

초음파센서와 RFID 시스템을 이용한 이동로봇의 맵 빌딩에 관한 연구

A Study on Map Building of Mobile Robot Using RFID Technology and Ultrasonic Sensor

이도경, 임재성, 김상봉*
(Do Kyoung Lee, Jae Sung Im, and Sang Bong Kim)

Abstract: This paper is to present map building of mobile robot using RFID (Radio Frequency Identification) technology and ultrasonic sensor. For mobile robot to perform map building, the mobile robot needs its localization and accurate driving in space. In this reason, firstly, kinematic modeling of mobile robot under non-holonomic constrains is introduced. Secondly, based on this modeling, a tracking controller is designed for tracking a given path based on backstepping method using Lyapunov function. The Lyapunov function is also introduced for proving the stability of the designed tracking controller. Thirdly, 2D map building is performed by RFID system, mobile robot system and ultrasonic sensors. The RFID mobile robot system is composed of DC motor, encoder, ultra sonic sensor, digital compass, RFID receiver and RFID antenna. Finally, the path tracking simulation results and map building experimental results are presented to show the effectiveness of the designed controller.

Keywords: RFID, mobile robot, ultrasonic sensor, map building

I. 서론

최근 이동로봇은 여러 방면에서 인간의 생활을 보조할 뿐 아니라 인간과 로봇과의 상호작용이 가능하도록 구현되고 있다. 청소로봇, 서비스 로봇 등과 같이 이동로봇은 기본적으로 공간상을 주행하면서 각종 작업을 수행하므로 지정된 지점으로 이동하기 위하여 주변의 환경을 파악하는 것이(map building) 무엇보다도 중요한 부분이라고 할 수 있다. 일반적으로 맵 빌딩이란 이동로봇이 공간상을 주행하면서 설치된 센서를 사용하여 주변의 환경을 파악하는 것이라고 할 수 있다. 맵 빌딩 과정을 수행하기 위하여 먼저 이동로봇은 자신의 공간상의 자신의 절대위치를 파악하여야 하고, 자신의 위치와 설치된 센서를 통하여 외부환경을 파악하여야 한다.

이동로봇이 공간상에서 자신의 절대위치를 파악하는 방법 중 RFID 기술은 태그만 부착할 수 있다면 어떠한 환경에도 적용이 가능하므로 현재 다른 위치인식 기술과 접목하여 자율주행 및 맵 빌딩에 대한 적용이 연구되고 있다. 시각 장애인의 안내 로봇이나[1], 레이저 스캐너를 이용한 맵 빌딩[2], 모노 카메라를 이용한 글로벌 주행[3], 능동형 태그를 이용한 확률적 접근에 의한 이동로봇의 위치추정[4], 다중태그 인식을 통한 정밀 위치 추정[5] 등 많은 부분에서 이동로봇에 RFID를 접목한 연구가 진행되고 있는 상황이며, 특히 이동로봇이 자율주행을 구현하기 위하여 선행되어야 할 맵 빌딩을 구현하는데 있어 매우 효율적인 기술이라고 할 수 있다.

일반적으로 이동로봇이 외부환경을 파악하기 위해 사용되는 센서로 레이저 스캐너나 카메라, 3D 초음파 센서모듈을 사용한 RCD 생성[6]으로 맵 빌딩을 수행하였다. 그러나 이들

센서 시스템의 경우 이동로봇이 가정이나 회사등과 같은 일반적인 환경에서 적용하기에는 복잡한 인식 알고리즘 및 고가의 시스템이라는 단점이 존재한다. 3D 맵 빌딩을 구현하기 위해서 위의 센서들을 필수적으로 사용해야 하지만, 가정이나 사무실 같은 일반적인 환경에서 항상 3D 맵 빌딩을 수행할 필요는 없다. 2차원 맵 빌딩의 경우 고가의 센서들을 사용하여 맵 빌딩을 수행하는 것 보다 일반적인 거리측정 센서를 사용하여 효율적인 시스템을 구현하는 것이 중요하다. 그러므로 본 논문에서는 일반적인 초음파센서로 주변환경을 파악하고 엔코더, 디지털 나침반, RFID 시스템을 이용하여 공간상의 절대위치를 측정하는 이동로봇의 2D 맵 빌딩에 대한 연구결과를 제시하였다. 이동로봇이 실내공간을 효율적으로 주행하면서 맵 빌딩과정을 수행하기 위한 모델링과 경로추적 제어를 II, III 장에서 서술하였으며, IV 장에서는 구현한 RFID 및 이동로봇 시스템을 서술하였다. V 장에서는 제안된 경로추적 제어기의 시뮬레이션 결과를 제시하였으며, VI 장에서는 임의의 실내 공간에 대한 2D 맵 빌딩 결과를 제시하였다.

II. 이륜 이동로봇 시스템 모델링

그림 1은 이륜 이동로봇의 운동학적 모델링을 위하여 이동로봇을 2차원 좌표계로 나타낸 것이다. 2개의 구동바퀴는 이동로봇의 기하학적 중심을 지나는 축에 위치하고 있으며, 무게중심은 기하학적 중심에 위치한다고 가정한다. 또한 보조바퀴를 이동로봇의 앞부분에 설치하여 균형을 유지하며, 보조바퀴는 운동학적 모델링에서 무시된다. 비홀로노믹 구속 조건을 고려한 이동로봇의 모델링 방법은 여러 문헌에 언급되어 있다[7,8]. 그림 1에서 b 는 양 바퀴 사이의 거리, r 은 바퀴의 반지름, R 은 목표지점, C 는 이동로봇의 무게중심, d 는 이동로봇의 무게중심과 기하학적 중심과의 거리를 표시하고 있다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 13., 수정: 2009. 12. 15., 채택확정: 2009. 12. 30.

이도경: 부경대학교 메카트로닉스협동과정(do8bit@naver.com)

임재성: 부경대학교 수송기계 안전편의 융합부품소재 인력양성 센터(imjs@pknu.ac.kr)

김상봉: 부경대학교 기계공학부(kimsb@pknu.ac.kr)

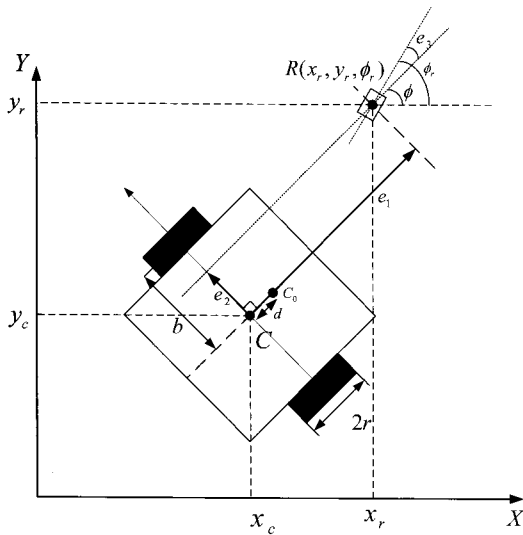


그림 1. 이륜 이동로봇의 좌표계.

Fig. 1. Coordinates of 2-wheel mobile robot.

이동로봇의 자세벡터는 다음과 같은 3가지의 요소로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{q} = [x \ y \ \phi] \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 이동로봇의 방향각이다. 식 (1)을 이용하여 이동로봇의 운동방정식을 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 \\ \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \Leftrightarrow \dot{\mathbf{q}} = \mathbf{S}(\mathbf{q})\mathbf{z} \quad (2)$$

$$\mathbf{A}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} = 0 \quad (3)$$

$$\mathbf{A}(\mathbf{q}) = [-\sin \phi \ \cos \phi \ 0]. \quad (4)$$

$$\mathbf{z} = [v \ \omega] \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{2b} & -\frac{r}{2b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{wr} \\ \omega_{wl} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 $\mathbf{z} = [v \ \omega]$ 는 이동로봇의 중심점 C 에서의 접선속도와 각속도를 성분으로 하는 속도벡터를 나타내며 ω_{wl} , ω_{wr} 은 좌우 구동바퀴의 각속도이다.

III. 이동로봇의 제어기 설계

운동학적 모델을 고려한 이동로봇의 경로추종 제어기를 설계하기 위하여 이동로봇의 목표모델을 식 (1)로부터 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\mathbf{q}_r = [x_r \ y_r \ \phi_r]^T, \quad \mathbf{v}_r = [v_r \ \omega_r]^T \\ \dot{x}_r = v_r \cos \phi_r, \quad \dot{y}_r = v_r \sin \phi_r, \quad \dot{\phi}_r = \omega_r$$

여기서 \mathbf{q}_r 은 경로 위의 목표좌표 (x_r, y_r) 과 이동로봇의 진행방향이 X 축과 이루는 각 ϕ_r 를 성분으로 하는 목표 위치벡터이다. \mathbf{v}_r 은 목표좌표 위의 이동로봇의 목표 선속도

v_r 과 목표회전각속도 ω_r 을 성분으로 하는 목표속도입력벡터이다. 경로추종 제어기의 목적은 $t \rightarrow \infty$ 일 때, 이동로봇의 현 위치벡터 \mathbf{q} 를 목표위치벡터 \mathbf{q}_r 로 수렴시키도록 하는 것이다. 즉 $t \rightarrow \infty$ 일 때 추적오차 $e_i \rightarrow 0$ 이 되도록 설계하는 것과 같다. 추적오차벡터 e 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r - x \\ y_r - y \\ z_r - z \end{bmatrix} \quad (7)$$

추적오차벡터의 도함수는 다음과 같다.

$$\dot{\mathbf{e}} = \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \\ \dot{e}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & e_2 \\ 0 & -e_1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_r \cos e_3 \\ v_r \sin e_3 \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)의 추적오차벡터를 이용하여 리아푸노프 함수를 다음과 같이 정의한다.

$$V_1 = \frac{1}{2}e_1^2 + \frac{1}{2}e_2^2 + \frac{1 - \cos e_3}{k_2} \geq 0 \quad (9)$$

식 (9)의 도함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= e_1 \dot{e}_1 + e_2 \dot{e}_2 + \frac{\sin e_3}{k_2} \\ &= e_1(v_r \cos e_3 - v + \omega e_2) + \\ &\quad e_2(v_r \sin e_3 - \omega e_1) + \frac{\sin e_3}{k_2}(\omega_r - \omega) \\ &= e_1(v_r \cos e_3 - v) + \frac{\sin e_3}{k_2}(\omega_r - \omega + k_2 e_2 v_r) \end{aligned} \quad (10)$$

이때 k_1, k_2, k_3 는 양의 정수이며 $\dot{V} \leq 0$ 을 얻기 위해 이동로봇의 속도성분 v, ω 를 정의하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} -k_1 e_1 = v_r \cos e_3 - v \\ -k_2 \sin e_3 = \omega_r - \omega + k_2 e_2 v_r \\ v = v_r \cos e_3 + k_1 e_1 \\ \omega = \omega_r + k_3 \sin e_3 + k_2 e_2 v_r \end{cases} \quad (11)$$

IV. RFID 이동로봇 시스템

1. RFID 시스템

RFID 시스템은 일정한 주파수대를 이용한 무선인식방식으로 편리하게 각종 인식정보를 주고받을 수 있기 때문에 현재 물류 및 위치추적뿐만 아니라 USN (Ubiquitous Sensor Network) 기술과 접목하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 RFID 시스템은 태그의 전원유무에 따라 수동형과 능동형으로 구분되는데 본 연구에서 사용한 RFID 시스템은 RFID의 주파수별 특성을 비교하여 13.56MHz의 수동형 RFID 시스템을 사용하였다. 사용된 수동형 RFID 시스템은 안테나, 수신기 태그로 구성되어 있으며, 태그는 바닥에 배치하고, 신호를 발생시켜 태그를 감지하는 안테나와 태그의 데이터를 수신하는 수신기는 이동로봇에 설치되어 있다. 본 연구에 적용된 RFID 시스템의 경우 인식거리가 약 25cm 정도이며 바닥에 부착이 쉽도록 스티커 타입의 태그를 이용하였다. RFID 시스

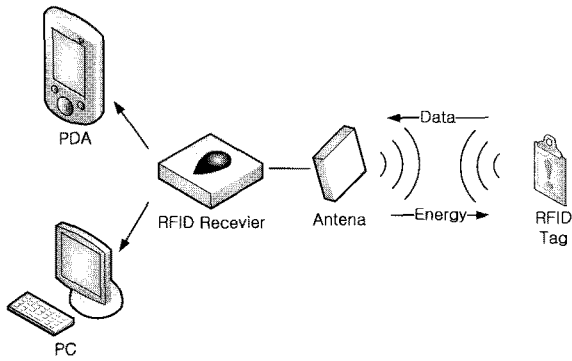


그림 2. RFID 시스템의 구성.
Fig. 2. Composition of RFID system.

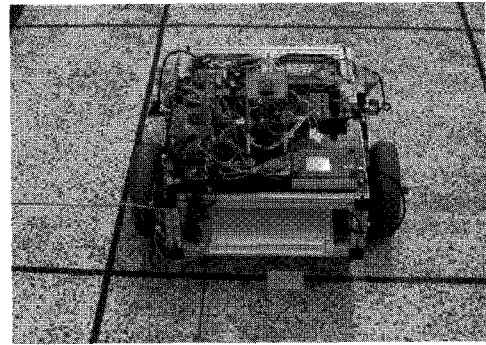


그림 4. 실험한 이동로봇.
Fig. 4. Mobile robot of experiment.

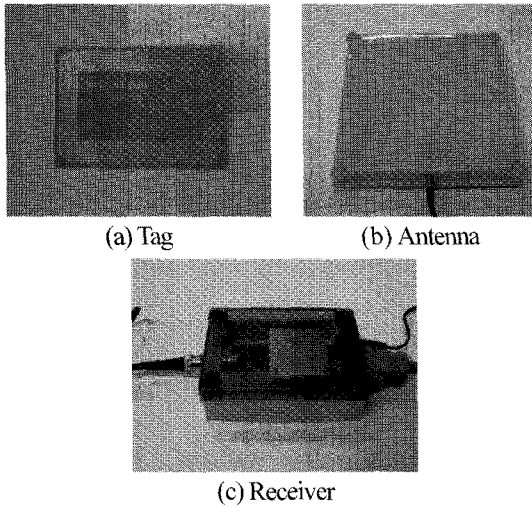


그림 3. 사용한 RFID 시스템.
Fig. 3. Used RFID system.

표 1. 로봇 위치인식 시스템 비교.

Table 1. Comparison with other robot localization method.

	단점	비고
엔코더	주행오차가 누적	상대 인식
자이로	온도, 바이어스 오차가 발생	
초음파	느린 샘플링 타임, 반사 노이즈	절대 인식
적외선	짧은 측정거리	
vision	밝기에 민감 복잡한 인식 알고리즘	
GPS	실내에서의 적용이 어려움	

템의 구성은 그림 2와 같으며, 그림 3에서 (a)는 태그, (b)는 안테나, (c)는 수신기를 나타낸다.

일반적으로 이동로봇의 위치인식을 위하여 많은 센서 시스템이 사용되고 있다. 그러나 이들 센서 시스템은 표 1에서와 같은 단점이 존재한다. RFID 시스템은 오차가 없으며, 인식속도가 빠르고, 태그 내부의 메모리에 데이터를 저장할 수 있으며, 물체를 투과하여 인식할 수 있는 등 여러 장점을 가지고 있다. 이는 RFID 시스템이 이동로봇의 위치인식 시스템으로 적용될 수 있는 매우 용이한 장점이라고 할 수 있으며, 특정한 지점에 태그를 부착한다면 주변 환경의 영향을 거의 받지 않고 효율적으로 이동로봇의 주행공간상 절대 좌

표를 얻을 수 있기 때문에 매우 편리한 위치인식 시스템이라고 할 수 있다.

2. 이동로봇 시스템

이론 이동로봇 시스템은 그림 4와 같이 구성하였다. 상부는 이동로봇의 제어시스템이 구축되어 있으며, 외부 벽이나 장애물과 이동로봇 사이의 거리를 측정하기 위한 초음파센서는 이동로봇의 좌/우측에 설치하였다. 사용한 초음파센서는 I2C 방식으로 데이터가 전송되는 SRF10 초음파센서를 사용하였으며, 최대 인식 거리는 약 8m 이다. 또한 이동로봇의 주행각을 측정하기 위하여 CMP03S 디지털 나침반을 사용하였다. 0.1도의 각도 분해능을 가지고 있으며, 이동로봇의 상부 중앙에 설치하였다. 이동로봇의 바퀴 구동을 위해 24V DC 모터를 사용하였고 엔코더를 설치하였으며, 제어시스템은 PIC 마이크로프로세서를 이용하여 구성하였다.

3. 이동로봇의 위치 추정

맵 빌딩과정을 수행하기 위하여 이동로봇은 주행 중 자신의 위치를 알고 있어야 한다. 이동로봇은 공간상을 주행하면서 엔코더와 디지털 나침반으로 현재 자신의 위치를 얻을 수 있지만, 오차가 누적될 수 있다는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 공간상의 특정 절대위치에 RFID 태

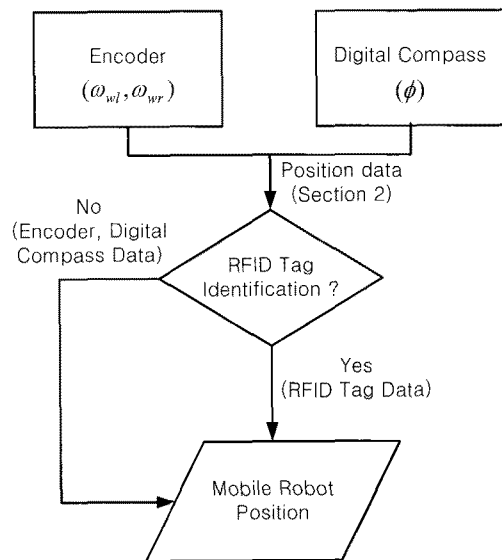


그림 5. 이동로봇 위치인식 알고리즘.
Fig. 5. Mobile robot localization algorithm.

그를 배치하여, 태그의 위치데이터로 이동로봇의 위치데이터가 보정되는 방법으로 이동로봇 및 RFID 시스템을 구현하였다. 식 (1)의 이동로봇의 자세벡터에서 식 (6)의 좌우 구동바퀴의 각속도를 엔코더로 측정하고, 이동로봇의 진행각 ϕ 는 디지털 나침반을 이용하여 측정한다. 내부 연산을 통하여 이동로봇의 현재위치와 진행각을 계산하게 되며, 이동로봇이 태그를 인식할 경우, 기존의 엔코더와 디지털 나침반으로 측정한 이동로봇의 위치 데이터가 태그의 위치 데이터로 갱신된다. 그림 5는 이동로봇의 위치인식 알고리즘을 나타내고 있다.

V. 경로 추적 시뮬레이션

III 장에서 구현한 경로추적 제어기의 효율성을 검증하기 위하여 Matlab을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 표 2는 시뮬레이션에서 설정한 파라미터를 표시하고 있으며, 그림 6은 이동로봇이 추적할 기준 경로를 나타내고 있다. 경로는 직선 구간과 곡선 구간으로 구성되어 있다.

그림 7은 이동로봇이 목표경로를 추적할 때 약 2초 후 모든 오차가 0으로 수렴하는 결과를 보여주고 있다. 그림 8은 좌우 구동바퀴의 회전각속도이고, 그림 9는 이동로봇의 주행각속도로서, 직선 및 곡선 구간마다 일정한 각속도로 변경되고 있음을 보여준다. 그림 10은 이동로봇의 선속도를 나타내고 있으며, 그림 11은 기준경로와 시뮬레이션 결과로 생성된 이동로봇의 주행경로를 표시한 결과이다. 주행이 시작되고 약 0.5m 주행 후 목표경로와 실제 주행경로가 거의 오차 없이 진행함을 나타내고 있고, 구간의 형상이 변경되더라도 목표 경로와 실제 경로와의 차이가 거의 없음을 나타내고 있다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터.

Table 2. Simulation parameters.

Parameter	Value	Unit
b	0.27	[m]
r	0.11	[m]
x_1	0.25	[m]
y_1	0.25	[m]
v_r	0.25	[m/s]
ω_r	0	[rad/s]

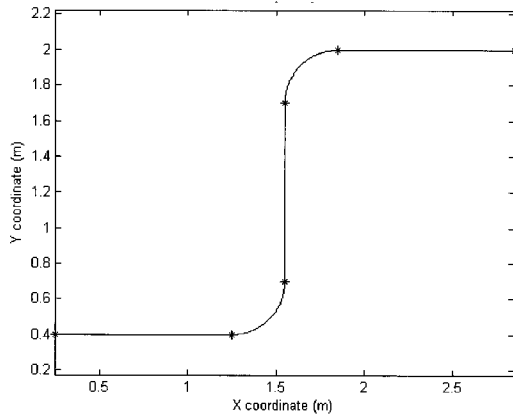


그림 6. 이동로봇의 기준 경로.
Fig. 6. Reference path of mobile robot.

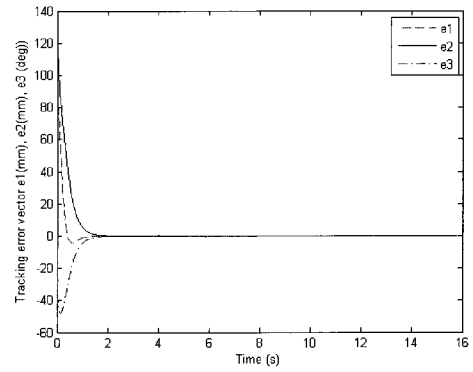


그림 7. 추적된 에러.
Fig. 7. Tracking errors.

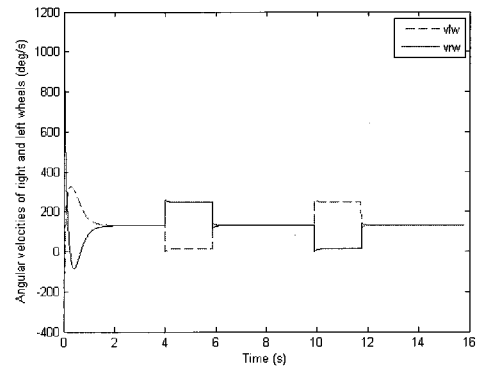


그림 8. 좌우 바퀴의 각속도.
Fig. 8. Angular velocity of left/right wheels.

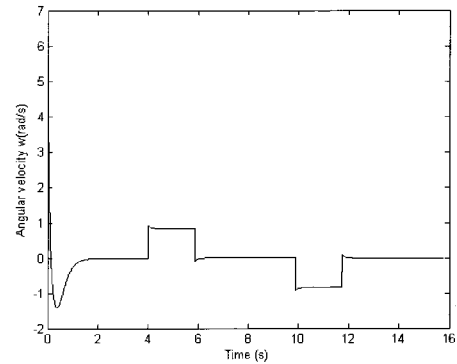


그림 9. 이동로봇의 각속도.
Fig. 9. Angular velocity of mobile robot.

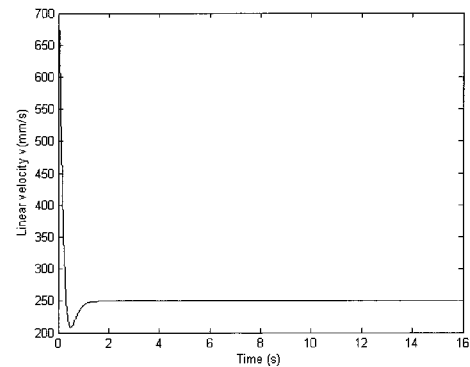


그림 10. 이동로봇의 선속도.
Fig. 10. Linear velocity of mobile robot.

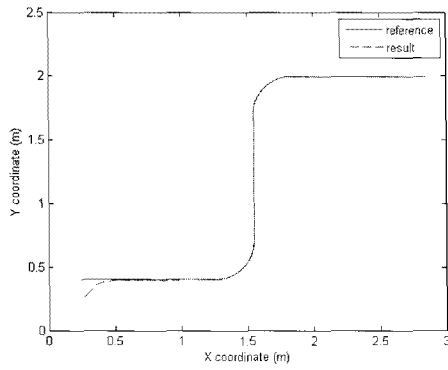


그림 11. 이동로봇의 경로.

Fig. 11. Movement of mobile robot.

VI. 맵 빌딩 실험

맵 빌딩 실험을 위하여 2m×2.62m의 실험공간을 구성하였다. 그림 12는 실험공간의 구성을 나타내고 있으며, 그림 13은 실험공간의 실제 모습이다. 벽면에는 원통형과 육면체형 물체를 배치하였고 이동로봇이 실험공간을 주행하면서 이동로봇과 벽면 및 물체와의 거리를 초음파센서를 통하여 측정하였다. RFID 태그는 실험공간의 바닥에 위치하여 이동로봇이 태그 위를 통과할 때 이동로봇의 하단에 위치한 RFID 안테나가 태그를 감지할 수 있도록 하였다.

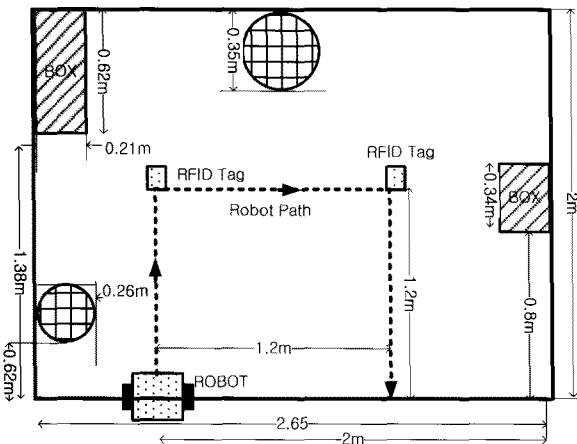


그림 12. 실험공간의 구성.

Fig. 12. Configuration of experimental space.

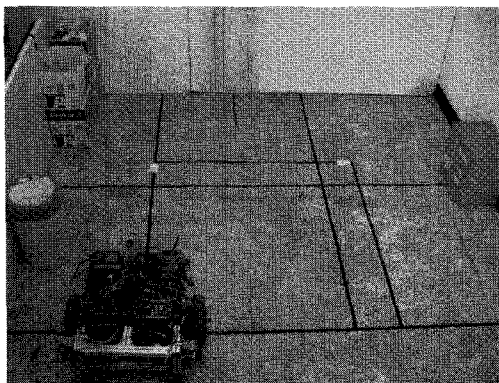


그림 13. 실험공간의 실제 사진.

Fig. 13. Photograph of experimental space.

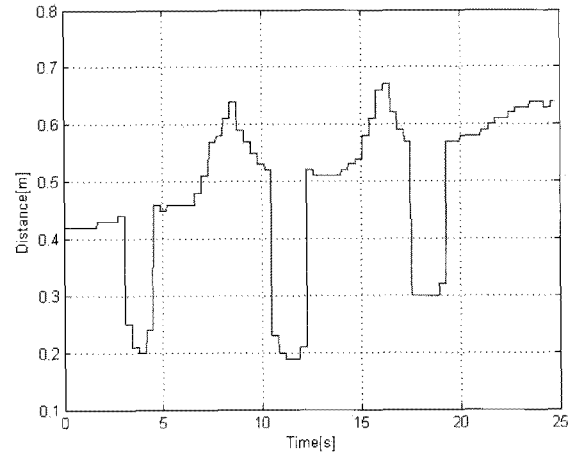


그림 14. 초음파센서 결과 데이터.

Fig. 14. Ultrasonic sensor data of experimental result.

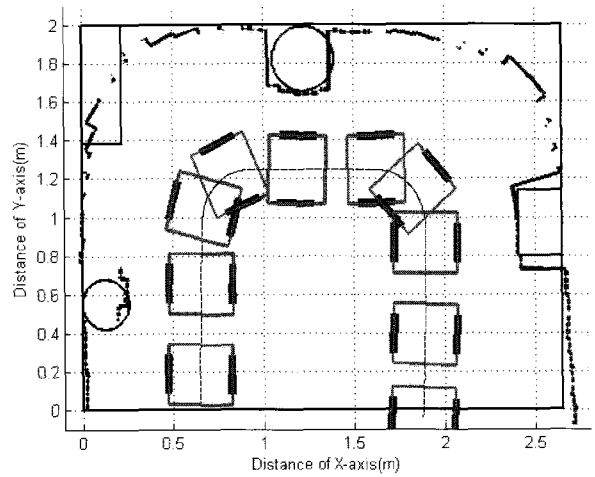


그림 15. 맵 빌딩 실험 결과.

Fig. 15. Map building experimental result.

그림 14는 이동로봇의 초음파센서로 측정된 이동로봇과 벽면 및 물체와의 거리 데이터를 보여주고 있다. 위 데이터를 바탕으로 실제 실험공간의 2D 지도를 만들기 위하여 이동로봇의 위치 데이터를 이용하여 초음파 센서의 데이터를 보정하여야 한다.

그림 15는 최종 실험결과를 나타낸 것이다. 초음파 센서로부터 측정된 데이터를 RFID, 엔코더, 디지털 나침반으로 추정한 이동로봇의 위치를 이용하여 보정한 결과이다. 최종적으로 획득한 맵 빌딩 결과는 점으로 표시되어 측정된 데이터와 실제 위치한 벽면 및 물체의 형상을 확인할 수 있다. 이동로봇의 위치 및 방향에 따라 측정된 센서 값의 오차가 발생하는데, 초음파 센서가 이동로봇의 중심축과 같은 방향으로 위치하고 있으며, 이동로봇이 회전할 때 벽을 원형으로 감지하고, 또한 센서의 특성상 샘플링타임이 늦으며 음파가 정면으로 반사되지 않는 등 센서의 특성상에 대한 오차에 기인한다. 이 때문에 모서리와 같은 환경에서 정확한 형상이 나타나지 않는다. 그러나 사각형의 물체와 벽면 형상은 대략적으로 정확하게 나타나고 있으며, 기본적인 실내공간의 기본적인 2D 지도를 완성할 수 있다.

VII. 결론

본 논문에서는 RFID 시스템과 초음파센서를 이용한 이동 로봇의 2D 맵 빌딩에 관한 연구 결과를 제시하였다. 실내 공간의 2D 맵 빌딩을 수행하기 위하여 이동로봇의 비홀로노믹 모델링과 백스테핑법에 의한 비선형 경로추종 제어를 제시하였으며, 설계된 제어기의 효율성을 검증하기 위하여 곡선과 직선으로 구성된 기준 경로를 추종하는 Matlab 시뮬레이션을 실시하고 그 결과를 나타내었다. 또한 수신기, 태그, 안테나로 구성된 13.56MHz 수동형 RFID 시스템과 DC 모터, 엔코더, 디지털 나침반으로 구성된 이동로봇 시스템을 구현하였으며, 실내 공간상에 원통형 및 육면체형 물체를 배치하여 이동로봇이 실험 공간을 주행하면서 수행한 맵 빌딩 결과를 제시하였다. 제시된 실험결과에서, 곡선과 모서리면에서는 초음파 센서의 특성상 완벽한 형상을 도출하지는 못했으나 사각형 물체와 벽면의 경우 실제 형상과 가까운 2D 맵 빌딩 결과를 도출하였다. 향후 이동로봇의 주행오차 추정 및 주행 알고리즘에 대한 연구를 통하여 더욱 효율적인 맵 빌딩을 수행할 수 있도록 연구할 계획이다.

참고문헌

[1] O. Kubitz, M. O. Berger, M. Perlick, and R. Dumoulin, "Application of radio frequency identification devices to support navigation of autonomous mobile robots," *IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 126-130, 1997.

[2] D. Hahnel, W. Burgard, C. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, "Mapping and Localization with RFID technology," *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1015-1020, 2004.

[3] T. Tsukiyama, "Global navigation system with RFID tags," *Proc. SPIE*, vol. 4573, pp. 256-264, 2002.

[4] 서대성, 이호길, 김홍석, 양광웅, 원대회, "RFID 태그에 기반한 이동 로봇의 몬테카를로 위치추정," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제12권 제1호, pp. 47-53, 2006.

[5] 이현정, 최규천, 이장명, 이민철, "RFID를 이용한 이동로봇의 위치인식기술," 제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지, 제12권 제1호, pp. 41-46, 2006.

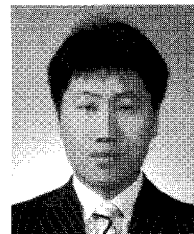
[6] 진태석, 이민중, 이장명, "이동로봇의 자율주행을 위한 다중센서융합기반의 지도작성 및 위치추정," 제어 · 자

동화 · 시스템공학 논문지, 제13권 제5호, pp. 434-443, 2007.

[7] R. Fierro and F. L. Lewis, "Control of nonholonomic mobile robot: backstepping kinematics into dynamics," *Proceedings of the 34 conference on Decision & Control*, pp. 3805-3810, 1995.

[8] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for a nonholonomic mobile robot," *IEEE/RSJ International Workshop Intelligent Robots and Systems IROS '91*, pp. 1236-1241, 1991.

[9] 임형수, "RFID 센서공간에서 모바일 로봇의 위치인식을 위한 효율적인 태그 배치방식," 부산대학교, 2007.



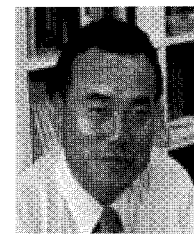
이 도 경

2007년 부경대학교 기계공학부 졸업.
2009년 부경대학교 메카트로닉스공학(공학석사). 2009년 현재 부경대학교 대학원 메카트로닉스공학 박사과정 재학 중. 관심분야는 비선형제어, 로봇공학.



임 재 성

2003년 부경대학교 기계공학부 졸업.
2005년 부경대학교 메카트로닉스공학(공학석사). 2009년 쿠마모토 대학교 시스템 정보과학(학술박사). 2009년 현재 부경대학교 수송기계 안전편의 융합부 품소재 인력양성센터 연구교수 관심분야는 자동차 안전제어, 의용공학.



김 상 봉

1978년 부산수산대학교 기관공학과 졸업. 1980년 부산수산대학교 기관공학과(공학석사). 1988년 동경공업대학 제어 시스템공학과(공학박사). 현재 부경대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 메카트로닉스, 비선형제어.