

어안 렌즈와 레이저 스캐너를 이용한 3 차원 전방향 영상 SLAM

3D Omni-directional Vision SLAM using a Fisheye Lens Laser Scanner

최 윤 원, 최 정 원, 이 석 규*
(Yun Won Choi¹, Jeong Won Choi², and Suk Gyu Lee^{3,*})

¹Automotive IT Platform Research Team, ETRI

²Department of Automatic Electrical Engineering, Yeungnam College of Science & Technology

³Department of Electrical Engineering, Yeungnam University

Abstract: This paper proposes a novel three-dimensional mapping algorithm in Omni-Directional Vision SLAM based on a fisheye image and laser scanner data. The performance of SLAM has been improved by various estimation methods, sensors with multiple functions, or sensor fusion. Conventional 3D SLAM approaches which mainly employed RGB-D cameras to obtain depth information are not suitable for mobile robot applications because RGB-D camera system with multiple cameras have a greater size and slow processing time for the calculation of the depth information for omni-directional images. In this paper, we used a fisheye camera installed facing downwards and a two-dimensional laser scanner separate from the camera at a constant distance. We calculated fusion points from the plane coordinates of obstacles obtained by the information of the two-dimensional laser scanner and the outline of obstacles obtained by the omni-directional image sensor that can acquire surround view at the same time. The effectiveness of the proposed method is confirmed through comparison between maps obtained using the proposed algorithm and real maps.

Keywords: omnidirectional vision, 3D vision slam, fish-eye lens, laser scanner

I. 서론

로봇 주행에 관한 연구에서 위치 인식과 지도 작성 즉, SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)은 가장 핵심적인 연구 과제로서 오랫동안 많은 연구자들에 의해 다양한 접근이 이루어 졌다. 그 결과 Extended Kalman Filter, Particle Filter 등의 예측 알고리즘을 활용한 SLAM과 레이저 스캐너 센서, 카메라 센서, 초음파 센서 등 다양한 센서에 적합한 알고리즘이 개발되었다[1]. 기존에는 로봇 주변의 정보를 제한적으로 사용하였지만 최근에는 컴퓨팅 성능을 향상되면서 주변의 다양한 정보를 융합하여 사용함으로써 비교적 적은 오차로 자기 위치 추정과 지도를 작성할 수 있게 되었다. 그러나 컴퓨팅 성능을 확보하기 힘든 소형 이동 로봇에 대한 SLAM 연구는 기존 알고리즘과 시스템을 최적화하거나 다른 접근 방식이 필요하게 되었다. 기존 SLAM은 초음파나 IR 센서를 이용하여 특정 각도에 대한 장애물까지의 거리를 기반으로 하였으나 2D 레이저 스캐너 센서가 활용이 되면서부터 분해능이 높아져서 세밀한 거리 정보를 바탕으로 주변 장애물 정보를 습득하게 되었다. 카메라를 이용하여 로봇의 위치를 추정하는 경우에는 이미지에서 주변의 특징점 정보를 얻어서 자기 위치를 추정하게 된다. 이러한 카메라를 이용한 SLAM은 한 대를 사용하는 mono SLAM, 사람의 눈처럼 두 대를

사용하는 stereo SLAM, 실내 천장 정보를 이용하는 ceiling SLAM 등 다양한 대상으로 연구되었다. 모노 영상방식은 단일 카메라를 사용하므로 구성이 용이한 장점이 있지만 전 영역에 대한 지도작성에는 많은 계산량이 필요하여 거리측정 속도가 느린 문제점을 가지고 있다[2]. 스테레오 영상방식은 영상에 많은 정보량을 포함한다는 장점이 있으나, 센서시스템 구축에 고비용이 소요되고, 양쪽 영상의 매칭 문제를 풀기 위해 많은 계산량이 필요하고 각도에 따른 거리 한계에 대한 문제점을 가지고 있다[3]. 최근 들어 SLAM에 대한 연구는 3D 레이저 센서나 RGB-D 카메라의 활성화에 따라 단일 평면적인 추정이 아닌 3차원적인 위치와 주변 지도 작성하는 3D SLAM에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

3D SLAM에 관한 연구 중에서 전방향 이미지 기반의 3D SLAM에 대한 연구는 아직 미미한 상태이다. 기존의 전방향 이미지를 이용한 SLAM은 포물면 반사경(paraboloidal mirror)에 반사된 이미지를 얻거나[4-7] 천장을 향해 설치한 어안 카메라로 전방향 이미지를 얻었다[8-10]. 그러나 이와 같은 방법은 카메라에 의해 가려지는 부분이 생기거나 조명에 영향을 많이 받는 단점이 있었다. 본 논문에서는 기존 방식과 달리 조명의 영향을 비교적 적게 받으면서 반사경의 왜곡 정보에 상관없는 주변 정보를 획득하도록 카메라를 바닥 방향으로 설치한 어안 렌즈를 이용하여 전방향 이미지를 획득하는 방식을 사용하였다. 기존 연구에서는 추정된 지도는 평면적으로 형성된 형태를 지니기 때문에 높이에 따라 크기가 다른 모양의 장애물이 있는 상황에서는 충돌할 가능성이 존재하기 때문에 전방향 이미지 기반의 3D SLAM에 대한 연구가 필요하게 되었다.

본 논문에서 전방향 이미지 기반의 3D SLAM을 위하여 바닥을 향해 있는 어안 카메라를 통하여 얻은 전방향 이미지

* Corresponding Author

Manuscript received January 6, 2015 / revised January 20, 2015 / accepted March 2, 2015

최윤원: 한국전자통신연구원(yunwon.choi@etri.re.kr)

최정원: 영남이공대학교 전기자동차학과(choijw@ync.ac.kr)

이석규: 영남대학교 전기공학과(sglee@ynu.ac.kr)

※ 본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정부출연금 주요사업의 지원을 받아 수행된 것임(상황인지 스마트카를 위한 다중센서 플랫폼 기술개발).

정보와 어안 카메라로부터 일정한 높이로 떨어져있는 레이저 스캐너를 통하여 획득된 2차원 거리 정보를 융합하여 지도를 작성하는 알고리즘을 제안한다. 전방향 이미지에서 장애물의 외곽선 정보를 추출하고 외곽선에 위치한 각 픽셀에 대한 중심점간의 각도와 로봇 전방에 대한 각도 정보를 추정한다. 이렇게 얻은 각도 정보와 레이저 스캐너와 수평적으로 동일한 차원에서 장애물의 외곽점의 거리와 각도 정보를 이용하여 전방향 이미지내의 장애물 외곽점의 거리와 높이를 추정하여 장애물의 3차원적인 형태를 추정한다. 본 논문에서는 제안된 알고리즘을 실제 로봇에 적용하고 다양한 환경에서 장애물의 3차원 모양을 추정하여 실제 모양 정보를 비교하여 전방향 이미지 기반의 3D SLAM 알고리즘의 성능을 검증하였다.

II. 제안한 시스템

1. 전체 구조

본 논문에서는 제안한 알고리즘은 그림 1에서 보는 것과 같이 레이저 데이터와 어안 이미지를 융합하여 추정한 장애물의 위치를 이용하여 자기 위치 추정을 하면서 2차원 레이저 거리 정보를 기반으로 3차원 지도를 작성하는 것을 제안한다. 로봇의 3차원 지도 생성 시스템은 그림 2에서 보는 것과 같이 로봇의 상단에 부착된 어안 카메라와 일정한 높이로 떨어져 있는 레이저 스캐너로 구성되어 있다. 먼저 레이저 스캐너를 통하여 특정 높이에서의 주변 장애물들의 거리 정보를 획득하고 0.36°의 분해능으로 측정된 이 거리 정보를 이용하여 장애물 외곽점에 대한 좌표를 추정한다. 또한 어안 이미지에서 에지 추출과 모서리 추출을 융합하여 장애물의 각 모서리 점들을 추출한다. 어안 이미지에서 찾은 모서리 점과 중심 간의 픽셀 거리를 기반으로 어안 이미지 뷰 각도를 추정한 정보와 레이저 스캐너에서 추출한 외곽점 좌표의

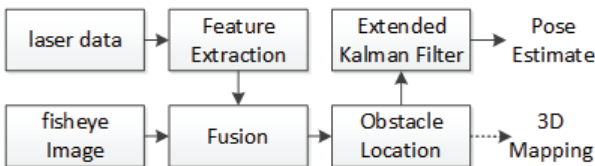


그림 1. 3D 전방향 이미지 SLAM 블록도.

Fig. 1. 3D Omni-directional Vision SLAM.

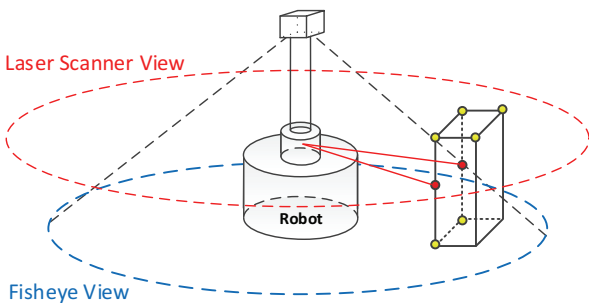


그림 2. 2차원 레이저 데이터와 어안 이미지 기반 3차원 지도 생성 시스템.

Fig. 2. The 3D mapping system based on 2D laser data and fisheye image.

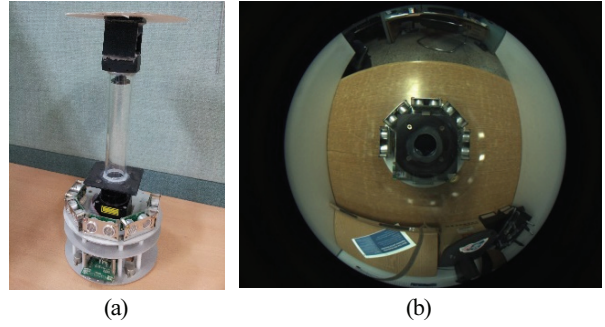


그림 3. (a) 로봇 시스템 (b) 어안 영상.

Fig. 3. (a) The robot system (b) Image from fisheye lens.

뷰 각도를 계산하여 동일한 라인의 실제 거리 정보를 획득한다. 이 거리 정보를 바탕으로 어안 이미지 상의 외곽점 실제 위치를 파악하여 3차원 지도를 작성한다.

2. 로봇 시스템

제안한 알고리즘을 적용한 로봇 시스템은 그림 3(a)와 같으며 2 개의 등근 바퀴를 가지고 있으며, 지름이 15cm이고 높이가 30cm인 원통형 소형 로봇이다. 이 로봇 가운데에 레이저 스캐너를 부착하고 일정 높이의 유리판 위에 어안렌즈가 부착된 카메라를 설치하여 주변 이미지를 얻게 된다. 어안 이미지는 그림 3(b)와 같으며 1280x960 크기의 이미지며 어안렌즈 화각이 185°이기 때문에 주변에 모든 이미지 정보가 한번에 저장된다.

3. HSI 색공간과 히스토그램을 이용한 바닥과 벽 영역 추출

어안 이미지에서 배경과 장애물을 분리하기 위해 이미지 내에서 많이 차지하고 있는 배경 영역에 대한 추출을 진행하였다. 본 논문에서 사용한 로봇 시스템의 카메라는 바닥을 향해 있기 때문에 카메라의 대부분이 바닥 영역을 나타내며 외곽 영역은 벽을 나타낸다. 어안 이미지에서 HSI 색공간 중에서 명도(Intensity)를 제외한 색상(Hue), 채도(Saturation)에 대한 히스토그램을 각각 추출하고 분포를 비교하여 바닥에 해당하는 색상을 추출한다. 명도를 제외했기 때문에 조명 변화에 상관없이 색상을 추출이 가능하다.

바닥 정보를 제거하고 난 후 벽에 대한 정보를 제거하기 위해서 어안이미지의 중심에서 0~360°로 회전하면서 각 각도마다 바닥 영역 아닌 영역에서의 픽셀 변화와 중심에서의 거리를 고려하여 영역에 대한 구분을 통하여 장애물과 벽을 구별하게 된다.

4. 레이저 데이터를 이용한 장애물 후보 영역 추출

주변 정보를 획득하기 위해 사용한 Hokuyo의 URG-04LN 레이저 센서는 5cm*5cm*7cm(W*H*D)의 크기의 소형이기 때문에 모바일 로봇에 적합하며 USB, Serial 인터페이스를 가지고 있어서 마이크로컨트롤러 기반의 로봇에 사용하기에 최적이다. 이 레이저 센서는 ±120°의 범위로 측정이 가능하기 때문에 로봇 주변의 수평적인 거리 정보를 얻을 수 있고 이를 바탕으로 특정 높이의 2차원 지도 정보를 생성할 수 있다. 레이저 데이터는 분해능 기반의 각도 정보와 거리 정보를 가지고 있으며 이를 활용하여 장애물의 관측면에 대한 모양을 분석할 수 있다. 장애물의 모양을 분석하면 그림 4와 같은 정보를 얻을 수 있다.

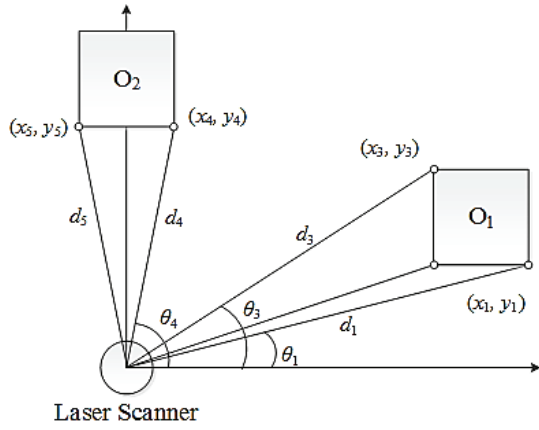


그림 4. 장애물 후보 영역의 외곽점 분석.

Fig. 4. Outside point analysis of the obstacle candidate regions.

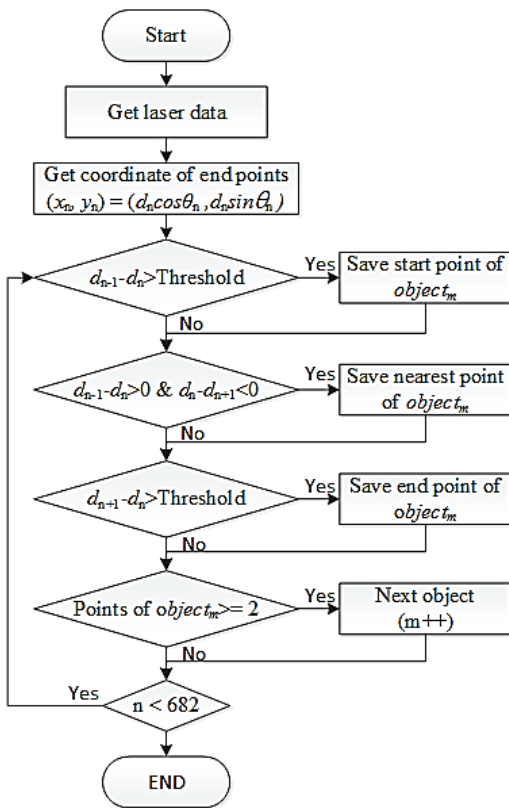


그림 5. 레이저 데이터기반 장애물 후보 영역 추출 블록도.
Fig. 5. Block diagram of extracting obstacle candidate regions based on laser data.

그림 4의 (x_n, y_n) 은 각 장애물의 꼭지점을 나타내며 d_n 와 θ_n 는 레이저 데이터에서 직접적으로 얻을 수 있는 거리 정보와 레이저의 스텝과 분해능을 이용하여 얻을 수 있는 각도 정보를 나타낸다. 거리 정보와 각도 정보로 얻은 각 스텝별 거리정보의 패턴을 기반으로 그림 5와 같은 분석을 통해서 장애물의 시작점, 근접점, 끝점을 추정하고 시작점과 끝점 사이의 정보를 바탕으로 장애물 후보 영역을 분류하였다.

5. 외곽선 검출을 이용한 장애물 후보 영역 추출

바닥 영역이 제거된 이미지에 대하여 레이블링을 적용하여 장애물 후보 영역을 추출한다. 레이블링이 중점으로 발생

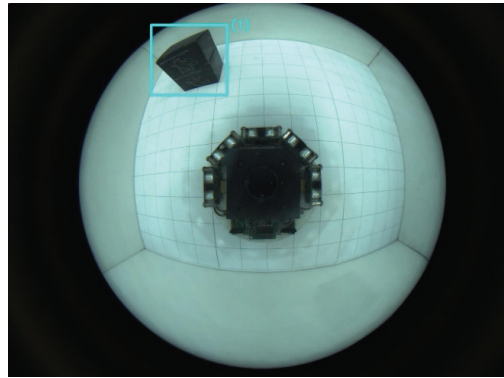


그림 6. 레이블링을 이용한 장애물 후보 위치 추출.

Fig. 6. Extraction of obstacle candidate location using labeling.

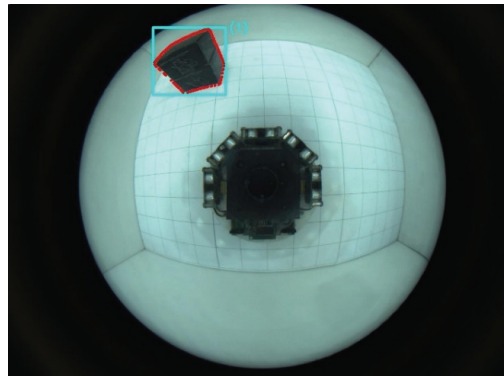


그림 7. 레이블링 된 장애물 영역의 외곽점 추출.

Fig. 7. Extraction of outside point in labeled obstacle region.

하는 것을 방지하기 위해서 중첩시 연결하는 알고리즘을 이용하고 크기 비교를 통하여 노이즈를 제거하고 장애물 영역에 대한 정보를 파악한 결과는 그림 6과 같다. 어안 이미지에서 외곽점을 찾기 위해서 레이블링한 영역보다 좀 큰 영역에 대하여 외곽선과 꼭지점을 추출하고 이들의 위치 정보를 바탕으로 근접 외곽선의 위치를 추정된 결과는 그림 7과 같다.

6. 레이저 정보를 이용한 어안 이미지 상의 융합점 추출

이미지에서 찾아낸 외곽선과 꼭지점 정보에서 레이저 센서의 데이터에서 추출한 장애물의 외곽점의 위치를 찾아내어 외곽점의 실제 거리 정보를 이용하여 이미지 내에서의 다른 점들의 실제 거리를 파악할 수 있다. 아래 그림 8은 레이저 스캐너의 데이터에서 찾은 외곽점의 정보를 이용하여 이미지 상에서 위치를 찾는 방법을 설명하고 있다. 레이저 센서로 측정된 융합점의 실제 거리 정보(d_{laser}), 레이저 센서의 각도 정보(θ_{laser})와 레이저 스캐너와 어안카메라의 부착된 높이(H_1, H_2)를 바탕으로 식(1)에서 보는 것과 같이 실제 위치(F_{laser})를 추정한다. 융합점까지의 거리(d_{laser})와 어안카메라와 레이저 스캐너 사이의 높이 차(H_1)를 이용하여 카메라에서 융합점까지의 각도(θ_{image})를 추정한다. 어안 이미지의 세로축은 185°의 정보와 매칭되는 점을 이용하여 외곽점까지의 각도는 어안 이미지에서는 중심점으로부터의 거리 정보(r_{image})로 변환한다. 그림 9의 주황색 점처럼 이미지의 거리 정보와 각도 정보를 이용하여 어안 이미지 상에서 융합점을 추출한다.

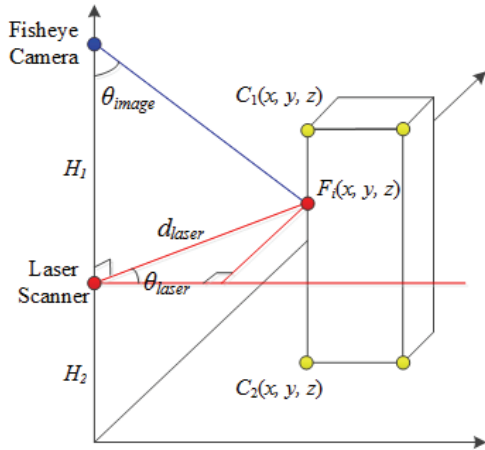


그림 8. 레이저 스캐너 정보를 활용한 어안 이미지에서 융합점 추출 방법.

Fig. 8. Fusion point extraction method in fisheye image using laser scanner information.

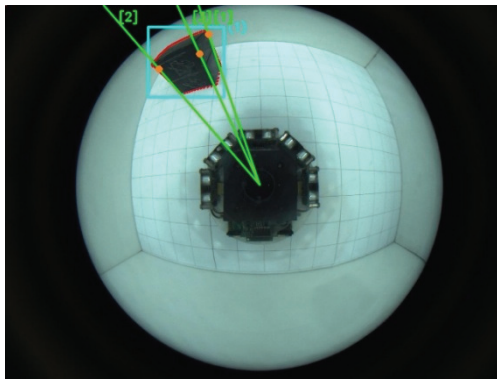


그림 9. 어안 이미지상의 융합점 위치 추출.

Fig. 9. Fusion point extraction in fisheye image.

$$\begin{aligned}
 F_{laser}(x, y, z) &= \begin{bmatrix} d_{laser} * \cos \theta_{laser} \\ d_{laser} * \sin \theta_{laser} \\ H_2 \end{bmatrix}^T \\
 \theta_{image} &= \arctan \left(\frac{d_{laser}}{H_1} \right) \\
 r_{image} &= \frac{imageHeight}{2} * \sin \theta_{image} \\
 F_{image}(x, y) &= \begin{bmatrix} r_{image} * \cos \theta_{laser} \\ r_{image} * \sin \theta_{laser} \end{bmatrix}^T
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

7. 융합점 기반의 3차원 지도 생성

3차원 지도를 생성하기 위해 그림 10에서와 같이 융합점의 위치를 기반으로 어안 이미지 내에서 선택된 장애물의 영역 내의 외곽점과 융합점 좌표를 비교하여 유사성은 판단하여 3차원 위치 정보를 추정한다. 유사성은 기본적으로 거리, 각도를 비교하며 동일 선상에 존재하면서 거리가 짧은 외곽점을 찾고 융합점의 실제 거리와 높이 정보를 바탕으로 나머지 외곽점의 실제 정보를 추정한다. 특히 일반적인 장애물의 경우 레이저를 이용하여 추출한 외곽점은 총 3개(좌, 우, 중간)이며 이미지에서 추출한 외곽선과 비교하면 중간 외곽점은 사용하지 못하게 된다. 그러나 중간 외곽점은 로봇과 제

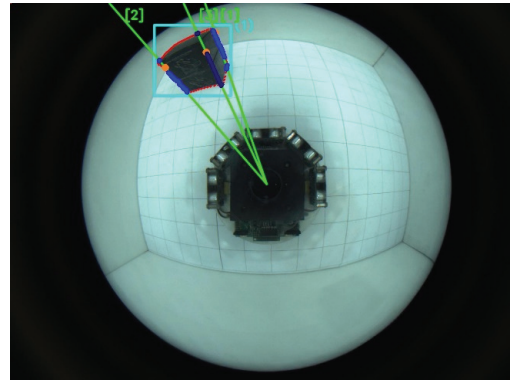


그림 10. 융합점 기반의 외곽점 실제 좌표 추정.

Fig. 10. Real position estimation of outside point based on fusion point.

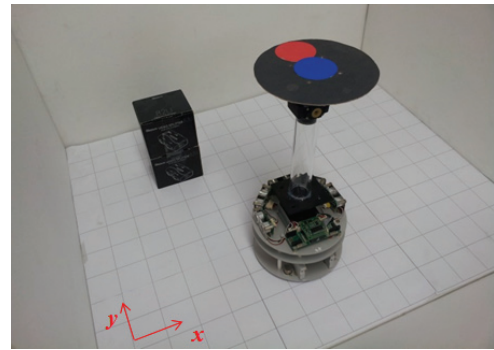


그림 11. 실험I의 실험 환경.

Fig. 11. Experiment environment in the experiment I.

일 근접한 점으로 SLAM에 필요하기 때문에 좌우 외곽점을 이용하여 이미지에서 추출한 좌우 외곽선을 제외한 점에 대한 위치 추정을 통하여 장애물에 대한 전체적인 모양 추정을 진행한다.

III. 실험 I

1. 실험 환경

본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하기 위하여 그림 11과 같이 바닥면이 5cm의 격자로 이루어져 있으며 장애물의 위치를 추정할 수 있는 실험환경에서 9.5x8.5x14cm의 크기를 가진 장애물의 3차원 모양을 추정하는 실험을 i7 2.9GHz, 16GB인 PC시스템에 MFC를 이용하여 직접 구현한 프로그램에서 진행하였다[11].

2. 실험 결과

그림 11의 실험환경에서 얻은 레이저 센서의 정보와 어안 이미지의 정보를 기반으로 제안된 알고리즘을 이용하여 장애물의 3차원 좌표를 추정한 결과를 그림 12와 같이 얻었다. 그림 12과 표 1에서 보이는 ①~③는 육면체 장애물의 외곽선을 나타내며 이 외곽선의 점들의 위치를 비교한 결과, 융합점을 기준으로 추출한 나머지 점들의 위치는 실제 위치와 큰 차이 없었다. 표 1에서 보는 것과 같이 실제 각 외곽선별로 추출된 120개의 3차원 좌표의 위치를 비교하면 x축은 1.25cm, y축은 2.10cm의 오차를 가지고 있으며 z축은 실제 장애물의 높이에서 벗어나지 않고 0~12.8cm의 결과를 얻었다.

표 1. 장애물 외곽점 3차원 위치 추정 실험 결과 비교(1).

Table 1. The comparison of the experimental results in 3-d localization (1).

No	Reference(cm)		Proposed Algo. (cm)		Error(cm)	
	x	y	x	y	x	y
①	-10	30	-10.05	29.35	-0.05	-0.64
②	-19.5	22.5	-17.28	19.73	2.22	2.77
③	-10	22.5	-8.61	18.64	1.39	-3.86
평균(절대값)					1.25	2.10

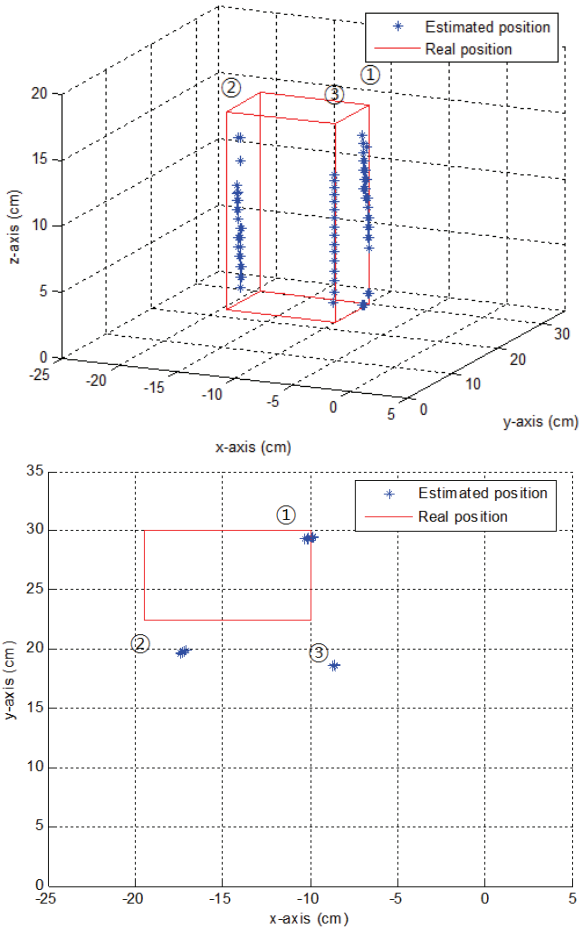


그림 12. 육면체 장애물의 외곽점 실제 위치 추정 결과(1).
Fig. 12. The estimation results of the location of the hexahedron (1).

IV. 실험 II

1. 실험 환경

본 논문에서는 실제 환경에서도 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 실제 사용 중인 책상에 위에서 11x6.3x19.3cm와 9.5x7.5x15cm 크기의 정육면체, 원통형 장애물이 있을 경우에 대하여 실험을 진행하였다.

2. 실험 결과

그림 13의 실험환경에서 얻은 레이저 센서의 정보와 어안 이미지의 정보를 기반으로 제안된 알고리즘을 이용하여 장애물의 3차원 좌표를 추정한 결과를 그림 14와 같이 얻었다. 그림 14(a)은 레이저 센서의 정보를 이용하여 장애물을 나타내며, HSI와 히스토그램을 이용하여 추출한 바닥정보를 이용하여 바닥영역을 제거하고 벽 영역을 제거하면 그림 14(b)와

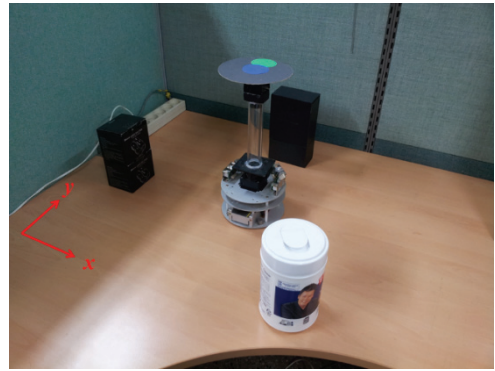


그림 13. 실험II의 실험 환경.
Fig. 13. Experiment environment in the experiment II.

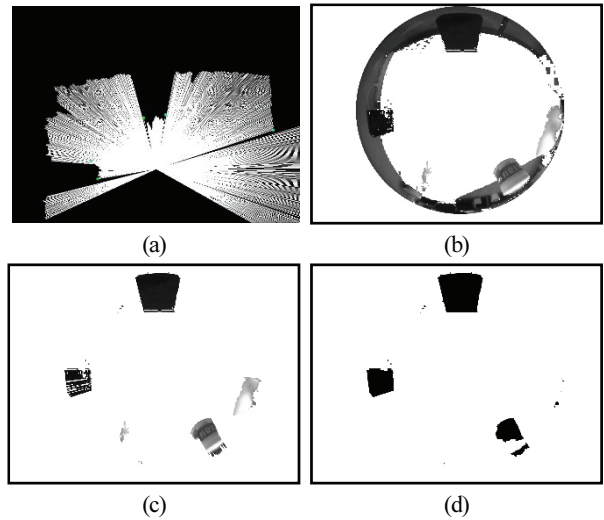


그림 14. (a) 레이저 정보, (b) 바닥영역이 제거된 이미지, (c) 벽영역이 제거된 이미지, (d) 이진화된 이미지.
Fig. 14. (a) Laser data, (b) Image removed the ground area, (c) Image removed the wall area, (d) Binarized image.

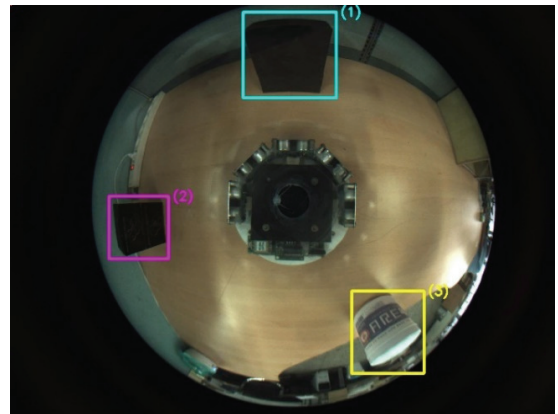


그림 15. 레이블링을 이용한 장애물 후보 위치 추출.
Fig. 15. Extraction of obstacle candidate location using labeling.

그림 14(c)를 얻을 수 있다. 또한 그림 14(d)는 바닥과 벽이 제거된 이미지를 이진화한 결과를 나타내고 있다. 이진화한 이미지를 기반으로 레이블링을 통하여 그림 15와 같이 장애물의 위치를 추출하였다. 그림 16과 같이 외곽점의 3차원 위

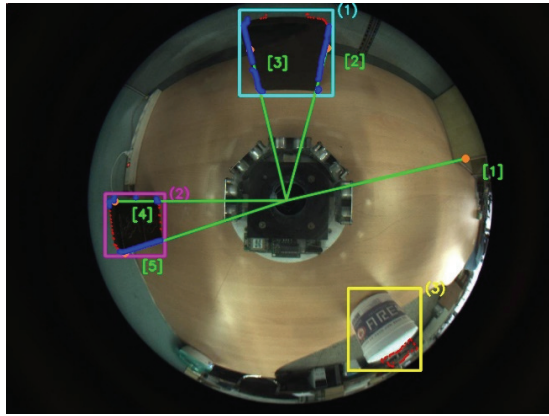


그림 16. 융합점 기반의 외곽점 실제 좌표 추정.
 Fig. 16. Real position estimation of outside point based on fusion point.

표 2. 장애물 외곽점 3차원 위치 추정 실험 결과 비교(2).
 Table 2. The comparison of the experimental results in 3-d localization (2).

No	Reference(cm)		Proposed Algo. (cm)		Error(cm)	
	x	y	x	y	x	y
②	6	20	5.04	19.59	-0.96	-0.41
③	-5	20	-4.49	18.60	0.51	-1.39
④	-28	0	-28.8	-0.03	-0.8	-0.03
⑤	-28	-9.5	-25.99	-8.16	2.00	1.34
평균(절대값)					1.26	1.25

치 정보를 추출하였고 표 2에서 보는 것과 같이 실제 위치와 추출된 212개의 3차원 좌표를 비교하면 x축은 1.26cm, y축은 1.25cm의 오차를 가지고 있으며 z축은 (1)번 장애물은 1~16.7cm, (2)번 장애물은 -0.9~13.2cm의 결과를 얻었다. 그림 16과 표 2에서 보이는 ②~⑤는 장애물들의 외곽선을 나타내며 이 외곽선의 점들의 위치를 비교한 결과 융합점을 기준으로 추출한 나머지 점들의 위치는 실제 위치와 큰 차이 없었지만 융합점이 발견되지 않은 원통형 장애물의 위치는 추정하지 못하였다.

V. 결론

본 논문에서는 레이저 센서의 정보를 기반으로 어안 이미지에서 융합점을 찾고 이 융합점을 기반으로 3차원 장애물 좌표를 생성하여 3차원 지도를 작성하는 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘을 레이저 데이터 기반의 EKF 위치 추정과 함께 동작하는 로봇 시스템에 적용할 경우 기존 전방향 비전 SLAM을 이용할 경우 오차가 4cm ~ 6cm이지만 오차가 2cm 미만으로 줄어든다[12]. 또한 다른 3D SLAM에 비해 전방향 레이저 데이터 정보만 있다면 2cm 정도의 낮은 오차로 로봇 주변의 3차원 장애물 지도 정보를 한번에 추출할 수 있는 빠른 처리 속도를 가지고 있고 고정형 2차원 레이저 센서와 카메라를 이용한 단순한 구조는 여러 로봇에 활용도가 높을 것이다. 본 논문에서 제안한 지도 작성 알고리즘은 레이저 센서의 정보를 이용하여 각 장애물의 외곽점을 추출하고, 어안 이미지에서 HSI와 히스토그램을 이용하여 바닥 영역과

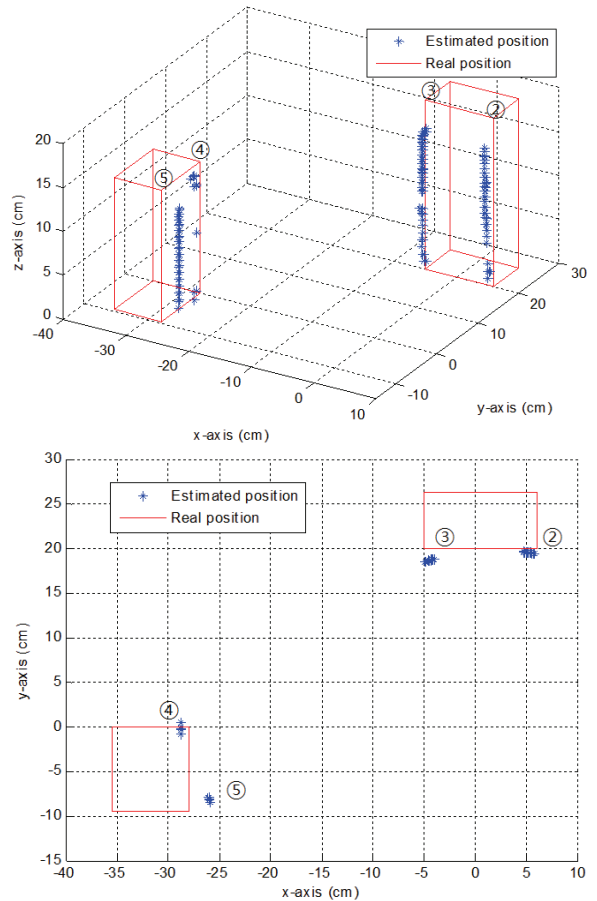


그림 17. 육면체 장애물의 외곽점 실제 위치 추정 결과(2).
 Fig. 17. The estimation results of the location of the hexahedron (2).

벽 영역을 제외한 장애물 영역을 추출한다. 또한 레이블링된 장애물 영역과 레이저 센서 정보에서의 외곽점 정보를 비교하여 융합점을 이미지에서 찾아내고 이 융합점과 레이블링된 장애물 영역 이미지내의 외곽점을 비교하여 이미지 내의 외곽점들의 3차원 좌표를 추정한다. 본 논문에서는 이 지도 작성 알고리즘을 성능을 확인하기 위하여 바닥과 벽이 유사한 안정된 환경에서의 실험을 통하여 장애물의 좌표를 추정하는 실험과 일반 책상 위에서 바닥과 벽이 다른 불안정한 환경에서의 실험을 진행하였고 융합점이 존재하는 장애물에 대하여 작은 오차의 좌표를 추정함을 확인할 수 있었다.

추후 연구를 통하여 융합점이 없는 장애물에 대해서도 위치 추정하는 지도 작성 알고리즘에 대한 연구를 진행할 예정이며 본 알고리즘을 멀티로봇에 적용하여 레이저 센서와 어안이미지가 융합된 로봇 시스템을 활용한 주변 지도 작성에 관한 연구를 진행할 것이다.

REFERENCES

[1] K. H. Kim, H. K. Lee, Y. J. Son, and J. K. Song, "2D map generation using omnidirectional image sensor and stereo vision for mobile robot MAIRO," *Proceedings of the KIEE Conference*, vol. 25, no. 2, pp. 495-500, Nov. 2002.
 [2] J. Lewis and L. Maler, "Blurring of the senses: common cues for distance perception in diverse sensory systems," *Neuroscience*, vol. 114, no. 1, pp. 19-22, 2002.

- [3] R. Jain, R. Kasturi, and B. G. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [4] Y. Yagi, "Omni-directional sensing and its applications," *IEICE Trans. INF. & SYST.*, vol. E82-D, no. 3, pp. 568-579, Mar. 1999.
- [5] V. N. Peri and S. K. Nayar, "Generation of perspective and panoramic video from omnidirectional video," *Proc of DARPA Image Understanding Workshop*, New Orleans, May 1997.
- [6] T. E. Boulton, R. Micheals, X. Gao, P. Lewis, C. Power, W. Yin, and A. Erkan, "Frame-rate omnidirectional surveillance and tracking of camouflaged and occluded and targets," *Second IEEE Workshop on*, pp. 48-55, Jun. 1999.
- [7] E. Menegatti, A. Pretto, A. Scarpa, and E. Pagello, "Omnidirectional vision scan matching for robot localization in dynamic environments," *Robotics, IEEE Transactions on*, vol. 22, no. 3, pp. 523-535, Jun. 2006.
- [8] T. Fukuda, S. Ito, F. Arai, and Y. Yokoyama, "Navigation system based on ceiling landmark recognition for autonomous mobile robot," *Proc. 1995 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 2, pp. 150-155, Aug. 1995.
- [9] J. Gaspar, N. Winters, and J. Santos-Victor, "Vision-based navigation and environmental representations with an omnidirectional camera," *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, vol. 16, no. 6, pp. 890-898, 2000.
- [10] J. R. Kim, M. S. Lim, and J. H. Lim, "Omni camera vision-based localization for mobile robots navigation using omnidirectional images," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 3, pp. 206-210, Apr. 2011.
- [11] H. D. Kang and K. H. Jo, "Localization of 3D spatial information from single omni-directional image," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 12, no. 7, Jul. 2006.
- [12] Y. W. Choi, K. K. Kwon, S. I. Lee, J. W. Choi, and S. G. Lee, "Multi-robot mapping using omnidirectional-vision SLAM based on fisheye images," *ETRI J.*, vol. 36, no. 6, pp. 913-923, Dec. 2014.
- [13] H. S. Lim, D. H. Lee and J. M. Lee, "Moving object following by a mobile robot using a single curvature trajectory and Kalman filters," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 7, pp. 599-604, Jul. 2013.
- [14] D. H. Lee, H. J. Kim, and H. Myung, "Image feature-based real-time RGB-D 3D SLAM with GPU acceleration," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 5, pp. 457-461, May 2013.



최 윤 원

2009년 영남대학교 전기공학과(공학사). 2011년 동 대학원 전기공학과(공학석사). 2011년~2013년 동 대학원 로봇공학과 박사과정 수료. 2013년~현재 한국전자통신연구원. 관심분야는 Robotics, Omni-Directional Vision, Multi-robot.



최 정 원

1995년 영남대학교 전기공학과(공학사). 2002년 동 대학원 전기공학과(공학박사). 2003년~2006년 ㈜STX 중공업. 2009년~현재 영남이공대학 전기자동차과 교수. 관심분야는 Control Theory.



이 석 규

1979년 서울대학교 전기공학과(공학사). 1981년 동 대학원 석사. 1990년 UCLA 전기공학과 박사. 1982년~현재 영남대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 Control Theory, Robotics.