

초음파 센서 모듈을 활용한 2D 실내 지도 작성 기법

안 덕 현*, 김 남 문*, 박 지 혜*, 김 영 옥^o

2D Indoor Map Building Scheme Using Ultrasonic Module

Deock-hyeon Ahn*, Nam-moon Kim*, Ji-hye Park*, Young-ok Kim^o

요 약

본 논문에서는 초음파 센서를 활용한 2D 실내 지도 작성을 위하여 회전형 모듈과 고정형 모듈을 개발하여 각 모듈의 가능성과 한계점을 확인하였으며, 초음파 센서를 활용하여 실내 지도 작성 시에 고려하여야 할 센서 특성 실험과 2D 실내 지도 작성 결과를 기술한다. 최근 실내 공간에서의 simultaneous localization and mapping (SLAM) 기술이 많은 주목을 받으면서 이와 더불어 실내 공간을 인식하여 지도정보로 만들기 위한 기술연구 또한 활발히 진행되고 있고, 이를 위한 기술로써 LiDAR, 초음파, 카메라 등이 많이 사용 되고 있다. 가장 좋은 성능을 지닌 LiDAR 기술의 경우 초음파에 비해 높은 해상력과 넓은 탐지범위를 가지고 있지만 모듈 크기의 한계, 높은 비용, 많은 연산량 그리고 비교적 다양한 매질에 따른 노이즈에 약한 특성이 있다. 이에 따라 본 논문에서는 초음파 센서를 활용하여, 레이저 센서의 취약점을 보완함과 동시에 비교적 적은 연산량을 가지며 최소한의 초음파 센서를 사용한 2D 실내 지도 작성 기법을 제안하며 실험을 통하여 이를 검증하였다.

Key Words : Ultrasonic, Simultaneous localization and mapping(SLAM), Indoor map building

ABSTRACT

In this paper, we proposed ultrasonic radar module and fixed module for the 2D indoor map building and from each of the modules, we can see the possibilities, limitations and considerations. And finally show the result of building actual 2D indoor map from the modules. Recently there are lots of works for the building indoor map by spotlight on the simultaneous localization and mapping (SLAM). And the LiDAR, ultrasonic, camera sensors are usually used for this work. Especially the LiDAR sensor have a higher resolution and wider detection range more than the ultrasonic sensor, but also there are limitation in the size of module, higher cost, much more throughput of processing data, and weaker to use in various indoor environment noises. So from these reasons, in this paper we could verify that proposed modules and schemes have a enough performance to build the 2D indoor map instead of using LiDAR and camera sensor with minimum number of ultrasonic sensors and less throughput of processing data.

I. 서 론

2D (Two dimensional) 실내 지도 작성을 위한 기

존의 연구는 대개 이동 로봇에 센서를 장착한 형태로, 수십 개의 초음파 센서를 360° 반경에 장착한 형태와 적외선 센서, 레이저, 카메라 센서를 융합하여 제작한

* 본 연구는 국민안전처 사회재난안전기술개발사업의 지원으로 수행한 '사회재난 대응을 위한 융·복합기술 기반의 지향성스피커 등을 활용한 인명지킴이 시스템 개발'[MPS-사회-2015-40]과제의 성과입니다.

• First Author : Kwangwoon University Department of Electronic Engineering, ejrgus456@gmail.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Kwangwoon University Department of Electronic Engineering, kimyoungok@kw.ac.kr, 종신회원

* Kwangwoon University Department of Electronic Engineering, knm123@kw.ac.kr, wlgul0926@gmail.com, 학생회원

논문번호 : KICS2016-04-074, Received April 29, 2016; Revised August 1, 2016; Accepted August 2, 2016

모듈로써 제안 되었다^[5]. 그 이유는 초음파 센서가 단일 개체로써는 레이저나 융합된 형태의 센서 만큼 충분한 탐지범위와 해상력을 가지지 못하기 때문이다. 하지만 레이저, 카메라, 적외선 센서는 다양한 매질에 따른 노이즈에 취약한 특성을 지니고 있으며, 특히 최근 들어 구글의 무인자동차를 필두로 가장 활발하게 사용되고 있는 레이저 LiDAR 센서의 경우는 어두운 환경, 안개가 끼거나 연기가 자욱한 환경, 빛의 산란이나 유리창과 같은 투명한 물체가 많은 환경에서는 노이즈가 매우 심한 취약점을 지니고 있다. 이와 같은 실내에서의 다양한 노이즈 상황, 화재사고와 같은 특수하고 다양한 재난상황에서는, 타 센서에 비해 다양한 매질에 따른 노이즈에 강한 초음파 센서가 실내 지도 작성을 위하여 더욱 안정된 성능을 가질 수 있으며, 고지향각을 지닌 초음파 센서를 사용할 경우에는 40kHz 대역에서 최대 10m까지 탐지가 가능하므로 보다 저렴한 비용으로 다양하고 특수한 환경에 적용 가능한 2D 실내 지도 작성 모듈을 구성 할 수 있다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 1절에서는 초음파 센서의 배경이론을 다루고, 2절에서 본 논문에서 구현한 2D 실내 지도 작성에 대한 기본적인 기법에 대한 설명을, 3절에서 제작한 초음파 회전형 Radar 모듈과 고정형 모듈에 대한 설명을 기술한다. III장에서는 실험을 수행한 환경과 각 모듈을 통하여 구현한 시뮬레이션 결과와 그에 대한 분석을 기술한다. 마지막으로 IV장에서는 결론과 추후 기대효과 및 연구방향에 대한 내용을 기술한다.

II. 본 론

2.1 초음파 센서 배경이론

초음파 센서는 음파의 속도를 이용하여 음파가 물체에 반사되어 돌아오는 시간을 측정함으로써 거리를 계산하는 센서이다. 음파의 속도는 온도에 따라 다소 차이가 있지만 대개 15°의 온도에서 334m/s 정도의 전파속도를 가지며 일정하게 유지된다.

초음파 센서를 선택할 때의 고려 할 사항은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째로, 초음파 센서의 측정거리이다. 최소 3-5cm, 최대 3-10m 정도이고 초음파의 주파수가 높아질수록 측정거리는 짧아지는 특성이 있으며 측위를 목적으로 사용되는 센서의 경우에는 일반적으로 40kHz 대역을 많이 사용한다. 두 번째로, 초음파 센서의 빔 각도이다. 빔 각도는 음파가 퍼지는 각도를 의미하는 것인데, 빔 각도가 퍼짐이 좁으면 직진성이 좋으며 넓은 범위에서의 감지가 어려워지는 특

성을 지닌다. 반대로 퍼짐이 넓으면 직진성이 나빠기 때문에 반사되어 돌아오는 신호가 어디에서 왔는지를 추측하기가 어렵다.

초음파센서를 이용한 거리측정에는 주로 비행시간 (time-of-flight, TOF)기법이 이용된다. 센서로 부터 방출된 펄스신호는 부딪힌 매질에 따라 위상이 다르게 변해서 감쇄를 가지며 돌아오지만, TOF방식의 경우 오로지 송신된 펄스신호가 센서의 수신기로 돌아온 시간만을 가지고 측정하기 때문에, 위상의 변화와 같은 감쇄는 크게 영향을 미치지 않는다. 초음파 특성상 투과매질이 다양하여 그 매질에 따른 보정이 필요한데 일반적인 공기 중에서의 전달에는 온도에 따른 값만 보정해주면 된다.

아래의 식 (1), (2) 에서 TOF 측정에 대한 공식을 확인 할 수 있으며, t는 초음파 신호가 공기 중에서 전달되는 시간을 나타낸다. Vs는 초음파 전달 속도인 331.5(m/s)에 온도 변수 (T)와 0.6을 곱한 값이며 이는 음속을 나타내고, L은 물체로부터의 거리를 나타낸다.

$$t = 2 * \frac{L(m)}{Vs(m/s)} \quad (1)$$

$$Vs = 331.5(m/s) + 0.6 T \quad (2)$$

2.2 2D 실내 지도 작성을 위한 기법

2D 실내 지도 작성을 위한 선행 작업으로 우선 실제 지도와의 성능 비교모델이 필요하기 때문에 실제 실험 장소에 대한 지도 자료를 바탕으로 지도상의 시작 지점으로부터 끝 지점까지를 구간 별로 나누어 총 12구간에 대한 좌표 정보를 벡터로 저장 해두었다. 또한 초음파 센서로 실내 공간의 어느 영역을 탐지해서 지도로 만들 것인지에 대한 계획이 필요한데, 기존의 연구에서는 주로 실내공간에 대한 모든 형상학적 데이터를 지도로 표현하기 위하여 높은 해상력의 센서를 사용하였고, 이런 경우 데이터 연산량과 센서 개수, 비용이 증가하게 되며 모듈의 크기 또한 커지게 되었다^[6-8]. 본 논문에서는 이러한 특성들을 고려하여 최소한의 센서 개수와 연산량으로 2D 실내 지도를 작성하는 것을 목적으로 하여 모듈과 알고리즘을 구현 하였다. 우선, 지도를 작성하기 위하여 탐지할 영역을 최소한으로 줄여 실내 공간상의 가장 중요한 정보인 벽에 대한 탐지와 빈 공간에 대한 탐지만을 설정하였다. 이렇게 탐지한 벽과 빈 공간에 대한 cm 단위의 거리 정보는 모듈의 좌, 우 양쪽의 센서와 전면에 배치

한 센서를 통하여 수신되며, 그 각각의 거리정보를 벡터로 저장 하였다.

아래의 그림 1을 통하여 제안된 기법에 대한 순서도를 확인 할 수 있다. 초음파 고정형 모듈을 통하여 수집된 센서 값으로부터 주변 환경에 대한 벽을 최초 진행 방향인 Y좌표로 그려나갈 것인지, X좌표로 그려나갈 것인지에 대한 판단을 도출한다.

아래 식 (3), (4)에서 W_s 는 전체 실험 구간 s 에 대한 x 좌표와 y 좌표를 저장하는 벡터이며, F_n , L_n , R_n 은 각각 전면, 좌측, 우측 센서에 대한 구간별 수신 거리정보를 저장한다.

$$W_s = \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$F_n = \begin{bmatrix} f_1 \\ \dots \\ f_n \end{bmatrix} \quad L_n = \begin{bmatrix} l_1 \\ \dots \\ l_n \end{bmatrix} \quad R_n = \begin{bmatrix} r_1 \\ \dots \\ r_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

아래 식 (5),(6)에서 형성된 각 벡터에 실제 지도의 좌표와 구간별 초음파 센서의 raw 데이터 값을 넣어 주며, 미리 지정된 이동 경로 상의 포인트 지점에 대

한 x 좌표와 y 좌표 에 대한 값을 m_n 에 저장한다. 또한 F_n 값을 빈 공간에 대한 판단 혹은, 코너 검출에 대한 판단 변수로 사용한다. 사용된 초음파 센서의 특성 상 탐지할 수 없는 거리에 대하여 3000cm이상의 노이즈 거리 값을 수신하는 것을 확인 할 수 있었기 때문에, 이를 E_n 벡터와 대응하여 0 일 때는 빈 공간으로 인식하며 1일 때는 탐지할 수 있는 구간, 즉 벽이 있는 공간으로 판단하였다. 또한, 전방이 100cm 이하로 가까워졌다면 막혀있는 벽으로 인식하여 코너 검출에 활용 할 수 있기 때문에, C_n 벡터와 대응하여, F_n 이 100이하이며 C_n 이 0일 때 코너로 인식하고 1일 때 코너로 인식하지 않는 판단변수로 활용하였다.

$$m_n = \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix}, E_n = \begin{bmatrix} e_1 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix}, C_n = \begin{bmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

If $F_n \geq 3000$, then $E_n = 0$ else, 1 and
If $F_n \leq 100$, then $C_n = 0$ else, 1 (6)

아래 식 (7)에서 미리 지정된 구간별 이동 경로 상의 포인트 지점 m_n 에 따라 이동 경로상의 x_n 혹은 y_n 의 좌표 값에 L_n , R_n 값을 더해주는 작업을 통하여, 실내 공간상의 벽을 형성될 좌표를 지정해주며 이를 각각 MX_n , MY_n 에 넣어준다.

$$MX_n = [x_n + l_n] \text{ and } [x_n + r_n], \\ MY_n = [y_n + l_n] \text{ and } [y_n + r_n] \quad (7)$$

2.3 모듈 구성

그림 2를 통하여, 본 논문에서 제안하는 모듈의 시스템 블록도를 확인 할 수 있다. 각 모듈별 특성 실험을 위하여 회전형 Radar 모듈과 고정형 모듈을 각각 구성하여 실험을 수행하였다. 회전형 Radar 모듈의 경우에는 한 개의 초음파 센서와 서보모터와의 결합을 통하여 0°부터 180°까지 1초에 한 번씩 주위 실내 환경을 스캔하여 실시간으로 화면상에 주변 실내 환경에서의 장애물에 대한 정보를 나타낸다.

고정형 모듈의 경우, 회전형 모듈에 비하여 좀 더 안정적이며 해상력이 높은 실내 환경에 대한 2D 지도 작성을 위하여 좌, 우, 전방에 각각 센서를 장착하여 1초에 약 3개정도의 거리 정보를 수신한다. 여기서 시

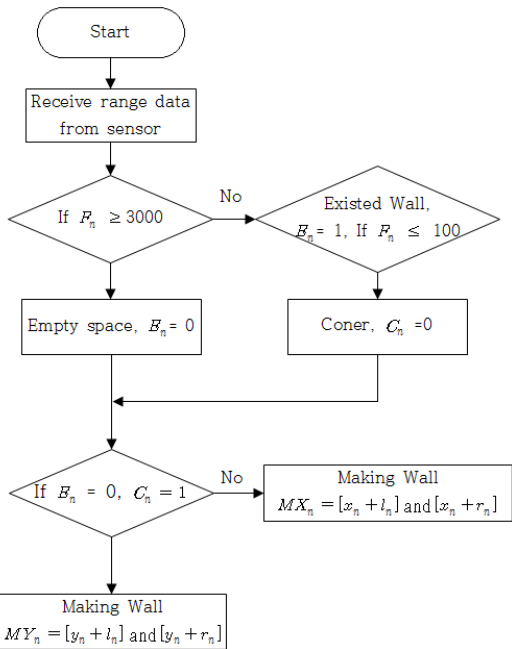


그림 1. 제안된 기법의 순서도
Fig. 1. Flow chart of the proposed scheme

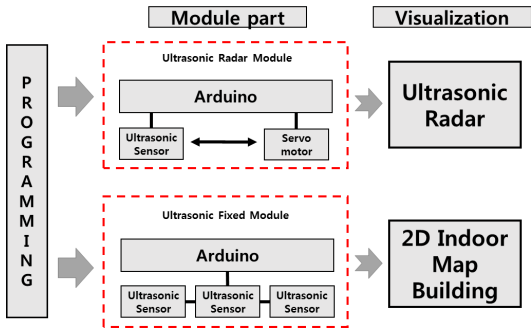


그림 2. 제안된 초음파 회전형 Radar 모듈과 고정형 모듈에 대한 시스템 블록도
Fig. 2. Proposed system block diagram for Ultrasonic Radar module & fixed module

간당 샘플 데이터 수는 초음파 센서를 사용할 시에, 처음 송신된 음파가 수신기 까지 돌아오는 시간을 보장하는 시간인 0.3 초의 시간동안 delay를 가지도록 설정한 것에 종속적이며, 이를 개선하여 delay를 더 줄인다면 샘플 데이터 수는 많아 질 수 있지만 결과적으로 중첩되는 신호로 인한 잘못된 거리정보를 더욱 많이 수신하게 되므로 약 15°의 실내온도를 가진 일반적인 실내공간에서는 음파의 속도에 맞게 delay를 0.3초가량으로 설정 해주어야 한다.

III. 실험

3.1 실험 모듈 제작

본 논문에서는 초음파 센서를 활용하여 회전형 Radar 모듈과 고정형 모듈을 제작하여 각 모듈이 가지는 특징점과 한계점을 분석하였다. 그림 3 (a)는 회전형 초음파 Radar 모듈로, 2cm to 500cm의 탐지범위를 가지며 40kHz로 동작하고 약 30°가량의 지향각

을 가지는 HC-SR04 초음파 센서와, 0° to 180° 반경으로 동작하는 서보모터 NT-S0090을 결합하여 모듈을 구성하였다. 그림 3 (b)는 고정형 초음파 모듈로 HC-SR04 초음파 센서를 전, 좌, 우 세 방향으로 고정하여 각 방향에서의 거리정보를 수집한다. 각 모듈은 Arduino Mega 2560 보드에 연결되어 동작한다.

3.2 회전형 초음파 Radar 모듈을 통한 실험

회전형 초음파 Radar 모듈은 1개의 초음파 센서만을 장착하여 주변 환경을 탐지하여 그 정보를 실시간으로 사용자의 화면상에 시각화 해주는 것을 목적으로 하여 제작되었다. 실험을 통해 14cm*7.5cm크기의 장애물까지의 실제거리와 측정된 거리를 비교해 보기 위하여 그림 4 (a) 와 같이 초음파 센서 거리 측정 테스트 환경을 구성하였다. 표 1에서 보여진 바와 같이 160cm가 넘는 구간부터는 급격하게 오차범위가 증가하여 최대 오차 범위가 ±30cm 가량이 된다. 실험 환경과 센서 특성을 고려하여 그 원인을 분석해본 결과, 사용한 HC-SR04 센서의 지향각이 30°가량으로, 센싱의 범위가 넓어짐에 따라 테스트 환경에서 제공한 14cm*7.5cm의 장애물의 크기가 충분히 크지 않아 주변 환경에서 제공된 장애물보다 에코 신호가 많이 돌아오는 물체를 우선적으로 나타내기 때문인 것으로 확인 하였다. 그림 4 (b),(c) 는 실제로 구현한 초음파 레이더 테스트 화면을 나타낸다. 그림에서 보여진 바와 같이 Radar 화면의 각각의 반원의 반지름은 30cm 단위로 나뉘어져 있으며 0°에서 180°그리고 180°에서 0°까지 2초에 한 번씩 회전하며 주변 환경을 화면상에 표시한다. 또한, 회전축이 움직이며 장애물이 나타나면 그 장애물까지의 거리를 초록색으로 레이더 화면상에 실시간으로 나타내어준다.

모터가 0°에서 180°까지 한번 회전을 마치면 이전

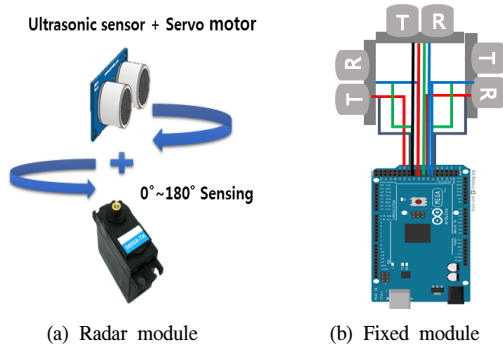
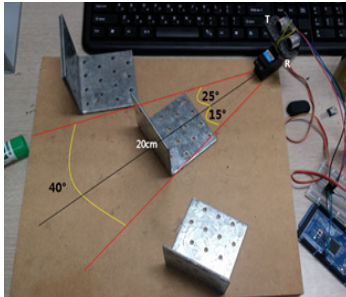


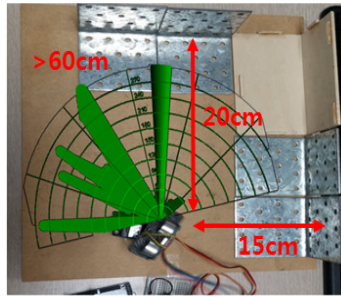
그림 3. 초음파 회전형 Radar 모듈 (a)와 고정형 모듈 (b)에 대한 모식도
Fig. 3. Mimetic diagram for Ultrasonic Radar module (a), Ultrasonic Fixed module (b)

표 1. 초음파 센서로 측정된 실제거리 대비 측정된 거리의 최대 오차범위 비교
Table 1. Maximum error rate compared with real & measured distance by ultrasonic sensor

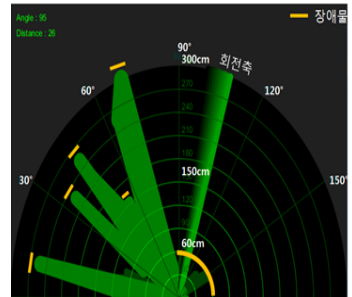
Real distance	Measured distance	Maximum error rate
5cm to 30cm	5cm to 30cm	±0cm
30cm to 40cm	31cm to 41cm	±1cm
45cm to 70cm	47cm to 72cm	±2cm
75cm to 100cm	78cm to 103cm	±3cm
105cm to 150cm	109cm to 154cm	±4cm
160cm to 200cm	164cm to 230cm	±30cm
230cm to 300cm	230cm to 265cm	±35cm



(a) Experiment environment 1



(b) Experiment environment 2



(c) Ultrasonic Radar Visualization

그림 4. 회전형 초음파 Radar 모듈 실험환경 (a), (b) 와 시각화 구현 (c)
Fig. 4. Ultrasonic Radar module experiment environment (a), (b) & Visualization (c)

에 표시되었던 장애물에 대한 표시는 보다 희미하게 화면상에 누적되며 누적 총 횟수는 1회에 제한하였다. 그림 4 (c)를 통해서 초음파 신호가 300cm 거리의 장애물까지 탐지하고 돌아온 것을 확인 할 수 있으며 90°를 지나는 순간부터는 60cm 이내의 장애물에 신호가 반사되어 돌아온 것을 확인 할 수 있다.

3.3 고정형 초음파 모듈을 통한 실험

고정형 초음파 모듈은 초음파 센서를 전, 좌, 우 세 방향으로 구성한 모듈로써, 각 방향으로부터 측정된 거리 데이터를 수집하여 2D 실내 지도 작성을 목적으로 하여 제작되었다.

각각의 초음파 센서는 서로간의 신호 중첩을 피하기 위하여 각각의 센서가 가지는 30°가량의 지향각을 고려하여 배치하였다.

표 2를 통하여, 다양한 물체의 크기별 측정된 거리 값의 오차평균 Average error와 최대오차 Maximum error를 확인 할 수 있다. 모듈을 한 위치에 고정시킨

후, 세로 21cm, 가로 6cm 의 물병과 세로 12cm, 가로 6cm의 책, 세로 33cm, 가로 30cm 의 종이박스를 50cm 거리부터 50cm 단위로 증가시키면서 400cm 까지 실제거리와 모듈이 측정된 거리 값을 비교해 보았다.

비교적 부피가 작은 물병의 경우 150cm 구간까지, 책의 경우 보다 먼 거리인 250cm, 가장 부피가 큰 종이박스는 350cm 까지 탐지가 되는 것을 확인 할 수 있었으며, 부피가 클수록 더욱 먼 거리까지 탐지가 가능하였으며 같은 구간대비 오차율도 낮다는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 5를 통해 해당 실험에 대한 모식도를 확인할 수 있다.

2D 실내 지도 작성을 위한 실험 환경은 가로 7280cm와 세로 1060cm의 너비를 가지고, 시작 지점과 종료 지점인 (a), (e), 긴 복도 구간 (b), (d), 1개의 홀 (c), 4개의 좁아지는 철문 구간 I(1-4)를 포함하고 있다. 실험은 실험자가 고정형 모듈을 소지한 채 시작

표 2. 물체 크기별 측정된 거리 값의 오차평균과 최대오차
Table 2. Average error value & Maximum error value of distance from different objects

Distance from object	Water bottle (21cm x 6cm)		Book (12cm x 6cm)		Box (33cm x 30cm)	
	Average error (cm)	Maximum error (cm)	Average error (cm)	Maximum error (cm)	Average error (cm)	Maximum error (cm)
50cm	0.31	2	-	-	-	-
100cm	0.69	1	0.62	1	0.93	2
150cm	0.52	1	0.70	1	0.68	2
200cm	x	x	1.34	4	0.58	1
250cm	x	x	2.37	6	0.37	1
300cm	x	x	x	x	1.53	3
350cm	x	x	x	x	1.78	4
>350cm	x	x	x	x	x	x

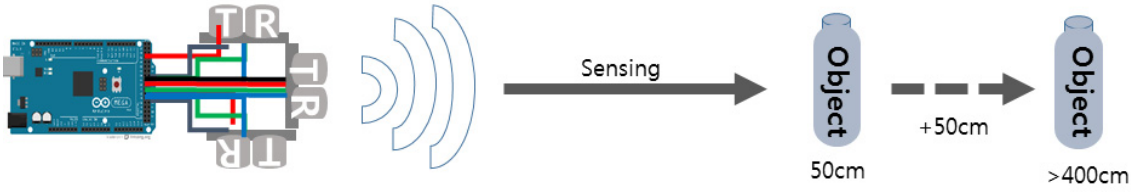


그림 5. 물체 크기 별 측정된 거리 값의 오차평균율과 최대오차를 확인하기 위한 실험 모식도
 Fig. 5. Experiment mimetic diagram for Average error & Maximum error value of distance from different objects

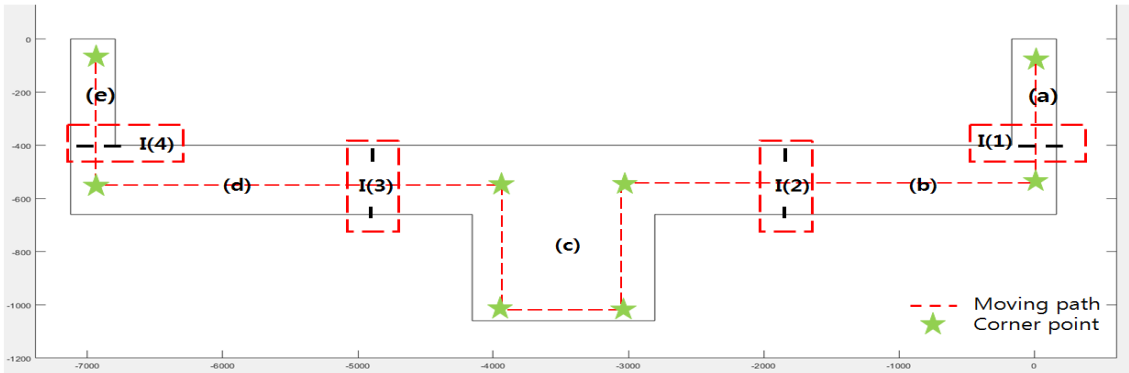


그림 6. 실제 실험 환경의 2차원 실내 지도 단면도
 Fig. 6. Sectional view of 2D Indoor map by experiment environment

지점 (a)로부터 종료 지점 (e) 까지 각 구간을 통행하는 방식으로 진행 되었다.

그림 6을 통하여 실제 실험 공간의 2차원 단면도를 확인 할 수 있고, 표 3, 4를 통해 실험조건 및 센서 사양과 실험 환경내의 각 구간에 대한 파라미터를 확인할 수 있다.

그림 7을 통하여 고정형 초음파 센서 모듈을 활용한 2D 실내 지도 작성 결과를 확인 할 수 있다. 실험을 통하여 건축 당시에 제공된 2차원 단면도와 달리, 현재의 실내 환경에 대한 지도는 폭이나 길이정보에 있어 많은 차이가 있을 수 있음을 확인하였다. 제작한 고정형 초음파 모듈로 작성한 2D 실내 지도는 그림 7에서 볼 수 있다시피, 그림 6의 실제 실험 환경의 2차원 단면도에서는 나타나지 않았던 실제 좁아지는 철문 I(1-4)구간에 대한 표현이 반영된 것을 확인할

표 4. 실험 환경 내의 각 구간에 대한 파라미터
 Table 4. Parameters for each sections of experiment environment

Section	Marking	Width*Height (cm)
Start section	(a)	330*400
Iron gate section	I(1)	170*110
Corridor section	(b)	260*2970
Iron gate section	I(2)	170*110
Hall section	(c)	1350*700
Iron gate section	I(3)	170*110
Corridor section	(d)	260*2970
Iron gate section	I(4)	170*110
End section	(e)	330*400

수 있었다.

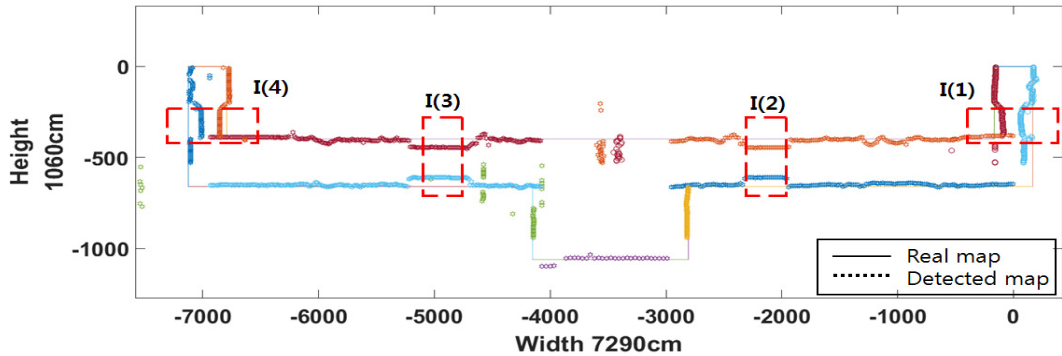
하지만 제안된 기법으로 실내 환경 상의 코너 검출과 보다 높은 해상도를 얻고자 할 때, 초음파 센서의 측정방식인 TOF의 특성상 측정 시에 일정 시간의 딜레이가 필수적이므로, 동일 측정 시간대비 많은 샘플 파티클을 수집하기 어려운 한계점이 있었기 때문에 보다 높은 해상도를 표현하는 것에 한계가 있었다. 해당 실험에서 구현된 모듈의 딜레이는 0.3초로, 더 짧

표 3. 실험 조건 및 센서 사양
 Table 3. Experiment condition and Sensor specification

Parameter	Specification
Sample particle	926 units
detection range	4m
detection angle	30°
Period for sensing	3 Hz



(a) Experiment start point (b) Experiment Corridor point (c) Experiment Hall point



(d) Experiment result

그림 7. 실험 환경과 실제비율 실내 지도와 초음파 센서를 활용하여 구현한 2D 실내 지도 작성 결과
 Fig. 7. Indoor map building result made by ultrasonic sensor compared with real scale indoor map & environment

은 기간의 딜레이를 설정해준다면 더 많은 샘플 파티클을 얻을 수 있겠지만, 그만큼 다중경로현상과 같은 노이즈 또한 심해지기 때문에 추후 연구에서는 보다 높은 해상도를 위해서 보다 지향각이 좁은 초음파 센서를 사용해야 할 것이다.

표 5를 통하여 본 논문에서 제안하는 기법을 사용하여 작성한 2D 실내 지도와 실제 실험 환경과의 정확도 평가를 위한 실제 거리대비 측정된 거리 값의 오차평균과 표준편차를 확인 할 수 있다.

제작한 고정형 초음파 모듈로 거리별 오차 실험을 한 표 2를 통해서도 알 수 있다시피 2m 내의 거리 내

에서는 탐지 최대 오차가 2cm로 오차가 비교적 작았지만, 실제 거리대비 측정된 거리 값의 전체 오차평균과 표준편차를 계산할 때 실제 환경에서 소화전이나 쓰레기통과 같은 물체로 인하여 비교적 높은 오차 평균과 표준편차를 가진 것을 확인할 수 있었다. 이는 실제 실험 환경에서 모듈로부터 모든 장애물에 대한 거리는 개별적으로 계산할 수 없었기 때문인 것으로 확인하였으며, 벽에 대한 절대적인 거리 값만을 두고 계산하였기 때문에 나타난 오차인 것으로 확인하였다. 향후 연구에서는 이러한 점을 개선한다면 더욱 낮은 오차를 가질 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 초음파 센서를 활용한 2D 실내 지도 작성을 위하여 회전형 Radar 모듈과 고정형 모듈을 개발하여 각 모듈의 가능성과 한계점을 확인하였으며, 제안 하는 기법과 초음파 센서를 활용하여 실내 지도 작성 시에 고려하여야 할 센서 특성 실험과 2D 실내 지도 작성 결과를 확인하였다. 실험을 통하여,

표 5. 모듈과 실제 벽과의 절대거리 대비 측정된 거리와의 오차평균과 오차의 표준편차
 Table 5. Average error & Standard deviation of error by absolute distance to the wall compare with detected distance from the module

	Left Sensor	Right Sensor
Average error (cm)	5.58018	5.718519
Standard deviation of error (cm)	5.328756	6.047647

회전형 Radar 모듈의 경우 한 개의 센서만을 사용하여 해상력과 주변의 다양한 정보를 수신하는데 한계가 있었지만, Lidar는 나타내지 못하는 어두운 환경이나 수중과 같은 다양한 매질에서 주변의 장애물에 대한 정보를 나타낼 수 있으므로 어두운 광산의 갱도 혹은 군사용 Drone에서의 장애물 탐지모듈로써의 활용이 가능할 것이라 기대한다.

또한 고정형 모듈의 경우, 최소한의 센서 개수와 저렴한 모듈 제작비용으로 실내 지도 작성에 대한 가능성을 확인하였으며 건물의 건축 당시 제공되었던 실내 공간에 대한 설계도면이 이후 철문, 소화전과 같은 장애물로 인하여 실제와의 차이가 생겨 실내에서의 다양한 서비스에 한계가 있는 점을 본 논문에서 제안하는 2D 실내 지도 작성 기법을 통하여 보완 할 수 있을 것이다.

추후 연구에서는 습기가 많은 환경, 연기가 많은 환경, 화재 시와 같은 다양한 채널 환경에서의 실험과 보다 높은 해상력의 지도를 위한 코너 검출 알고리즘 개발 및 센서 실험, 실시간 지도 작성을 위한 연구를 추가로 수행한다면, LiDAR 센서나 카메라 센서는 사용할 수 없는 연기와 누전으로 인하여 어둡고 습하며 복잡한 실내 구조를 가진 화재 진압 현장에서 소방관의 소방복이나 헬멧에 부착한 Wearable 디바이스 형태로써의 활용 등 보다 넓은 범위에서의 활용이 가능할 것이라 기대한다.

References

[1] P. Yang, "Efficient particle filter algorithm for ultrasonic sensor-based 2D range-only simultaneous localization and mapping application," *IET Wireless Sensor Systems*, vol. 2, no. 4, pp. 394-401, Dec. 2012.

[2] H. M. Han and J. B. Song, "Robust map building in narrow environments based on combination of sonar and IR sensors," *J. KRS*, vol. 6. no. 1, pp. 42-48 Mar. 2011.

[3] M. H, Lee and W. Cho, "Real-time measurement model of indoor environment using ultrasonic sensor," *J. KICS*, vol. 30, no. 6A, pp. 481-487, Jun. 2005.

[4] Y. S. Kim, S. H. Kim, and S. W. Ra, "An indoor location aware system using ultrasonic," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 183-186, Yeosu, Korea, Apr. 2004.

[5] J. J. Park, D. H. Lee, and S. Y. Mun, "A study on the recognizing range expansion techniques of the ultrasonic location awareness system for the ubiquitous computing," *J. KICS*, vol. 31, no. 7B, pp. 595-601, Jul. 2006.

[6] T. S. Jin and J. M. Lee, "Localization and navigation of a mobile robot using single ultrasonic sensor module," *J. IEEK*, vol. 42, no. 2, pp. 1-10, Mar. 2005.

[7] G. Gallegos and P. Rives, "Indoor SLAM based on composite sensor mixing laser scans and omnidirectional images," *ICRA*, pp. 3519-3524, May 2010.

[8] B. J. Park, S. J. Lee, W. K. Chung, and D. W. Cho, "Development of grid observation model for particle filter-based mobile robot localization using sonar grid map," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, vol. 30. no. 3, pp. 308-316, Mar. 2013.

안 덕 현 (Deock-hyeon Ahn)



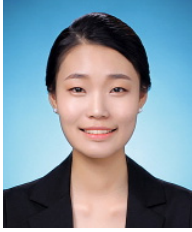
2015년 8월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
 2015년 8월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석·박 통합과정
 <관심분야> 실내위치추위, 무선통신시스템, SLAM

김 남 문 (Nam-moon Kim)



2011년 3월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
 2011년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석·박 통합과정
 <관심분야> 실내위치추위, 무선통신시스템, UWB 레이다, 임베디드시스템

박 지 혜 (Ji-hye Park)



2015년 2월 : 원광대학교 전기
정보통신공학부 졸업
2015년 3월~현재 : 광운대학교
전자공학과 석사 과정
<관심분야> 실내위치추위, 무
선통신시스템, Beacon

김 영 옥 (Young-ok Kim)



1999년 2월 : 연세대학교 기계
공학 졸업
2002년 5월 : Univ. of Texas
at Austin 전기 및 컴퓨터
공학 석사 졸업
2006년 5월 : Univ. of Texas
at Austin 전기 및 컴퓨터
공학 박사 졸업
2006년 7월~2008년 2월 : KT 인프리아연구소 선임연
구원
2008년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 부교수
<관심분야> ultra-wideband systems, OFDM-based
systems, precise ranging and location systems,
PAPR reduction techniques, diversity techniques
for wireless systems, and multiple-access
schemes in multicarrier systems