

# LRF를 이용한 그리드 타입의 장애물 형상 지도 작성

## Building a Grid-type Obstacle Shape Map Using LRF

\*육경환<sup>1</sup>, #양현석<sup>1</sup>

\*G. H. Yuk<sup>1</sup>, #H. S. Yang(hsyang@yonsei.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과

Key words : grid map, laser range finder, obstacle, median filter

### 1. 서론

협한 지형에서 이동 로봇이 주행하기 위해서는 장애물을 극복할 수 있는지 혹은 피해가야 하는지에 대한 판단을 할 수 있어야 한다. 이를 위해 주변 지형에 대한 적절한 정보를 제공할 수 있는 지도가 필요하다. 실내 및 실외, 2-D 및 3-D 지도 작성에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으며 [1,2,3], 이 중 많은 연구가 비전 센서를 사용하고 있고 초음파 센서 혹은 레이저 스캔 센서들과 혼합하여 사용하는 경우도 있다. [2,3] 본 연구에서는 비교적 단순하고 저렴한 비용으로 3-D 지도를 작성할 수 있도록 레이저 스캔 센서(이하 LRF)만을 사용한다.

초음파 센서나 레이저 스캔 센서만을 사용한 지도 작성에 대한 연구 중 대다수가 장애물의 존재 여부만을 판단하는 방법에 관한 것이며 이동 로봇은 이러한 장애물을 항상 회피의 대상으로 간주하게 된다.[2,3] 최근 협한 지형을 주행할 수 있는 로봇들이 많이 개발되고 있으며, 이러한 추세에 따라 장애물의 높이 및 기울기 등의 형상을 판단할 필요성이 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 LRF만을 이용하여 측정 시스템을 단순화 하며 장애물의 형상 정보 또한 포함하는 지도 작성 방법을 다룬다.

### 2. 측정 시스템 구성

LRF를 이용하여 3차원 지도를 작성하기 위하여 아래의 그림 1과 같이 RC서보 모터에 센서를 장착하여 자유도를 추가하였다. LRF는 Hokuyo사의 URG-04LX 모델을 사용하였으며 RC서보 모터는 Robotis사의 DX-117을 사용하였다.



Fig. 1 LRF on RC servo motor

LRF의 스캔 방향은 지면과 수직이 되도록 하여 수평 방향보다 수직 방향의 해상도를 높여서 장애물의 높이 및 기울기 정보의 정밀도를 높였다. 측정은 센서의 바로 아랫부분부터 정면까지 90도 범위에 대해 이루어졌으며 각도 해상도는 0.36도이다. 측정 결과는 센서의 좌표에서 표현되므로 아래의 좌표변환을 통해 3차원 공간의 좌표값으로 변환한다. 좌표축은 센서로부터 장애물 방향을 x, 지면과 수직인 방향을 z라고 하였다.

$$T = T_R T_T = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 10 - d_z \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

여기서  $\phi$ 는 모터의 회전각,  $d_z$ 는 모터 회전축과 센서의 측정부까지의 거리이다. 모터의 회전은 모터에 장착된 센서의 방향을 바꿔주기 위한 것으로 z축을 기준으로 이루어진다.

### 3. 그리드 타입 지도 작성

LRF를 통해 얻은 센서 정보는 단순한 숫자의 나열에 불과하다. 이 숫자들은 각도 값과 함께 제공되며 이를 아래와 같이 x, y, z값으로 바꾸어 적절한 좌표변환을 통해 3차원 공간의 점으로

바꿔주는 작업이 필요하다.

$$p_{sensor} = [\rho \sin\theta \quad \rho \cos\theta \quad 0]^T$$

$$p_{global} = T p_{sensor}$$

여기서  $\rho$ 는 센서의 측정값이고  $\theta$ 는 해당 측정값의 위치를 말한다. 좌표 변환한 결과로 3차원 공간상의 점의 집합이 구해지는데 모든 점들을 분석하여 주변 환경을 판단하기란 쉽지 않다. 따라서 공간상의 점들로부터 원하는 정보만을 추출하여 판단하기 쉽도록 그리드 타입의 장애물 지도를 작성한다. 그리드의 각 셀에는 지형의 높이 정보가 저장되며 이를 통해 기울기도 구할 수 있다. 본 연구에서 사용한 3차원 점들을 그리드 지도에 옮기는 절차는 다음과 같다.

- 1) 측정된 점들을 좌표변환 한다.
- 2) 변환된 각 점의 x, y 좌표값을 통해 해당 셀을 찾는다.
- 3) 해당 셀에 높이 정보를 기록한다.
- 4) 중복되는 높이 정보는 평균값을 사용한다.

본 연구에서는 센서의 방향을 2도씩 변화시키며 측정을 하였으며 화이트 노이즈의 영향을 고려하여 각 지점마다 10회씩 측정하여 그 평균값을 사용하였다.

### 4. 측정 결과

위의 방법을 통해 측정된 결과로부터 그리드 타입의 지도를 아래와 같이 작성하였다. 지도의 크기는 가로 1m 세로 1m로 정방형으로 작성하였으며 한 셀의 크기는 2.5cm로 하여 총 1600개의 셀로 구성된다.

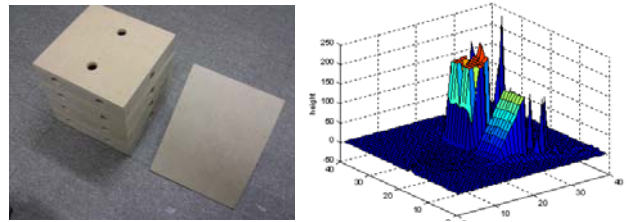


Fig. 2 Obstacles and Corresponding Grid Map

그림 2의 왼쪽 장애물을 측정하여 오른쪽과 같이 그리드 지도를 만들었다. 지도를 통해 장애물의 형상과 위치를 알 수 있고 이를 통해 이동 로봇이 극복 가능한 높이와 기울기인지 판단할 수 있다. 그러나 이와 같은 측정 결과는 노이즈와 같이 잘못된 측정된 결과들이 포함되어 있어서 존재하지 않는 장애물 인식 및 형상의 왜곡을 야기하기 때문에 로봇이 이동 가능성을 판단하는데 직접적으로 사용하기 힘들다. 이는 레이저 센서의 특징으로 사물의 모서리 부분이나 입사각이 큰 경우 잘못된 값이 읽혀질 수 있기 때문에 발생한다. [1]

### 5. 노이즈 필터링

그리드 타입의 장애물 형상 지도는 각 셀마다 특정 값이 존재하는 형태로 흑백 이미지의 표현 방법과 유사하다. 따라서 이미지의 노이즈 제거를 위한 필터링 방법을 적용할 수 있다. 임펄스 형태의 노이즈 제거에 효과적인 미디안 필터(median filter)를 사용하여 그리드 지도의 노이즈 제거를 시도해보았다.

아래와 같은 기본적인 형태의 미디안 필터를 사용하였을 때 그림 3과 같이 장애물의 모서리 부분이 왜곡되는 현상이 발견되

었다. 따라서 중앙에 가중치를 둔 미디안 필터(center weighted median filter)를 사용하여 이러한 문제를 극복하였다.

$$\begin{matrix} \text{standard} \\ \text{median} \\ \text{filter} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{center weighted} \\ \text{median} \\ \text{filter} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_c & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$w_c$  값은 1에서 9까지 다양한 값을 사용할 수 있겠으나 3을 사용하였을 때 가장 우수한 필터링 성능을 보인다. [4]

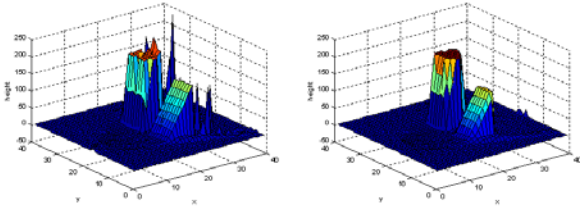


Fig. 3 Standard median filter applied

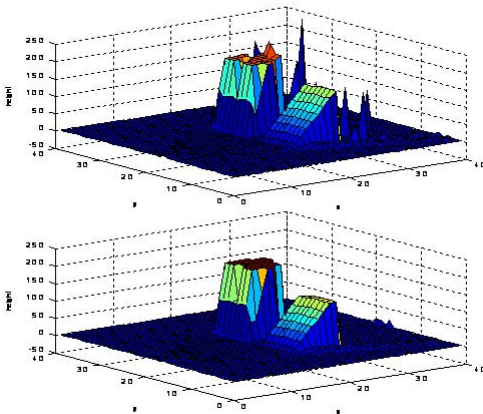
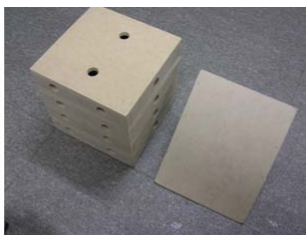


Fig. 4 CWM filter is applied - Height

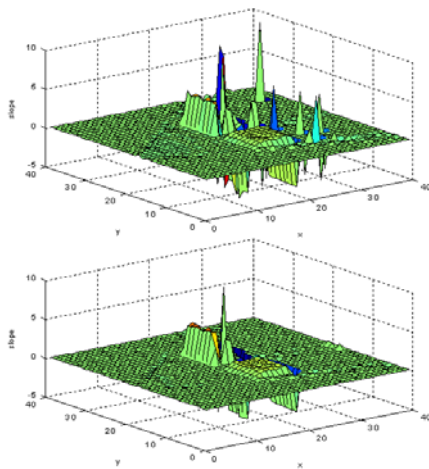


Fig. 5 CWM filter is applied - Slope

아래의 그림 4와 5에서 필터링 전후의 그리드 타입의 장애물 형상 지도와 이를 통해 진행 방향으로의 경사도를 표현한 경사도 지도를 볼 수 있다. 원본 데이터에 존재하는 노이즈가 제거되어 실제 장애물의 정보를 정확하게 반영하고 있는 것을 볼 수 있다.

필터링 효과를 정량적으로 보기 위해 이상적인 측정값과의

차이를 구하였다. 각 셀에서의 차이는 그림 6과 같으며 RMS 값을 계산하면 원본 데이터는 19.829, 필터링 한 데이터는 15.568로 약 21%의 오차 감소를 보인다. 본 연구에서 작성하는 지도의 목적은 이동 로봇이 주행가능한지 판단하기 위한 정보를 제공하는데 있다. 따라서 필터링의 목적은 오차의 감소도 있지만 가장 중요한 것은 노이즈로 인해 존재하지 않는 장애물을 존재한다고 인식하는 문제점을 해결하는데 있다. 그림 4에서 주요한 임펄스 형태의 노이즈들이 성공적으로 제거되는 것으로 확인되었기 때문에 CWM 필터링 결과는 본 연구의 목적에 잘 부합되는 것이라고 할 수 있다.

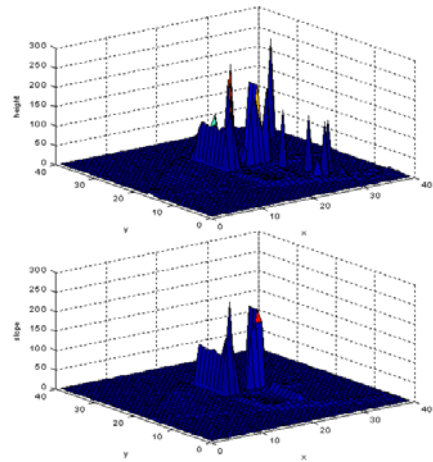


Fig. 6 Error grid map

## 6. 결론

본 연구에서는 이동 로봇이 주행하며 주변 지형에 대한 판단을 내릴 수 있는 용도의 그리드 타입의 장애물 형상 지도를 작성하였다. LRF의 측정 결과만으로 그리드 타입의 지도를 작성함으로써 측정 시스템을 최소화 할 수 있었다. 그러나 센서의 특성 때문에 발생하는 임펄스 형태의 노이즈가 존재하므로 이를 제거하기 위해 CWM 필터를 사용하였으며 적용 결과 로봇이 지형을 판단하는데 적합한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구의 지도는 LRF 하나만을 사용하기 때문에 비교적 단순한 측정 시스템으로도 작성이 가능하며, 향후 이동 로봇이 지형을 통과할지 회피해야할지 판단하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 생각한다.

## 참고문헌

1. Cang Ye and Johann Borenstein, "A new terrain mapping method for mobile robots obstacle negotiation," Proceedings of UGV Technology Conference, SPIE AeroSense Symposium, pp. 52-62, 2003.
2. Hamayoun Seraji, "New Traversability Indices and Traversability Grid for Integrated Sensor/Map-Based Navigation," Journal of Robotic Systems, vol. 20, no. 3, 121-134, 2003
3. U. Raschke and J. Borenstein, "A Comparison of Grid-type Map-building Techniques by Index of Performance," Robotics and Automation, 1990. Proceedings., 1990 IEEE International Conference on, Vol. 3, pp. 1828-1832, 1990
4. D. R. K. Brownrigg, "The Weighted Median Filter," Communication of the ACM, vol. 27, no. 8, pp. 807-818, 1984
5. Tao Chen, Kai-Kuang Ma, and Li-Hui Chen, "Tri-State Median Filter for Image Denoising," IEEE Transaction on Image Processing, vol. 8, no. 12, pp. 1834-1838, 1999