

## 초음파센서와 영상센서를 이용한 자율이동로봇의 장애물 인식방법

김 정훈, 서 민욱, 김 영중, 임 묘택  
고려대학교 전기공학과

### Obstacle recognition method of mobile robot using an ultrasonic and a vision sensor.

Jung-Hoon Kim, Min-Wook Seo, Young-Joong Kim, Myo-Taeg Lim  
Department of Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - This paper presents identified locations of obstacles using ultrasonic and vision sensor for mobile robots. An ultrasonic and a vision sensor provide complementary information. To overcome limitations of each sensor, they are combined. To improve effectiveness of detecting of obstacles in image processing, a modified splitting/merging algorithm is proposed. In order to verify effectiveness, proposed algorithm is applied to a mobile robot control system.

#### 1. 서 론

기술이 발전함에 따라 로봇은 사람이 활동하기 부적합한 환경에서 여러 목적으로 활용되어왔으며, 그 활용영역은 점차 확대되고 있다. 로봇은 자유로운 이동을 위해, 장애물을 인식, 회피해야하는데, 이러한 목적을 위해 여러 종류의 센서들이 사용되고 있다. 그 중 대표적인 것으로는 영상센서, 초음파 센서 등을 들 수 있다.

영상센서는 가격이 비싸고, 주변의 조명잡음에 큰 영향을 받으며, 정보량이 방대해서, 실시간 처리 문제를 안고 있었지만 최근 컴퓨터 기술의 발달로 영상처리의 속도가 빨라지고 있으며 또한 영상정보가 다른 센서에 비해 보다 많은 정보를 동시에 얻을 수 있다는 이점 때문에 이용이 점차 늘고 있는 추세이다. 초음파 센서는 가격이 싸고, 정해진 거리에서 정확한 정보를 얻을 수 있으나, 장애물의 각도정보를 알지 못하고, 탐지영역에서 여러 개의 장애물을 인식하지 못한다. 또한, 거리 측정 중에 발생하는 다중반사효과의 문제가 있다.[1] 이러한 문제를 해결하기 위해서, 여러 대의 카메라를 사용하거나, 여러 개의 소나 센서로 측정범위를 중복시켜서 방사각의 오차를 줄이는 방법들이 연구되어왔다.[2][3] 그러나, 이러한 방법들은 데이터의 양이 더 많아지고, 처리과정이 복잡해지며, 오차를 줄이는데 한계가 있다. 또한, 영상센서와 소나 센서를 조합하는 연구도 정해진 장애물만 인식하는 문제점을 드러내고 있다.[4]

본 논문에서는 영상센서와 초음파 센서의 두 데이터를 혼합하여, 양 센서가 가지고 있는 몇 가지 단점들을 극복하고자 한다. 이를 위하여, 초음파 센서에서는 측정 한계 거리 및 방사각의 범위를 알아보고, 영상센서에서는 소나 센서가 탐지하는 영역과 겹치는 영역을 표시하고, 입력영상으로부터 분할/통합 알고리즘을 적용한 영상에서 소나 센서가 측정 한 거리에 있는 장애물을 구분한다.

2절에서는 영상 정보 처리 및 소나 정보 처리에 대해 소개하고, 두 센서의 정보를 이용해서 장애물을 인식하는 방법에 대해서 다룬다. 또한, 장애물 인식을 위한 효율적인 영상처리를 위해 변형된 분할/통합 알고리즘을 제안한다. 3절에서는 실제 장애물의 인식을 위해 소나 센서 거리를 측정하고, 영상처리된 장애물의 영상을 매칭시켜서, 영상에서 장애물만 표현하고, 결과에 대하여 논의한다. 마지막으로, 4장에서 결론을 맺는다.

#### 2. 본 론

본 절에서는 카메라로부터 들어온 영상신호와 소나 센서로부터 획득한 정보를 조합하여, 장애물의 위치를 인식하는 방법에 대하여 알아본다.<그림1>은 장애물 위치인식을 위한 순서도 이다.

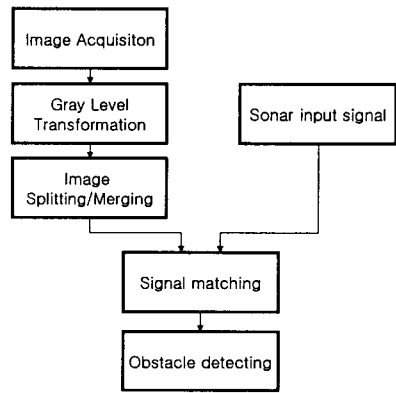


그림 1. 장애물 위치인식을 위한 순서도

영상신호는 카메라로부터 들어온 신호를 말하며, PC에 장착된 프레임 그래픽 카드를 이용해서 디지털 신호로 변환된다. 이 신호는 몇 가지의 영상처리 방법을 통하여 장애물의 위치 판별을 위한 신호로 사용된다. 초음파 신호는 발사된 신호의 TOF(time of flight)을 계산하여 거리를 측정한다. 초음파 센서에서 얻은 거리를 영상의 y 축 픽셀값으로 변환하여, 동일한 y축 상에 존재하는 영상의 독립된 영역을 분리한다. 이는 실제 장애물의 거리와 방향을 획득하는데 사용된다.

#### 2.1 영상 정보 처리

영상처리는 장애물의 거리 및 방향 정보를 획득하기 위해 필요한 작업이다. 일반적으로 물체를 인식하는데, 다양한 마스크를 이용한 에지 검출 방법이 많이 사용된다. [5] 그러나, 이 방법은 물체외곽이 항상 폐곡선이 이루어지지 않으며, 이를 위해서 중심점을 분석한 후, 폐곡선을 형성하여 내부를 단일화하는 복잡한 과정을 거치게 된다. 따라서, 구현이 복잡하고, 계산시간이 오래 걸려, 실시간 처리에는 적합하지 않다. 본 논문에서 제안하는 분할/통합 알고리즘은 입력되는 영상 데이터 중 관심 부분인 장애물 정보만을 빠르고 효율적으로 검출하기 위해 전체영상의 동질성을 조사하여 영상을 분할/통합하는 방법이다. 기본적인 처리방법은 다음과 같다.

알고리즘 1. 물체인식을 위한 분할/통합 영상처리 방법

(1) 영역  $R_i$ 이 비동질성 ( $P(R_i) = FALSE$ ) 이면  $R_i$ 을 4개의 영역으로 나눈다.

(2) 반면, 영역  $R_i$ 이 동질성 ( $P(R_i) = TRUE$ )을 가지면 영역전체의 intensity를 그 영역의 평균값으로 설정한다.

(3) 1차 분할과정이 끝나면 이웃한 영역들 사이에 동질성을 갖는 ( $P(R_i \cup R_j) = TRUE$ ) 경우가 생긴다. 이런 경우 통합 알고리즘을 사용하여 두 영역을 합치는 과정이 있으나, [6] 구현이 복잡하고 처리시간이 오래 걸려 자율이동로봇에 상용하기에는 부적합한 면이 있으므로, 본 논문에서는 변형된 분할 알고리즘을 사용한다. 1차로 분할된 영상을  $N$ 개의 경계값을 기준으로 영상을 재분할하면 효율적인 통합 알고리즘을 갖게 된다.

$$P(R_i) = \begin{cases} TRUE & \text{if } f_{\max}(x, y) - f_{\min}(x, y) < T \\ FALSE & \text{if } f_{\max}(x, y) - f_{\min}(x, y) > T \end{cases} \quad (1)$$

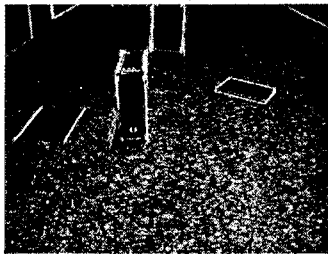
$T$  : 경계기준값

$f_{\max}, f_{\min}$  : 영역에서 intensity가 가장 작은 값, 큰 값

<그림(2)>은 장애물이 있는 영상과 이를 소벨 마스크와 분할/통합 알고리즘에 적용한 영상이다.



(a) 원영상



(b) 윤곽선 검출 영상



(c) 분할/통합 알고리즘 영상

그림 2. 영상처리 알고리즘

(b) 영상을 살펴보면, 장애물이 폐곡선을 이루지 않아, 단일영역으로 처리하기 곤란하고, 복도영역에 많은 왜란이 발생해 있다. 반면 제안한 분할/통합 알고리즘을 적용한 영상 (c)를 보면 장애물의 영역이 한가지 Gray Level로 처리되어 영상처리하기 적합하고, 왜란 또한 (b) 영상에 비하여 현저히 적다. 이러한 장점을 토대로 제안한 알고리즘이 장애물 인식에 적합한 처리방법임을 알 수 있다.

2.2 소나 정보 처리

TOF센서의 경우, 하나의 Transducer로 Ultrasound wave의 Transmitter와 Receiver(T/R transducer)의 기능을 할 수 있다. Transducer가 transmitter로 동작할 때는, 펄스(ultrasound wave) 발생하게 되고, 그러한 후에 receiver 모드에서는 반사되어 오는 Ultrasound wave의 echo 신호를 읽어, 그때까지의 시간과 속도에 대한 관계식으로 물체와의 거리를 측정하게 된다. Ultrasound wave는 거리의 제곱으로 비례해서 원추형의 Field of View를 가지면서 퍼져 간다. 초음파 신호의 음압의 크기는 수식(2)으로 표현될 수 있다.[7]

$$P(\theta) = \left| \frac{2f_1(k \cdot a \cdot \theta)}{k \cdot a \cdot \theta} \right| \quad (2)$$

거리와 음압은 거리의 제곱과 반비례하므로 거리가 멀어지면 에너지가 감소하게 되어 에러를 가질 수 있고 또한, 종종 신호를 못 읽기도 하고 다른 센서에서 발생하는 다른 초음파로부터의 반사파의 영향으로 기대치 않은 값이 나오는 경우도 있다. 이러한 소나 센서의 오류를 줄이는 장치를 개발하기 위해서는 Ultrasound wave의 실제적인 특성을 완벽히 이해하는 것이 중요하다. 본 논문의 실험에서 사용될 소나 센서는 방사각은  $8^\circ$  이고, 측정거리는  $0.1m \sim 5m$  이다. 거리측정오차는  $1cm$ 미만으로 측정되었다.

2.1 장애물 위치 인식

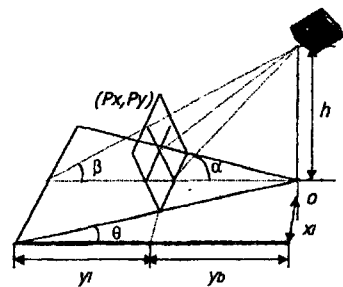


그림 3. 영상과 실제공간과의 관계

영상과 실제공간과의 관계는 <그림3>과 같다.[8] 카메라의 각도를 지면과 수평하게 놓지 않고, 경사를 이룬 것은 카메라가 획득한 영상과 소나의 거리 정보를 매칭시키기 위함이다. 영상의 각 픽셀들은 실제공간으로 변환될 수 있는데, 이는 식 (3), (4)로 표현된다.

$$y = h \tan \left[ (90^\circ - \alpha) + \left( \frac{P_y}{S_y} \right) (\alpha - \beta) \right] \quad (3)$$

$$x = y \left( \frac{P_x}{S_x} \right) \tan \beta \quad (4)$$

소나 센서의 측정값은 장애물과의 거리를 나타내므로,  $y$  축 좌표 표현될 수 있으며, 이는 식(3)을 변환한 식(5)와 같다. (4)식에서 얻은  $y$  축 좌표값은 영상에서 장애물을 찾는데 사용되고, 식(5)를 통해서 영상에서 장애물을 나타내는 영역을 찾을 수 있다.

$$P_{y_{sonar}} = \frac{S_y \left[ \tan^{-1} \left( \frac{y_{sonar}}{h} \right) - (90^\circ - \alpha) \right]}{\alpha - \beta} \quad (5)$$

$$R_{obstacle}(P_x, P_y) = R_i(P_x, P_y) \ni P_{y_{sonar}} \quad (6)$$

(  $P_x \leq P_x \leq P_x, R_i(x, y) \neq R_{corridor}$  )

$P_x, P_x$  : 영상에서 소나  $S_i$ 의 측정영역 중  $x$ 축의 좌·우측 가장자리값  
 $R_{corridor}$  : 복도영역

이렇게 얻어진 장애물영역은 식(6)을 이용하여 영상에서의 중심점을 구하고, 구해진 좌표값을 식 (2), (3)에 대입함으로써 측정위치로부터 장애물의 거리와 방향을 계산할 수 있다.

알고리즘 2. 소나 정보와 영상정보의 조합 방법

$$P_{x_{center}} = \frac{\sum_{k=1}^n P_{x_k}}{n}, P_{y_{center}} = P_{y_{sonar}} \quad (7)$$

$$(R_{obstacle} \ni P_x, P_{y_{sonar}})$$

$n$  : 장애물 영역의 픽셀수

이러한 장애물 인식 방법은 기존의 방법에 비해, 정해진 모양이 아닌 불특정한 모양의 장애물 인식이 가능하고, 장애물의 3차원 처리를 위해서 카메라를 2대 사용할 필요가 없다. 또한, 알고리즘이 단순하여, 구현이 쉽고 실시간 처리에 적합하다.

### 3. 실험

장애물 측정을 위해 위에 언급된 식에 사용될 상수값은 표1과 같다.

$h$	$S_y$	$S_x$	$\alpha$	$\beta$
62cm	480	640	45.94°	8.6°

표 1. 측정상수값

실험을 위하여, ACTIVMEDIA사의 Pioneer2-DX를 사용했으며, 소나 센서는 전방의 3번 센서를 사용하였다. 프레임 그래픽어는 Digital Translation사의 DT-3132를 사용하였다. <그림2>의 영상에서 장애물의 소나 측정 거리는 119.5cm로 측정되었으며, 대응되는 영상에서의  $y$  축 좌표값은 식(4)에 의해 구해지며, 그 값은 238point 이다. 이 값은 위에서부터 242point 이며, 장애물의  $y$ 축 영역에 속해 있으며, 결국  $P_{y_{sonar}}$ 로 사용된다. 또한, 소나가 측정하는 영역은  $x$ 축 좌표로 175~280 point로 측정되었다. 최종적으로 영상에서 식(5)를 만족하는 영역은 그림4와 같으며, 중심점 좌표는 식(6)을 이용하면,  $x$ 축 좌표는 245 point 가 된다.

<그림4>에서, 두 개의 선 안쪽 영역이 사용된 소나의 측정 영역이며, 소나는 이 영역 안에서 물체를 분간할 수 없고, 경계선에 걸쳐 있는 물체와 안에 있는 물체를 분간할 수 없으나, 이와 같은 영상처리 후에는 물체의 중심점좌표를 구하여 물체의 방향도 알 수 있다.

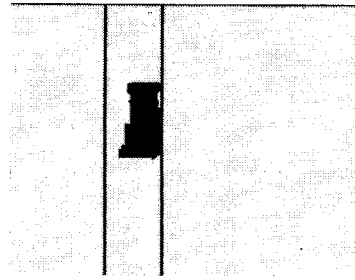


그림4. 장애물 검출 영상

### 4. 결론

소나 센서는 방사각에 대한 취약한 해석력을 가지고 있어서, 물체의 방향탐지에 적합하지 않다. 비전 센서는 영상외란으로 인하여 장애물 영상을 추출하기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 소나 센서의 정확한 거리정보와, 영상 센서의 풍부한 정보량을 조합하여, 장애물 위치 측정의 새로운 방법을 제안하였다. 분할/통합 알고리즘은 윤곽선검출 알고리즘보다 영상외란에 강하고, 장애물을 단일 영역으로 만드는 과정이 효율적이다. 이를 확인하기 위해 실험을 통하여, 제안된 알고리즘으로 처리된 영상과 윤곽선 검출 영상을 비교하였다. 또한, 소나와 비전정보를 조합함으로써 인하여, 장애물의 거리와 방향 정보를 동시에 획득할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Johann Borenstein and Yoram Koren, "Error Eliminating Rapid Ultrasonic Firing for Mobile Robot Obstacle Avoidance", IEEE Transactions on Robotics and Automations, Vol. 11, No.1, 1995, pp132-138
- [2] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi and Brian G. Schunck, "Machine Vision", Mc Graw Hill, 1995
- [3] K. Demirli and I.B. Türkşen, "Sonar based mobile robot localization by using fuzzy triangulation", Robotics and Autonomous Systems, 33, pp. 109-123, 2000
- [4] Tsung Nan Chou and Catherine Wykes, "An integrated ultrasonic system for detection, recognition and measurement", Measurement, 26, pp. 179-190, 1999
- [5] Terence Chek Hion Heng, Yoshinori Kuno, and Yoshiaki Shirai, "Active Sensor Fusion for Collision Avoidance", Proc. IROS'97, Vol. 2, pp. 1244-1249, 1997
- [6] I. Pitas, "Digital Image Processing Algorithms and Applications", Wiley Inter-science, 2000
- [7] Seong-joong, Kim, Jeong-wong Lee, Chang-goo Lee, "Driving Environment Recognition and a Simple Wall-Following Algorithm for AGV Using Sonar Sensor", Proc.KIEE'2002, Vol. 4, pp. 2337-2340, 2002
- [8] Myong-Ho Kim, Sang-Cheol Lee, and Kwae-Hi Lee, "Self-Localization of Mobile Robot with Single Camera in Corridor Environment", ISIE, pp. 1619-1623, 2001