

RFID 응용 기술을 이용한 이동 로봇의 실내 위치 추정

Indoor Localization Scheme of a Mobile Robot Applying RFID Technology

김 성 부, 이 동 회, 이 장 명*
(Sung-Bu Kim, Dong-Hui Lee, and 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 relative location of the moving objects subjected to accumulated errors. To implement a real time 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. In some case, the mobile robot can get the ultrasonic signals from only one or two beacons, because of the obstacles located along the moving path. Therefore, in this paper, as one of our dedicated contribution, the position estimation scheme with less than three sensors has been developed. Also, the extended Kalman filter algorithm is applied for the improvement of position estimation accuracy of the mobile robot.

Keywords : localization, RFID, active beacon system, extended kalman filter, mobile robot

I. 서론

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 환경에서 로봇의 위치를 인식하는 것은 기본적인 중요한 기술중의 하나이다[1]. 홈 로봇이나 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 모바일 로봇은 이동하면서 다양한 업무를 수행하기 때문에 산업 분야나 가정에서 광범위한 적용 범위를 가진다. 특히, 모바일 로봇은 너무 위험하거나 어려운 환경에서 인간을 대신하여 작업을 수행하기도 한다. 따라서, 어떠한 환경 내에서 이동 로봇에 지령을 할 경우 현재 로봇 자신의 위치를 알아야 한다. 위치 추정은 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 회전 량을 이용하여 위치를 추정한다. 이러한 방법은 간단하고, 저가이며, 실시간으로 위치를 계산하기 쉽다는 장점이 있다. 그러나, 위치 에러가 바닥의 상태에 따른 바퀴의 미끄러짐이나 센서의 에러로 인하여 항상 오차가 상대적으로 커지며 축적되는 단점이 있다[2]. 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, GPS는 오로지 실외 환경에서만 사용될 수 있고 모바일 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. 이 시스템은 3개의 고정된 곳에서 동시에 거리 정보를 측정할 수 있다. 이러한 처리를 위해 서로 다른 주파수로 3개의 초음파를 발신하고 3개의 회전 수신기가 로봇에 장착되어 제어된다. 로봇의 위치와 방향각은 초음파 스캔 데이터로부터 획득된 비컨의 기하학적 파라미터로부터 결정된다. 이러한 시스템은 실시간 처리를 할 수 없다. 왜냐하면, 로봇이 정지하고 로봇의 위치를 인식하기 위해 스캐닝을 해야만 하기 때문이다.

한편, [5]에서는 초음파발생기를 이동 공간에 설치하는 능동 초음파 방식이 제안되었는데, 반사파를 처리하는 다른 방식들과는 달리 초음파 발생기로부터 발사되는 직접파를 처리하므로 잡음에 강하고, 빠른 계산이 가능한 매우 실용적인 방식이다. 그러나 각 초음파 발생기들과 이들과 연결된 제어기를 이동 로봇의 활동 공간에 설치하는데 따르는 부담이 있고, 이동 로봇에서는 초음파를 수신하기만 하므로 상황에 따라 각 초음파 발생기들을 제어할 수 없다는 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 로봇의 위치 인식에 관한 최근 연구에서는 간단한 라디오 주파수(RF: Radio Frequency) 무선 송, 수신모듈이 부가된 초음파 센서와 이를 이용한 GPS(Global Positioning System) 구조의 전역 초음파 센서 시스템이 제안되었다[10]. 그러나 이 시스템을 실제적으로 이용하기에 문제점을 내포하고 있는데, 실제로 이동 로봇이 존재하

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2005. 9. 15., 채택확정 : 2005. 10. 25.

김성부, 이동회 : 부산대학교 전자공학과

(zato@pusan.ac.kr/dhlee@pusan.ac.kr)

이장명 : 부산대학교 전자공학과(jmlce@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 교육부에서 주관하는 “차세대물류IT기술연구사업단”에 의해 지원 받은 연구임.

는 공간인 공공장소 또는 일반 가정 내에서는 인간과 책상 그리고 의자 등의 시변,시불변 장애 요소들이 있기 때문에 이동 로봇의 위치를 인식하지 못하는 문제점이 발생한다.

본 연구에서는 앞서 설명한 시스템의 문제를 보완하기 위해 flat floor 알고리즘 및 linear incremental 알고리즘을 이용한 ABS(Active Beacon Sensor) system을 제안하고자 한다. 위치 추정은 기본적으로 RFID응용 기술을 이용한 초음파 삼각 측량법을 사용하고 실내 장애물이 있을 시 외부 환경이나 노이즈에 대해 강인한 알고리즘인 flat floor 과 linear incremental 을 이용하여 위치 추정을 한다. 또한 측정된 신호의 잡음을 제거하기 위해 확장 칼만 필터를 사용 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 2장에서는 ABS (Active Beacon Sensor) system의 구성 및 본 시스템 하에서 이동 로봇의 자기 위치 추정을 위한 확장 칼만 필터 알고리즘에 대해서 설명하고, 3장에서는 제안하는 외부 환경이나 노이즈에 대해 강인한 알고리즘에 대해서 설명한다. 그리고 4장에서 본 시스템의 효율성을 검증하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험 결과를 제시하고 5장에서 결론을 맺었다.

II. Active Beacon Sensor (ABS) system

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, 평평한 2차원 평면 바닥으로 구성되어 이 공간에는 역시 책상, 테이블, 컴퓨터 등과 같은 다른 물체 들이 존재한다고 가정한다. 그림 1은 제안한 ABS 시스템의 구조를 도식화한 것이다.

이동 로봇 운동 공간 내에 정해진 위치에 초음파 발생기가 설치되어 위치 정보를 제공하는 비컨(beacon) 역할을 한다. 여기서는 일단 그림 1과 같이 실내 공간의 천장 모서리에 비컨이 설치되어 있다고 가정한다. 그리고 모바일 로봇 상에는 비컨에서 발생한 초음파 신호를 수신하는 초음파 수신부가 장착되어 있다. 간단히 이 장치를 수신기라고 한다. 각각에 대한 구성을 보면, 수신기는 RFID 신호를 전송하기 위한 RF 송신부 하나와 비컨에서 발생한 초음파 신호를 수신하기 위한 초음파 수신부로 구성되어 있다. 초음파 수신부는 로봇의 방향을 측정하기 위해 두 개의 센서가 설치된다. 비컨은 수신기에서 전송한 RFID를 수신하기 위한 RF 수신부와 초음파 신호를 발생하기 위한 초음파 송신부로 구성되어 있다.

2. 초음파를 이용한 거리 측정 및 삼각 측량법

그림 2는 초음파를 사용하여 기본적인 위치 측정의 알고리즘을 나타낸다.

수신기에서 RFID 신호를 전송하면 동시에 카운터를 시작 한다. 그러면, 비컨은 RFID를 받아 자신의 ID인지 확인한 다음 자신의 ID라고 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 RFID가 전송이 되었다면 이때부터 좌표 계산이 이루어 진다.

카운터 값은 초음파의 비행 시간이며 수신기와 비컨사이의 거리를 계산하기 위해 사용된다.

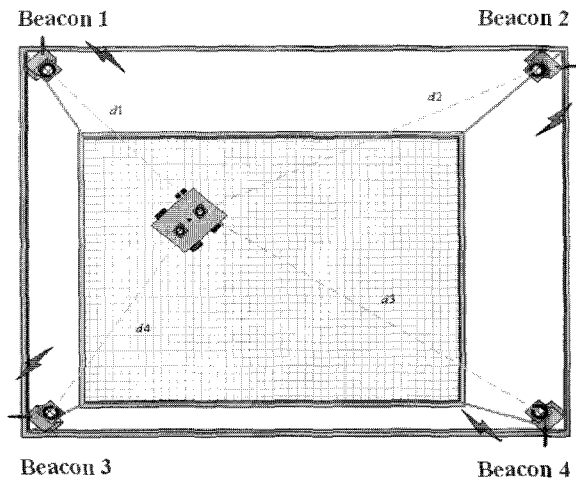


그림 1. ABS 시스템의 구조.

Fig. 1. Structure of the ABS system.

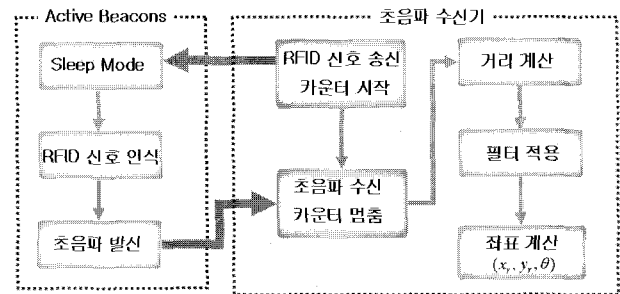


그림 2. ABS 시스템의 운영 알고리즘.

Fig. 2. Operation algorithm of ABS system.

$$v = 331.5 + 0.6 \times t [m/sec] \tag{1}$$

$$s = n \times f - t_d \tag{2}$$

$$r [m] = v [m/sec] \cdot s [sec] \tag{3}$$

여기서, t 는 실내 온도, f 는 카운터 클럭, n 는 타이머 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 세 개의 거리 정보 d_1, d_2, d_3 와 이미 알고 있는 세 비컨의 위치 정보 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 를 이용하여, 세 원의 교점을 구하면 모바일 로봇의 위치 좌표 (x_r, y_r) 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} (x_r - x_1)^2 + (y_r - y_1)^2 \\ (x_r - x_2)^2 + (y_r - y_2)^2 \\ (x_r - x_3)^2 + (y_r - y_3)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 \\ d_2^2 \\ d_3^2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

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

3. 확장 칼만 필터

측정된 신호에 잡음이 실려있는 경우, 신호의 참값을 추정하기 위해서 칼만 필터를 사용할 수 있다[6-8]. 칼만 필터는 관측 방정식을 이용하여 시스템의 상태 변수를 추정하는데 사용되는 대표적인 최적 추정 알고리즘이다. 본 논문에서 제안하는 ABS 시스템에서 측정 거리 신호와 이동 로봇의 전역 좌표 값 사이에는 비선형 관계가 있으므로 여기서는 비선형 시스템을 위한 확장 칼만 필터(EKF) 알고리즘을 적용한다.

시스템에 확장 칼만 필터를 적용하기 위해 운동 방정식 및 관측 방정식을 유도한다. 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 기구학은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$r_{f,k+1} = f(r_{f,k}, u_k, q_k)$$

$$= \begin{cases} \begin{bmatrix} x_{f,k} + Tv_k \cos \theta_k + q_{1,k} \\ y_{f,k} + Tv_k \sin \theta_k + q_{2,k} \end{bmatrix} & \text{if } w_k = 0 \\ \begin{bmatrix} x_{f,k} + (-l \cos \theta_k + \rho_k \sin \theta_k)(1 - \cos(Tw_k)) \\ - (l \sin \theta_k + \rho_k \cos \theta_k) \sin(Tw_k) + q_{1,k} \\ y_{f,k} - (l \sin \theta_k + \rho_k \cos \theta_k)(1 - \cos(Tw_k)) \\ + (l \cos \theta_k + \rho_k \sin \theta_k) \sin(Tw_k) + q_{2,k} \end{bmatrix} & \text{if } w_k \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

여기서, T 는 샘플링 간격, v_k 와 w_k 는 선속도와 회전속도를 나타내는 구동 입력, 그리고 $\rho_k = \frac{v_k}{w_k}$ 는 회전 반경을 나타낸다. $r_f = [x_f, y_f]^T$ 는 초음파 센서의 x-y 평면상 위치를 나타내며, $u = [v_k, w_k]^T$ 는 구동 제어 입력을 의미하고, $q_k = [q_{1,k}, q_{2,k}]^T$ 는 평균값 0과 분산 Q를 갖는 가우시안 잡음이다.

모바일 로봇상의 초음파 수신 센서에 관측 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$z_{f,k} = h_{f,i}(r_{f,k}, v_k)$$

$$= \{(x_{f,k} - x_i)^2 + (y_{f,k} - y_i)^2 + (z_r - z_i)^2\}^{1/2} + v_k \quad (6)$$

여기서, 관측 잡음 v_k 는 평균값 0과 분산 G를 갖는 가우시안 신호이며, 아래 첨자 i 는 초음파 발생기 $T_i, i=1, 2, 3, 4$ 들 중에서 k 시점에 모바일 로봇에 의해 호출된 것을 나타낸다. 구한 $f(\bullet)$ 와 $h(\bullet)$ 는 비선형 함수이다. 따라서, (5)와 (6)로 이루어지는 초음파 센서 위치 운동 방정식과 관측 방정식에 위치를 추정하기 위한 확장 칼만 필터 알고리즘을 적용한다.

III. 장애물에 대한 대응

그림 3은 시스템의 전체 개요도를 나타낸다.

일반적인 상황에서는 삼각 측량 알고리즘을 사용하지만 장애물로 인해 부정확한 데이터가 나타날 때는 flat floor 또는 linear incremental 알고리즘이 삼각 측량 알고리즘의 역할을 대신한다. 그러자면 각각의 알고리즘이 사용될 순간을 결정해야만 한다.

초음파 수신부에서 얻어지는 이동 로봇과 각 비컨과의 거리와 예측된 거리 결과의 오차가 일정 값을 초과하지 않을 경우는 측정할 각 거리 개수를 카운트하여 해당 알고리즘을 수행하게 된다. 그림 3 에서 b는 카운트 개수를 나타낸다.

1. Flat floor 알고리즘

로봇의 위치는 기본적으로 3개의 비컨으로부터의 삼각 측량 방법을 통해 계산한다. 그러나 실내 환경이 복잡하여 다수의 장애물이 존재하면 3개 이상의 비컨에서 신뢰성 있는 거리

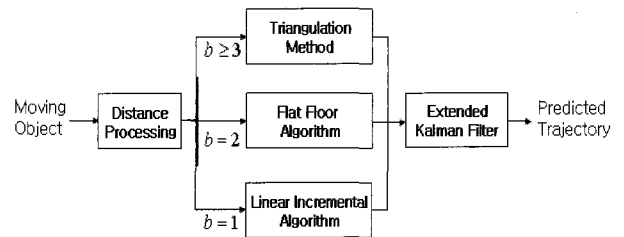


그림 3. 장애물에 대한 대응. Fig. 3. Countermeasure for obstacle.

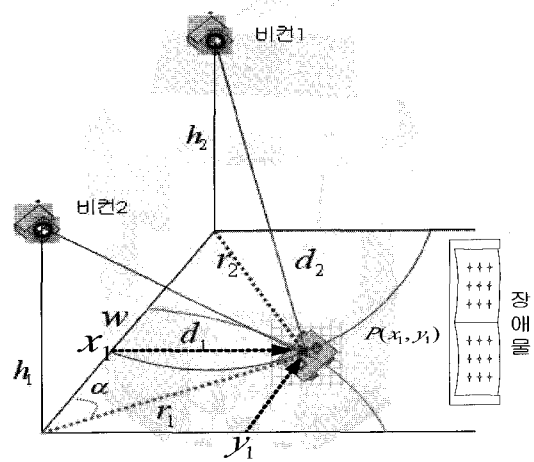


그림 4. 장애물에 대한 대응. Fig. 4. Countermeasure for obstacle.

데이터를 획득하지 못하게 되는 경우가 생긴다. 이때, 장애물의 영향을 받지 않는 2개의 인접하는 비컨을 이용하여 그림 4와 같이 위치 추정을 할 수 있다.

$$x_1 = r_1 \cos \alpha \tag{7}$$

$$y_1 = \sqrt{r_1^2 - x_1^2} \tag{8}$$

2. Linear incremental 알고리즘

실내 환경이 복잡하여 다수의 장애물이 존재하면 2개 이상의 비컨에서 신뢰성 있는 거리 데이터를 획득하지 못하게 된다. 이럴 경우 이동 로봇과 어떤 비컨 하나와의 거리 데이터로 위치 추정을 할 수 있다. 따라서, 본 알고리즘을 적용하면 외부 환경과 속도에 대한 오차를 개선할 수 있다. 아래 그림 5는 계산 방법을 나타내고 있다.

최초 이동 로봇의 좌표 $P = [x_n, y_n, \theta_n]'$ 는 하나 이상의 비컨으로부터 이미 알고 있으며, 이동 로봇의 속도는 $\dot{P} = [\dot{x}_n, \dot{y}_n]$ 이 된다. 또한, 현재 이동 로봇의 좌표와 속도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_n \cos \theta_n \\ d_n \sin \theta_n \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_n \\ \dot{y}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -d_n \sin \theta_n \\ \sin \theta_n & d_n \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{d} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{d} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & \sin \theta_n \\ -\frac{1}{d_n} \sin \theta_n & \frac{1}{d_n} \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_n \\ \dot{y}_n \end{bmatrix} \tag{11}$$

(10)을 아산 시간에 대해 표현하기 위해 $\dot{d} = \Delta d / T$ 로 치환하여 나타내면 아래와 같은 식으로 정리된다.

$$\frac{1}{T} \begin{bmatrix} \Delta d \\ \Delta \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & \sin \theta_n \\ -\frac{1}{d_n} \sin \theta_n & \frac{1}{d_n} \cos \theta_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_n \\ \dot{y}_n \end{bmatrix} \tag{12}$$

여기서, $\Delta d = d_{n+1} - d_n$ 으로 측정값인 초음파 송수신 거리로 구해지며, T 는 초음파 거리 측정 샘플 시간이다. (11)에

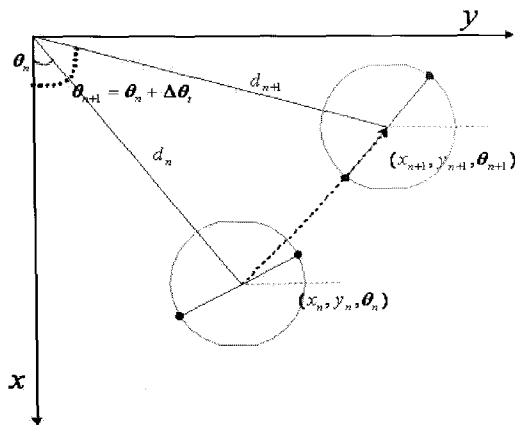


그림 5. Linear incremental 알고리즘.

Fig. 5. Linear incremental algorithm.

서 이미 알고 있는 값 d_n, θ_n 을 대입하면, $\Delta \theta$ 가 구해진다. 이제 Δd 와 $\Delta \theta$ 를 알고 있으므로 $d_{n+1} = d_n + \Delta d$, $\theta_{n+1} = \theta_n + \Delta \theta$ 으로 d_{n+1} 과 θ_{n+1} 이 구해진다. 결국 (9)에 의해 x_{n+1} 과 y_{n+1} 의 값을 구할 수 있게 된다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험

위에서 제안한 ABS 시스템과 확장 칼만 필터를 이용한 이동 로봇의 위치 추정 알고리즘을 기본으로 해서 장애물에 대한 대응 알고리즘을 검증하기 위하여 실험을 하였다.

본 실험에서는 움직이는 물체의 궤적을 생성하기 위해 DSP2406을 이용하여 모바일 로봇을 그림 6과 같이 제작하였다.

이동 로봇의 특성을 고려하여 상태 벡터 잡음을 설정하고 관측 잡음의 분산 값을 초음파 센서 거리 측정 실험으로부터 구하였다.

초음파 수신부에서 초음파 반사파의 영향을 받지 않기 위해 RFID는 매 20 ms 의 주기로 전송되어 ABS시스템에서 데이터 처리 시간을 포함해 하나의 좌표를 얻기 위해서는 약 90 ms 의 시간이 필요하다.

실험을 위해 아래와 같은 프로그램을 제작하였다. 사용된 마이크로 마우스의 최대 속도는 15cm/sec를 넘지 않는다. 실험 환경은 그림 6와 같은 테스트 베드를 구성하여 실험하였다. 실험 환경은 높이, 길이, 폭이 각각 3000 mm, 3000 mm, 2000 mm의 공간으로 구성하였다.

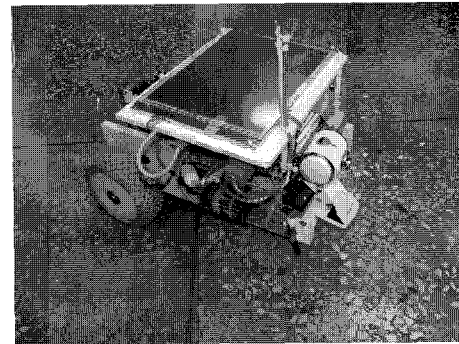


그림 6. 실제 사용된 이동로봇 모습.

Fig. 6. Picture of the mobile robot.

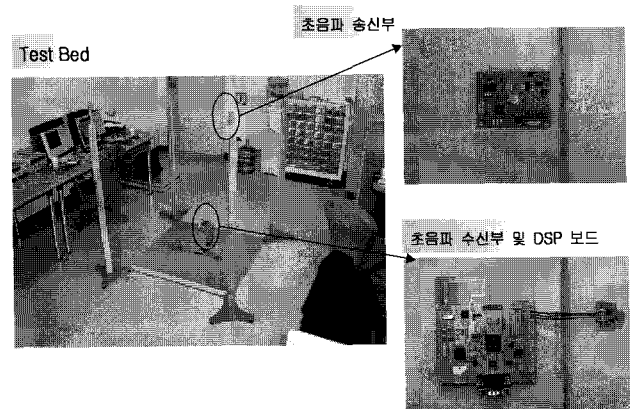


그림 7. 실험 환경.

Fig. 7. Experiment environment.

1. Flat floor 알고리즘

아래의 그림 8과 같은 궤적으로 물체가 움직였을 경우 삼각측량으로 측정된 데이터이며 A 지점은 장애물로 인해 flat floor 알고리즘 적용하는 구간을 나타낸다. 또한 확장 칼만 필터를 적용한 데이터를 함께 나타낸다. A 지점에서 오차가 증가 한 것은 flat floor 알고리즘에 비해 삼각측량이 각 비컨 데이터들의 노이즈 영향을 적게 받기 때문이다.

그림 9의 첫 번째 그림은 삼각측량으로 측정된 이동 물체의 추정치와 실제치에 대한 추정 오차를 나타내며 A 지점이 flat floor 알고리즘으로 측정된 추정 오차이다.

두 번째 그림은 확장 칼만 필터를 적용하여 나타난 추정치와 실제치에 대한 추정 오차이다. 확장 칼만 필터를 적용한 후 오차가 감소하였고 A 지점에서 최대 약 80% 정도 추정 오차가 감소한 것을 알 수 있다.

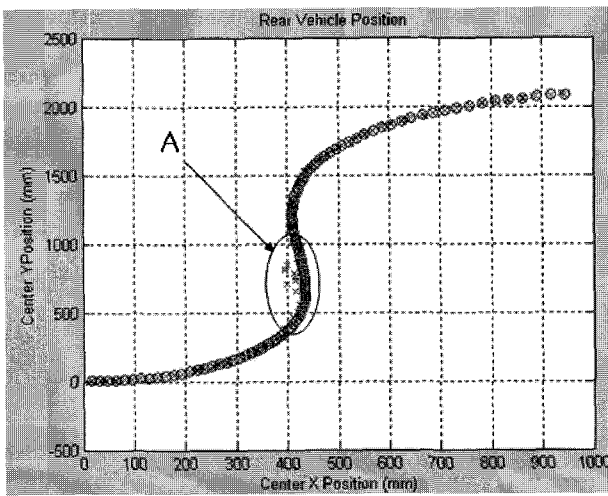


그림 8. 이동 로봇의 궤적.
Fig. 8. Trajectory of a moving object.

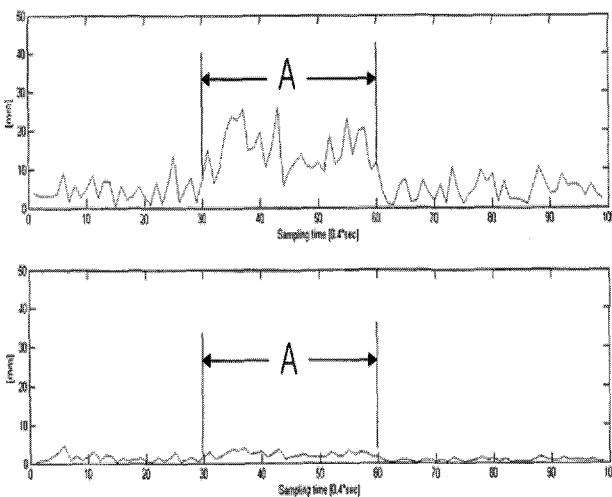


그림 9. 이동물체에 대한 추정치와 실제치에 대한 오차.
Fig. 9. The error between real value and estimate value of a moving object.

2. Linear incremental 알고리즘

그림 10과 같은 궤적으로 물체가 움직였을 경우 삼각측량으로 측정된 데이터이며 B 지점에서 장애물로 인해 linear incremental 알고리즘을 적용하는 구간을 나타낸다. 또한 확장 칼만 필터를 적용한 데이터를 함께 나타낸다. 그림 11의 첫 번째 그림은 삼각측량으로 측정된 이동 물체의 추정치와 실제치에 대한 추정 오차를 나타내며 B 지점은 linear incremental 알고리즘으로 측정된 추정 오차이다.

B 지점이 시작된 단계부터 직전의 이동로봇의 움직임 정보(물체의 위치, 방향, 속도, 가속도)를 기준으로 추정하였기 때문에 오차가 누적되어 나타난다.

두 번째 그림에서는 확장 칼만 필터를 적용하여 추정치와 실제치에 대한 추정 오차를 나타낸다. 확장 칼만 필터를 적용하여 오차를 현저히 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 이로써 제시한 알고리즘을 적용하는 경우 장애물에 강인한 위치 추정을 할 수 있다고 판단된다.

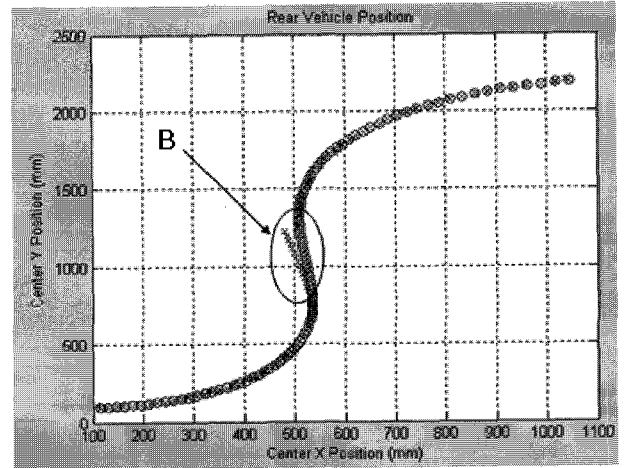


그림 10. 이동 로봇의 궤적.
Fig. 10. Trajectory of a moving object.

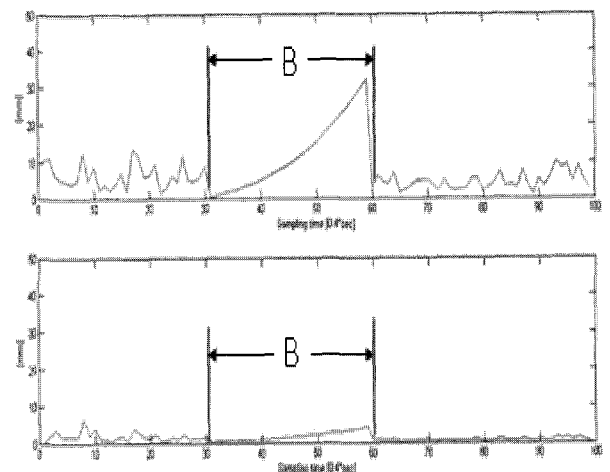


그림 11. 이동물체에 대한 추정치와 실제치에 대한 오차.
Fig. 11. The error between real value and estimate value of a moving object.

V. 결론

본 논문에서는 실내 환경에서 이동 로봇의 주행을 위해서 장애물에 강인한 절대 위치 추정 방법에 관하여 연구하였다. 제시한 시스템은 기존의 삼각측량법으로 측정 할 수 없었던 문제에 대한 대응 방안으로 두 개의 비컨으로 위치 추정하는 방법인 flat floor 알고리즘과 비컨 하나로 복잡한 환경속에서도 위치 추정할 수 있는 linear incremental 알고리즘을 제시하였다.

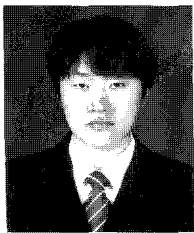
이 알고리즘들을 바탕으로 확장 칼만 필터를 적용함으로써 추정 오차를 줄여 장애물에 강인한 위치 추적을 할 수 있음을 실험을 통해서 검증하였다.

본 시스템은 공공서비스 로봇이나 가정용 로봇에도 확장하여 사용할 수 있으며 로봇 센서의 일부분으로써 로봇산업 활성화에 기여할 수 있다. 이러한 시스템의 적용은 교육기관, 차량 통제 시스템, 무인 자동화 공장, 병원 서비스 로봇, 주차장, 빌딩, 가정 등 실시간 위치 추정이 필요한 공간에서 보다 간단하고 빠른 처리 속도를 보장함으로써 위치 인식을 빠르고 정밀하게 할 수 있게 한다.

참고문헌

[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] T. Arai and E. Nakano, "Development of measuring equipment for location and direction (MELODI) using ultrasonic waves," *Trans. ASME, Journal of dynamic systems, Measurement and control*, vol 105, pp. 152-156, 1983.
 [5] L. Kleeman, "Optimal estimation of position and heading for mobile robots using ultrasonic beacons and dead-reckoning," *Proc. Of IEEE int. Conf. on Robotics and Automaion*, pp. 2582-2587, 1992
 [6] R. Brown and P. Hwang, "Introduction to random signals and applied kalman filtering," *John Wiley and Sons*, 1992.
 [7] S. M. Bozic, "Digital and kalman filtering," Edward Arnold, 1979.
 [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] S.-Y. Yi, J.-H. 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.



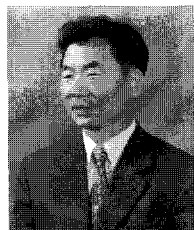
김성부

2004년 부산가톨릭대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2005년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 유비쿼터스 실내 위치 추정, 지능제어.



이동희

2003년 부경대학교 전자공학과 졸업. 2003년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 로봇제어를 위한 최적알고리즘개발, 유비쿼터스 실내 위치 추정.



이장명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1982년 동 대학원 졸업. 1990년 USC (남가주 대학교) 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 정교수. 관심분야는 지능로봇 시스템의 설계 및 제어, 마이크로 프로세서 응용, 시스템 설계, 모터 구동 제어.