

교육용 로봇을 위한 포토트랜지스터의 방사형 배열을 이용한 물체추적기능을 갖는 거리 센서 모듈 개발

Development of distance sensor module with object tracking function using radial arrangement of phototransistor for educational robot

조 세 형*★

Se-Hyoung Cho*★

Abstract

Radial distance sensors are widely used for surveying and autonomous navigation. It is necessary to train the operation principle of these sensors and how to apply them. Although commercialization of radial distance sensor continues to be cost-effective through lower performance, but it is still expensive for educational purposes. In this paper, we propose a distance sensor module with object tracking using radial array of low cost phototransistor which can be used for educational robot. The proposed method is able to detect the position of a fast moving object immediately by arranging the phototransistor in the range of 180 degrees and improve the sensing angle range and track the object by the sensor rotation using the servo motor. The scan speed of the proposed sensor is 50~200 times faster than the commercial distance sensor, thus it can be applied to a high performance educational mobile robot with 1ms control loop.

요 약

방사형 거리 센서는 측량 및 자율 주행에 널리 사용된다. 이러한 센서의 작동 원리 및 적용 방법의 교육이 필요하다. 상용 방사형 거리 센서의 저성능화를 통한 저가화가 계속되고 있지만, 교육 목적으로 사용하기에는 여전히 고가이다. 본 논문에서는 교육용 로봇에 활용할 수 있는 저가의 포토트랜지스터의 방사형 배열을 이용한 물체추적기능을 갖는 거리 센서 모듈을 제안한다. 제안하는 방법은 포토트랜지스터를 180도 범위의 배열로 배치하여 빠르게 움직이는 물체의 위치를 즉시 감지할 수 있으며 서보 모터를 사용한 센서 회전으로 감지 각도 범위를 향상하고 물체를 추적한다. 제안된 센서의 스캔 속도는 상업용 거리 센서보다 50~200배 빨라서 1ms의 제어 루프를 가지는 고성능의 교육용 모바일 로봇에 적용할 수 있다.

Key words : Distance sensor, Infrared sensor, Radial sensor, Tracking sensor, Mobile robot, Educational robot

동영상은 <https://youtu.be/A5YW2DivRuM>에서 확인할 수 있다.

* Division of Mechanical and ICT Convergence Engineering, Sunmoon University

★ Corresponding author

E-mail : chosh@sunmoon.ac.kr, Tel : +82-41-530-2316

※ Acknowledgment

Manuscript received Oct. 23, 2018; revised Nov. 6, 2018; accepted Nov. 7, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

자율주행 및 무인 자동차를 위한 지도 작성과 위치 인식을 위해서 방사형 거리 센서가 핵심 부품으로 활용되고 있다. 이러한 센서는 우주탐사, 지구 지형 및 환경 관측을 위한 항공 산업에도 활용도가 높다[1], [2]. 또한 ICT 기술과의 융복합을 통해 로봇, 드론, 공장 자동화 및 무인화, 측량/영상 정보처리 산업 등 다양한 분야에서 활용할 수 있다. 앞으로 저가의 소형 제품을 양산함으로써 라이다와 같은 방사형 거리 센서의 시장 확대가 가능할 것으로 전망된다. 최근 스마트카 산업에 관심이 높아짐에 따라 방사형 거리 센서에 대한 관심과 규모가 커지는 추세이며, 이에 따라 센서의 원리와 응용 방법에 대한 이론적인 교육에 대한 수요가 증가하고 있다.

그러나 이러한 센서의 교육 및 실습을 위한 환경을 구축하는 데는 큰 경제적인 어려움이 따른다. 모바일 라이다의 경우 현재 상용화된 제품이 많지 않고, 일부 기업이 기술을 독점하고 있어 가격대가 높은 편이다. 최근에는 상용화를 위해 저가격화 및 소형화에 집중한 기술개발을 통해 대량 생산이 가능한 제품이 개발되고 있지만, 양산 단계는 아니며 교육용으로 활용하기에는 여전히 고가이다. 따라서 대학의 공학 실습교육에서 이러한 애로에 대한 대안 모색이 필요하다[3], [4].

본 연구에서는 교육용 수준으로 성능을 낮춘 저가의 거리 센서 개발 요구에 대응하고자 적외선 센서를 이용한 거리측정 센서 모듈을 개발하고 응용 로봇을 제작하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 센서는 포토트랜지스터를 방사상으로 배열하여 넓은 각도 범위에서 물체를 즉시 탐지할 수 있으며 모터를 이용한 센서 회전으로 물체를 추적하여 탐지 각도 범위를 향상한다. 개발한 센서 모듈은 빠르게 움직이는 물체를 추종하는 마스터-슬레이브 트래킹 로봇에 적용할 수 있다. 그 결과 제시된 센서가 고가의 상용 거리 센서의 동작 원리와 응용 방법을 일부 실습하는 데 유용함을 확인한다. 제안한 센서는 30~40cm 이내의 거리를 측정할 수 있으며 ± 180 도 범위에서 물체를 추적할 수 있다. 스캐닝 속도는 상용 거리 센서보다 50~200배 빨라서 1ms의 제어 루프를 가지는 실시간 애플리케이션에 적용할 수 있다.

본론의 1장에서는 포토트랜지스터를 비롯한 저가 1차원 거리 센서의 사양을 조사하여 교육용 로

봇에 적용하기 적합한 특성이 어떤 것인지 알아본다. 2장에서는 포토트랜지스터의 특성을 알아보고 여러 개의 포토트랜지스터를 이용할 때 편차를 보상하여 균일한 특성을 얻는 방법을 소개한다. 3장에서는 포토트랜지스터를 방사형으로 배열하여 물체의 방향과 거리를 감지하는 방법과 실험 결과를 소개한다. 4장에서는 모터를 이용한 센서 회전으로 물체를 추적하여 감지 각도 범위를 향상하는 방법과 실험 결과를 소개한다. 5장에서는 개발한 센서를 마스터-슬레이브 모바일 로봇에 적용하여 물체 추적 기능을 갖는 거리 센서의 효용성을 보인다.

II. 본론

1. 교육용 로봇에 적합한 거리 센서 조사

본 장에서는 교육용 로봇에서 필요로 하는 거리 센서 모듈의 설계 조건을 알아보고 여기에 사용하기 적합한 1차원 거리 센서를 조사한다.

라인트레이서와 같은 모바일 로봇은 진입 장벽이 낮아 공학 교육에서 입문자에게 제시하기 좋은 주제이다. 또한 전공자의 모터, 로봇의 실시간 제어 실습 차원에서도 시간을 겨루는 경주용 로봇으로 제작되고 있다. 또한 라인트레이서 플랫폼은 실내 측위, 자율주행에 필요한 센서 사용과 알고리즘 작성을 실습할 수 있는 좋은 시험대이다. 최근에는 자율주행 기술과 관련하여 물체 위치 인식 및 지도 작성, 선행 차량의 추적 등이 실습 과제로 제시되고 있어서 전방향의 물체를 감지할 수 있는 라이다와 같은 2차원 거리 센서의 활용 수요가 증가하고 있다. 상용 2차원 거리 센서는 교육용으로 사용하기에는 고가이므로 방사형 거리 센서를 처음부터 교육에 사용할 목적으로 저성능, 저가화 하면서도 상용제품보다 더 나은 실시간성을 만족하도록 개발할 필요가 있다.



Fig. 1. Low cost 1D displacement sensors(Phototransistor, Photodiode array, Ultrasonic, Laser ToF).

그림 1. 저가 1차원 거리 센서(포토트랜지스터, 포토다이오드 배열, 초음파, 레이저 ToF)

Table 1. Specification of low cost 1D displacement sensors. The phototransistor is inexpensive and fast in operation.

표 1. 저가 1차원 거리 센서의 사양. 포토트랜지스터는 저가이면서 동작이 빠르다.

| Sensor type | Cost | Simultaneous operation | Processing time | Maximum distance |
|------------------|------|------------------------|-----------------|------------------|
| Phototransistor | Low | Yes | 0.1ms | 30cm~1m |
| Photodiode array | High | Yes | 50ms | 30cm~5m |
| Ultrasonic | Low | No | >3ms (50cm) | 5m |
| Laser ToF | High | Yes | >20ms | 2m |

방사형 거리 센서 개발에는 1차원 거리 센서가 활용된다. 표 1에는 저가 1차원 거리 센서의 사양을 나타내었다. 초음파 센서와 포토트랜지스터는 단가가 낮아서 여러 개를 배열하여 모듈로 만들기에 가격 부담이 적다. 반면 포토다이오드 배열을 내장하는 적외선 PSD(Position Sensitive Device)와 레이저 ToF(Time of Flight) 센서는 단가가 상대적으로 높아서 여러 개를 사용하기 곤란하다. 동작 속도도 중요한 요소이다. 초음파 센서는 한 번에 한 개만 동작해야 하므로 여러 개를 사용하면 오래 걸리게 된다. 적외선 PSD와 레이저 ToF 센서는 여러 개를 동시 동작시킬 수 있지만 동작 시간이 길어서 실시간 제어 활용에 한계가 있다.

적외선 센서의 로봇 분야 응용 연구도 많이 이루어졌다. 모바일 로봇을 위한 적외선 거리 센서의 특성 시험[6], 적외선 센서를 이용한 모바일 로봇 장애물 회피 제어[7], 모바일 로봇의 실내 위치 인식[8], [9], 지도 작성[10] 연구가 진행되었는데 모두 PSD를 이용한 것이다. PSD는 포토다이오드 배열에 맞힌 상의 위치를 검출하여 삼각측량하므로 반사광의 세기에 둔감하지만 처리를 위해 마이크로컨트롤러가 내장되므로 상대적으로 비싸고 속도가 느리다는 단점이 있다.

반면 포토트랜지스터로 적외선 반사광 세기를 감지하는 방식은 빠르지만 거리 측정에 쓰기에 불편하다. 물체와의 거리뿐만 아니라 표면 반사율에도 영향을 받기 때문이다. 그러나 물체의 반사 특성을 미리 알면 거리 측정 수단으로 활용할 수 있다. 따라서 저가, 고속이라는 장점을 살려서 교육 환경에 한해서 거리 센서로 활용하여 지도 작성, 위치 측량, 자율주행 로봇의 실습이 가능하다.

방사형 센서의 동작 방식도 고려할 중요한 요소이다. 대표적인 방사형 거리 센서로는 라이다가 있

다. 기존에는 단일 1차원 거리 센서를 기구적 회전하는 방식이었으나 근래에는 일정 시야각을 갖는 구조로 생산되고 있다. 또한 라이다의 수광 센서 및 프로세서들을 칩으로 집적화하여 소형화를 위한 제품 개발이 이루어지고 있다. 제작 방식은 모터 기반의 기계적 스캐닝 방식에서 MEMS 기술을 이용한 솔리드 스테이트 방식으로 변화하고 있다. 모터 기반의 센서는 장애물이나 지형 및 지물에 따라 흔들림이 발생하므로 고장 확률이 높다. 이에 반해 MEMS 방식은 반도체를 사용해 크기가 작아지고 기계적 회전방식이 아니어서 동작이 안정적이다. 근래에는 감지 각도 범위를 넓히기 위해 솔리드 스테이트 방식과 기계적 스캐닝 방식의 혼합 사용을 고려해 개발 중이다[5].

제한하는 센서 모듈은 저가의 포토트랜지스터를 이용하였다. 또한 고성능 라인트레이서와 같은 실시간 제어 모바일 로봇 플랫폼에 적용할 수 있도록 1.25kHz의 스캔 속도를 달성하였다. 구조는 포토트랜지스터의 방사형 배열을 서보모터로 회전하도록 하였다. 방사형 배열이 바라보는 방향에 물체가 존재할 때는 방향과 거리가 즉시 탐지된다. 이 물체가 다른 방향으로 이동할 때에는 센서를 회전하여 측정 방향을 바꾸어 트래킹 한다.

2. 적외선 센서의 특성

본 장에서는 적외선 센서의 특성을 알아보고 여러 개의 적외선 센서를 이용할 때 센서 간의 편차를 보상하는 방법을 소개한다.

적외선 센서는 그림 2와 같이 적외선 발광 다이오드와 포토트랜지스터로 이루어진다. 그림 5는 적외선 센서의 거리-반사광 특성을 보여준다. 물체가 센서에서 멀어질수록 반사광의 세기는 급격히 줄어든다. 최대 감지 거리는 계측 회로 노이즈의 크기에 따라 결정된다.

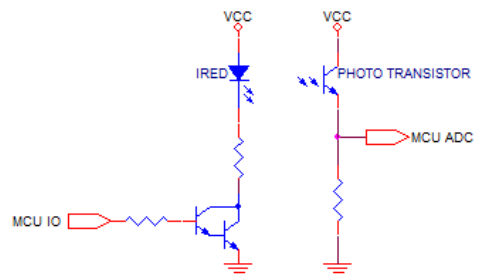


Fig. 2. Schematic of the light emitting part and the light receiving part of the infrared sensor module.

그림 2. 적외선 센서 모듈의 발광부와 수광부 회로도

적외선 센서는 적외선을 일정 범위에 방사하고 물체에 반사된 빛의 세기를 측정한다. 물체의 형상이 복잡하면 물체를 어느 방향에서 보는지에 따라 반사광 세기가 달라서 거리로 환산할 수 없다. 따라서 물체는 외형과 반사 특성이 전방향에 걸쳐 일정한 물체여야 한다. 본 논문에서는 그림 3, 7과 같은 종이컵 형태 물체를 대상으로 센서를 개발하고 성능을 시험하였다.

라이다, 레이저 ToF, 적외선 PSD는 레이저로 물체 위의 한 점까지의 거리를 측정하므로 물체의 세부 형상을 알 수 있다[11]-[13]. 반면 포토트랜지스터는 적외선을 일정 범위에 방사하고 물체에 반사된 빛의 세기를 측정하므로 센서가 물체의 가운데를 바라볼 때와 가장자리를 바라볼 때 반사광의 세기가 다르게 된다. 그림 3은 서보모터로 포토트랜지스터가 물체를 바라보는 각도를 변화시키면서 출력을 확인하기 위한 시험 환경을 보여주며 그림 4와 같은 결과를 얻었다.

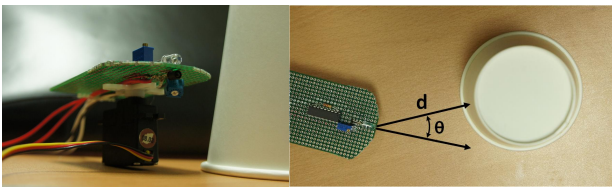


Fig. 3. Experimental environment to check output of infrared sensor by measurement distance and direction.
 그림 3. 적외선 센서의 출력을 측정 거리, 방향별로 확인하기 위한 실험 환경

적외선 센서가 물체의 가운데를 볼 때 반사광이 세고 주변부로 향할수록 약해졌다. 또한 거리가 멀어질수록 반사광의 세기가 약해졌는데 약 30~40cm 떨어진 지점에서부터 노이즈의 크기와 비슷하게 되어 측정 한계인 것으로 파악되었다.

가까이 있는 물체의 가장자리를 바라볼 때와 먼 곳에 있는 물체의 중앙을 바라볼 때 같은 밝기가 측정될 수 있으므로 적외선 센서 한 개로는 물체의 방향과 거리를 동시에 알 수 없다. 따라서 여러 개의 적외선 센서를 방사형으로 배열하고 반사광 세기 정보를 융합해야 방향과 거리를 알 수 있다. 본 논문의 센서 모듈은 방향별로 거리를 측정할 수 있으므로 2차원 거리 센서로 볼 수 있다. 하지만 여러 개의 적외선 센서 값을 융합해야만 가능하다는 점과 반사 특성을 미리 시험한 물체여야 한다는 점이

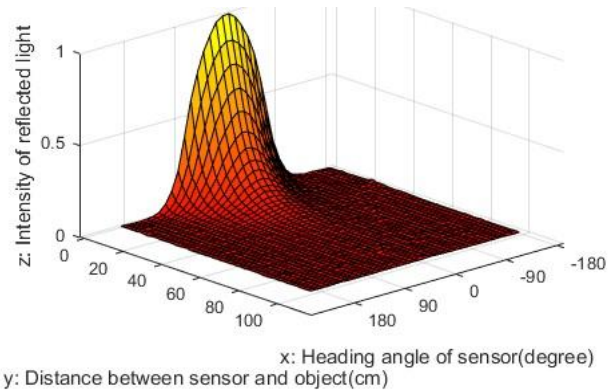


Fig. 4. Reflected light intensity according to direction and distance of object. The x and y axes are direction and distance, respectively, and the z axis is the intensity of the reflected light.

그림 4. 물체의 방향과 거리에 따른 반사광 세기. x축과 y축은 각각 방향과 거리이며 z축은 반사광 세기이다.

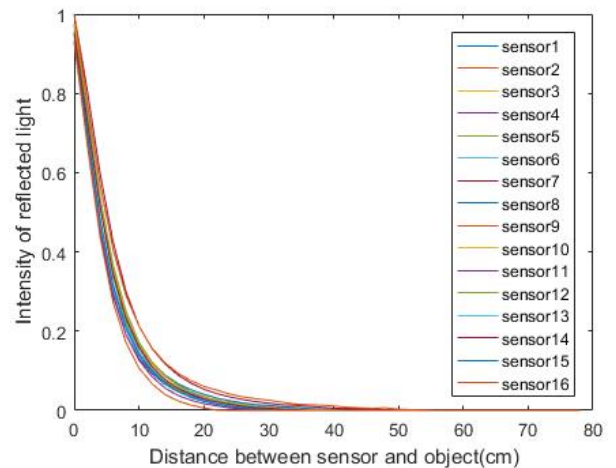


Fig. 5. Output of phototransistor according to measurement distance. There is a deviation for each sensor.

그림 5. 측정거리에 따른 포토트랜지스터의 출력. 센서마다 편차가 존재한다.

상용 2차원 거리 센서와 다르다.

그림 5는 방사형으로 배열한 16개 센서의 거리-반사광 특성이다. 각각의 센서에 대해 물체의 중앙을 바라보게 하여 특성 곡선을 얻었다. 센서 간에 편차가 있는데 적외선 발광 다이오드, 포토트랜지스터의 특성, 설치 위치 및 각도, 샘플링 회로의 이득, 임피던스에 편차가 있는 것이다. 편차를 보정해야 물체의 방향을 정확하게 감지할 수 있고 측정된 거리도 방향에 따라 균일하게 된다. 실험에 사용한 센서 중에 감지 거리가 가장 긴 센서는 80cm, 짧은 센서는 30cm가량이였다. 이중 감지거리가 가장 짧은 센서를 기준으로 특성을 정규화하였다.

$$d_i = D_i(r_i) \quad (1)$$

$$r'_i = D_j^{-1}(d_i) \quad (2)$$

$D_i()$ 는 i 번째 센서의 반사광 세기-거리 특성함수, r_i 는 i 번째 센서에 들어온 반사광 세기, d_i 는 특성함수로부터 얻은 거리, $D_j^{-1}()$ 는 j 번째 센서의 특성함수의 역함수, r'_i 는 j 번째 센서가 d_i 만큼의 거리를 감지하는 반사광 세기이다. j 는 감지 거리가 가장 짧은 센서의 인덱스이다. $D_i()$ 는 센서마다 룩업테이블을 작성한다. 그림 7과 같이 센서를 이동 로봇에 부착하여 거리별 특성을 얻었다.

3. 적외선 거리 센서의 방사형 배치

이전 장에서는 개별 포토트랜지스터의 성능을 시험하였다. 본 장에서는 포토트랜지스터를 방사형 배열하고 출력을 융합하여 물체의 방향과 거리를 얻는 방법과 실험 결과를 소개한다.

그림 6, 7, 15와 같이 센서 사이 각도는 12° 로 하여 16개 센서를 180° 로 배치하였다. 사용한 적외선 센서는 12° 근처에서 감도가 급격히 줄어들므로 인접 센서 간에 탐지 각도 범위를 중첩하여 불감대가 최소화되도록 하였다. 센서는 10us 동안 적외선을 방사한 후 반사광을 감지하고 나머지 시간 동안 센서를 다시 휴지상태로 만든다. 16개의 센서는 아날로그 멀티플렉서를 이용하여 연결하였고 100us마다 2개가 동시 동작하도록 하여 모든 센서가 한 번씩 동작하는데 800us가 걸린다. 이는 상용 라이다의 스캔 주기보다 50 ~ 200배 빠르며 1ms 내외의 제어 주기를 가지는 고성능 로봇 시스템에서도 사용 가능한 속도이다.

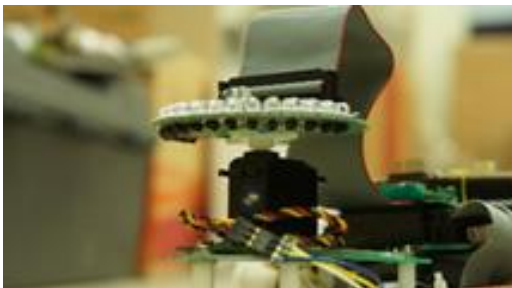


Fig. 6. Radial distance sensor module using radial arrangement of phototransistor and servo motor.

그림 6. 포토트랜지스터의 방사형 배열과 서보모터를 이용한 방사형 거리 센서 모듈



Fig. 7. Educational robot using radial distance sensor module.

The sensor should be calibrated to the given object. 그림 7. 방사형 거리 센서 모듈을 이용한 교육용 응용 로봇. 센서는 주어진 물체에 맞게 캘리브레이션 되어야 한다.

적외선 센서를 방사형으로 배치하면 물체를 향한 센서 몇 개가 물체에 반사된 적외선을 감지한다. 물체를 정면으로 바라보는 센서는 강한 적외선을 감지하고 비스듬하게 바라보는 센서는 약한 적외선을 감지한다. 여러 센서가 감지한 결과를 융합하여 물체의 방향과 거리를 알아내기 위해서 다음 식을 사용하였다.

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_i \cdot r'_i}{\sum_{i=1}^N r'_i + \epsilon} \quad (3)$$

$$d = D\left(\sum_{i=1}^N r'_i\right) \quad (4)$$

θ 는 물체가 존재하는 방향, N 은 적외선 센서의 개수, θ_i 는 i 번째 센서가 바라보는 방향, r'_i 는 i 번째 센서가 감지한 반사광의 정규화된 세기이다. ϵ 은 센서가 감지한 반사광의 세기가 0일 때 각도 값이 0° 가 나오게 한다. d 는 센서로부터 물체까지의 거리, $D()$ 는 센서들이 감지한 반사광 세기의 합계와 물체까지의 거리 사이의 관계를 나타내는 특성함수이다. 이는 룩업테이블을 작성하였다.

그림 8은 물체까지의 실제 방향과 거리에 따라서 센서가 감지한 방향을 보여준다. x축과 y축은 각각 물체가 존재하는 방향과 떨어진 거리의 실제값이며 z축은 센서가 감지한 물체의 방향이다. 거리 35cm 이내에서는 각도가 잘 감지되었다. 그림 9는 각도 측정 오차를 보여준다. 거리가 증가할수록 오차가 커졌지만 35cm 이내에서 $\pm 2^\circ$ 이내의 오차를 보였다. 물체의 방향이 $\pm 90^\circ$ 근처일 때에는 물체 일부분이 센서의 측정 각도 범위 밖으로 나가서 오차가 크게 나왔다.

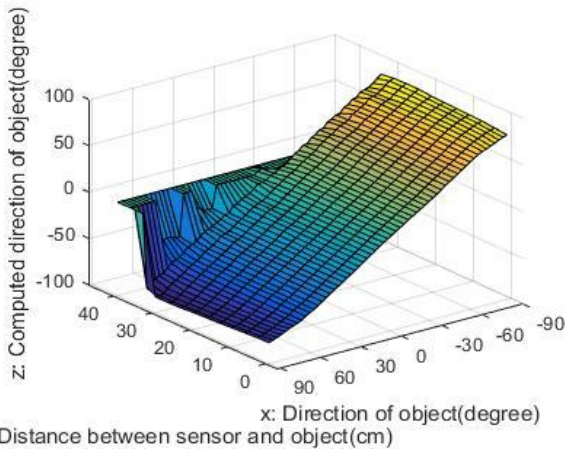


Fig. 8. Recognizing direction of object of radial sensor. The x and y axes are the actual values of the distances from the direction of the object, respectively, and the z axis is the direction of the object sensed by the sensor. It detects the angle correctly up to 35cm.

그림 8. 방사형 센서의 물체의 방향 인식. x축과 y축은 각각 물체가 존재하는 방향과 떨어진 거리의 실제값이며 z축은 센서가 감지한 물체의 방향이다. 35cm 까지 각도를 제대로 감지한다.

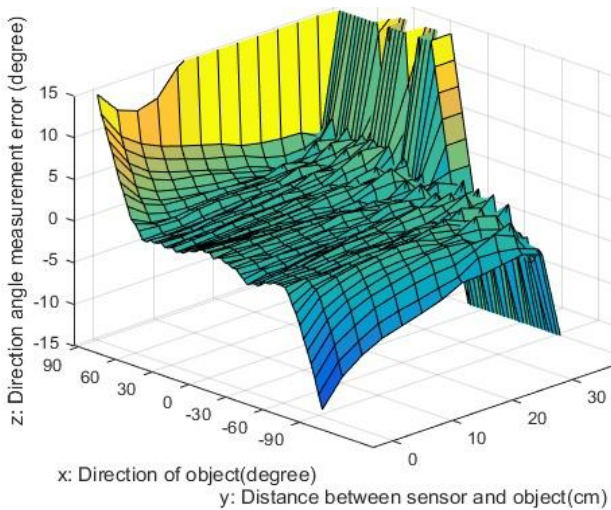


Fig. 9. Directional recognition of objects in a radial sensor. The x-axis and the y-axis are the actual values of the direction and distance at which the object exists, respectively, and the z-axis is the directional error of the sensor. It was recognized that the angular error was within 2° to the sensor's measuring range of 35cm. The error around 90° is due to a part of the object going out of the sensor's angular range of measurement.

그림 9. 방사형 센서의 물체의 방향 인식. x축과 y축은 각각 물체가 존재하는 방향, 떨어진 거리의 실제값이며 z축은 센서의 방향 오차이다. 센서의 측정범위인 35cm까지 각도 오차 2° 이내로 인식되었다. 90° 근처의 오차는 물체 일부가 센서의 측정 각도 범위 밖으로 나가서 생긴 것이다.

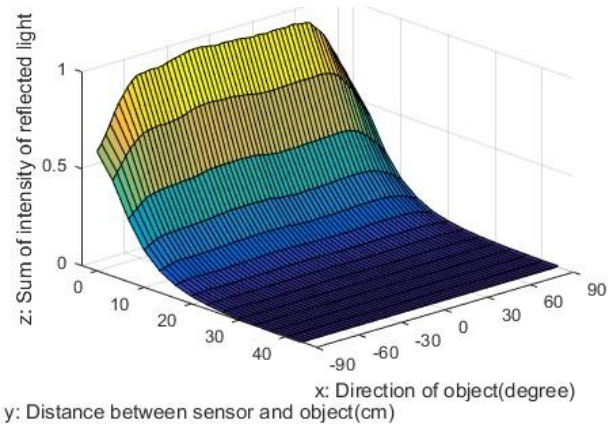


Fig. 10. Recognition of reflected light intensity of a radial sensor object. The x-axis and the y-axis are the actual values of the distance in the direction in which the object exists, and the z-axis is the sum of the intensity of the reflected light measured by each sensor.

그림 10. 방사형 센서의 물체의 반사광량 인식. x축과 y축은 각각 물체가 존재하는 방향, 떨어진 거리의 실제값이며 z축은 각각의 센서에 측정된 반사광 세기의 합계이다.

그림 10은 물체까지의 거리와 방향에 따라서 반사광 세기가 어떻게 달라지는지를 보여준다. x축과 y축은 각각 물체가 존재하는 방향과 떨어진 거리의 실제값이며 z축은 16개 센서가 측정된 반사광 세기의 합이다. 30~40cm 근처에서 세기가 0에 가까워지므로 측정 거리 한계이다. 그리고 거리-반사광 특성이 각도에 따라서 균일하게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이는 개별 센서의 거리-반사광 특성을 정규화하여 편차를 보상했기 때문이다. ±90° 근처의 오차는 물체 일부가 센서의 측정 각도 범위 밖으로 나가서 생긴 것이다. 이는 방사형 배열의 양 끝단에 있는 센서에 반사광이 들어올 때 물체가 센서의 탐지 각도 범위를 벗어나서 신뢰할 수 없는 측정으로 간주하면 된다.

그림 11, 12는 센서 주위를 움직이는 물체를 탐지한 결과를 보인다. 물체는 반지름 40cm의 원주위를 왕복하였다. 그림 11은 물체가 존재하는 방향과 떨어진 거리를 보여준다. 그래프에 나타난 거리는 센서가 측정한 거리에 방사형 센서와 원통형 물체의 반지름을 더한 값이다.

그림 12는 센서가 탐지한 물체의 방향과 거리로부터 물체의 위치를 직교좌표에 나타낸 것이다. 방사형 센서는 좌표계의 원점에 위치한다. 물체는 원주를 따라 이동하였다. 원주의 일부에서는 측정

된 거리가 실제 거리보다 약간 멀게 나왔는데 캘리브레이션 후에 일부 적외선 센서와 회로의 특성이 동작 시 발생하는 열에 의해 변화했기 때문이다. 센서의 탐지범위 한계인 $\pm 90^\circ$ 부근에서는 물체의 일부가 탐지 범위 밖으로 나가서 센서가 받는 반사광의 합계 값이 작아져서 거리가 먼 것으로 잘못 인식한 것이다.

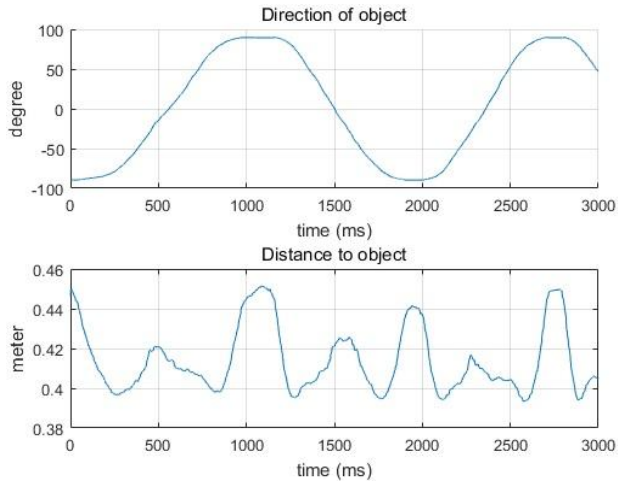


Fig. 11. The direction and distance trajectory of the object detected by the radial distance sensor.

그림 11. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 방향과 거리 궤적

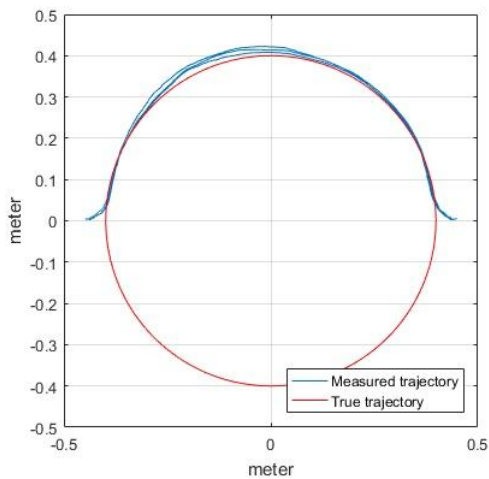


Fig. 12. Shows the trajectory of the object detected by the radial distance sensor on the Cartesian coordinates. There are angles where the distance is incorrect.

그림 12. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 궤적을 직교 좌표 상에 나타냄. 거리가 부정확하게 나오는 각도가 있다.

그림 13, 14는 물체를 사각형 모양 경로를 따라 반복해서 이동하며 얻은 그래프이다. 직교 좌표상

에서 모양이 약간 일그러진 이유는 센서의 특성이 캘리브레이션 후에 변했기 때문이다. 반복한 경로가 겹쳐서 보이는 것으로 보아 센서의 반복성은 우수한 것으로 볼 수 있다.

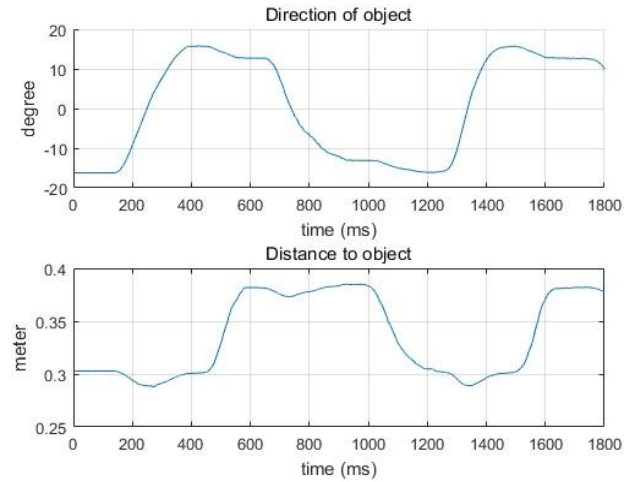


Fig. 13. The direction and distance trajectory of the object detected by the radial distance sensor.

그림 13. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 방향과 거리 궤적

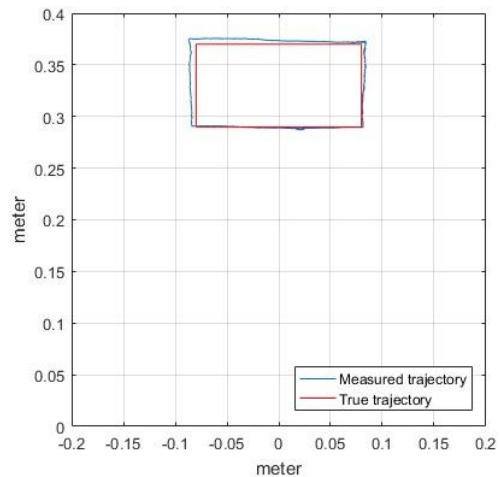


Fig. 14. Shows the trajectory of the object detected by the radial distance sensor on the Cartesian coordinates. Some areas of the rectangle are distorted.

그림 14. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 궤적을 직교좌표 상에 나타냄. 사각형의 일부 영역이 왜곡되었다.

4. 모터를 이용한 센서 회전

본 장에서는 모터를 이용한 센서 회전으로 물체를 추적하여 감지 각도 범위를 향상하는 방법과 실험 결과를 소개한다.

개발한 센서는 모터를 이용하여 바라보는 방향을 바꿀 수 있도록 하였다. 이렇게 하면 센서가 관심

대상인 물체를 계속 추적할 수 있으며 180°밖에 안 되는 센서의 측정 각도 범위가 더욱 넓어지게 된다. 그리고 캘리브레이션 후에도 센서 별로 조금씩 존재하는 편차의 효과를 줄이기 위하여 중앙의 센서가 측정 대상 물체를 항상 바라보도록 할 수 있다. 그림 15는 서보모터로 회전시킬 수 있는 방사형 센서 모듈과 이를 모바일 로봇에 장착한 구조를 보여준다. 물체가 느리게 이동할 때는 서보모터의 움직임에 의해서 센서 배열의 가운데 부분이 물체를 트래킹한다. 물체의 속도가 빨라서 서보모터가 따라가지 못하거나 서보모터의 동작 한계 각도 밖으로 나갔을 때에는 센서 배열의 측정범위로 물체를 추적할 수 있다. 서보모터의 가동범위는 ±90°이고 센서 배열의 측정 범위는 ±180°이므로 서보모터로 회전하는 센서 배열은 ±180°의 인식 범위를 달성할 수 있다.

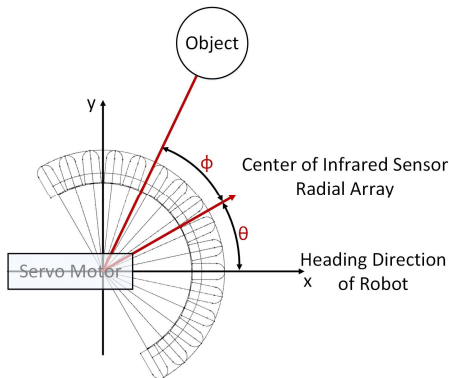


Fig. 15. Operation structure of rotatable radial sensor module.
그림 15. 회전 가능한 방사형 센서 모듈의 동작 구조

θ 는 모터를 이용해서 센서 모듈을 돌린 각도이며 ϕ 는 센서 모듈이 물체 또는 관심 방향을 탐지한 각도이다. $\theta + \phi$ 는 모바일 로봇에 대한 물체의 방향을 나타내므로 모바일 로봇 제어 및 지도 작성 등에 활용하면 된다. 모터는 PID 제어를 통하여 센서 모듈의 중심이 관심 대상을 향하도록, 다시 말해서 $\phi = 0$ 이 되도록 제어한다. 이렇게 하면 관심 대상이 모터의 회전속도보다 빠르게 움직여서 센서 중심을 벗어나도 인접 센서가 대상을 계속해서 추적할 수 있으며 시간이 잠시 지나면 센서 모듈의 중심이 다시 대상을 향하므로 그 주변을 안정적으로 감지할 수 있다. 그림 16은 물체 추적 기능을 갖는 방사형 센서 모듈과 이를 이용한 모바일 로봇의 제어 구조를 보여준다.

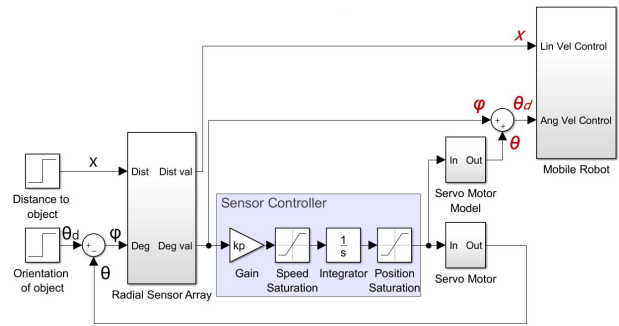


Fig. 16. Radial sensor module with object tracking and control structure of mobile robot using it.
그림 16. 물체 추적 기능을 갖는 방사형 센서 모듈과 이를 이용한 모바일 로봇의 제어 구조



Fig. 17. Tracking control of radial range sensor module.
그림 17. 방사형 센서 모듈의 트래킹 제어

그림 17은 움직이는 물체를 향해서 센서 모듈이 방향을 바꾸는 모습을 보여준다. 그림 18의 $\theta + \phi$ 는 센서 모듈이 탐지한 물체의 방향을 나타낸다. 이는 서보모터의 가동범위인 ±90° 밖으로 물체가 이동할 때 방사형 센서 배열의 탐지범위를 이용하여 물체를 추적하는 것을 보여준다. 그림 19에서 볼 때는 물체의 경로가 원점에 위치한 센서의 바로 옆을 지난다. 이는 서보모터를 움직여야만 물체를 인식할 수 있는 위치이다.

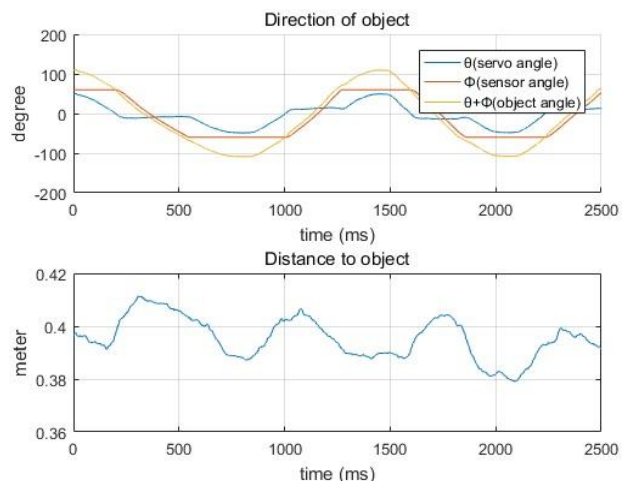


Fig. 18. The direction and distance trajectory of the object detected by the radial distance sensor. If the object moves outside the servomotor operating range, continue tracking to the measuring range of the radial sensor.
그림 18. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 방향과 거리 궤적. 물체가 서보모터 가동범위 밖으로 이동하면 방사형 센서의 측정 범위로 추적을 계속한다.

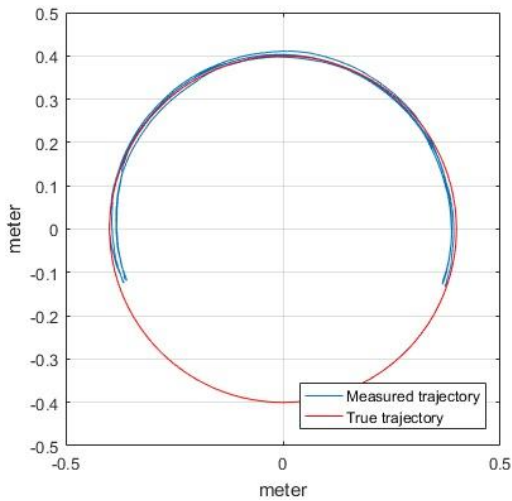


Fig. 19. Shows the trajectory of the object detected by the radial distance sensor on the Cartesian coordinates. Unlike Fig. 12, object tracking using servo motor has no distance distortion.

그림 19. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 궤적을 직교 좌표 상에 나타냄. 그림 12와 달리 서보모터를 이용한 물체 추적은 거리 왜곡이 없다.

그림 20, 21에서는 물체가 사각형을 그리면서 움직이는 동안 서보모터의 가동 범위를 벗어났다가 들어온다. 그림 21의 결과는 방사형 센서 배열의 중앙 근처를 주로 사용하여 추적하였으므로 방사형 센서 배열의 전체 범위를 사용하여 인식한 그림 14와 달리 궤적의 왜곡이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

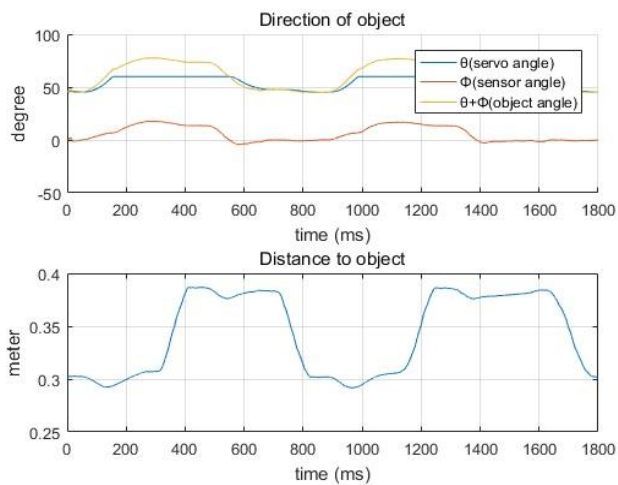


Fig. 20. The direction and distance trajectory of the object detected by the radial distance sensor.

그림 20. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 방향과 거리 궤적

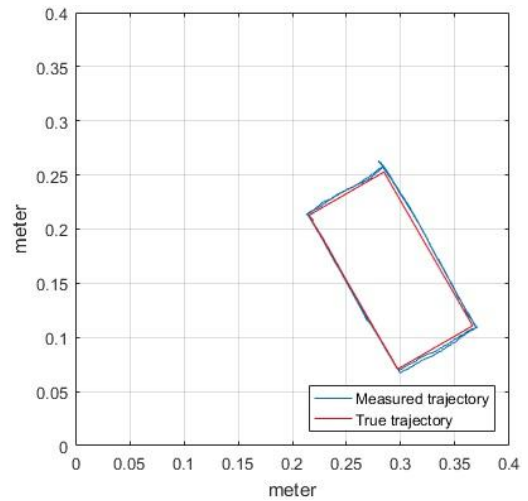


Fig. 21. Shows the trajectory of the object detected by the radial distance sensor on the Cartesian coordinates. Unlike Fig. 14, object tracking using a servo motor has no distortion.

그림 21. 방사형 거리 센서에 감지된 물체의 궤적을 직교 좌표 상에 나타냄. 그림 14와 달리 서보모터를 이용한 물체 추적은 왜곡이 없다.

5. 교육용 로봇에 적용한 방사형 센서 모듈

본 장에서는 개발한 센서를 마스터-슬레이브 모바일 로봇에 적용하여 효용성을 보인다.

무인 이동체의 자율주행기술 중 하나로 이동체 경로 추종 기술[14]이 많이 연구되고 있고 이와 관련한 학생 실습 과제도 수행되고 있다. 본 연구에서 개발한 센서를 그림 22와 같은 마스터-슬레이브 트래킹 로봇에 적용하였다. 마스터 로봇은 라인 트래커 로봇에 적외선 센서의 반사 스크린을 장착하고 슬레이브 로봇은 개발한 방사형 적외선 센서를 장착하여 마스터 로봇을 뒤따르도록 하였다. 후행 로봇이 선행 로봇을 그대로 향해서 가면 급한 회전에서 서로 부딪히게 된다. 따라서 선행 로봇이 지나간 경로를 후행 로봇이 비슷하게 따라가게 하는 방법이 많이 연구되고 있다. 그림 22에서 선행 로봇의 궤적과 후행 로봇의 궤적이 대체로 일치하며 이러한 궤적을 만들어내기 위해서 후행 로봇의 센서가 그리는 궤적은 선행 로봇에 설치한 적외선 반사 스크린의 궤적보다 바깥쪽으로 나가도록 제어된다. 센서와 로봇의 제어에는 ST사의 ARM 프로세서인 STM32F4를 사용하였는데 아날로그 신호의 연속 샘플링이 가능하며 모터제어용 주변장치도 갖추고 있다. 또한 1ms의 고성능 실시간 로봇 제어가 가능한 성능을 보이며 기존에 널리 사용되

는 아두이노와 같은 교육용 키트로 보급되기도 하므로 활용도가 높다고 할 수 있다.

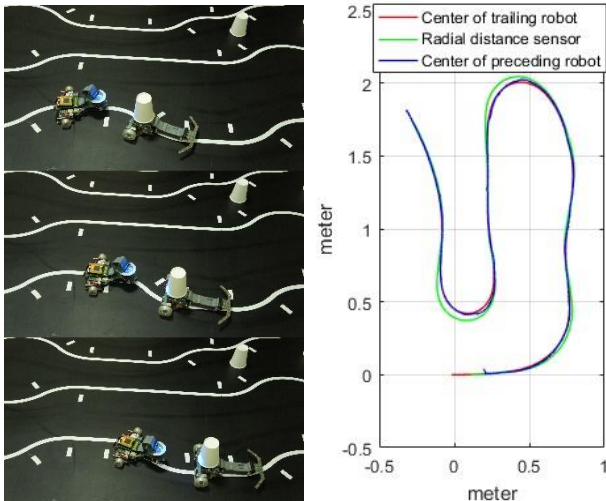


Fig. 22. Object position recognition and movement path tracking robot using radial infrared sensor module.
그림 22. 방사형 적외선 센서모듈을 이용한 물체 위치 인식 및 이동 경로 추적 로봇

III. 결론

본 논문은 최근 지도 작성, 자율주행과 관련하여 방사형 거리 센서에 대한 관심도와 규모가 커지는 추세에서 이러한 센서의 원리와 응용 방법에 대한 이론적인 교육에 대한 수요를 만족하려는 방법을 제시하기 위하여 저비용 적외선 근접센서를 이용한 방사형 거리 센서 모듈과 이를 이용한 실습 로봇을 제안하였다.

다양한 저가 1차원 거리 측정 센서의 성능을 검토하여 포토트랜지스터가 단순, 고속, 저가라는 면에서 교육용 저비용 센서 모듈 제작에 유리하고 기존에 교육 목적으로 실습 로봇 제작이 널리 이루어지는 경주용 라인트레이서와 같은 고성능 모바일 로봇에도 적용 가능하다는 점을 확인하였다.

개발한 적외선 센서는 방사형으로 구성하였고 물체의 방향과 거리를 탐지하는 방법을 소개하였다. 물체의 방향은 여러 센서 값의 가중산술평균으로 구하였으며 거리는 룩업테이블을 이용하여 센서 값 합계를 거리로 환산하였다. 그리고 모터를 이용하여 센서를 회전하여 물체를 추적하고 탐지 각도 범위를 향상하도록 하였다.

마지막으로 개발한 센서를 마스터-슬레이브 트래킹 로봇에 활용할 수 있음을 보였다. 소개한 결과를 검토할 때 로봇공학의 실습교육에서 고가의 방사형 거리 센서를 대체할 수 있는 실습도구로 활용될 수 있음을 확인하였다. 동영상은 <https://youtu.be/A5YW2DivRuM>에서 확인할 수 있다.

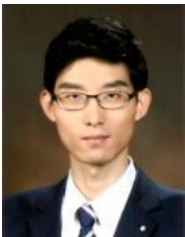
References

- [1] J. S. Jung and J. D. Min, "Precision positioning technology for automobile," *Journal of Korean Communication Society*, vol.32, no.8, pp.38-44, 2015.
- [2] S. H. Gong, S. Y. Jeon and H. Y. Ko, "Current Status and Research Trend of Sensor Fusion Positioning Technology," *Journal of Korean Communication Society*, vol.32, no.8, pp.45-53, 2015.
- [3] J. H. Park and S. Jung, "Development of Engineering Education Program using LEGO MINDSTORM," *Robotics and Applied Research Society Joint Conference*, vol.32, no.8, pp.52-54, 2009.
- [4] J. H. Ju, "A study on the Posture control of a two-wheeled mobile robot," *Journal of the Korea Institute of Information and Telecommunication Technology*, vol.10, no.6, pp.52-54, 2017.
- [5] H. Y. Choi, "LiDAR sensor technology and industry trend," *The world of electricity*, vol.66, no.9, pp.12-17, 2017.
- [6] Y.Y. Chae, K. J. Lee and H. J. Kim, "Infrared Distance Measurement Sensor for Mobile Robot," *Proceedings of the Korea Intelligent Systems Society*, vol.10, no.1, 2010.
- [7] Y. E. Cha, "The Control of Mobile Robot by using IR-PSD Sensor," *Control Robot System Society Jeonbuk Jeju Chapter Conference*, pp. 122-124, 2016.
- [8] C. K. Joo, M. H. Choi and Y. J. You, "Self localization of Indoor Mobile Robot Using IR Sensors," *Proceedings of KFIS Spring Conference*, vol.17, no.1. 2007.

- [9] Y. J. You, "Localization of Mobile Robot Using Multi IR Range Sensors," *Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol.17, no.6, pp.744-748, 2007.
- [10] T. B. Kwon and J. B. Song, "Grid Map Building and Sample-based Data Association for Mobile Robot Equipped with Low-Cost IR Sensors," *The Journal of Korea Robotics Society*, 2009.
- [11] "Velodyne HDL-64 LiDAR,"
<http://velodynelidar.com/hdl-64e.html>
- [12] "IBEO LiDAR,"
<http://www.valeo.com/en/valeo-scala>
- [13] "Quanergy S3 LiDAR,"
<http://quanergy.com/s3/>
- [14] Marco Bibuli, Massimo Caccia, Lionel Lapierre and Gabriele Bruzzone, "Control of Unmanned Surface Vehicles: Experiments in Vehicle Following," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol.10, No.3, pp.92-102, 2012.

BIOGRAPHY

Se-Hyoung Cho (Member)



2004 : BS degree in University of Seoul.

2007 : MS degree in Electric and Electronic Engineering, KAIST.

2016 : PhD degree in Robotics program, KAIST.

2017~ : Assistant Professor, Division of Mechanical and ICT Convergence Engineering, Sunmoon University.