

적외선센서와 카메라를 이용한 자율주행로봇의 장애물회피 알고리즘 연구

손정우¹, 윤호성¹, 임완수^{1*}

¹금오공과대학교 전자공학부(항공기계융합전공)

Study on Obstacle Avoidance Algorithm of Autonomous Mobile Robots Using Infrared Sensor and Camera

Jung Woo Sohn¹, Ho Sung Yun¹, Wansu Lim^{1*}

¹School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요약 본 논문은 자율주행 로봇이 효과적으로 장애물을 회피하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 장애물을 인식하기 위해 적외선센서와 카메라를 활용하였다. 적외선센서는 장애물까지의 거리를 측정하고, 카메라로 촬영한 영상을 통해 장애물의 폭을 파악하였다. 장애물 폭을 계산하기 위해 이진화 처리, 윤곽선 검출 및 최소면적 직사각형 기법을 사용하였다. 장애물까지 거리와 장애물 폭을 이용하여 회피 각도를 계산하고, 이 회피 각도는 조향 제어에 적용하였다. 제안한 장애물 회피 알고리즘을 자율주행 로봇에 탑재하여 실험을 수행하였고, 적외선센서만을 사용한 경우에 비해 장애물 폭이 30cm일 때 회피 시간을 최대 8.5초 단축하였다.

• 주제어 : 자율주행 로봇, 장애물 회피, 적외선센서, 카메라, 영상처리

Abstract This paper proposes an algorithm for autonomous mobile robots to effectively navigate obstacles. In order to detect obstacles infrared sensors and cameras are employed. The infrared sensor is utilized to calculate the distance to obstacles while the captured images from the camera are used to determine the width of obstacles. To compute obstacle width, binary image processing, contour detection, and the minimum area rectangle technique are employed. Using the distance to obstacles and obstacle width, the avoidance angle is calculated, and this angle is incorporated into steering control. The proposed obstacle avoidance algorithm was implemented on an autonomous robot, and experimental results demonstrated a maximum reduction in avoidance time by 8.5 seconds compared to using only infrared sensors when the obstacle width is 30cm.

• Key Words : Autonomous Driving Robot, Obstacle Avoidance, Infrared Sensor, Camera, Image Processing

Received 11 September 2023, Revised 25 December 2023, Accepted 28 December 2023

* Corresponding Author Wansu Lim, Department of Aeronautics, Mechanical and Electronic Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, 61 Daehak-ro, Gumi, Korea. E-mail: wansu.lim@kumoh.ac.kr

I. 서론

현대사회는 산업현장, 의료 서비스 등 여러 분야에서 인력으로 수행하던 일들을 로봇이 대신하고 있다 [1]. 이전에는 산업화의 영향으로 산업로봇이 주로 이용되었지만, 기술이 발전하고 서비스업이 증가함에 따라 서비스로 로봇의 발전도 함께 이루어지게 되었고 넓은 공간에서 자율적으로 움직이는 자율주행 로봇 (Autonomous Mobile Robots)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 자율주행 로봇이란, 스스로 현재 위치를 파악하고 목적지까지의 주행 경로를 형성하는 이동로봇을 말한다.

일반적으로 자율주행 로봇을 위해 해결해야 할 과제는 위치 측정(Localization), 경로 계획(Path Planning), 모션 제어(Motion Control), 장애물 회피(Obstacle Avoidance)로 나누어진다. 그중에서 주행 방향에 있는 장애물을 인지하고 경로를 선정하여 최단 시간에 목적지에 도달하도록 하는 장애물 회피 알고리즘의 개발이 중요한 요소이다[3]. 이를 위해 다양한 장애물 회피 알고리즘이 제안되었다. [4]는 레이저 센서를 이용하여 충돌을 회피하는 연구를 하였다. 연구 결과 레이저 센서가 2D값만 나타내기 때문에 장애물 정보를 정확하게 나타내는 것이 불가능하였고, 장애물을 초기에 인식하였더라도 이동로봇이 진행하면서 장애물이 가까워지면 인식률이 낮아졌다. 초음파센서를 이용하여 충돌을 회피하는 연구에서는 이동로봇이 매끄럽지 못한 바닥을 이동하거나 바위가 미끄러진다면 로봇이 목표 지점까지 정확하게 도달하지 못하고 장애물을 효율적으로 회피하지 못하게 되었다[5]. [6]은 초음파센서와 퍼지제어를 적용하였지만, 초음파센서가 외부의 환경에 영향을 많이 받는 문제를 발견하였다. 여러 개의 적외선센서를 사용하여 장애물을 회피하는 알고리즘은 측정 거리가 짧아서 장애물을 회피하기 위한 최단 경로를 찾지 못하였다[7].

카메라만 이용하여 장애물을 회피한 [8]은 가까운 위치에 있는 장애물을 인식하지 못하였다. 수동초점 렌즈가 장착된 카메라를 사용해서 로봇의 전방에 존재하는 물체를 회피하는 알고리즘은 특정 거리에 초점을 맞춰 놓고 장애물과의 거리를 알 수 있게 했다.

이는 계산 거리가 제한적이었고 시야각이 좁아 넓은 면적을 갖는 물체에 대한 인식이 어려웠고, 뚜렷한 변화가 없는 표면을 갖는 물체 즉, 표면이 매끄럽고

단색인 물체에 대해서는 만족스러운 결과를 얻지 못하였다[9].

[10]은 이동로봇이 목적지까지 주행하는 데 필요한 환경정보를 카메라와 초음파센서를 이용해 얻었는데 카메라를 이용해 거리정보를 계산하는 데 어려움이 있었다.

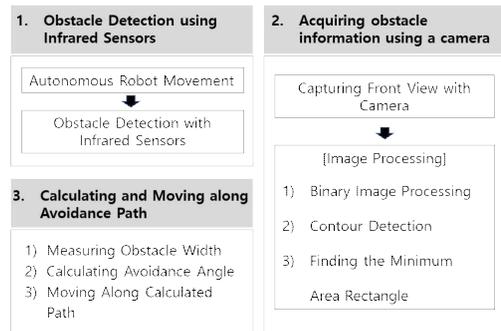


Fig. 1. Proposed obstacle avoidance algorithm

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문은 적외선센서와 카메라를 결합함으로써 자율주행 로봇이 장애물을 효율적으로 회피하는 알고리즘을 제안한다. 적외선센서를 이용하여 장애물을 인식하고 카메라를 이용하여 이동로봇의 전방 환경에 대한 정보를 얻어내어 최단 거리의 장애물 회피 경로를 찾는다. 카메라는 라즈베리파이의 카메라 모듈을 이용하며 카메라로 촬영된 영상을 이진화 처리하고 적외선센서에서 얻은 장애물과의 거리정보를 결합하여 이동로봇 전방의 장애물 위치, 크기, 거리정보를 얻는다. 적외선센서가 감지한 근전방의 장애물과 카메라에 촬영된 원거리의 장애물을 미리 파악하여 효율적으로 장애물을 회피하는 것을 목표로 한다.

II. 장애물 회피 알고리즘

제안하는 장애물 회피 알고리즘 순서도는 그림1과 같다. 자율주행 로봇이 이동 중에 장애물을 마주하면 적외선센서로 장애물을 감지하고 자율주행 로봇은 정지하게 된다. 그 후, 카메라를 이용하여 장애물에 대한 정보를 분석하는데, 첫 번째로 장애물의 사진을 캡처하고, 캡처한 장애물 사진을 이진화 처리하여 장애물에 대한 인식률을 높인다. 그 이후 윤곽선 검출을 하고 최소면적 사각형을 구한다. 이 사각형을 이용하여 좌표를 구하고 장애물의 폭을 측정한다. 적외선센서와

장애물 사이의 거리와 측정된 장애물의 폭을 이용하여 회피 각도를 계산하고, 효율적으로 장애물을 회피하게 된다.

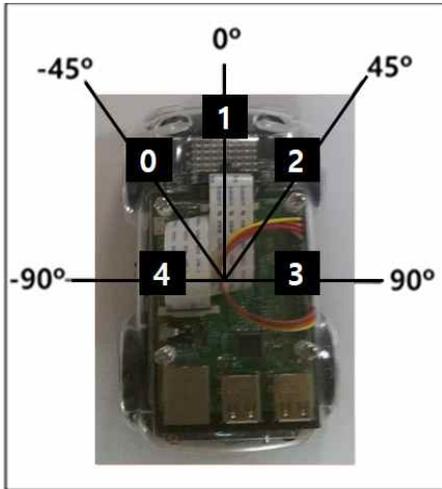


Fig. 2. Arrangement and placement angle of infrared sensors

2.1 적외선센서를 이용한 장애물 감지

자율주행 로봇이 카메라만을 이용하여 장애물의 정보를 획득할 경우, 크기가 작아 영상으로 인식하지 못하는 장애물과 카메라의 사각지대 때문에 로봇이 장애물을 회피하지 못할 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 적외선센서를 이용하여 카메라의 단점을 보완하였다. 적외선센서는 5개를 활용하였는데, 그림2와 같이 자율주행 로봇의 전방에 3개, 측면에 2개가 있다. 적외선센서 0번과 2번은 각각 -45도, 45도로 배치되었다. 전방에 있는 적외선센서 1번은 장애물을 최초로 인식하고 자율주행 로봇을 멈추게 하고 자율주행 로봇이 카메라를 이용하여 장애물의 정보를 획득할 수 있도록 한다. 적외선센서 2, 3번과 측면에 있는 적외선센서 3, 4번은 장애물의 통과 여부를 판단하는 역할을 한다.

2.2 카메라를 이용한 장애물 정보획득

영상처리는 이미 획득한 이미지를 변형하거나 활용하여 새로운 정보를 추출하거나 처리하는 것을 의미한다. 여기서 이미지란 2차원 공간에 회색 혹은 컬러로 구성된 픽셀로 만들어진 행렬 (matrix)이다. 영상처리에 사용한 기술은 영상의 화질을 높이거나 영상의 특징을

더욱 두드러지게 하며, 다른 영상의 일부분으로부터 새로운 영상을 만들어 내고, 영상을 획득하는 동안이나 획득한 후에 변질한 영상을 복원시키는 등의 기술들이 있다.

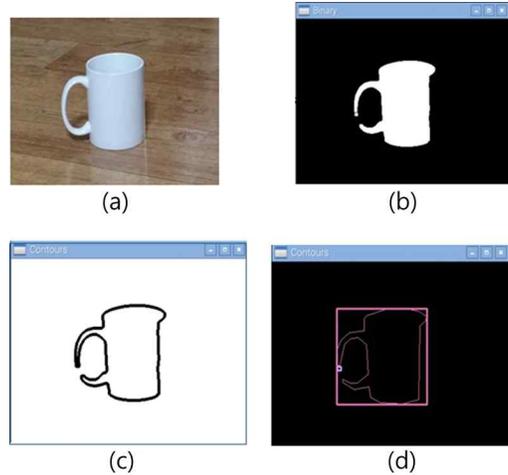


Fig. 3. Result of image processing: (a)original image, (b)binary image, (c)contour detection, (d)bounding box

그림3은 카메라로 촬영한 영상을 처리하는 과정이다. (a)는 영상에서 장애물을 캡처한 후에 이미지로 저장한다. (b)는 촬영된 전방의 장애물 사진에서 장애물의 형태를 명확하게 하도록 이진화 처리한 것이다. 이진화 영상이란 어떤 경계값(threshold)을 기준으로 낮은 값을 가지는 픽셀은 흑(0)으로 큰 값을 가지는 픽셀은 백(255)으로 만들어서 모든 픽셀을 오로지 흑과 백으로만 표현하는 영상을 말한다. 이렇게 이진화한 이미지는 영상데이터 처리를 효율적으로 할 수 있게 하고 영상 안에 포함된 물체의 특징을 검출하는 데에 사용한다. 이진화를 통해 배경이 제거된 상태에서 장애물의 정보를 얻을 수 있다. (c)는 이진화 영상에서 윤곽선(contour)을 검출한 결과이다. 윤곽선(contour) 검출은 영상 안에서 영역의 경계를 나타내는 특징으로 픽셀 밝기의 불연속점(픽셀의 밝기가 갑작스럽게 변하는 점)들을 연결하는 선을 그려내는 과정이다. (d)는 윤곽선이 검출된 영상에서 장애물을 감싸는 최소면적의 사각형(bounding rectangle)을 구한 것이다. 이 사각형의 좌표를 이용하여 장애물의 폭, 높이, 면적을 계산할 수 있다. 본 논문은 장애물 회피를 위하여 장애물의 폭만 계산한다.

2.3 장애물 회피 경로 계산

적외선센서와 카메라를 통해 얻은 장애물 정보를 이용하여 회피 경로를 계산한다. 자율주행 로봇이 이동 중에 적외선센서를 통해 장애물을 감지하면, 가까워질수록 적외선센서 값의 크기가 커진다.

```

if(IRSensor>10)
{
    stop and take picture;
    save "image";
    blur and binarize the "image";
} } (1) Binary processing

find Contours("image");
draw Contours("image");
bounding Rectangle("image");
} } (2) Contour detection

width = (right X coordinate) - (left X coordinate);
left width = (center X coordinate) - (left X coordinate);
right width = (right X coordinate) - (center X coordinate);
} } (3) Width Calculation

if(left width < right width){
    direction = left;
}
else{
    direction = right;
}
} } (4) Avoidance direction

while(true){
    Go in the set direction;
    if (calculated distance && no obstacle)
    {
        Stop;
        direction = center;
        break;
    }
}
Go in the original direction;
} } (5) Movement
    
```

Fig. 4. Pseudo code of obstacle avoidance

센서값의 크기가 10을 초과하게 되면 정지 후 카메라로 전방의 장애물을 캡처한다. 그림4는 카메라와 적외선센서를 결합한 장애물 회피 전체과정 의사 코드이다. 그림4에서 (1)-(3)은 영상처리를 통한 장애물을 파악하는 단계이고, (4)-(5)는 파악한 장애물 정보에 따라 조향을 제어하여 자율주행하는 단계이다. 그림4의 (1)은 그림3(b)에서 표현한 이진화 영상을 얻기 위한 의사 코드이다. 이진화 영상은 그림4의 (2)를 통하여 윤곽선이 추출되고, 윤곽선 결과는 그림3 (c)와 같다.

그림4의 (3)은 최소면적 사각형으로 표시된 장애물의 좌우 폭을 계산하는 과정이고, 그림5와 같이 사각형의 왼쪽과 오른쪽 꼭짓점 좌표를 구한 후, x값의 차(x1-x2)를 구하면 사각형의 폭을 구할 수 있다. 또한, 그림5에서 보이는 빨간색 화살표의 길이를 측정하면, 촬영된 사진 중앙으로부터 장애물의 왼쪽, 오른쪽의 폭을 각각 구할 수 있다. 좌푯값의 차이를 이용해 구

해진 폭은 적외선센서를 통해 얻은 장애물과의 거리를 이용하여 cm 단위로 수치화할 수 있다. 그림6과 같이 적외선 센서값이 10일 때 장애물과의 실제 거리는 20cm로 측정되었다. 그때 카메라로 촬영하면 20cm 거리에 있는 장애물의 폭을 최대 30cm까지 측정할 수 있다.

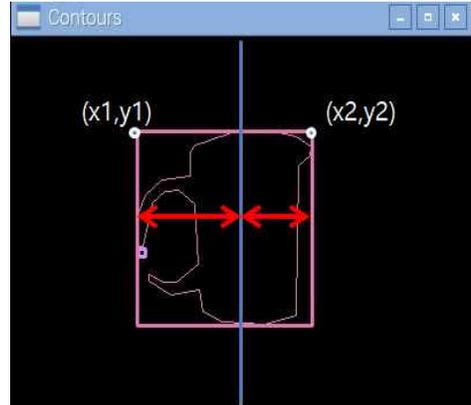


Fig. 5. Obstacle width calculation in bounding box

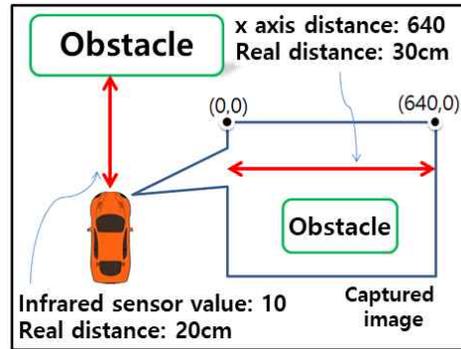


Fig. 6. Calculation of obstacle width

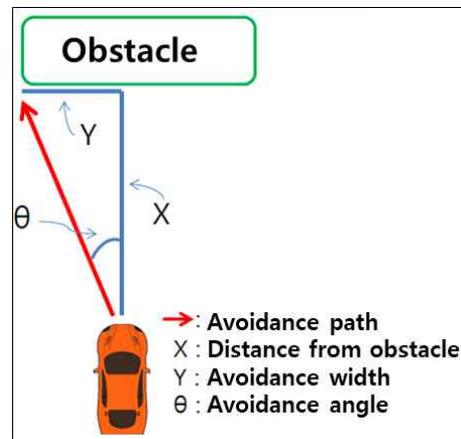


Fig. 7. Calculation of avoidance angle

이때 촬영한 영상의 좌우 x 좌표의 길이는 640이다. 장애물의 실제 폭을 계산하는 방법을 예로 들면, x 좌표의 차이를 이용하여 측정된 장애물의 폭이 400이라고 하면 장애물의 실제 크기는 수식(1)과 같이 계산된다

Table 1. Specifications of mobile robot

Parameters	Value	
Processor	Atmega 128	
Motor	DC Geared motor(250RPM/30:1)	
Speed	Max. 50cm/sec	
Communications	UART, Bluetooth 4.2	
Camera	Resolution	8-megapixel
	Max image transfer rate	1080p:30fps
	Detection range	Max 3m
IR Sensors	Voltage	3.3~5V
	Accuracy	0.3cm

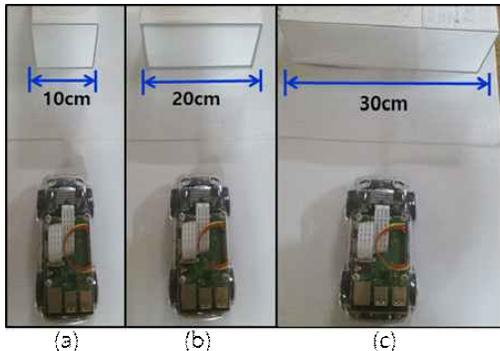


Fig. 8. Obstacle width (a)10cm, (b)20cm, (c)30cm

계산된 장애물의 폭과 장애물까지의 거리를 이용하여 회피 각도를 구할 수 있다. 먼저 그림4의 (4)와 같이 장애물의 왼쪽, 오른쪽 폭을 비교하여 작은 쪽으로 회피 방향이 결정된다. 회피 방향이 결정되면, 그림7에서 보이는 X, Y 값을 이용하여 회피 각도를 수식 (2)와 같이 구할 수 있다. 회피 각도가 계산되면 회피 경로가 정해진다. 자율주행 로봇이 이 경로를 따라 이동하면서 측면의 적외선센서로 장애물을 완전히 피해 지나왔는지 확인 후 다시 원래의 방향으로 이동한다.

III. 실험

본 논문에서 제안한 알고리즘을 확인하기 위해 자율주행 로봇이 장애물을 회피하는 시간을 측정하였다.

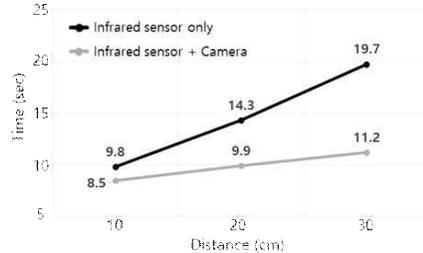


Fig. 9. Obstacle avoidance time measurement

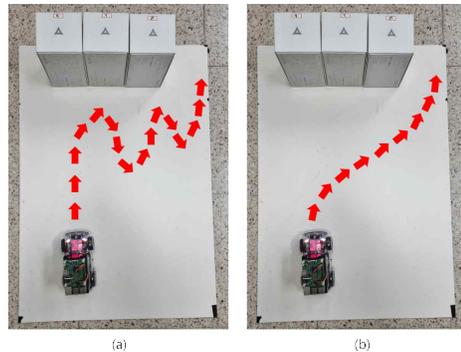


Fig. 10. Obstacle avoidance path with (a)infrared sensor only, (b)infrared sensor and camera

실험에 사용한 자율주행 로봇은 (주세온에서 개발한 알티노이고, 사양은 표1에 정리하였다 [11]. 알티노를 이용하여 두 가지 방식의 실험을 진행하였는데, 첫 번째는 적외선센서만 이용하였고 두 번째는 적외선센서와 카메라를 결합하여 장애물을 회피하였으며 장애물은 그림8에 보이는 것과 같이 크기가 10cm, 20cm, 30cm 세 종류의 장애물을 사용하였다.

실험에 쓰인 카메라는 Raspberry pi 3 카메라 모듈을 이용하였고 정확한 시간 측정을 위해 자율주행 로봇과 장애물의 거리는 50cm로 하였다. 각각의 실험을 진행한 결과 그림9와 같은 결과가 나왔다. 첫 번째 적외선센서만 이용한 실험에서 10cm의 장애물에 대해 평균 9.8초의 시간이 걸렸다. 장애물의 크기가 작았기 때문에 회피하는 시간이 적었다. 20cm의 장애물에서는 첫 장애물보다 4.5초의 시간이 더 걸렸으며, 마지막 30cm의 장애물에서는 10cm의 장애물보다 두 배 이상 차이가 나는 것을 확인하였다. 두 번째 적외선센서와 카메라를 결합하여 장애물을 회피한 실험에서, 첫

10cm의 장애물에서는 평균 8.5초로 적외선센서만을 이용한 실험과 시간 차이가 거의 나지 않았다. 20cm의 장애물을 회피한 시간을 측정된 결과 9.9초로 10cm의 장애물을 회피한 시간에 비해 1.4초만 소비되었다. 마지막 30cm의 장애물에서는 평균 11.2초로 크게 시간 차이가 없는 것을 확인하였다.

그림10은 모바일 로봇의 움직임을 형상화하였다. 그림10 (a)는 적외선센서만 사용하여 장애물을 회피하는 과정이고, (b)는 제안한 방법을 이용한 장애물 회피 과정이다. 적외선센서만 사용하면 장애물 폭을 알 수 없으므로, 전진과 후진을 반복하며 조향을 조금씩 변화시키며 움직인다. 장애물 폭이 길수록 전진과 후진을 반복하는 동작 횟수가 늘어남으로 장애물을 회피하는 시간이 오래 걸렸다. 그러나, 제안한 방법은 영상처리를 이용하여 장애물의 폭을 인식하고 적외선센서를 이용하여 장애물까지 거리를 알고 있으므로 불필요한 전진과 후진을 줄이고 자연스럽게 장애물을 회피하였다. 실험을 통해 장애물의 크기가 커질수록 두 가지 경우의 시간 차이가 점점 벌어지는 것을 확인했다. 실험의 한계로는 실험에 사용한 자율주행 로봇은 좌우 측에 각각 한 개씩 적외선센서가 장착되어 있었기 때문에, 장애물을 회피할 때 장애물을 다 지나갔는지 확인하기 위해서는 자율주행 로봇의 몸체가 절반 이상이 지나가야 장애물의 유무를 확인할 수 있다. 그 때문에 전체적으로 더 많은 거리를 이동하여 장애물을 회피하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 적외선센서와 카메라 두 가지를 결합하여 장애물을 회피하는 알고리즘을 제안하였다. 적외선센서만을 이용하여 자율주행을 할 경우, 장애물의 크기와 정확한 위치정보를 알 수 없었기 때문에 빠르게 장애물 회피를 할 수 없었다. 카메라만을 이용한 경우에는 카메라가 전방을 향하여 고정되어 있어서 자율주행 로봇의 측면에 있는 장애물을 인식하지 못하여 안정적인 장애물 회피가 힘들었고, 장애물과의 거리정보를 얻는 데도 한계가 있었다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 적외선센서와 카메라를 결합하여 실험하였다. 주행 중에 적외선센서를 이용하여 장애물을 처음 인식 후, 그 즉시 카메라를 이용하여 이진화 처리와 윤곽선 검출, 최소면적 사각형 계산과정을 통해 장애물의 폭을 계산하였다. 적외선센서를 통해 구한

장애물과의 거리와 영상처리 과정을 통해 계산한 장애물의 폭을 이용해 회피 각도를 계산 후 장애물을 회피하였다. 실험을 통해 자율주행 로봇이 주행하는 데 있어 정확하고, 안전하였으며 장애물 회피시간이 단축하는 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 연구는 금오공과대학교 대학 연구과제비로 지원되었음(2022~2023)

REFERENCES

- [1] N. Kim and K. Park, "A case study on human-robot interaction for social robots -Focused on the design factors for social robots," *Journal of Communication Design*, vol. 82, pp. 431-444, Jan. 2023.
- [2] S. Kang and Y. Sung, "A Four-Wheeled Mobile Robot with Omnidirectionality," *JISPS*, vol. 23, no. 1, pp. 21-27, Mar. 2022.
- [3] N. Sariff and N. Buniyamin, "An Overview of Autonomous Mobile Robot Path Planning Algorithms," *SCOReD 4th Student Conference on Research and Development*, Selangor, 2006, pp. 183-188.
- [4] H. Moon, Y. Son, and J. Kim, "Design of an Obstacle Detecting System for Unmanned Ground Vehicle Using Laser Scanner," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 14, no. 8, pp. 809-817, Aug. 2008.
- [5] W. Hwang, "A Study on Obstacle Avoidance Technology of Autonomous Traveling Robot Based on Ultrasonic Sensor," *KSIA*, vol. 18, no. 1, pp. 30-36, Jan. 2015.
- [6] H. Yeo and M. Sung, "Fuzzy Control for the Obstacle Avoidance of Remote Control Mobile Robot," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SC*, vol. 48, no. 1, pp. 47-54, Jan. 2011.
- [7] K. Nakazawa, D. Yang, I. Kim, and S. Hong, "Obstacle Avoidance by the Subgoal Generation Using the Infrared Sensors," *KIEE*, Jeju, 2004, pp. 490-492.

- [8] S. Kim and J. Lim, "Camera based Autonomous Vehicle' s Obstacle Avoidance System," KSAE, Jeju, 2014, pp. 792-793.
- [9] K. Yoon, S. Oh, C. Han, K. Kim, and Y. Son, "Obstacle Avoidance for Mobile Robot using Focus of a Camera Lens," ICS, Jeju, 2005, pp. 255-257.
- [10] D. Jung, B. Shim, and S. Han, "A Study on Obstacle Technology Avoidance of Autonomous Driving Robot," KSMTE, Jeju, 2011, pp. 246.
- [11] <http://www.saeon.co.kr/>

저자소개

손 정 우 (Jung Woo Sohn)



2018년 8월 : 국립금오공과대학교
전자공학부 (공학사)
관심분야 : 자율주행, 영상처리

윤 호 성 (Ho Sung Yun)



2018년 8월 : 국립금오공과대학교
전자공학부 (공학사)
관심분야 : 자율주행, 영상처리

임 완 수 (Wansu Lim)



2010년 8월 : 광주과학기술원
정보기전공학부 (공학박사)
2017년 3월 ~ 현재 :
국립금오공과대학교
전자공학부 교수
관심분야 : 자율주행, 인공지능,
임베디드 시스템