

자율이동 로봇의 지면 장애물 인식 장치 개발

서대성* (과학기술연합대학원 대학교 한국생산기술연구원 소속 가상공학 전공),
이호길, 김홍석, 류영선, 양광웅, 김태주 (한국생산기술연구원)

Development of the Device for Autonomous Mobile Robot to Recognize Surface Obstacles

D. S. Seo (KITECH, UST), H.G. Lee, H. S. Kim, Y. S. RYU, K. W. Yang and T. J. Kim (KITECH),

ABSTRACT

In this paper, we implement a sensor which can perceive obstacles. We constructed it with a laser emitting a structured light and a small pc camera. It is cheap and can measure the precise sizes of the obstacles. Ultrasonic arrays and laser scanners are used generally to perceive obstacles in the autonomous mobile robot until now. However we knew that they can perceive big obstacles well, but cannot perceive small obstacles on the ground by experiments. We mounted this equipment to our robot and use it to perceive the obstacles of the front side. Our robot can recognize the obstacles of 10mm height. We expect that this equipment will be useful because it is cheap but work well.

Key Words : Sensor(센서), Obstacle(장애물), Camera(카메라), Laser(레이저)

1. 서론

최근 신호처리 및 영상처리 기술의 발전에 따라 자율이동 로봇의 장애물 인식에 비전(vision)을 이용하고자 하는 연구가 활발히 진행 되고 있다[1,2,3,4]. 하지만 로봇이 비전만으로 물체를 인식하거나 주변 환경을 인식하는 기술은 제한적인 환경에서는 어느 정도 성과를 보았지만, 실 환경에서 동작하는 로봇에 적용하기에는 부족한 면이 있다. 그 중 레이저에서 패턴을 가지는 빔을 발사하여 사물에 비추고 이때의 영상을 카메라로 포착하고 삼각법(triangulation)을 이용해 물체의 거리 및 크기를 계산하는 방법은 오래 전부터 연구 되어 왔다. 이 방법은 물체의 표면을 검사하거나 입체 영상을 얻는 분야에서 많이 이용되어 왔다[5,6,7,8]. 로봇 주변의 장애물 감지와 위치 추정을 위해서 레이저 스캐너(laser scanner)가 주로 사용되고 있지만, 로봇주위의 한정된 영역만을 감지할 수 있다. 전 영역을 감지하기 위해 여러 개의 레이저 스캐너를 사용하여야 하기 때문에 가격적인 측면에서 불합리하다.

본 논문에서는 로봇의 레이저 스캐너와 같은 센서가 감지하지 못하는 바닥의 요철이나 장애물을 감지하기 위한 센서를 개발하고 소개한다. 이 센서는 레이저 빔(beam)과 카메라를 이용하여 삼각법으

로 지면과의 거리를 계산하여 지면의 장애물을 감지하였다. 레이저 방사기(emitter)에서 선 모양의 빔을 지면에 수직으로 비추고, CCD 카메라로 포착한 영상에서 빔의 궤적을 따라 지면과의 거리를 산출한 후, 영상에서 빔의 궤적을 단선으로 추출하기 위하여 John Canny가 개발한 Optimal edge detection Canny 방식[9]을 이용하였다.

Arthur Ed LeBouthillier 는 로봇 Willy 에 자신이 고안한 Structured light vision system 을 장착하였으며 실제로 장애물 감지에 있어서 탁월한 성능을 발휘했다. 그러나 레이저를 지면에 수평으로 발사했기 때문에 블록하게 돌출된 장애물은 아주 잘 감지 할 수 있지만 오목하게 파인 부분은 감지 해 낼 수 없었다. 이러한 문제점을 보완 하기 위해서 본 연구에서는 레이저 빔을 지면에 수직으로 발사하고 카메라도 지면을 수직으로 바라 보게 해서 블록 하게 돌출된 장애물이나 오목하게 들어간 장애물 모두를 감지 할 수 있도록 하였다.

2. 지면 감시 센서

본 장에서는 지면 감시 센서의 구조와 레이저 빔에 의해 만들어진 선을 검출하기 위한 영상처리 방법 및 거리 계산 알고리즘에 대하여 소개한다.

2.1 센서의 구조

본 논문에서 제안한 장애물 인식 장치는 레이저 빛을 방출하는 레이저 방사기, 레이저 빛을 직선 모양으로 바꾸어 주는 프리즘, PC USB 카메라, 이것들을 지지해 주는 지지 부, 그리고 영상을 추출하고 레이저 빔의 궤적을 따라 지면과의 거리를 계산하는 알고리즘으로 구성되어 있다. 실제로 이 장치를 구현하고 로봇에 장착하여 구동한 구조가 Fig. 1에 나타나 있다.

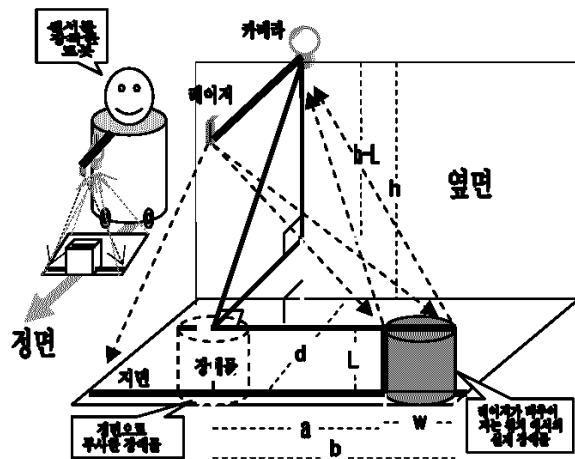


Fig. 1. Structure of the sensor

레이저 방사기는 카메라보다 조금 앞에 위치하게 해서 높이에 따른 영상의 차이가 생기도록 한다. 그리고 카메라는 로봇의 전면 돌출부 보다 약간 앞에 위치하게 해서 필요한 부분의 영상이 로봇에 의해 가려지지 않도록 한다.

센서를 구현 할 때 고려해야 할 사항은 다음과 같다. 첫째, 레이저 방사기를 레이저 빛이 로봇의 진행 방향에 수직이 되도록, 그리고 지면 방향과도 수직이 되도록 장착하였다. 둘째, 카메라는 지면을 수직으로 바라보게 해서 직사각형의 영상을 포착하도록 하였으며 지면을 포착한 영상에서 진행 방향과 나란한 두 변이 평형을 이루도록 하였다.

2.2 영상 처리

본 연구에서는 320x240 크기의 영상을 초당 30 frame 이상 처리 할 수 있도록 영상 처리 알고리즘을 구현하였다.

레이저 빛에 의해 만들어진 선을 검출하기 위해 빛이 붉은 색 계열 이라는 것과 가로로 길게 나타나는 선 모양이라는 점을 이용하였다. 지면에 비춘 레이저 빔을 검출하는 과정은 다음과 같이 3 단계로 구분된다: 1) 영상에서 붉은 색만을 추출, 2) Gaussian convolution 으로 영상을 부드럽게 만든

후 수직으로 일정한 두께 이상의 선을 제거, 3) Nonmaxima suppression 으로 선 두께를 1 pixel 로 만든다. 단계별 영상 처리 과정에 대한 그림을 Fig. 2에서 보여주고 있다.

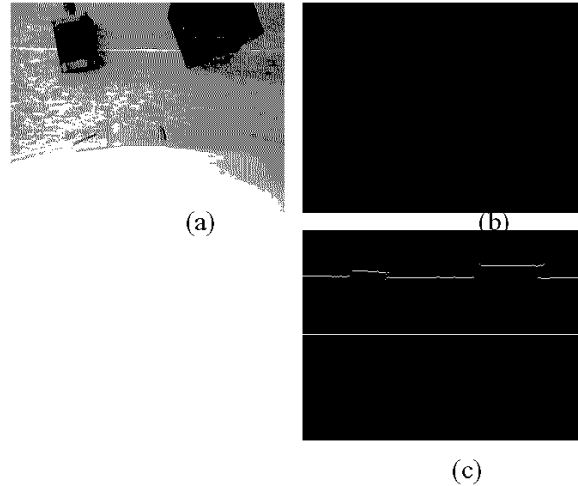


Fig. 2. Example of the phased image processing

먼저, 영상에서 붉은 색을 추출하기 위하여 RGB(Red, Green, Blue)로 표현된 픽셀 데이터를 색조, 채도 그리고 명암으로 표현되는 HSV(Hue, Saturation, Value)로 변환하여 붉은 색만을 추출한다. 붉은 색을 추출하는 식은 아래와 같다.

$$Red = 255 * S * \frac{Ct - Hd}{Ct} \quad (1)$$

Hd: Hue difference from red color (0 ~ 360)

Ct: Constance of Color Threshold

S: Saturation (0 ~ 1)

식 (1)을 사용하여 변환된 영상은 Fig. 2의 (b)와 같이 붉은색 계통의 단색 이미지가 된다.

다음으로, 이미지의 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio; SNR)를 높이고 검색되는 최대 밝기의 점 개수를 줄이기 위하여 Gaussian convolution 으로 영상을 부드럽게 한 후, 임계치(threshold) 이하의 점은 제거한다. 그리고, 이 영상을 세로로 잘라서 연속되는 붉은 색의 길이가 특정 값 이상이거나 좌우의 레이저 빔과 위치가 비슷하지 않은 경우는 레이저 빔이 아니라고 판단하고 제거한다.

마지막으로, 레이저 빔에서 주변과 비교하여 가장 밝은 점을 찾기 위하여 Nonmaxima suppression 처리를 한다. 이 과정이 끝나면 Fig. 2의 (c)와 같이 레이저 빔의 두께를 1 pixel 로 감소시킨다. 이

제 영상의 중심으로부터 레이저 빔까지의 거리를 계산할 수 있다.

2.3 거리 계산 알고리즘

레이저 빔의 선만을 추출하는 영상처리가 완료되면, 삼각 비례식을 이용해 장애물의 높이를 계산할 수 있다.

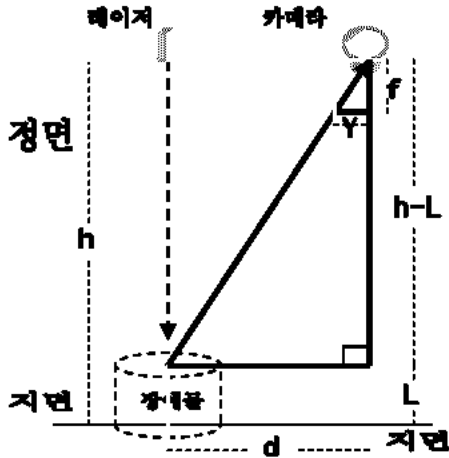


Fig. 3 Principle of laser triangulation

Fig. 1 에서와 같이 로봇의 진행 방향 (정면)에서 조금씩 치우쳐져 있는 장애물을 정면으로 투사한다. 정면으로 투사된 것을 평면으로 옮겨 놓으면 Fig. 3 과 같고 직각 삼각형이 만들어 진다. 여기서 h 는 지면으로부터 카메라 중심까지 높이, L 은 장애물의 높이, Y 는 카메라 렌즈에 포착된 레이저 빔의 화면 중심으로부터의 거리를 픽셀 단위로 나타낸 값이다. 그리고 f 는 렌즈의 초점 거리를 역시 픽셀 단위로 환산한 값이다. 그러면 식 (2)와 같이 비례식으로 표현되고, 식 (3)과 같이 높이 L 을 계산할 수 있다.

$$f : Y = h - L : d \quad (2)$$

$$L = \frac{Yh - fd}{Y} \quad (3)$$

여기서 고려해야 할 것은 CCD 카메라의 초점 거리와 CCD 의 크기가 알려져 있지 않다는 것이다. 그러므로 우리는 장애물의 높이를 자를 이용해 측정하고 역으로 식 (2)에 이 값을 대입해 f 값을 구했다. 실험결과 우리가 사용한 Logitech Quick Cam Pro 4000 의 경우 픽셀 값으로 환산한 f 값은 420 픽셀이었다.

3. 실험 및 평가

본 연구에서 개발된 센서는 로봇 전면 부에 지면으로부터 500 mm 높이에 설치되어있고 카메라와 레이저의 거리는 100 mm 이다.

한국생산기술연구원에서 모듈화된 로봇으로 개발된 CMR(Component-based Modularized Robot)-P2 에 이 센서를 장착했으며 이 것을 촬영한 사진은 Fig. 4와 같다.



Fig. 4 CMR-P2 mounted with the sensor

CMR-P2 의 모바일 베이스는 높이 20mm 이하의 문턱을 넘을 수 있도록 제작되었다. 본 연구에서 개발된 센서를 이용하여 깊이 20mm 이하와 높이 20mm 이상의 장애물을 감지한 경우 CMR-P2 의 기존 주행 알고리즘을 수정하여 피해가도록 하였다.

CMR-P2 의 주 제어기는 Pentium 호환 800MHz CPU 를 사용하고, 320x240 크기의 영상을 초당 30 프레임으로 처리할 수 있다. CMR-P2 의 최대 주행 속도는 500mm/s 이다. 따라서 이 로봇이 최대 속도로 주행하면서 폭 17mm 이상의 장애물을 감지할 수 있다. 이 센서는 카메라의 높이에 따라 감시할 수 있는 영역의 폭이 변하는데 카메라가 500mm 에 위치할 때 로봇 전면의 400 mm 폭의 영역을 감시할 수 있다. 테스트 결과 5mm 정도의 해상도로 지면의 장애물을 감지하였다.

실험에서 나타난 문제점은 다음과 같다: 1) 레이저 빔이 아닌 밝은 붉은색 계열의 주위 색들에 반응하는 경우, 2) 지면의 상태나 장애물에 따라 레이저 빔의 난반사로 거리를 감지하지 못하는 경우, 3) 밝은 장소에서는 CCD 카메라에 적정 노출을 설정하지 못하여 레이저 빔을 인식하지 못하는 경우가 발생하였다.

4. 결론

본 논문에서는 지면 감시 센서를 개발하고 이를 퍼스널 로봇 플랫폼에 장착하여 장애물을 인식하는 실험을 하였다. 제안된 센서는 5mm 이상인 장애물의 지면으로부터 높이를 계산할 수 있게 해서 지면 감시 센서로서의 역할을 성공적으로 수행하였다.

제안된 센서의 장점은 재료를 시중에서 쉽게 구할 수 있고, 저렴한 가격으로 제작할 수 있다. 또한 로봇이 진행하면서 바닥의 형태를 2 차원으로 읽어 들일 수 있다.

그러나 앞에서 살펴 본 바와 같이 제안된 센서는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째 레이저 빔이 아닌 주위의 빨간색 계열의 색에 반응하는 경우가 발생한다는 것. 둘째, 반사 면의 상태에 따라 난반사가 발생할 수 있다는 것. 셋째 너무 밝은 곳에서는 잡음이 많이 발생한다는 것이다. 따라서 앞으로 이러한 문제점들에 대한 해결책을 연구해 볼 필요가 있다.

참고문헌

1. 류한성, 최중경, "장애물 인식 지능을 갖춘 자율 이동로봇의 구현", 전자공학회논문지, 제 40 권, SP 편, 제 99 호, 2003.
2. 류한성, 최중경, 구분민, 박무열, "Line Histogram Intensity 를 이용한 이동로봇의 장애물 회피 알고리즘에 관한 연구", 한국해양정보통신학회 논문지, 제 7 권, 제 1 호, 2003.
3. 박무열, "DSP(TMS320C6211) 비전 시스템을 이용하는 자율 이동차량의 장애물 회피 및 경로계획에 관한 연구", 국립 창원대학교 석사학위 논문, 2001.
4. Jonathan F.Diaz, Alexander Stoytchev, and Ronald C.Arkin, "Exploring Unknown Structured Environments", Atlanta, Georgia 30332-0280 U.S.A, 2000.
5. Kwan-Yee K. Wong, Paulo R.S. Mendonca, and Roberto Cipolla, "Camera Calibration from Surfaces of Revolution", IEEE TRANSACTIONS ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, Vol. 25, No.2, 2003
6. Kwan-Yee K. Wong, Paulo R.S. Mendonca, and Roberto Cipolla, "Camera Calibration from Symmetry", Univerity of Cambridge, Department of Engineering, Trumpington Street, Cambridge, CB2 1PZ, UK, 2003
7. J.Liu, J.L. Mundy, D.A. Forsyth, A. Zisserman, and C.A. Rothwell, "Efficient Recognition of Rotationally

Symmetric Surface and Straight Homogeneous Generalized Cylinders", Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 123-129, June1993.

8. I. Sobel, "On Calibrating Computer Controlled Cameras for Perceiving 3-D Scenes", Artificial Intelligence, vol. 5, no. 2, pp. 185-198, June 1974.
9. Canny, A., "A computational approach to edge detection", IEEE Trans. PAMI, no. 8, pp. 769-698, 1986.