

3D 맵 빌딩을 위한 하이브리드 미디언 필터를 이용한 LRF의 임펄스 잡음 제거

Impulse Noise Removal of LRF for 3D Map Building Using a Hybrid Median Filter

황요섭, 김현우, 김태준, 이장명*
(Yoseop Hwang¹, Hyun-Woo Kim¹, Taejun Kim¹, and Jang-Myung Lee¹)
¹Pusan National University

Abstract: In this paper, a single LRF has been used to produce a 3D map for the mobile robot navigation. The 2D laser scanners are used for mobile robots navigation, where the laser scanner is applied to detect a certain level of area by the straight beam. Therefore it is limited to the usages of 2D obstacle detection and avoidance. In this research, it is designed to complement a mobile robot system to move up and down a single LRF along the yaw axis. During the up and down motion, the 2D data are stacked and manipulated to build a 3D map. Often a single LRF data are mixed with Gaussian and impulse noises. The impulse noises are removed out by the hybrid median filter designed in this research. The 2D data which are improved by deleting the impulse noises are layered to build the 3D map. Removing impulse noises while preserving the boundary is a main advantages of the hybrid median filter which has been used widely to improve the quality of images. The effectiveness of this hybrid median filter for rejecting the impulse noises has been verified through the real experiments. The performance of the hybrid median filter is evaluated in terms of PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) and the processing time.

Keywords: 3D map, mobile robot, LRF, hybrid median filter, PSNR, MSE

I. 서론

오늘날 로봇 산업이 급속도로 발전하면서 이동로봇의 자율주행에 관한 관심이 집중되고 있다. 미지의 지형에서 이동로봇이 자율주행하기 위해서는 장애물을 극복하거나 회피해야 하는지에 대한 판단을 할 수 있어야 한다. 이를 위해 우선 주변 지형에 대한 적절한 정보를 제공할 수 있는 지도가 요구된다. 지금까지 실내와 실외, 2D와 3D 지도 작성에 관한 많은 연구들이 진행되어왔다[1,2,11,14,15]. 이 중 많은 연구가 비전 센서나 초음파 센서 혹은 레이저 스캐너들을 단독 또는 여러 센서들을 융합하여 사용하는 경우도 있다[1-3]. 초음파 센서나 레이저 스캐너만을 사용한 지도 작성에 대한 연구 중 대다수가 장애물의 존재 여부를 판단하는 방법에 관한 것이며 이동 로봇은 이러한 장애물을 항상 회피의 대상으로 간주하게 된다[1,2]. 최근 미지의 지형을 주행할 수 있는 로봇들이 많이 개발되고 있으며, 이러한 추세에 따라 장애물의 높이 및 기울기 등의 형상을 판단할 필요성이 증대되고 있다[1,2]. 따라서 본 연구에서는 비교적 단순하게 구성하여 3D 맵 빌딩을 할 수 있도록 LRF 레이저 스캐너와 다이나믹셀 서보모터만을 사용한 측

정 시스템을 제안한다.

제안된 측정 시스템에서 사용하는 LRF 레이저 스캐너는 비교적 측정 특성이 우수하고 정확하지만 레이저 스캐너의 특성상 장애물의 특성이나 기타 환경요인에 의해 가우시안 잡음과 짧은 시간에 매우 큰 값으로 튀는 임펄스 잡음이 혼재된 데이터를 수신한다. 이렇게 잡음이 생길 경우 로봇이 정확한 맵을 작성하기 어려워질 뿐만 아니라 이렇게 만들어진 지도를 바탕으로 모바일 로봇이 작업을 수행할 때 장애물과 잡음을 구별 할 수 없어지게 된다.

영상에서의 가우시안 잡음은 저주파 통과 필터링 또는 블러링에 의해 효과적으로 제거되지만 임펄스 잡음에는 거의 효과가 없다. 본 논문에서는 임펄스 잡음에 대해 영상분야에서 사용되는 마스크 처리 기반의 하이브리드 미디언 필터를 이용한 방법을 다룬다[12]. 하이브리드 미디언 필터를 적용하기 위한 데이터 획득에 관한 방법도 다룬다.

먼저 II 장에서는 시스템 구성 및 지도의 작성에 관해 설명하고, III 장에서는 임펄스 잡음 제거를 위한 하이브리드 미디언 필터 적용 방법을 설명하고, IV 장에서는 실험을 통해 하이브리드 미디언 필터를 적용한 3D 맵 빌딩을 검증하며, 마지막으로 V 장에서는 결론을 제시함으로써 이 논문을 마무리 한다.

II. 시스템 구성 및 지도 작성

본 논문에서 2D 적층 데이터 추출을 위해 구성된 주행 로봇 시스템은 (주) 엔터렉스사의 NT-TANK-LL (엔터렉스 탱크) 모델로, 평지에서 속도 20.5 M/min이고, 무게 12 kg

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 11. 11., 수정: 2012. 8. 14., 채택확정: 2012. 8. 30.

황요섭, 김현우, 김태준, 이장명: 부산대학교 전기전자공학부

(mmx001@pusan.ac.kr/hyunwoo1687@pusan.ac.kr/ktj565@nate.com/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇전문인력양성 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012-H1502-12-1002).

사양의 바디로 내부에 배터리, 전자제어장치 및 모터 드라이버를 내장할 수 있는 구조와 10 W급 DC모터와 256 pulse/ rotate 정밀도를 갖는 광학식 엔코더가 내장되어 있는 것을 사용한다. 거리센서는 Hokuyo사의 실내 환경 레이저 스캐너인 URG-04LX 모델로 115.2 kbps의 RS-232통신 인터페이스로 구성되어 있으며, LRF의 2차원 평면 측정범위는 0.36° 간격으로 240°를 스캔할 수 있으며, 스캔 스피드는 100 msec/scan이며, 최대 측정거리는 4,000 mm이다. 또한 다이내믹셀 서보모터 2개를 이용하여 레이저 스캐너의 Yaw축 기울임 각도를 조절하였으며, 서보모터의 엔코더를 이용하여 이동로봇의 Yaw축 data를 측정한다. 이동로봇의 진행방향에 적용하여 IMU는 Roll축에 자이로와 Pitch축과 Yaw축에 가속도 센서를 배치하여 시스템을 구성하였다 [4,5,8-10].

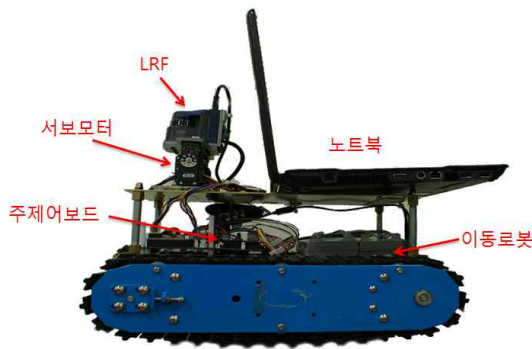


그림 1. LRF 시스템의 구성.
Fig. 1. Measurement range of LRF system.



그림 2. 서보모터를 이용한 LRF 기울임 각도 조절
Fig. 2. Servo motor with adjustable tilt angle LRF.

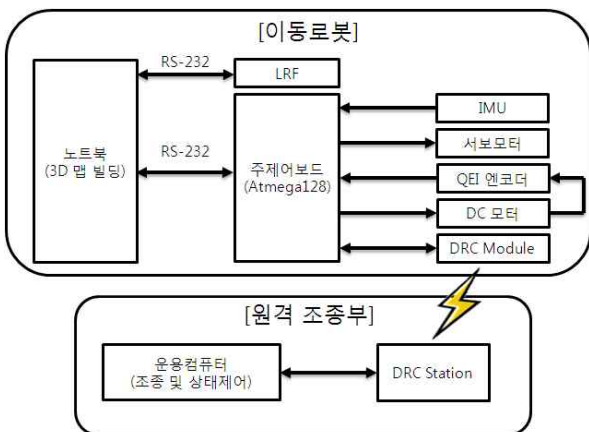


그림 3. 전체 시스템 블록도.
Fig. 3. Overall system block diagram.

그림 3은 전체 시스템 블록도로서 IMU는 3축 가속도 1개와 1축 자이로 센서 2개로 구성되고 주제어보드를 담당하는 MCU는 Atmel사의 Atmega128을 사용하여 이동로봇을 구성하였다. 3축 가속도 센서는 VTI Technologies사의 SCA3000-D 01 ($\pm 2g$), 자이로 센서는 Analog Devices사의 ADIS6100 ($\pm 300^\circ/s$)를 사용한 모듈로 구성된다. 이렇게 IMU를 이용할 경우 서보모터의 엔코더보다 정밀한 기울기 계산이 가능해진다. 또한 센서의 특성상 여러 값이 발생할 가능성이 있기 때문에 상보필터를 사용함으로써 에러를 필터링하여 정확한 기울기 값을 얻도록 하였다. 이를 이용해 3차원 맵빌딩시 수행되는 LRF의 기울어짐 각도를 계산하고 맵 적층에 적용된다.

이동로봇의 주행 및 상태제어는 양방향 무선 카메라 모듈을 통해서 수동으로 원격 조정하여 수행하도록 한다.

일반적으로 단일 LRF의 레이저 스캐너 데이터를 이용하여 2D 맵을 작성하기 위해서는 식 (1), (2)와 같이 X축과 Y축의 방향성을 구한다[6].

$$X = \cos(\Phi_1) \tag{1}$$

$$Y = \sin(\theta_1) \tag{2}$$

그림 4는 단일 LRF의 2D 데이터를 이용하여 3D 맵 생성을 위한 Yaw축 기울임 각도 조절 방법을 나타내었다. Φ_1 은 모터의 기울기, θ_1 은 LRF의 스캔 각도, d_1 은 LRF의 측정거리를 나타낸다. LRF에서 0°를 기준값으로 정하고 이 거리값을 이용하여 스캔 각도에 따른 거리 값을 보정하였다. 또한 LRF가 스캔한 240°의 데이터 중 본 논문에서는 0~180° 범위의 데이터만을 잘라서 사용한다.

3D 맵 빌딩에 있어 LRF의 Yaw축 기울임 각도를 위한 서보모터의 엔코더 값을 적용하지 않고 적층을 하게 되면 오차가 발생하게 된다. 이러한 오차 값을 보정하기 위해서 서보모터의 엔코더 값을 이용하여 3D 맵 빌딩을 보정해 주기 위해 식 (3)-(5)를 적용하여 보정을 한다[7].

$$X = d_1 \sin(90^\circ - \Phi_1) * \cos(\Phi_1) \tag{3}$$

$$Y = d_1 \sin(90^\circ - \Phi_1) * \sin(\theta_1) \tag{4}$$

$$Z = d_1 \cos(90^\circ - \Phi_1) \tag{5}$$

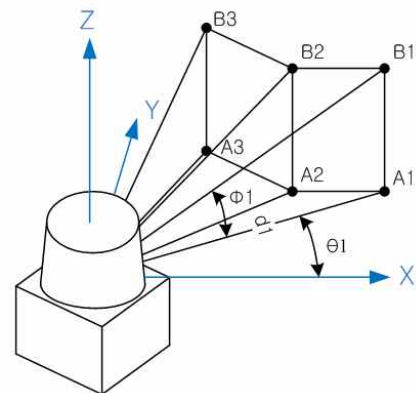


그림 4. X, Y 측정 원리.
Fig. 4. The Measuring principle of X, Y Coordinates.

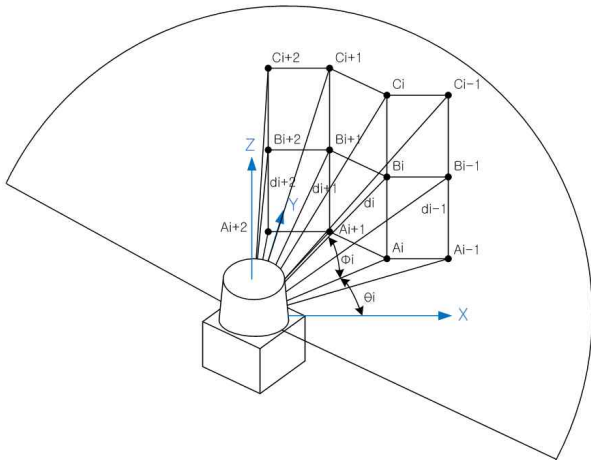


그림 5. X, Y, Z 측정 원리.

Fig. 5. The Measuring principle of X, Y, Z Coordinates.

본 논문에 사용된 Yaw축의 기울임 각도는 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 범위내에서 사용한다. 식 (3)-(5)를 이용하여 각 각도에 따라서 X, Y, Z의 값이 보정되면 값이 달라지게 되고, LRF에 지정한 범위를 벗어나는 것은 버리게 된다.

III. 적용된 하이브리드 미디언 필터

1. 영상 데이터 획득

제안된 이동로봇의 시스템을 이용하여 단일 LRF의 2D 데이터는 LRF의 $0 \sim 180^\circ$ 범위내의 스캔 데이터와 Yaw축의 기울임 각도 $-30^\circ \sim +30^\circ$ 사이의 데이터를 적층하는 방법으로 데이터를 누적시켜 영상 데이터와 같이 획득한다.

2. 하이브리드 미디언 필터

영상처리분야에서 주로 사용되는 마스크 기반 처리의 임펄스 잡음제거 방법 중의 하나로 주로 미디언 필터링을 많이 사용하지만 미디언 필터링은 영상내의 직선, 코너와 같은 부분이 망가져서 희미한 영상을 얻기 쉽다. 이를 보완한 잡음제거 방법으로 경계선 보존에 중점을 둔 알고리즘으로 하이브리드 미디언 필터를 사용한다[12]. 하지만 이 알고리즘은 가우시안 잡음의 제거는 한계가 있다. 이 알고

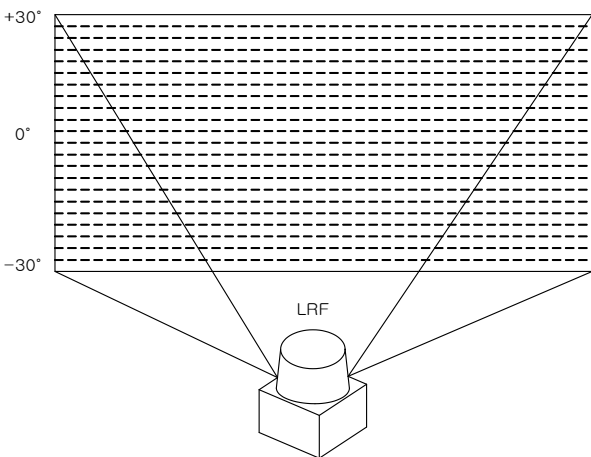


그림 6. 영상 데이터 획득 방법.

Fig. 6. How to obtain image data.

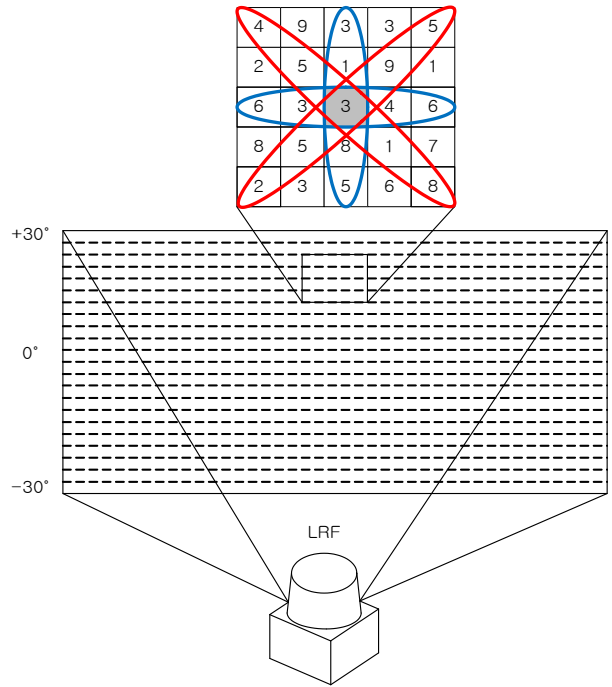


그림 7. 획득된 영상에서의 5x5 마스크 추출.

Fig. 7. 5x5 mask extracted from the acquired image.

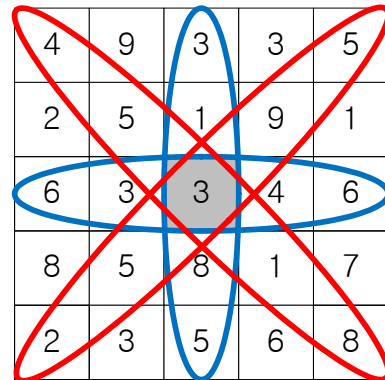


그림 8. 하이브리드 미디언 마스크.

Fig. 8. Hybrid median mask.

리즘의 필터링 개념은 영상에서 홀수 x 홀수 영상의 마스크를 추출한다. 추출한 마스크에서 대각선, 역대각선, 중앙 수직선 그리고 중앙 수평선 그룹을 얻는다. 각 그룹을 정렬한 후 그룹별 중간값을 추출한다. 마스크의 중심값을 얻어 그룹별 중간값과 정렬한 후 중간값을 구한다. 구한 중간값을 출력 영상의 화소에 삽입하여 임펄스 잡음을 제거한다. 본 논문에서는 5x5 영상 마스크를 사용하여 임펄스 잡음을 제거한다.

그림 6에서 획득한 영상 데이터에서 그림 7과 같이 5x5 하이브리드 미디언 마스크를 추출하고, 추출된 마스크는 하이브리드 미디언 필터링 개념에 따라 그림 8을 다음과 같이 수행한다.

- 1) 대각선의 마스크 값인 4, 5, 3, 1, 8을 선택하고, 이를 1, 3, 4, 5, 8의 낮은 순서대로 정렬한 후 중간값인 4를 선택한다.

- 2) 역대각선의 마스크 값인 5, 9, 3, 5, 2를 선택하고, 이를 2, 3, 5, 5, 9의 낮은 순서대로 정렬한 후 중간값인 5를 선택한다.
- 3) 중앙 수직선의 마스크 값인 3, 1, 3, 8, 5를 선택하고, 이를 1, 3, 3, 5, 8의 낮은 순서대로 정렬한 후 중간값인 3을 선택한다.
- 4) 중앙 수평선의 마스크 값인 6, 3, 3, 4, 6을 선택하고, 이를 3, 3, 4, 6, 6의 낮은 순서대로 정렬한 후 중간값인 4를 선택한다.
- 5) 모든 마스크에 의해 겹쳐진 중간 값인 3을 선택한다.
- 6) 이때 선택된 중간 값 4, 5, 3, 4, 3을 다시 3, 3, 4, 4, 5의 낮은 순서대로 정렬 후 중간값인 4를 선택한다.
- 7) 최종 선택된 중간값인 4를 출력 영상의 화소에 삽입한다.

IV. 실험결과

1. 실험환경

그림 9는 본 논문에서 제안한 이동로봇으로 Yaw축의 기울임 각도 조절 기능을 이용하여 LRF의 2D 데이터를 추출하는 모습을 보여주고 있다. 이동로봇은 원격에서 양방향 무선 카메라 모듈을 통해 수동으로 조종한다. 그림 10은 3D 맵 빌딩을 위한 2D 데이터 추출을 위해 사용된 실험 환경을 나타낸 사진이다.

적용한 하이브리드 미디언 필터의 성능을 정량적으로 평가하기 위해 비슷한 구조의 마스크를 갖는 미디언 필터와 두 가지 방법으로 비교하여 측정해보았다. 필터의 품질을 객관적으로 평가할 수 있는 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)과 필터의 처리속도에 관한 알고리즘 수행시간을 이용하여 판단해보았다. 사용된 미디언 필터의 마스크 형태는 5x5 마스크를 갖는 교차형, X형, 블록형, 다이아몬드형이며 아래와 같다[16].

PSNR은 객관적인 화질 측정 방법으로 주로 영상 또는 동영상 손실 압축에서 화질 손실 정보를 평가할 때 사용하는 최대 신호 대 잡음비에 대한 표이다. 최대 신호 대 잡음비는 신호의 전력에 대한 고려없이 평균 제곱 오차를 이용해서 계산할 수 있다. 계산식은 식 (6)과 같다[12,13].

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (6)$$



그림 9. 제안된 이동로봇과 실험 환경.
Fig. 9. The proposed mobile robot and experimental environment.

여기서 255는 8bit 샘플 영상의 최대 값으로서, 해당 채널의 최대 값에서 최소 값을 빼서 구할 수 있다. 손실이 적을수록 높은 값을 가진다. 또한, MSE (Mean Square Error)는 두 개의 같은 양의 데이터에 대해 동일한 위치에 대해 분산을 계산하는 것으로 식 (7)과 같다[12,13]. 변수가 x, y, 2개인 것은 영상처리를 기준으로 가로, 세로를 표현하기 위함이다.

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (f^{\wedge}(x,y) - f(x,y))^2 \quad (7)$$

그림 11은 제안된 이동로봇으로부터 서보모터의 엔코더 값을 이용한 3D 맵 빌딩을 나타낸 사진이며, 그림 12~15는 미디언 필터 윈도우 종류에 따른 임펄스 잡음을 제거 후

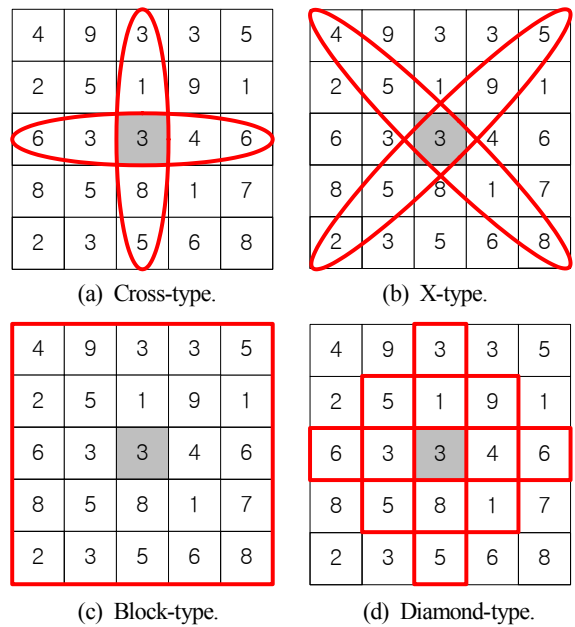


그림 10. 미디언 필터 윈도우 종류.
Fig. 10. Kind of median filter window.

표 1. 최대 신호 대 잡음비.

Table 1. Peak Signal-to-noise ratio.

필터 종류	PSNR (dB)
교차형 미디언 필터	8.4569
X형 미디언 필터	8.2730
블록형 미디언 필터	8.0986
다이아몬드형 미디언 필터	8.3340
적용된 하이브리드 미디언 필터	19.6254

표 2. 알고리즘 수행시간.

Table 2. Algorithm execution time.

필터 종류	수행시간 (sec)
교차형 미디언 필터	4.354467
X형 미디언 필터	4.164888
블록형 미디언 필터	4.214861
다이아몬드형 미디언 필터	4.884153
적용된 하이브리드 미디언 필터	4.058406

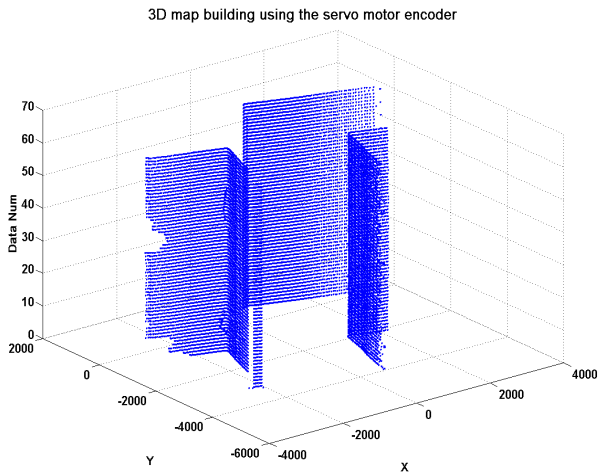


그림 11. 서보모터 엔코더를 이용한 3D 맵 빌딩 영상.
Fig. 11. Building a 3D map image before hybrid median filtering.

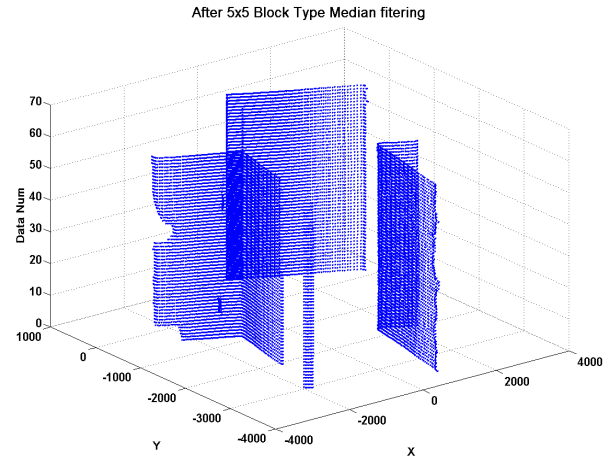


그림 14. 블록형 미디언 필터링 이후의 3D 맵 빌딩 영상.
Fig. 14. Building a 3D map image after block type median filtering.

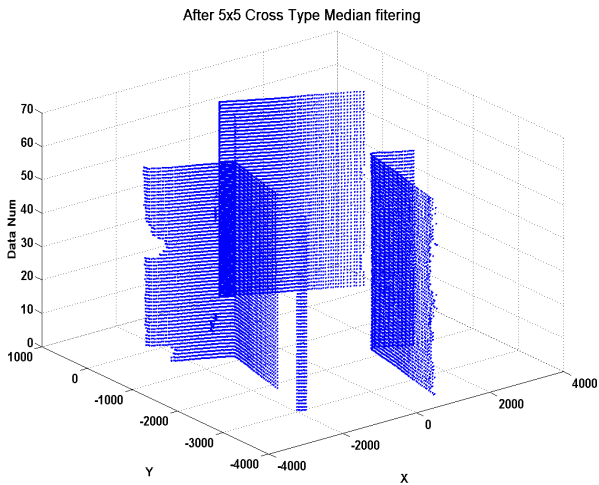


그림 12. 교차형 미디언 필터링 이후의 3D 맵 빌딩 영상.
Fig. 12. Building a 3D map image after cross type median filtering.

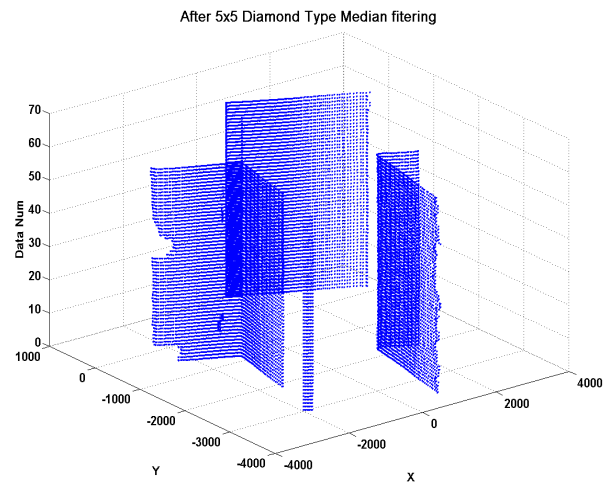


그림 15. 다이아몬드형 미디언 필터링 이후의 3D 맵 빌딩 영상.
Fig. 15. Building a 3D map image after diamond type median filtering.

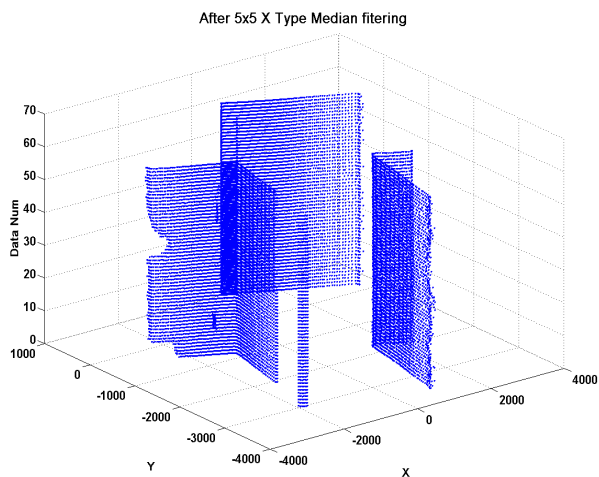


그림 13. X형 미디언 필터링 이후의 3D 맵 빌딩 영상.
Fig. 13. Building a 3D map image after X type median filtering.

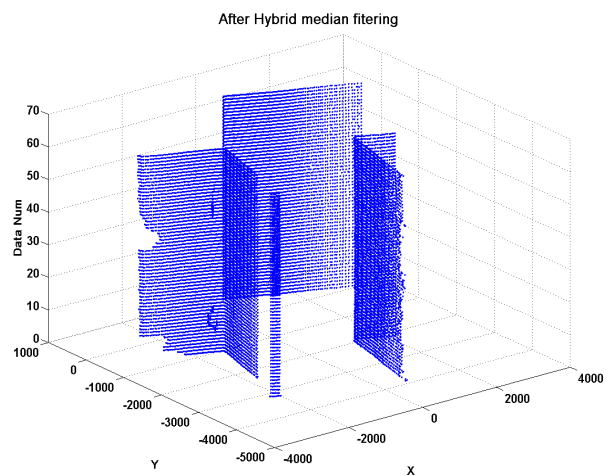


그림 16. 하이브리드 미디언 필터링 이후의 3D 맵 빌딩 영상.
Fig. 16. Building a 3D map image after hybrid median filtering.

3D 맵 빌딩을 수행한 영상이다. 그림 16은 본 논문에서 임펄스 잡음 제거를 위해 적용된 하이브리드 미디언 필터링을 거쳐 3D 맵 빌딩을 수행한 영상을 보여주고 있다.



그림 17. 두 번째 실험 환경.

Fig. 17. Second experimental environment.

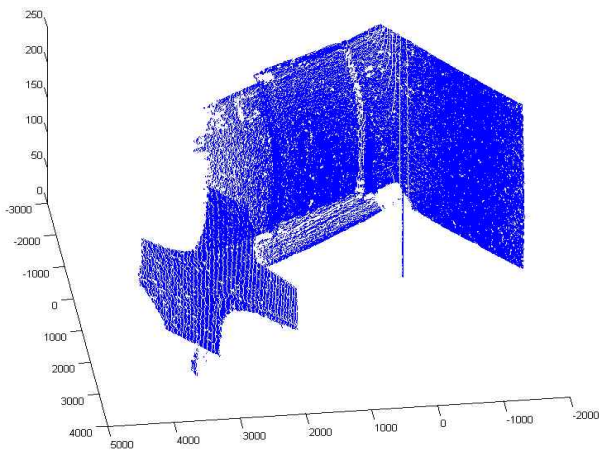


그림 18. 하이브리드 미디언 필터링 이전의 3D 맵 빌딩 영상.

Fig. 18. Building a 3D map image before hybrid median filtering.

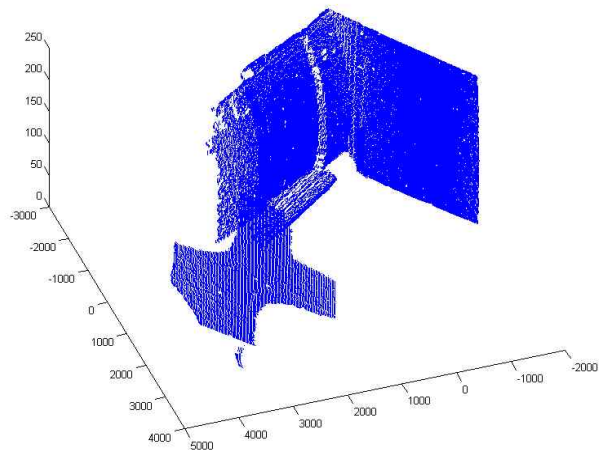


그림 19. 하이브리드 미디언 필터링 이후의 3D 맵 빌딩 영상.

Fig. 19. Building a 3D map image after hybrid median filtering.

그림 17은 두 번째 실험환경이다. 그림 17에서 보이는 환경을 스캔결과 그림 18과 같은 결과가 나왔다. 그림 18은 하이브리드 미디언 필터를 사용하기 전의 3차원 지도고, 그림 19는 하이브리드 미디언 필터를 사용한 후의 3차원 지도다. 그림에서도 알 수 있듯이 벽을 형성하는 데이터의 조밀성이 필터를 거친 후 더 좋아진 것을 알 수 있다. 그리고 중앙의 잡음과 같은 기둥선 또한 제거된 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 2D 레이저 거리 스캐너의 데이터를 다이나믹셀 서보모터를 이용하여 Yaw축을 상하로 움직이도록 하는 시스템을 제안하고, 이렇게 제안된 시스템에서 2D 레이저 스캐너의 데이터를 적용하는 방식으로 3D 맵 빌딩을 구현하였다. 구현된 3D 맵 빌딩에서 LRF 수신 데이터내의 효과적인 임펄스 잡음 제거를 위해 적용된 데이터를 영상과 같이 취급하여 영상 잡음제거에 사용되는 마스크 기반 처리중의 하나인 임펄스 잡음 제거에 효과가 크며 경계선 보존이 가능한 하이브리드 미디언 필터를 적용하여 3D 맵 빌딩을 구현하였다. 본 논문에서는 3D 맵 빌딩의 품질평가에 있어, 다양한 형태의 윈도우를 갖는 미디언 필터와 적용된 하이브리드 미디언 필터의 특성 분석을 통해 수행시간과 PSNR을 측정하였다. 수행시간은 사용된 모든 필터들이 5x5 마스크 매트릭스 연산을 갖기 때문에 현저한 시간적 차이는 없었지만 PSNR을 이용하여 화질 손실을 비교한 결과 적용된 하이브리드 미디언 필터가 2배 이상의 품질을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 미디언 필터에서 직선과 코너 등의 경계선이 뭉개지는 현상을 적용된 하이브리드 미디언 필터를 통해 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 좀 더 효율적인 임펄스 제거를 위해 적절한 하이브리드 미디언 마스크 매트릭스의 선택과 하이브리드 미디언 필터를 이동로봇의 자율주행에서 실시간으로 3D 맵 빌딩에 사용할 수 있도록 리얼타임 시스템을 구현할 예정이다.

참고문헌

- [1] G. H. Yuk and H. S. Yang, "Building a grid-type obstacle shape map using LRF," *Korean Society for Precision Engineering, KSPE 08S330 (in Korean)*, pp. 473-474, Jun. 2008.
- [2] C. Ye and J. Borenstein, "A new terrain mapping method for mobile robots obstacle negotiation," *Proceedings of UGV Technology Conference, SPIE AeroSense Symposium*, pp. 52-62, 2003.
- [3] S. J. Kim, K. H. An, C. H. Sung, and M. J. Chung, "Refinements of multi-sensor based 3D reconstruction using a multi-sensor fusion disparity map," *The Journal of Korea Robotics Society (in Korean)*, vol. 4, no. 4, pp. 298-304, Dec. 2009.
- [4] T.-B. Kwon, J.-B. Song, and S.-C. Kang, "Extraction and matching of elevation moment of inertia for elevation map-based localization of an outdoor mobile

- robot,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 2, pp. 203-210, Feb. 2009.
- [5] T. Fujita and Y. Kondo, “3D terrain measurement system with movable laser range finder,” *2009 IEEE International workshop on (SSRR)*, pp. 1-6, no. 2, Nov. 2009.
- [6] T. Kot, V. Mostyn, and P. Novak, “Application of a 3d representation of 2D laser scanner data in operator controlled mobile robots,” *Transactions of the VSB*, vol. LV, no. 1, pp. 145-152, Apr. 2009.
- [7] H.-W. Kim, Y.-S. Hwang, and J.-M. Lee, “Angle sensing based on Kalman filter for 3D map building,” *The 6th Korea Robotics Society Annual Conference (in Korean)*, pp. 29-32, KSPE 08S330.
- [8] K. Ohno and S. Tadokoro, “Dense 3D map building based on LRF data and color image fusion,” *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2792-2797, 2005.
- [9] H. Surmann, K. Lingemann, A. Nuchter, and J. Hertzberg, “A 3D laser range for autonomous mobile robots,” *Proc. of the 32nd ISR*, pp. 153-158, 19-21, Apr. 2001.
- [10] D. Oritin, J. Neira, and J. M. M. Montiel, “Relocation using laser and vision,” *IEEE International Conference on Robotis and Automation*, vol. 2, pp. 1505-1510, 2004.
- [11] O. Wulf and B. Wagner, “Fast 3D sanning methods for laser measurement systems,” *Institute for Systems Engineering*, 2003.
- [12] R. Vanithamani, G. Umamaheswari, and M. Ezhilarasi “Modified hybrid median filter for effective speckle reduction in ultrasound images,” *Recent Advances in Networking, VLSI and Signal Processing*, ISSN:1790-5117, pp. 166-171.
- [13] J. Najeer Ahmed and V. Rajamani, “Design of hybrid filter for denosing images using fuzzy network and edge detecting,” *American Journal of Scientific Research*, ISSN:1450-223X, no. 3, pp. 5-14, 2009.
- [14] W.-J. Chung, D.-H. Lee, and C.-H. Choi, “Application of the laser distance sensor and mobile robot control,” *ICASE Magazine*, vol. 8, no. 5, pp. 17-22, Sep. 2002.
- [15] H. Surmann, A. Nuchter, and J. Hertzberg, “An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 45, pp. 181-198, Apr. 2003.
- [16] kaojinz.com.ne.kr/HOME/Document/ImageProcessing/image_processing/fiter.htm.74.html
- [17] J. T. Park and J. B. Song, “Sensor fusion-based semantic map building,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 3, pp.

277-282, Mar. 2011.

- [18] H. M. Han, J. T. Park, and J. B. Song, “Grid map building based on reliability model of sonar data,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 12, pp. 1219-1226, Dec. 2011.



황요섭

2010년 진주산업대 메카트로닉스과 졸업. 2012년 부산대학교 로봇대학원 공학석사. 현재 동 대학원 전기전자 박사과정. 관심분야는 Haptics, 이족로봇 제어, Navigation and Localization 시스템.



김현우

2011년 부경대학교 전자정보통신공학부 졸업. 2011년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학 석사과정 재학중. 관심분야는 지능제어시스템, Navigation and Localization 시스템, SLAM.



김태준

2000년 청주대학교 전자정보통신반도체 공학부 졸업. 2010년~현재 부산대학교 대학원 로봇협동 과정 석사과정 재학 중. 관심분야는 맵 빌딩, 마이크로프로세서 응용, SLAM.



이장명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 공학석사. 1990년 USC(미국 남가주 대학교)공학박사. 1982년~현재 부산대학교 전자전기공학과 교수. 관심분야는 지능로봇시스템 제어, 마이크로프로세서 응용, 특수환경 Navigation and Localization.