

# iGS를 이용한 모바일 로봇의 실내위치추정 알고리즘

## Localization Algorithm for a Mobile Robot using iGS

서대근\*, 조성호, 이장명  
(Dae-Geun Seo, Sung-Ho cho, and Jang-Myung Lee)

**Abstract :** As an absolute positioning system, iGS is designed based on ultrasonic signals whose speed can be formulated clearly in terms of time and room temperature, which is utilized for a mobile robot localization. The iGS is composed of an RFID receiver and an ultra-sonic transmitter, where an RFID is designated to synchronize the transmitter and receiver of the ultrasonic signal. The traveling time of the ultrasonic signal has been used to calculate the distance between the iGS system and a beacon which is located at a pre-determined location. This paper suggests an effective operation method of iGS to estimate position of the mobile robot working in unstructured environment. To expand recognition range and to improve accuracy of the system, two strategies are proposed: utilization of beacons belonging to neighboring blocks and removal of the environment-reflected ultrasonic signals. As the results, the ubiquitous localization system based on iGS as a pseudo-satellite system has been developed successfully with a low cost, a high update rate, and relatively high precision

**Keywords :** mobile, localization, iGS(indoor GPS system), reflection waves, auto calibration

### I. 서론

최근 공장자동화 및 홈 유틸리티 산업이 발달함에 따라, 실내공간에서 여러 센서들을 이용하여 주변환경을 인식하고 센서들의 정보를 바탕으로 움직이는 무인 주행 시스템이 요구되어 지고 있는 가운데 실내공간에서 물체의 절대 위치 및 상대 위치를 인식하는 기술이 중요한 문제점으로 인식되어 지고 있다[1]. 이러한 실내위치인식 시스템에는 적외선 센서를 이용한 시스템, 초음파 센서를 이용한 시스템, 카메라를 이용한 시스템들이 널리 연구 되어지고 있는데 이들 중에서 초음파 센서를 이용한 시스템은 센서의 특성상 먼 거리의 음파 전송이 어렵고 반사파[2] 및 환경 noise의 간섭에 민감한 단점에도 불구하고, 가격이 저렴하고 구동 시스템 구성이 간단하여 위치인식 시스템에 널리 사용 되어지고 있고, 초음파 센서를 이용한 대표적인 위치인식 시스템으로는 active bat, iGS 등이 있다. 최근 초음파 센서를 이용한 물체의 위치인식 시스템에 관한 연구는 지속적으로 진행 되어지고 있다. 현재까지는 좁은 공간에서 3-4개의 beacon을 사용하여 위치를 추정하는 연구[3,4]가 진행되어 지고 있으나 실내에서의 로봇 이동 영역이 점점 확대되어짐에 따라 보다 넓은 영역에서의 실내위치 추정기법이 요구 되어 지고 있는 반면 초음파 센서의 음파 전달 특성상 넓은 지역에서의 적용이 부적합한 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 한정된 공간이 아닌 보다 넓은 실내 공간에서의 iGS 적용을 위하여 block 확장 기법을 소개할 것이며, 이동 로봇이 다른 구역으로 이동하여 다른 beacon들의 data를 받아야 할 경우에 기존의 좌표로부터 beacon 위치를 전이할 때 위치 정확도가 떨어지는 문제점에 대한 해결책과 주변 장애물에 대한 음파 반사와 환경 noise

에 대하여 강인하게 제어하는 기법을 소개할 것이다.

2장에서 초음파 센서를 이용한 실내위치인식에 관한 기본 원리와 실험에 사용한 iGS에 대하여 소개하며, 3장에서 block 확장 시 기존 beacon의 좌표를 이동 로봇이 자동 인식하게 함으로 시간 손실을 줄이고 보다 신뢰성 있는 data를 얻기 위한 Auto calibration algorithm을 소개하며, 4장에서는 주변 장애물에 대한 반사파나 환경 noise에 민감한 초음파 센서의 문제점의 해결을 위한 RNF algorithm을 제안하며, 5장에서는 제안한 algorithm의 타당성을 실험을 통하여 검증할 것이다.

### II. 위치측정

#### 1. 초음파를 이용한 거리 측정

초음파를 이용한 거리측정은 초음파의 전달 속도와 이동 시간을 이용한다. 초음파의 이동시간은 TOF(Time of Flight)라 하며, 그림 1과 같이 threshold 이상의 신호가 검출된 시점을 기준으로 송신기에서 음파를 송신한 시점과 수신기에서 음파를 수신한 시점의 시간 차이로 정의 되며 (1)과 같다[5].

$$TOF = T_r - T_t \quad (1)$$

(2)는 초음파의 전달 속도를 나타낸 것이며 초음파가 매질에 전파될 때 전달 속도,  $c$ , 는 여러 환경 조건에 영향을 받는 성질이 있으며[6,7], 특히 절대온도,  $T$ ,에 많은 영향을 받는다.

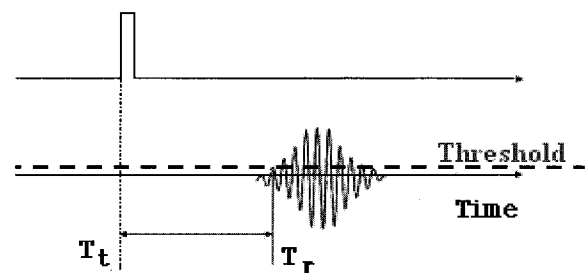


그림 1. 초음파 이동 시간.

Fig. 1. Time of flight.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 8. 31., 채택확정 : 2008. 1. 2.

서대근, 조성호, 이장명 : 부산대학교 전자공학과

(sungho123@pusan.ac.kr/sdk@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 IT 신성장 동력 핵심 기술 개발 사업(2005-S-11-02, 지능로봇센서)과 (주)나인티사업의 일환으로 수행하였음.

$$c \cong 331.5 \sqrt{\frac{T}{237}} [m/s] \quad (2)$$

본 논문의 실험에서는 상온, 24°C, 에서 측정을 하였으므로 초음파의 속도를 343m/s로 가정한다. 송신기와 수신기까지의 거리,  $d$ , 는 초음파의 전달 속도와 TOF의 곱으로 구할 수 있으며 아래의 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d = c \times TOF \quad (3)$$

2. iGS(indoor GPS system)

본 연구에서는 실험을 위하여 (주)나인티시스템과 부산대학교 지능로봇실험실이 공동 제작한 실내위치 인식 시스템인 iGS를 사용하였다. 그림 2와 같이 Localizer가 RF통신으로 각각 ID를 가지는 beacon을 호출하게 되고 호출된 beacon으로부터 송출된 초음파를 Localizer 리시버가 수신함으로써 초음파의 비행시간을 이용하여 각 beacon과 Localizer 리시버 사이에서 계산된 거리를 이용, 삼각 측량법의 원리를 적용하여 이동 로봇의 절대위치를 측정하는 시스템이다.

그림 3은 iGS의 Localizer와 beacon의 통신 흐름도를 나타낸 것이다.

Localizer에서 RFID 신호를 전송함과 동시에 카운터를 시작하고 각 beacon은 RFID를 받아 자신의 ID인지 확인한 다음, 자신의 ID라고 판단되면 초음파 신호를 발신하며 카운터는 Localizer가 초음파 신호를 수신할 때까지 계속되며 초음파 신호를 수신하면 카운터는 멈춘다. 이 카운터 값을 이용하여 거리 계산을 완료한 후 이동 로봇의 위치를 계산한다.

각 송신기와 Localizer까지의 거리를  $d_1, d_2$  및  $d_3$ 라고 하고 세 beacon의 위치를  $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)$  및  $(x_3, y_3, z_3)$

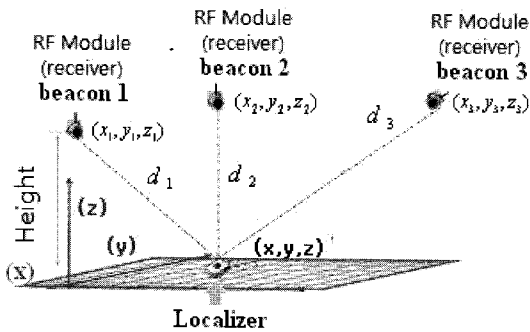


그림 2. iGS의 구조

Fig. 2. Composition of robot localization system.

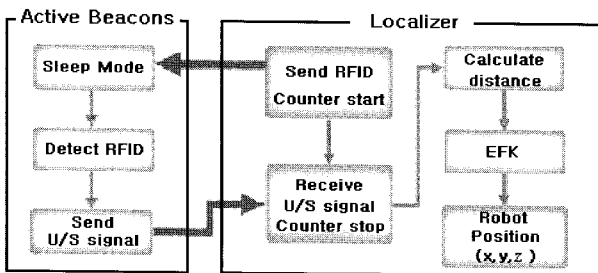


그림 3. iGS의 운영구조

Fig. 3. Operating sequence of the iGS and Localizer.

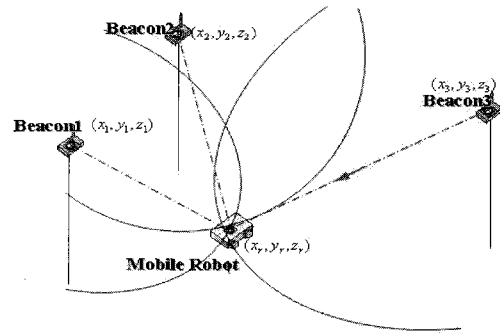


그림 4. 삼각측량 기법.

Fig. 4. Triangulation general technique.

라고 하면 그림 4에서와 같이 세 개의 원의 교점에서 이동 로봇의 위치 좌표  $(x_r, y_r, z_r)$  를 구할 수 있고 이 과정을 원의 방정식으로 표현하면 아래와 같이 전개되어 진다.

$$\begin{cases} (x_r - x_1)^2 + (y_r - y_1)^2 + (z_r - z_1)^2 = d_1^2 \\ (x_r - x_2)^2 + (y_r - y_2)^2 + (z_r - z_2)^2 = d_2^2 \\ (x_r - x_3)^2 + (y_r - y_3)^2 + (z_r - z_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (4)$$

(4)를 beacon1에 대하여 전개하면 (5)와 같다.

$$d_1^2 = x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - 2x_r x_1 - 2y_r y_1 - 2z_r z_1 + x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 2z_2 \\ 2x_3 & 2y_3 & 2z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - d_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 + x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - d_2^2 \\ x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 + x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - d_3^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$X = A^{-1}B \quad (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 2z_2 \\ 2x_3 & 2y_3 & 2z_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 + x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - d_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 + x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - d_2^2 \\ x_3^2 + y_3^2 + z_3^2 + x_r^2 + y_r^2 + z_r^2 - d_3^2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

III. Auto calibration 을 이용한 block 확장 기법

1. Block 확장 시 auto calibration algorithm 적용

실내위치인식 시스템 적용 시 사용자가 직접 beacon의 위치를 측정하여 초기값을 설정해 주는 과정에서 발생하는 시간적 손실과 data 신뢰성 문제를 개선하기 위하여 auto calibration algorithm이 개발 되었고[8-10], 이를 적용하여 block 확장[11] 시 이동 로봇이 해당 block의 beacon 위치를 빠르고 정확하게 인식하게 함으로써 위치추정 시 오차를 줄일 수 있다[8].

그림 5와 같이 한 공간에 5,000mm간격으로 beacon이 세 개씩 설치되어 있고 총 3block으로 나뉘어져 있다고 가정한다. 먼저 이동 로봇의 시작점인 1 block에서 미리 설정해 놓은 세 개의 기준좌표와 세 개의 beacon 그리고 auto calibration algorithm을 통하여 이동 로봇은 스스로 beacon의 위치를 인식함을 시작으로 자신의 위치좌표를 인식하게 된다. 이동 로봇이 2block으로 이동할 경우 정해진 기준 좌표와 측정된 beacon 2,4의 좌표 그리고 auto calibration algorithm을 통하여 이

동 로봇은 변화된 block 정보에 맞게 beacon의 위치를 자동 보정하여 beacon3의 위치를 인식하게 된다. 이러한 방법을 이용하여 로봇이 이동하면서 beacon의 위치를 자동 인식하게 되어 넓은 지역에서도 속도감 있고 신뢰성 있는 위치정보를 획득할 수 있다.

2. Block 확장

초음파를 이용한 실내위치인식 시스템은 초음파 센서는 특성상 먼 거리 음파 전달의 경우 큰 감쇠가 일어나기 쉬워 신뢰성 있는 data를 얻을 수 없는 단점을 가지고 있다. iGS에

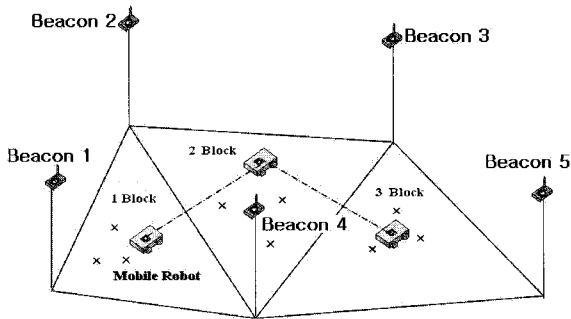


그림 5. Auto calibration을 이용한 block 확장.  
Fig. 5. Block expanding using auto calibration algorithm.

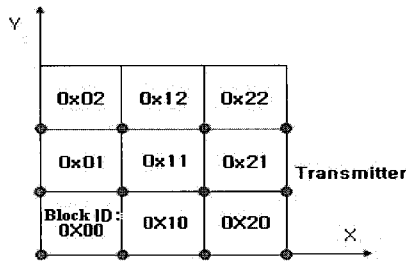


그림 6. Block expanding.  
Fig. 6. Block expanding.

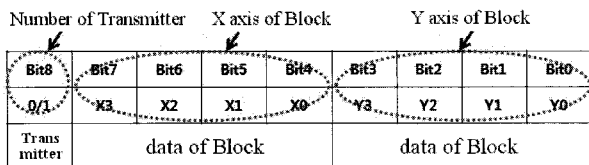


그림 7. Beacon의 ID구조.  
Fig. 7. ID format of beacon.

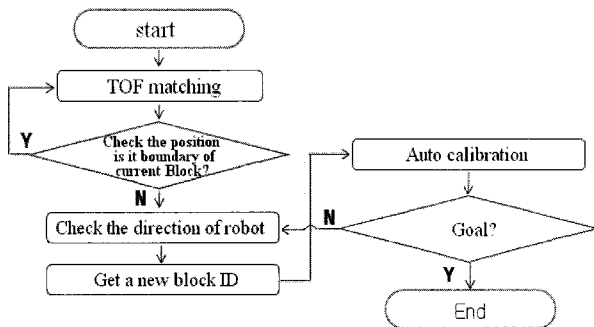


그림 8. Block 확장 순서도.  
Fig. 8. Flow chawrt of block expanding algorithm.

사용되고 있는 초음파센서의 직선최대 비거리는 15M 정도이므로 공방이나 공공공간과 같은 넓은 건물내에서 사용하기 위해서는 다수의 beacon을 이용하여 통신 영역을 넓히는 block 확장 기법이 필수적으로 요구되어 진다. 이를 위해서 이동통신 시스템과 유사하게 Cell 혹은 block을 다수 배치하는 방식을 예로 들었고, 9개의 구간으로 block을 할당하였을 경우 그림 6과 같이 block의 ID를 분할 정의하였다.

각 block에서 사용되는 beacon의 ID는 그림 7과 같이 동일 block 내의 beacon ID와 연계하여 정의함으로써 block 이동 시 자신이 속한 block ID를 이용하여 새롭게 통신을 해야 하는 beacon의 ID를 쉽게 파악 할 수 있게 하였고, 그림 8과 같이 로봇의 이동 방향에 대해 다음 이동 block을 파악하는 방식을 사용하여 시스템의 효율성을 높였다. 그리고 시스템 설치를 최적화 시키기 위하여 1개의 block에서 사용되는 beacon의 갯수는 3개로 제한 하였으며 block 이동 시 불가피하게 발생하는 시간오차는 1개의 beacon data가 수신 불가능일 경우 flat floor algorithm [10]을, 2개의 beacon data가 수신 불가능일 경우 linear incremental algorithm [9]를 적용하도록 하여 block 이동 시 발생하는 순간적인 오차를 보정하였다. 그리고 각 축당 4bit씩의 data frame을 할당하여 X 축 방향 16블록, Y 축 방향 16블록까지 확장할 수 있게 하여 최대 256개의 블록을 이용할 있으며, 이는 block의 X축, Y축 거리를 각각 5m라고 가정하였을 경우 80mx80m의 공간까지 위치인식을 할 수 있다.

IV. Random Noise Filtering algorithm

1. 환경 noise에 대한 오차 발생

이전 RFID 신호주기에 발생한 초음파가 주변 장애물에 의하여 반사되다가 완전히 소멸되지 않은 상태에서 다음 RFID 신호주기에 직접파 보다 먼저 검출되는 경우 혹은 주변 환경 noise에 의하여 직접파 보다 먼저 noise가 검출되는 경우 그림 9와 같이 거리 오차가 발생되게 된다. 이렇게 발생하는 오차의 해결 방안으로는 초음파 수신 threshold 전압을 올려 반사되거나 회절 되어 진폭이 줄어든 음파를 걸러내는 방법과 반사파가 완전히 소멸될 시간 정도로 RFID 신호주기를 길게 주는 방법이 있지만, 전자의 방법으로는 넓은 공간에서의 적용이 힘들고, 후자의 방법으로는 data 처리시간이 길어져 신뢰성 있는 data 획득이 어렵다는 문제점이 있다.

2. RNF algorithm

초음파 센서를 이용한 실내위치인식 시스템은 주변장애물이나 환경 noise에 의하여 발생하는 음파를 직접파로 오인하여 이동 로봇이 실좌표를 인식하지 못하는 경우가 발생하는

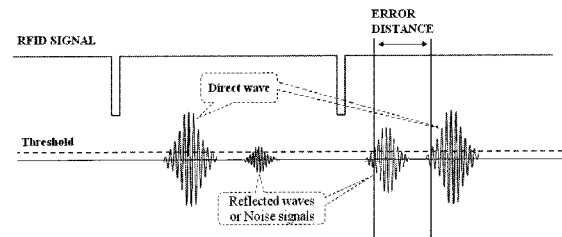


그림 9. 환경 noise의 영향.  
Fig. 9. Effect of noise.

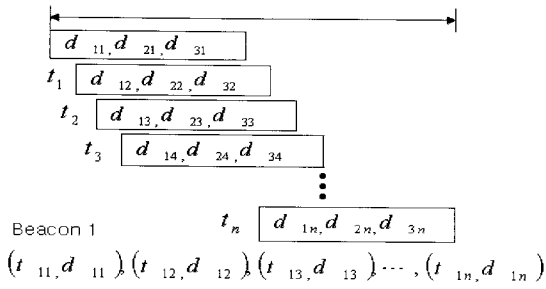


그림 10. Data stack.  
Fig. 10. Data stack.

본 논문에서는 이 문제점을 해결하기 위하여 이전 초음파의 비거리 data들을 이용하여 다음 비거리를 예측하여 측정되는 신호가 직접파인가 noise인가 구별하는 기법으로 반사파 및 noise에 대응하는 RNF algorithm을 제시한다.

초음파의 비거리 범위를 알고 연속된 비거리 data들의 차이가 iGS의 허용오차(±5cm)를 벗어나지 않는다고 가정할 경우 윈도우에 저장되어 있는 이전의 비거리 data를 이용하여 다음 상태의 초음파 비거리 범위를 예측할 수 있다. 그림 10은 비거리 data가 윈도우에 저장되는 형식을 나타낸 것이며,  $d_{ij}$ 는 n번째 수신된 비거리 data,  $i$ 는 beacon의 번호,  $j$ 는 윈도우의 순번을 나타내고, data 연산 속도를 감안하여  $j$ 는 20으로 제한한다.

$$tolerance > |d_{i(j-1)} - d_{ij}|, \bar{d}_{ij} = d_{ij} \tag{10}$$

$$otherwise, \bar{d}_{ij} = \hat{d}_{ij}$$

$$\hat{d}_{ij} = d_{i(j-1)} + \sigma_i \tag{11}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{w} \sum_{j=n-w}^{n-1} x_{ij}^2 - m^2} \tag{12}$$

여기서  $\sigma_i$ 는 윈도우에 저장되어 있는 data들의 공분산,  $w$ 는 윈도우 사이즈,  $x_{ij}$ 는 윈도우에 저장된 비거리 data의 변량,  $m$ 은 윈도우에 저장 되어 있는 data들의 평균,  $d_{i(j-n)}$ 은 beacon  $i$ 의  $n$ 번 이전 비거리 data,  $\hat{d}_{ij}$ 는 beacon  $i$ 의 다음 비거리 예측값,  $\bar{d}_{ij}$ 는 실제 Update 되는 비거리 값을 나타낸다. 예측값을 구하기 위하여 먼저 (12)와 같이 각 beacon 별 윈도우에 저장된 비거리 data에 대한 공분산을 구하고 그 결과를 각 beacon의 이전단계 윈도우 data에 더함으로써 (11)과 같이  $\hat{d}_{ij}$ 를 예측할 수 있다.

그림 11은 RNF algorithm의 순서도를 나타낸 것이고 Esnum[i]는 noise data를 수용할 수 있는 스택의 개수를 나타내고, tolerance는 실험에 사용된 로봇과 iGS 샘플링 타임에 준하여 직전 비거리 data의 ±10%로 설정하였다. Localizer는 각 beacon으로부터 초음파를 수신하고 거리를 계산하여 이전 data와 비교하여 허용오차 이상의 증가 혹은 감소를 나타내면 초음파가 장애물이나 환경 noise에 영향을 받았다고 판단하고 이전단계에서 추정한  $\hat{d}_{ij}$ 를 초음파 비거리 data로 update하고 허용오차 이상의 증가 혹은 감소를 나타내지 않

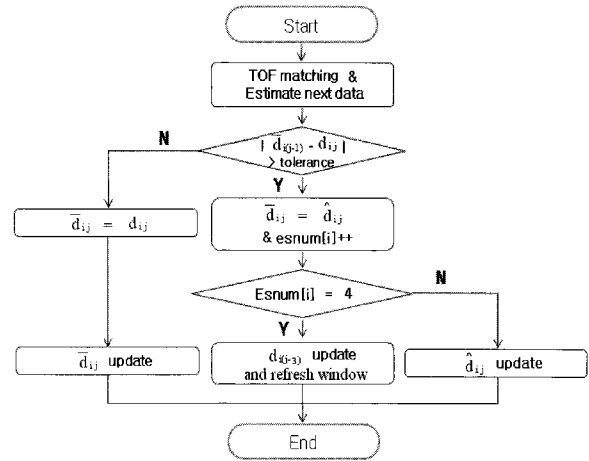


그림 11. RNF algorithm 순서도.  
Fig. 11. Flow chat of RNF algorithm.

으면 장애물이나 환경 noise에 영향을 받지 않았다고 판단하여  $d_{ij}$ 를 초음파 비거리 data로 update한다. 이때 장애물이나 환경 noise에 연속적으로 영향을 받을 경우가 발생할 수 있는데 이 경우 연속적으로  $\hat{d}_{ij}$ 를 사용하게 되어 점점 오차가 증가하는 현상이 발생할 수 있으나 이 점을 방지하기 위하여 이동 로봇의 속도와 Localizer와 beacon사이의 초음파 송수신 주기를 고려하여 연속적으로  $\hat{d}_{ij}$ 를 기준횟수 이상 사용하게 될 경우  $\hat{d}_{ij}$  값 대신  $d_{i(j+3)}$ 를 update 시키는 방법을 적용한다. 본 논문에서는 실험에 사용한 이동 로봇의 속도와 초음파 송수신 주기를 고려하여 기준횟수를 4회로 적용하였다.

### V. 실험 및 결과

이동 로봇의 실내위치인식과 RNF algorithm을 검증하기 위해 iGS와 이동 로봇을 제작하였다. iGS는 RFID를 발신하고 초음파를 수신하는 Localizer와 초음파를 송신하는 beacon으로 나뉘며 Localizer는 RF제어를 위해 Microchip(社)의 rPIC12F675F, 시스템제어를 위해 Ti(社)의TMS320C2406A, 초음파 수신을 위해 murata(社)AR40-10P(40kHz)를 사용하였고, beacon은 시스템제어를 위해 MSP403F1101A, 초음파 송신을 위해 murata(社)AT40-10P(40kHz)를 사용하였고 noise 음원으로는 beacon과 동일한 시스템이지만 ID를 가지지 않게 제작하였다. 이동 로봇은 구동부와 제어부로 나뉘며 구동부는 4S56Q-03554S stepping motor를 사용하였고 제어부는 PIC18F8720을 사용하여 이동 로봇이 35cm/s의 속도로 이동할 수 있게 제어하였다. 실험 환경은 그림 12와 같이 세 개의 위치인 식용 beacon과 한 개의 noise 음원용 beacon으로 구성하였다. Auto calibration을 실행하기 위해 임의로 정한 A(100,101), B(750,201), C(500,301)의 세 점에 순차적으로 이동 로봇을 위치 시켜 beacon1(-215,-673,1795), beacon2(3752,1037,1501), beacon3(-293,1836,1888)의 beacon 위치를 획득[8]하여 사용하였고, Noise 음원 beacon은 (2600,800,1800)좌표에 임의로 위치시켰다.

임의로 설정한 초음파 noise 음원에 의해 iGS가 영향을 받는지를 확인하기 위하여 이동 로봇이 이동하는 전 구간 동안

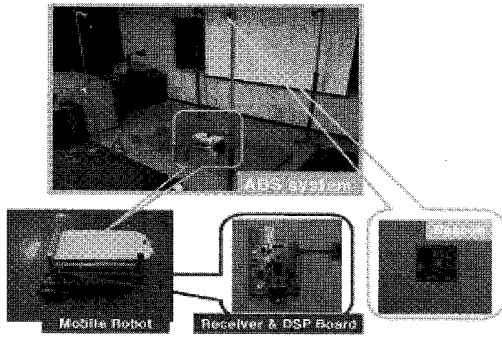


그림 12. 실험 환경.  
Fig. 12. Experimental environment.

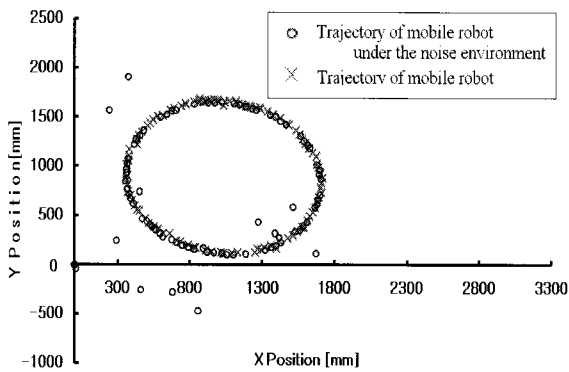


그림 13. noise 환경에서의 이동로봇 궤적.  
Fig. 13. Trajectory of robot under the noise environment.

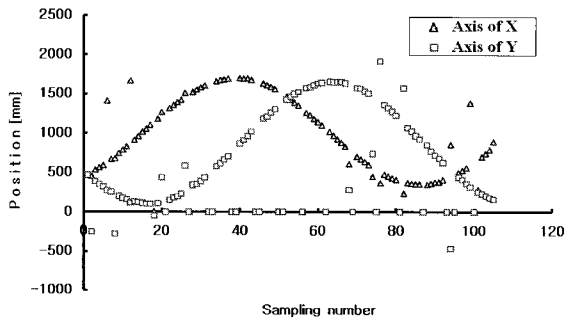


그림 14. 이동로봇 궤적.  
Fig. 14. Trajectory of robot under the noise environment.

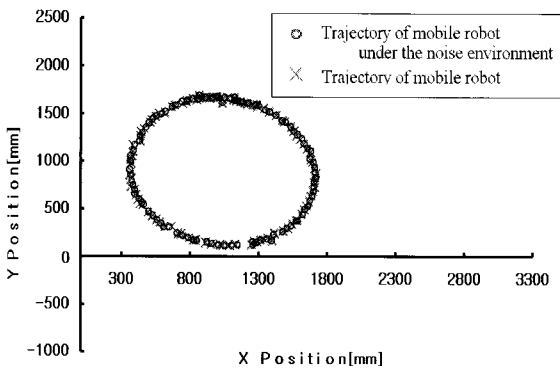


그림 15. RNF algorithm 적용 후 이동로봇 궤적.  
Fig. 15. Trajectory of robot with RNF algorithm under the noise environment.

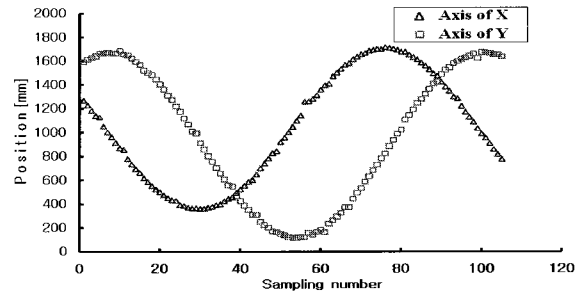


그림 16. 이동로봇 궤적.  
Fig. 16. Trajectory of robot with RNF algorithm under the noise environment.

200ms마다 noise 음원을 발신하며 실험을 하여 초음파와 noise 음원이 존재하지 않았을 경우의 이동 로봇의 궤적과 비교한 결과 그림 13과 같이 특정 구간마다 이동 로봇이 초음파와 noise 음원에 간섭을 받으며 실좌표를 인식하지 못하는 것을 알 수 있었다. 그림 14는 초음파와 noise 음원이 존재하는 상황에서의 이동 로봇의 궤적을 X축과 Y축 별로 나누어 나타낸 것이다. 초음파와 noise 음원에 민감하게 반응하는 점을 보완하기 위하여 4장에서 제시한 RNF algorithm을 적용하여 동일한 환경에서 실험을 하였다.

RNF algorithm을 적용한 결과 그림 15와 같이 초음파와 noise 음원이 연속적으로 간섭을 주는 상황에서도 iGS는 이동 로봇의 실좌표를 정확히 인식하는 것을 확인할 수 있었다. 그림 16은 초음파와 noise 음원이 존재하는 상황에서의 이동 로봇의 궤적을 X축과 Y축별로 나누어 나타낸 것이다.

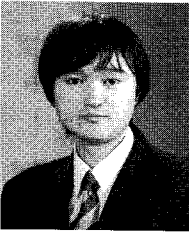
VI. 결론

초음파 센서를 사용하는 iGS는 저비용, 빠른 data 갱신률 그리고 높은 위치정밀도 등으로 유비쿼터스 환경에서 운영되는 이동 로봇에 적용하기에 적합하며 실내 혹은 지하와 같이 GPS 수신에 불가능한 영역에서의 위치추정에 적용이 가능한 시스템이지만 초음파의 음파 전달 특성상 넓은 영역에서의 적용, 장애물이 혼재한 경우 그리고 noise가 심한 환경에서 오차가 많이 발생하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이점을 보완하기 위하여 넓은 지역에서도 초음파 센서를 이용하여 위치추정을 할 수 있는 block 확장 기법, block 확장 시 새로운 beacon을 인식하는 과정에서 시간 단축과 신뢰성 있는 data를 보장하기 위한 auto calibration algorithm을 소개하였고, 마지막으로 장애물이 혼재하거나 noise가 심한 환경에서의 강인한 위치추정을 위한 RNF algorithm을 제시하고 beacon과 동일한 주파수를 가지는 초음파 센서를 이용하여 noise 환경을 구성하여 algorithm을 적용하여 가며 실험을 한 결과 noise 환경 속에서도 강인하게 제어가 가능함을 실험을 통하여 증명하였다.

참고문헌

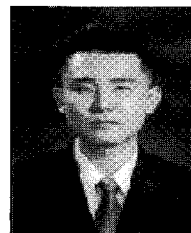
[1] S. M. Lee, Using Vision Sensor and Sonar Sensor of Mobile Robot Localization, Chungnam National University, 2001.  
[2] H. Premans and V. Campenhout, "High resolution sensor based on tri-aural perception," *IEEE Trans. On Robotics and Automation*, vol, 9, no 1, pp. 36-48, 1993.

- [3] A. M. Flynn, "Combining sonar and infrared sensors for mobile robot navigation," *The International Journal of Robot Research*, vol. 7, no. 6, pp. 5-14, December 1998.
- [4] T. Arai, E. Nakatno, "Development of measuring equipment for location and direction using ultrasonic Waves." *Transactions of the ASME*, vol. 105, pp. 152-156, 1983.
- [5] S. Hong, M. H. Lee, S. H. Kwon, and H. H. Chun, "A cat test for the estimation of GPS/INS alignment errors." *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, vol. 5, no. 3, September 2004.
- [6] B. Barshan, "Fast processing techniques for accurate ultrasonic range measurements," *IOP J. Meas. Sci. Technology*, vol. 11, pp. 45-50, Jan. 2000.
- [7] M. Parrialla, J. J. Anaya, and C. Fritsch, "Digital signal processing techniques for high accuracy ultrasonic range measurements," *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, vol. 40, no. 4, pp. 759-763, Aug. 1991.
- [8] 김성부, 이장명, "Auto calibration algorithm을 이용한 이동 로봇의 위치추정 시스템" *로봇공학회 논문지* 제 2 권, 제 1 호, pp. 40-47, 2007년 3월.
- [9] J. M. Lee, S. B. Kim, and J. M. Lee, "Robust positioning a mobile robot with active beacon sensors" *LNAI 425, ISSN 0302-9743, Part 1*, pp. 890-897, Oct 2006.
- [10] S. B. Kim, I. O. Lee, and J. M. Lee, "DYNAMIC localization of a mobile robot with active beacon sensors." *MECHATRONICS 2006, Sep, 12-14, 2006 4<sup>th</sup> IFAC-Symposium on Mechatronic Systems Heidelberg, Germany*.
- [11] 신준규, 조성호, 이장명 "지능형 로봇용 위치파악 시스템에서의 커버 영역 확장 방법" *국내 특허, 특허 제 10-0758177호*, 2006년 4월.



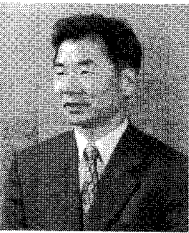
### 서 대근

2006년 동서대학교 전자공학과 졸업.  
2006년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 지능로봇제어, Localization, 센서네트워크.



### 조 성 호

2002년 동의대학교 전자공학과 졸업.  
2005년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Localization, 센서네트워크.



### 이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업.  
1982년 동 대학원 석사. 1990년 USC 공학박사. 1992년~현재 부산대학교 전자전기통신공학부교수. 관심분야는 지능로봇제어, 마이크로 프로세서 응용시스템 설계.