

Auto Calibration Algorithm 을 이용한 이동 로봇의 정밀 위치추정 시스템

Precise Indoor Localization System for a Mobile Robot Using Auto Calibration Algorithm

김 성 부 · 이 장 명*

Sung-Bu Kim · Jang-Myung Lee

Abstract Recently, with the development of service robots and with the new concept of ubiquitous world, the position estimation of mobile objects has been raised to an important problem. As pre-liminary research results, some of the localization schemes are introduced, which provide the absolute location of the moving objects subjected to large errors. To implement a precise and convenient localization system, a new absolute position estimation method for a mobile robot in indoor environment is proposed in this paper. Design and implementation of the localization system comes from the usage of active beacon systems (based upon RFID technology). The active beacon system is composed of an RFID receiver and an ultra-sonic transmitter: 1. The RFID receiver gets the synchronization signal from the mobile robot and 2. The ultra-sonic transmitter sends out the traveling signal to be used for measuring the distance. Position of a mobile robot in a three dimensional space can be calculated basically from the distance information from three beacons and the absolute position information of the beacons themselves. Since it is not easy to install the beacons at a specific position precisely, there exists a large localization error and the installation time takes long. To overcome these problems, and provide a precise and convenient localization system, a new auto calibration algorithm is developed in this paper.

Also the extended Kalman filter has been adopted for improving the localization accuracy during the mobile robot navigation. The localization accuracy improvement through the proposed auto calibration algorithm and the extended Kalman filter has been demonstrated by the real experiments.

Keywords: localization, RFID, active beacon system, auto calibration, mobile robot, ultrasonic sensors, Extended Kalman Filter

1. 서 론

가까운 미래에는 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크를 통해 새롭고 다양한 서비스가 창출될 것이다. 특히, 언제 어디서나 사람과 사물이 같은 객체의 위치를 인식하고, 이를 기반으로 유용한 서비스를 제공하는 환

경에서 로봇의 위치를 인식하는 것은 기본적이며 중요한 기술중의 하나이다¹⁾. 홈 서비스 로봇이 어떠한 환경 내에서 작업을 하기 위해서는 대부분 위치와 인식은 매우 중요한 요소이다.

이전에 로봇은 제한된 작업 공간에서 업무를 처리하는데 주로 사용되어 왔다. 그러나 이동 로봇은 이동하면서 다양한 업무를 수행하기 때문에 산업 분야나 가정에서 광범위한 적용 범위를 가진다. 특히, 이동 로봇은 인간이 할 수 없는 위험하거나 어려운 환경에서 인간을 대신하여 작업을 수행하기도 한다. 따라서, 어떠한 환경

※ 본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 정보통신선도기반기술개발 사업의 연구결과로 수행되었습니다.

† 책임저자(Corresponding Author)

이장명: 부산대학교 전자공학과(jmlee@pusan.ac.kr/051-510-2378)

내에서 이동 로봇에 지령을 할 경우 현재 로봇 자신의 위치를 알아야 한다. 위치 측정은 그 범위에 따라 실내와 실외, 측정 방법에 따라 상대 위치 측정 방법과 절대 위치 측정 방법으로 구분된다. 상대 위치 인식은 대표적으로 추측항법(dead reckoning)을 기본으로 한다. 추측항법은 주로 로봇의 바퀴의 회전량을 이용하여 위치를 추정한다. 이러한 방법은 간단하고, 저가이며, 실시간으로 위치를 계산하기 쉽다는 장점이 있다. 그러나, 위치에러가 바닥의 상태에 따른 바퀴의 미끄러움이나 센서의 에러로 인하여 항상 오차가 상대적으로 커지며 축적되는 단점이 있다^[2]. 따라서, 누적 오차 때문에 자이로 센서나 속도 가속도 센서를 추가하여 로봇의 위치를 보정해 주어야 한다. 절대 위치 인식 방법은 대개 navigation beacons, active or passive landmarks, map matching or satellite based navigation signals 을 사용한다. GPS(Global Positioning System)^[3]는 상대 위치 인식 방법의 문제점들을 해결한 대표적인 한가지 방법이다. 그러나, GPS 는 오로지 실외 환경에서만 사용될 수 있고 이동 로봇에 적용하기에는 그 위치 오차가 너무 크다. 일반적으로 실내 환경에서 초음파 센서는 로봇의 위치를 인식하기 위한 시스템에 광범위하게 사용되어왔다. 로봇의 위치와 방향을 측정하기 위해 측정 장비로^[4]에서 초음파를 사용했다. 간단한 라디오 주파수(RF: Radio Frequency) 무선 송, 수신모듈이 부가된 초음파 센서와 이를 이용한 GPS(Global Positioning System) 구조의 ABS(Active Beacon Sensor) System 이 제안되었다. 이 시스템은 실내 공간의 특정 지역에 4 개의 고정된 곳에서 초음파 발생기가 설치되어 Localizer 가 RFID 를 이용하여 각각의 초음파 발생기를 순차적으로 호출하여 초음파를 수신하여 획득한 데이터로부터 거리 정보를 삼각 측량법으로 로봇의 위치와 방향각을 인식하였다. 로봇의 위치와 방향각은 초음파 스캔 데이터로부터 획득된 비컨의 기하학적 파라미터로부터 결정된다. 그러나 이동 로봇이 존재하는 공간인 공공장소 또는 일반 가정 내에서는 인간과 책상 그리고 의자 등의 시변, 시불변 장애 요소들이 있기 때문에 이동 로봇의 위치를 인식하지 못하는 문제점이 발생한다. [5]에서 Flat Floor Algorithm 및 Linear Incremental Algorithm 을 이용하여 실내 장애물이 있을 시 외부 환경이나 노이즈에 대해 강인한 위치 추정을 하였으며 측정된 신호의 잡음을 제거하기 위해 Extended Kalman Filter 를 사용 하였다.

한편, 실내의 전역 공간상에서 초음파 발생기는 정확한 좌표에 설치되었을 때에 이동 로봇의 정밀한 위치 추정이 가능하다. 그러나 실제로 각 초음파 발생기들

을 설치하는데 여러 가지 어려움이 따른다. 초음파 발생기를 설치 시에 정확한 위치를 파악하기 위해 정밀한 위치 측정 장치가 필요하며, 기준 좌표에 맞게 각각의 초음파 발생기를 설치 하여야 하고, 초음파 발생기의 정확한 좌표를 확인하기 위해서는 여러 작업자의 협력이 있어야만 가능하기 때문이다.

본 연구에서는 앞서 설명한 시스템의 문제를 보완하기 위해 Auto Calibration Algorithm 을 이용한 ABS(Active Beacon Sensor) System 을 제안하고자 한다. ABS System 을 초기 설치 시 Auto Calibration Algorithm 을 이용하여 각각의 초음파 발생기의 좌표를 측정하여 이 데이터로부터 이동 로봇의 위치와 방향을 추정해 나간다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2 장에서는 ABS(Active Beacon Sensor) System 의 구성 및 본 시스템 하에서 이동 로봇의 자기 위치 추정을 위한 Extended Kalman Filter 에 대해서 설명하고, 3 장에서는 제안하는 Auto Calibration Algorithm 에 대해서 설명한다. 그리고 4 장에서 본 시스템의 가용성을 검증하기 위한 실험 결과를 제시하고 5 장에서 결론을 맺었다.

2. Active Beacon Sensor (ABS) System

2.1 시스템 구조

제안한 위치 인식 방법은 실내 환경에서 모든 이동 장치(홈 로봇, 서비스 로봇, 휴머노이드 로봇 등)에도 확장하여 적용할 수 있다. 실내 환경은 코너와 벽, 3 차원으로 구성되어 이 공간에는 역시 책상, 테이블, 컴퓨터 등과 같은 다른 물체들이 존재한다고 가정한다. 그림 1 은 제안한 ABS System 의 구조를 도식화한 것이다.

이동 로봇 운동 공간 내에 정해진 위치에 초음파 발생기가 설치되어 위치 정보를 제공하는 비컨(beacon) 역할을 한다. 여기서는 일단 그림 1 과 같이 실내 공간의 천장 모서리에 비컨이 설치되어 있다고 가정한다. 그리고 이동 로봇 상에는 비컨에서 발생한 초음파 신호를 수신하는 초음파 수신부가 장착되어 있다. 간단히 이 장치를 Localizer 라고 한다. 각각에 대한 구성을 보면, 수신기는 RFID 신호를 전송하기 위한 RF 송신부 하나와 비컨에서 발생한 초음파 신호를 수신하기 위한 초음파 수신부로 구성되어 있다. 비컨은 Localizer 에서 전송한 RFID 를 수신하기 위한 RF 수신부와 초음파 신호를 발생하기 위한 초음파 송신부로 구성되어 있다.

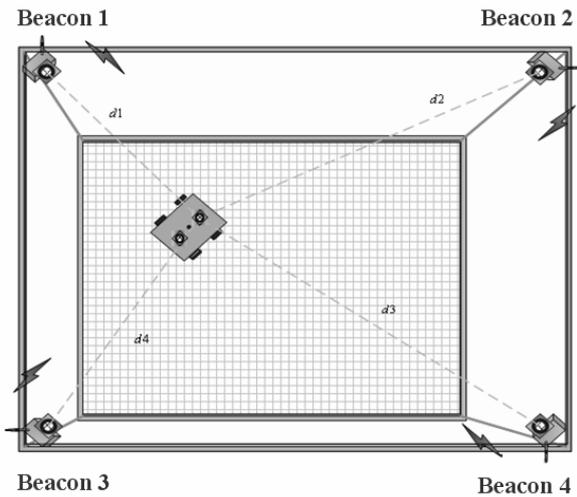


그림 1. ABS System의 구조.

Fig. 1. Structure of the ABS system.

2.2 초음파를 이용한 거리 측정 및 삼각 측량법

그림 2 는 초음파를 사용하여 기본적인 위치 측정의 알고리즘을 나타낸다.

Localizer 에서 RFID 신호를 전송하면 동시에 카운터를 시작한다. 그러면, 비컨은 RFID 를 받아 자신의 ID 인지 확인한 다음 자신의 ID 라고 판단되면 초음파 신호를 발신한다. 카운터는 초음파 신호를 수신할 때까지 계속되며 초음파 신호를 수신하면 카운터는 멈춘다. 카운터 값으로 거리 계산 후 다시 다음의 RFID 신호를 전송한다. 만약 모든 RFID 가 전송이 되었다면 이때부터 좌표 계산이 이루어 진다.

카운터 값은 초음파의 비행 시간이며 초음파 수신부와 비컨 사이의 거리를 계산하기 위해 사용된다:

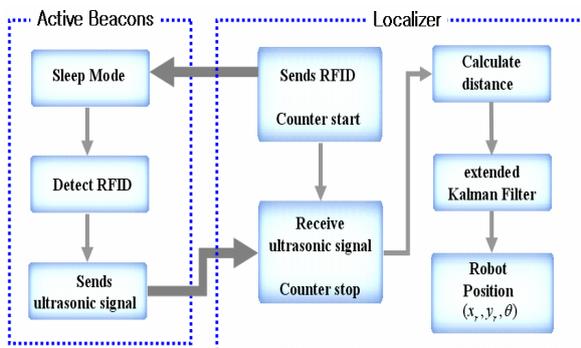


그림 2. ABS System의 운영 알고리즘.

Fig. 2. Operation algorithm of ABS system.

$$r[m] = v[m/sec] \cdot s[sec] \tag{1}$$

$$v = 331.5 + 0.6 \times T[m/sec] \tag{2}$$

$$s = n \times h - t_d \tag{3}$$

여기서, T 는 실내 온도, h 는 카운터 클럭, n 는 타임 카운터, t_d 는 회로의 초음파 검출 딜레이, s 는 전체 초음파 신호의 비행 시간, r 은 거리 데이터이다.

지도상에서 로봇이 위치하게 될 가능성이 있는 위치가 원으로 나타내어 진다. 구해진 3 개의 거리 정보 r_1, r_2, r_3 와 이미 알고 있는 세 비컨의 위치 정보 $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), (X_3, Y_3, Z_3)$ 를 이용하여, 세 원의 교점을 구하면 이동 로봇의 위치 (x_m, y_m, z_m) 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (x_m - X_1)^2 + (y_m - Y_1)^2 + (z_m - Z_1)^2 \\ (x_m - X_2)^2 + (y_m - Y_2)^2 + (z_m - Z_2)^2 \\ (x_m - X_3)^2 + (y_m - Y_3)^2 + (z_m - Z_3)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 \\ r_2^2 \\ r_3^2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

초음파 신호들 간의 혼신을 피하고 각 초음파 수신부에서 발신한 초음파 신호를 식별해야 한다. 그리고, 초음파 비행 시간(TOF)을 측정하기 위한 송수신 센서들 간의 동기화를 해야 한다. 초음파 수신부에서 각 신호들을 식별하기 위하여 각 초음파 발생기에 간단한 RF 수신 모듈을 부가하고, 이동 로봇에서 RF 송신 모듈을 이용하여 각 비컨들을 순차적으로 호출하는 방식을 구현하였다.

삼각 측량을 위해 비컨의 수는 3 개만 필요하지만 본 시스템에서는 총 4 개를 설치하였다. 이는 실내 공간에는 장애물이 존재하게 될 경우 장애물에 의하여 비컨과 Localizer 의 초음파 수신 모듈 사이에 초음파 송수신이 안될 경우가 존재한다. 이때 3 개의 비컨을 이용하여 위치 추정을 하는 보다 신뢰성을 보장한다. 그리고, 비컨 4 개 모두에서 거리데이터가 받아졌다고 하지만, 거리가 멀수록 오차가 증가하게 되는 것은 일반적인 사항이다. 그래서 4 개의 비컨 모두에서 정상적으로 데이터가 들어 왔다면, 이 데이터들 중 가장 거리 데이터가 큰 값을 버리고 나머지 3 개의 거리 데이터를 이용하여 삼각 측량을 하게 된다. 이렇게 필터링 작업을 함으로써 초음파 송수신 사이 거리 데이터의 오차를 최소화 한 후 삼각 측량법을 적용하였다.

2.3 Extended Kalman Filter

측정된 신호에 잡음이 실려있는 경우, 신호의 참값을 추정하기 위해서 Kalman Filter 를 사용할 수 있다^{[6][8]}. Kalman Filter 는 관측 방정식을 이용하여 시스템의 상태 변수를 추정하는데 사용되는 대표적인 최적 추정 알고리즘이다. 본 논문에서 제안하는 ABS System 에서 측정 거리 신호와 이동 로봇의 전역 좌표 값 사이에는 비선형 관계가 있으므로 여기서는 비선형 시스템을 위한 Extended Kalman Filter Algorithm 을 적용한다.

시스템에 Extended Kalman Filter 를 적용하기 위해 이동 로봇의 운동 방정식 및 관측 방정식을 유도한다.

이동로봇의 운동 방정식 :

$$v_k = \frac{1}{2}(v_R + v_L) \quad (5a)$$

$$\omega_k = \frac{1}{l}(v_R - v_L) \quad (5b)$$

여기서 v_k 와 ω_k 는 이동 로봇의 선속도 및 회전각 속도이며 v_R 와 v_L 이동로봇의 오른쪽 왼쪽 바퀴 이동 속도이며, 은 다음 그림과 같이 두바퀴 사이의 거리를 나타낸다.

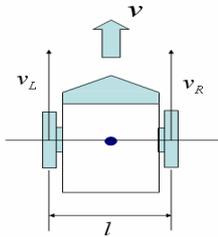


그림 3. 이동 로봇 기구학

Fig. 3. Kinematic of Mobile Robot

동역학 방정식을 유도하기 위해 로봇의 직선 속도와 회전 속도가 각각 제어된다고 가정한다^{[9][10]}. 그러면, 이산 시간 영역에서 차동 바퀴를 갖는 이동로봇의 앞쪽 초음파 수신기 위치 운동 기구 학은 아래와 같이 표현할 수 있다:

$$r_{k+1} = \begin{bmatrix} x_k + Tv_k \cos \theta + w_{1,k} \\ y_k + Tv_k \sin \theta + w_{2,k} \\ \theta_k + T\omega_k + w_{3,k} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서, θ 는 이동 로봇의 방향, T 는 샘플링 간격, $r_k = [x, y, \theta]^T$ 는 $x - y$ 평면상 위치를 나타내며, w 는 평균값 0 과 분산 Q 를 갖는 가우시안 잡음이다.

이동 로봇상의 초음파 수신 센서에 관측 방정식은 ABS System 에서 구해진 측정 값을 대입하였다. 상태 방정식 및 관측 방정식에서 이동 로봇의 상태 벡터를 추정하기 위한 Extended Kalman Filter 알고리즘은 다음과 같이 기술할 수 있다:

$$\hat{r}_{k+1}^- = f(\hat{r}_k^-, u_k, w_k) \quad (7a)$$

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + Q_k \quad (7b)$$

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + G_k)^{-1} \quad (7c)$$

$$\hat{r}_k = \hat{r}_k^- + K_k (z_k - h(\hat{r}_k^-, n_k)) \quad (7d)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (7e)$$

여기서 \hat{r}_k^- 와 \hat{r}_k 는 각각 이동 로봇의 상태 벡터, r 의 Kalman Filter 에 의한 보정전과 보정 후 추정 값이고, P_k^- 와 P_k 는 다음 식으로 정의되는 오차 공분산 행렬이다.

$$P_k^- = E[(r_k - \hat{r}_k^-)(r_k - \hat{r}_k^-)^T] \quad (8)$$

$$P_k = E[(r_k - \hat{r}_k)(r_k - \hat{r}_k)^T] \quad (9)$$

또한, H_k 는 관측행렬, K_k 는 칼만 필터의 이득, 행렬 A_k 는 비선형함수 $f(\cdot)$ 의 상태 벡터이다.

3. Auto Calibration Algorithm

[4][5]에서는 그림 1 과 같이 비컨들이 설치되어있으며 이들의 정확한 좌표를 알아야만 이동 로봇의 위치 추정이 가능했다. Auto Calibration Algorithm 은 각 비컨들을 설치 시에 ABS System 내에 이용되는 Localizer 가 직접 비컨들의 좌표를 계산하게 된다.

그림 4 는 Auto Calibration Algorithm 의 흐름도를 나타낸다.

그림 5 과 같이 각각의 비컨이 설치가 된 후 이동 로봇에 장착된 초음파 수신기를 A_1 의 위치 (x_1, y_1, z_1) 에 이동시킨다. (x_1, y_1, z_1) 의 실제 위치를 안다고 가정을 한다. 이때 Localizer 로 모든 비컨들 과의 거리를 측정한다. 다음으로 A_2 의 위치 (x_2, y_2, z_2) 에 이동 로봇을 이동 시켜 앞서 진행한 것과 같이 거리를 측정한다.

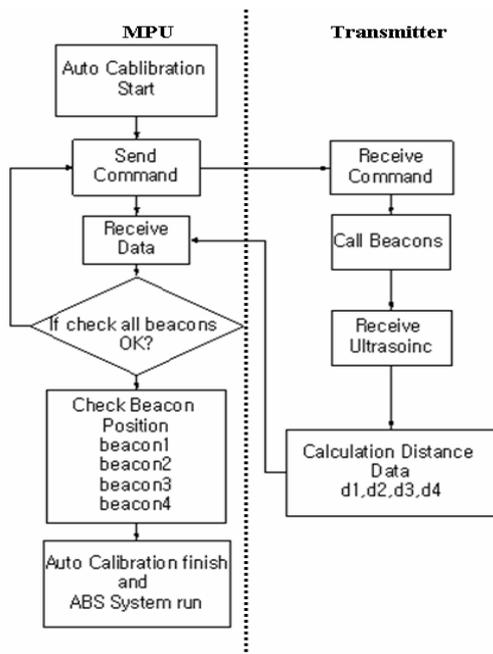


그림 4. Auto Calibration Algorithm의 흐름도.
Fig. 4. Flow Chart of Auto Calibration Algorithm.

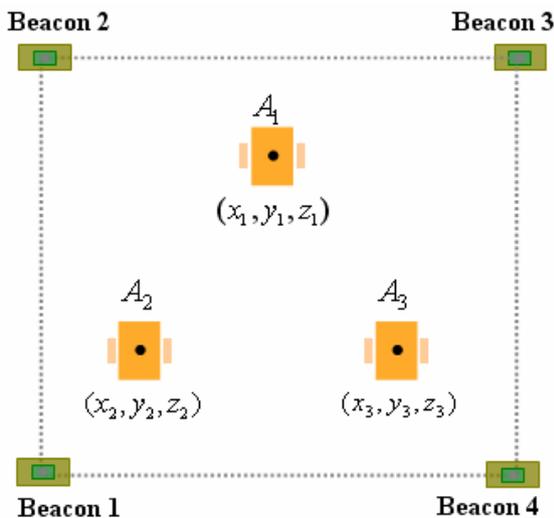


그림 5. 이동 로봇의 초기 위치.
Fig. 5. Mobile robot position.

그리고 A_3 도 같은 작업을 하게 된다. 만약 비컨 1 의 좌표가 (X_1, Y_1, Z_1) 이면 다음 식과 같은 식을 유도 할 수 있다.

$$\begin{aligned} (x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2 + (z_1 - Z_1)^2 &= d_1^2 \\ (x_2 - X_1)^2 + (y_2 - Y_1)^2 + (z_2 - Z_1)^2 &= d_2^2 \\ (x_3 - X_1)^2 + (y_3 - Y_1)^2 + (z_3 - Z_1)^2 &= d_3^2 \end{aligned} \quad (10)$$

d_1 은 이동 로봇이 A_1 의 위치에서 비컨 1 과의 거리 데이터이며, d_2 는 이동 로봇이 A_2 의 위치에서 비컨 1 과의 거리 데이터이다. d_3 는 마찬가지로 이동 로봇이 A_3 의 위치에서 비컨 1 과의 거리 데이터가 된다. 이와 같이 식 (10)에서 비컨 1 의 좌표 (X_1, Y_1, Z_1) 를 구할 수 있다. 이러한 원리로 그 외 다른 비컨에 적용하면 비컨의 위치를 알 수 있게 된다.

4. 실험 및 결과

4.1 Active Beacon System 구성

본 연구의 실험은 우리 실험실에서 제작한 것으로써 위치 계산 및 RFID 제어를 하는 Localizer 는 DSP TMS320C2406 을 이용하였다. 4 개의 초음파 발신용 센서는 MSP430 을 사용하여 비컨을 구성하였다. 개발에 이용한 언어는 C++이며 객체지향적 구조로 설계되었다.

4.2 Auto calibration 실험 구성 및 구현 방법

실험을 위해 실내 환경을 제작하여 이전 방식에서 위치 추정을 한 데이터와 Auto Calibration Algorithm 을 통해 얻어진 데이터를 비교함으로써 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증하고자 한다.



그림 6. Localizer 와 비컨.
Fig. 6. Localizer and Beacon.

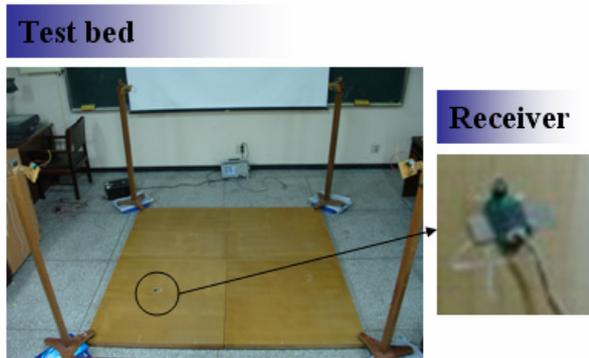


그림 7. 실험 환경.

Fig. 7. Experiment environment.

우선 실내 위치의 기준을 정확히 하기 위해 실험 판 바닥을 정확히 정 사각형으로 두어서 이를 기준으로 비컨을 각 모서리에 설치를 하였으며 실험 환경은 높이, 길이, 폭이 각각 2000 mm, 2000 mm, 1300 mm 의 공간으로 구성하였다.

정확한 위치 추정을 위해 이동 로봇 없이 초음파 수신기 센서로 실험 판 바닥에 부착시켜서 거리를 측정하였다. 위에서 제안한 ABS 시스템의 설치 시에 유용한 Auto Calibration Algorithm 을 검증하기 위하여 그림 5에 해당하는 A_1, A_2, A_3 위치에 그림 4와 같이 이동 로봇 없이 초음파 수신기 센서만 실험 판 바닥에 고정하여 실험을 하였다. 이동 로봇의 위치를 나타내는 초음파 수신기센서를 실내 여러 위치 중 가장 대표적인 위치를 정하여 실험을 하였다. 그림 8와 같이 5곳의 표본 위치 E_1, E_2, E_3, E_4, E_5 를 정하여 이들 위치를 추정하여 데이터를 뽑아내었다. Auto Calibration Algorithm 의 정확한 검증을 위해 각 실험은 100 번을 시행하여 평균을 구하였으며 표 1에서 그 값들을 정리하였다.

위치 추정의 정확도를 실제 초음파 수신기의 위치 값과 추정된 위치 값을 표 1을 통해 살펴 볼 수 있다.

그림 9에서와 같이 Auto Calibration Algorithm 을 통해 ABS System 을 운영하였을 때 추정 오차가 줄어든다는 것을 쉽게 알 수 있다.

그리고 이전 방식 (거리측정장비를 이용하여 비컨 위치 측정) 과 Auto Calibration Algorithm 을 이용한 ABS System 의 설치 소요시간은 각각 약 5분과 약 2분이 소요 되었다. 이전 방식은 비컨 1 을 설치 후에 비컨 1 의 좌표를 확인하고 다음으로 비컨 2 를 설치하여 이 비컨의 좌표를 확인한다. 마찬가지로 비컨 3, 4 를 설치 및 좌표 확인을 마치는 시간이 약 5 분이 걸렸으며, Auto

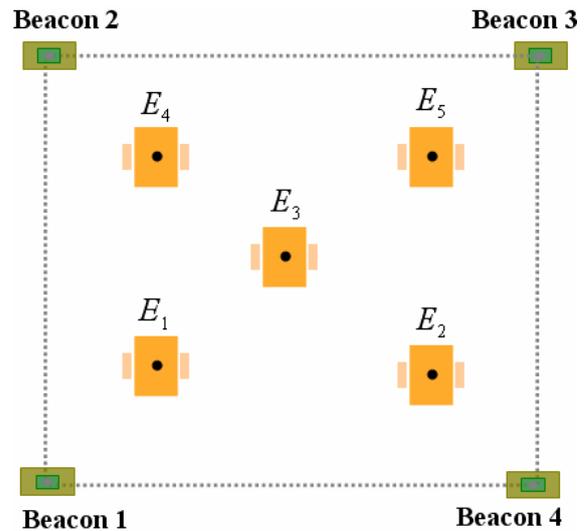


그림 8. 이동 로봇의 위치 추정.

Fig. 8. Estimation of Mobile robot.

표 1. 위치 추정결과

Table 1. Position estimation results.

| | Receiver Position | | | 이전 방식 | | | Auto Calibration | | |
|----|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| | X(mm) | Y(mm) | Z(mm) | X(mm) | Y(mm) | Z(mm) | X(mm) | Y(mm) | Z(mm) |
| E1 | 500 | 500 | 73 | 512 | 514 | 64 | 502 | 502 | 74 |
| E2 | 1500 | 500 | 73 | 1506 | 490 | 71 | 1500 | 499 | 75 |
| E3 | 1000 | 1000 | 73 | 1021 | 1019 | 78 | 1004 | 1008 | 73 |
| E4 | 500 | 1500 | 73 | 523 | 1504 | 65 | 498 | 1501 | 73 |
| E5 | 1500 | 1500 | 73 | 1482 | 1511 | 67 | 1502 | 1506 | 75 |

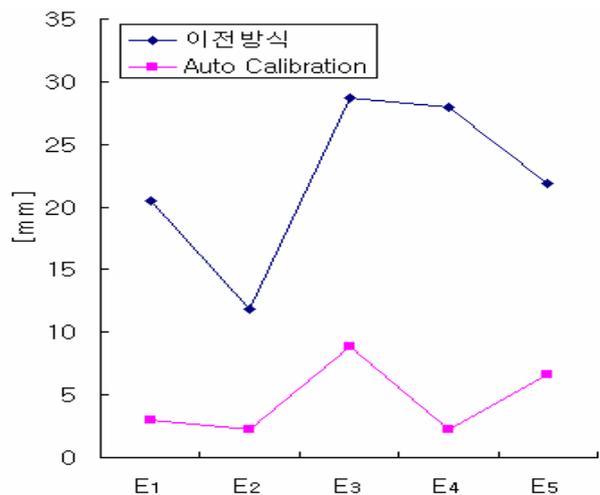


그림 9. 위치 추정 오차

Fig. 9. Estimation error.

Calibration Algorithm 을 이용한 ABS System 설치 방식은 비컨 1, 2, 3, 4 를 설치 한 후 Auto Calibration Algorithm 으 로 모든 비컨의 좌표를 확인하기 때문에 설치 소요 시 간이 약 2 분으로 상당한 시간의 감소가 된다는 것을 본 실험을 통해 알 수 있었다.

이전 방식에서는 각각의 비컨들이 설치가 되어 있으며 이들의 정확한 좌표를 알아야만 이동 로봇의 위치 추정이 가능했다. 그러기 때문에 실제 각 비컨들을 설치한 후 이들의 좌표를 파악하기 위해 어려움이 있었다. 만약 비컨들의 좌표가 잘못 되었을 경우 이동 로봇의 정확한 위치를 추정 할 수 없게 된다. 또한 설치 시에 여러 어려움이 뒤따랐다. 이를 자동화한 Auto Calibration Algorithm 을 이용하여 ABS System 이 직접 비컨들의 좌표를 측정하여 위치 정밀도 향상 및 설치 시간 감소의 효과를 가질 수 있게 되었다.

4.3 Extended Kalman Filter에 의한 주행 중 Localization 실험

다음으로 이동 로봇을 이용하여 Extended Kalman Filter 실험을 하였다. Auto Calibration Algorithm 으로 설치된 ABS System 을 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정해 보 았다. 그림 10 과 같은 궤적으로 이동 로봇이 주행하였 으며 그림 10 (a)는 ABS System 이 삼각측량법으로 구한 이동 로봇의 위치 추정 데이터를 나타내며 그림 10 (b) 는 Extended Kalman Filter 를 적용하여 나타낸 데이터이 다.

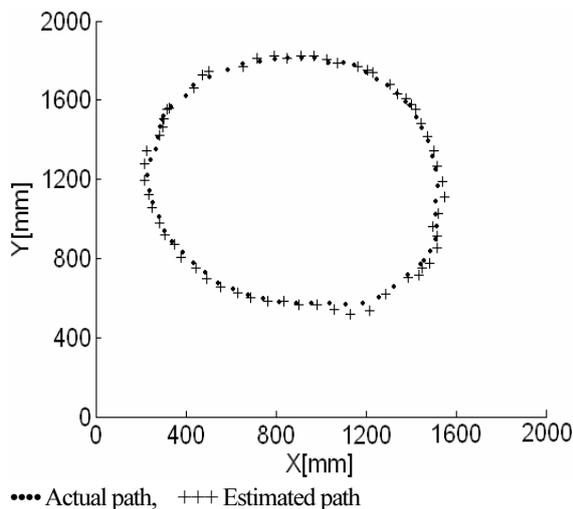


그림 10 (a). 이동 로봇의 궤적
Fig. 10 (a). Localization results.

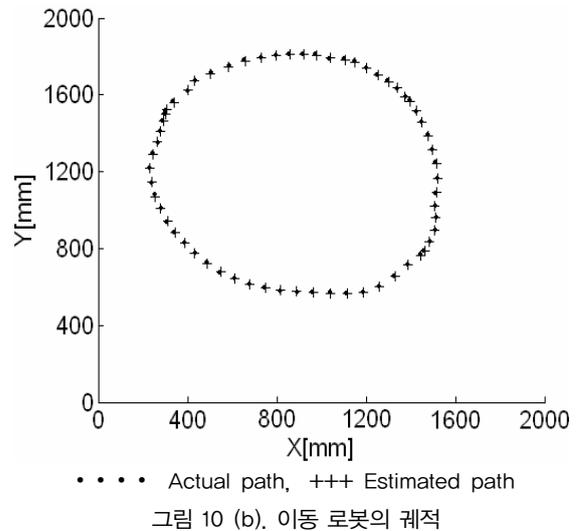


그림 10 (b). 이동 로봇의 궤적
Fig. 10 (b). Localization results by the extended Kalman filter.

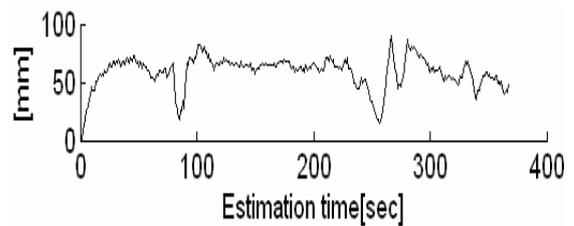


그림 11 (a). 이동물체에 대한 추정치와 실제치에 대한 오차.
Fig. 11 (a). The error between real value and estimate value of a moving object.

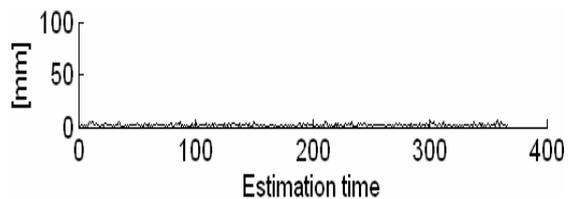


그림 11 (b). 이동물체에 대한 추정치와 실제치에 대한 오차.
Fig. 11 (b). The error between real value and estimate value of a moving object.

그림 11 는 추정 오차를 나타내는데 그림 11 (a)는 ABS System 이 삼각측량법으로 구한 이동 로봇의 위치 추정 오차를 나타내며 그림 11 (b)는 Extended Kalman Filter 를 적용하여 추정한 오차를 나타낸다. 확장 칼만 필터를 적용하여 오차를 현저히 감소 시킬 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 위치 인식 시스템 (거리측정장비로 비컨위치 측정)에서의 문제점을 보완하고 효과적인 위치 인식을 위해 ABS System 을 이용한 센서 공간을 제안하였다. 이 공간 내에 물체의 위치를 Auto Calibration Algorithm 을 통해 더욱 정밀하고 실용적으로 사용할 수 있음을 실험을 통해서 증명하였다. 본 논문에서 소개된 Auto Calibration Algorithm 을 통해 실제로 ABS System 을 상용화 하는데 상당한 기여를 할 것으로 예상된다. ABS System 을 설치 하는데 필요한 여러 어려운 작업을 자동화 시키기 때문이다. 또한 Extended Kalman filter 를 사용하여 주행 중 localization 의 정확도를 더욱 향상 시켰다.

본 시스템은 공공서비스 로봇이나 가정용 로봇에도 확장하여 사용할 수 있으며 로봇 센서의 일부분으로써 로봇산업 활성화에 기여할 수 있다. 네트워크를 통해 언제 어디서나 모든 물체의 위치를 파악하고, 공유할 수 있다면 향후 유비쿼터스 네트워크 환경 혹은 유비쿼터스 로봇의 적용도 가능해 질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Singh and P. Keller, "Obstacle detection for high speed autonomous navigation," *Proc. Of IEEE int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2798-2805, 1991.
- [2] J. Borenstein and L. Feng, "UMBmark-A Method for Measuring, Comparing, and Correcting Dead-reckoning Errors in Mobile Robots," *The University of Michigan, Technical Report UM-MEAM-94-22*, December, 1994.
- [3] Iowa State University GPS page. Web site at <http://www.cnde.iastate.edu/gps.html>.
- [4] Soo-Yeong Yi, Jae-Ho Jin, "Self-localization of a

Mobile Robot using Global Ultrasonic Sensor System," *Journal of Control, Automation and systems Engineering*, vol. 9, no 2, pp. 145-151, 2003.

- [5] Sung-Bu Kim, Dong-Hui Lee, and Jang-Myung Lee, "Indoor Localization Scheme of a Mobile Robot Applying RFID Technology," *J. of Control, Automation, and Systems Engineering*, Vol. 11, no. 12, Dec.2005.
- [6] S. M. Bozic, "Digital and Kalman Filtering," Edward Arnold, 1979.
- [7] R. Brown and P. Hwang, "Introduction to random signals and applied kalman filtering," *John Wiley and Sons*, 1992.
- [8] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter," 2004.
- [9] D. Fox, W. Burgard and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance", *IEEE Robotics and Automation Magazine*, pp. 23-33, March, 1997.
- [10] Byoung-Suck Choi, Jang-Myung Lee, "An Optimal Capturing Trajectory Planning for a Moving Object," *Proc. International Symposium on Artificial Life And Robotics*, pp. 713-718, Feb.2005.



김 성 부

2004 부산가톨릭대학교 컴퓨터 공학과 졸업.

2005 ~ 현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학 중.

관심분야 : 유비쿼터스 실내 위치 추정, 지능제어



이 장 명

1980 서울대학교 전자공학과 졸업

1982 동 대학원 졸업

1990 USC (남가주 대학교) 공학 박사

1992 ~ 현재 부산대학교 정교수

관심분야 : 지능로봇 시스템의 설계 및 제어, 마이크로 프로세서 응용, 시스템 설계, 모터 구동 제어.