of the accessible range and regardless of angle limitation	60%
	User out of the accessible range and with keeping angle	50%

한다. 그 후 사용자가 움직이면 로봇은 사용자가 움직인 위치를 재인식하고 추적하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 추적 한 후에는 일정 거리와 각도를 유지하는 것을 확인 할 수 있다.

Table 2는 실험결과를 표로 나타낸 것이다. 로봇의 사용자 인식

가능 범위는 최대 5m이다. 사용자를 추적하며 유지해야 하는 거리는 1 m, 유지해야 하는 각도는 $\pm 10^\circ$ 로 설정 했을 때 거리는 약 30 ~ 50 mm 정도, 각도는 약 $\pm 2^\circ$ 의 오차를 가졌다. 각각의 실험을 총 10번 하였을 때 사용자가 인식 가능 범위 안에 있을 경우에는 추적 성공률이 90%이상이었으며, 인식 범위 밖에 있을 경우 약 50% 정도의 성공률을 나타내었다.

5. 결론

어린이 교육용 로봇으로 무당벌레와 유사한 외형의 이륜구동 로봇을 설계 및 제작 하였고, 스마트폰을 이용하여 로봇을 쉽게 조종 하였고, 로봇의 카메라 영상을 스마트폰에서 모니터링 하는 것을 확인 하였다. 또한 사용자가 로봇에 부착된 센서가 반응하는 범위 내에서 어느 위치에 있어도 로봇은 사용자를 인식하고 추적하는 것을 확인 하였다.

또한 사용자를 인식하기 위해 초음파 센서와 RF 모듈이 장착된 마커를 제작하였고, 로봇에 초음파 센서 4개와 RF 모듈을 장착함으로써 사용자가 로봇의 어느 방향에 있어도 인식 가능한 것을 확인 하였으며, 높은 성공률로 사용자를 추적하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해 제안한 사용자 인식 및 추적 방법은 로봇의 소형화 및 제작 단가를 줄일 수 있는 방안이 될 것으로 사료된다. 사용자 인식 가능 범위를 늘리고 장애물이 있을 경우의 알고리즘을 추가 한다면 교육용 로봇뿐만 아니라 다양한 로봇에서 사용 가능 할 것이라고 예상된다.

후 기

이 연구는 대학교 교내 일반 과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Ko, W. H., Han, J. S., Ji, S. H., Nam, K. T., Lee, S. M., Shon, W. H., 2009, Development of Task Planner for u-Intelligent Educational Robots, ICROS-SICE Int. Joint Conf., Fukuoka, Japan, 5699-5702.
- [2] Oh, S.B., Han, S.H., 2008, A technology of obstacle avoidance of mobile robot, KSMTE, 17:6 132-145.
- [3] Kim, H., Cho, Y. J., Oh, S. R., 2005, CAMUS : A Middleware Supporting Context-aware Services for Network-based Robots, IEEE Workshop on Adv. Rob. and its Soc. Impacts (ARSO), Nagoya, Japan, 237-242.
- [4] Ko, S. H., 2010, Android Platform Trend, Comm. of The Korea Cont. Asso., 8:2 45-49.
- [5] Ko, N. Y., Kem, K. J., Kim, T. G., 2007, A Method for a Robot to Track a Moving Object Using Laser Range Finder, The Insti. of Elect. Engineers of Korea Ann. Autumn Conf., 30:2 767-68.
- [6] Fod, A., Howard, A., Matarić, M. J., 2002, A Laser-based People Tracker, In Proc. of the IEEE Inter. Conf. on Rob. and Auto. (ICRA), Washington DC, 3024-3029.
- [7] Balkenius, C., Kopp, L., 1996, Visual Tracking and Target Selection for Mobile Robots, In Jörg, K-W. (Ed.), Proceedings of EUROBOT'96, IEEE Press, New York, 166-171.
- [8] Papanikolopoulos, N., Khosla, P., Kanade, T., 1993, Visual Tracking of a Moving Target by a Camera Mounted on a Robot: A Combination of Control and Vision, IEEE Trans. on Robo. and Auto., 9:1 14-35.
- [9] Sabatini, A. M., Benedetto, O. D., 1994, Towards a Robust Methodology for Mobile Robot Localization Using Sonar, Proc. of the IEEE Inter. Conf. on Robot. and Auto., San Diego, CA, 3142-3147.
- [10] Moon, S. W., Kim, Y. J., Myeong, H. J., Kim, C. S., Cha, N. J., Kim, D. H., 2011, Implementation of Smartphone Environment Remote Control and Monitoring System for Android Operating System-based Robot Platform, The 8th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), Incheon, Republic of Korea, 211-214.
- [11] Android, 2012 <<http://developer.android.com/index.html>>
- [12] TMS320F28335, Retrieved November 2012, <<http://www.ti.com/product/tms320f28335>>
- [13] Myeong, H. J., Yoon, Y. H., Cha, N. J., Du, W. Y., Kim, D. H., 2012, User Tracking of an Educational Robot with Android Operating System Based Robot Platform, The 9th Int. Conf. on Ubiqu. Robots and Ambi. Intell. (URAI), Daejeon, Republic of Korea, 132-135.