

Auto-Calibration을 이용한 Unstructured Environment에서의 실내 위치추정 기법

Localization of Mobile Robot In Unstructured Environment using Auto-Calibration Algorithm

엄 위 섭, 서 대 근, 박 재 현, 이 장 명*

(We-sub Eom, Dae-Geun Seo, Jae-Hyun Park, and Jang-Myung Lee)

Abstract : This paper proposes a way of expanding the use area of localization technique by using a beacon. In other words, we have developed the auto-calibration algorithm that recognizes the location of this beacon by attaching the beacon on an arbitrary position and by using the information of existing beacon under this situation. By doing so, the moving robot can overcome the limitation that the localization of moving robot is only possible within the area that has installed the existing beacon since the beacon cannot be installed on the accurate location when passing through a danger zone or an unknown zone. Accordingly, the moving robot can slowly move to the unknown zone according to this auto-calibration algorithm and can recognize its own location at a later time in a safe zone. The localization technique is essentially needed in using a moving robot and it is necessary to guarantee certain degree of reliability. Generally, moving robots are designed in a way to work well under the situation that the surroundings is well arranged and the localization techniques of using camera, laser and beacon are well developed. However due to the characteristics of sensor, there may be the cases that the place is dark, interfering radio waves, and/or difficult to install a beacon. The effectiveness of the method proposed in this paper has been proved through an experiment in this paper.

Keywords : auto-calibration, beacon, localization, multi-block, unstructured environment

I. 서론

이동로봇의 localization을 위하여 IR, laser, vision 등으로 이용한 많은 기법들[1-3]이 잘 개발되고 있지만 적외선과 레이저는 빛에 반사되기 쉽고 가격이 비싸 경제적이지 못한 반면 초음파 센서는 저가격, 제어의 용이성 및 정밀도 등의 측면에서 우수해 localization 센서로 널리 연구되고 있다[4,5]. 하지만, 초음파 센서의 음파 전달 특성상 주변 장애물이나 환경 noise에 의해 신호간섭[6]을 받기 쉽고 원거리 음파 전송 시 감쇠현상[7]이 발생하여 넓은 실내영역에서의 시스템 적용이 불가능한 단점이 있다. 위와 같은 초음파 센서의 장점을 부각시켜 넓은 실내 영역에서의 시스템 적용을 위하여 다수의 비컨을 사용해 실내공간의 영역을 분할하여 위치추정을 실시하는 시스템이 연구되고 있다. 대표적인 시스템으로 나인터 시스템(社)의 block ID 인식법[8]을 이용한 광역위치추정 기법이 있지만 모든 비컨의 절대좌표 및 block ID를 User가 일일이 수동으로 측정하고 지정하여 이동로봇에 주입시켜야 하는 문제점과 모든 비컨의 절대좌표를 이동로봇이 항상 기억하고 있어야 한다는 점에서 신호처리 시 시간지연을 초래할 수 있는 단점이 있다. 그리고 user가 기 지정한 비컨 공간 밖에서는 적용이 불가능하다는 단점이 있다. 그리고 화재 지역이나 위험 지역과 같은 불 특정한 상황에서는 비컨이 손실될 수 있으므로 이동로봇의 위치인식 정밀도가 현저히 저하되는 경우가 발생한다.

본 논문에서는 이동로봇이 분할된 block의 영역을 인식하는 방법과 위와 같은 미지의 공간 내에서도 기존의 비컨 정보를 이용하여 user 임의로 배치한 미지의 비컨의 절대좌표를 이동로봇 스스로 인식하여 block을 확장하며 localization을 수행하는 기법을 multi-block 시스템과 auto-calibration algorithm으로 나누어 소개한다.

본 논문의 구성은 II 장에서 실내 localization 프로세스 iGS에 대하여 소개하고, II 장에서 multi-block 시스템에서의 block 인식 방법에 대하여 소개하며 IV 장에서 기존의 active beacon set에 의한 이동로봇 위치정보를 이용하여 미지의 비컨의 좌표를 인식하는 기법인 auto-calibration algorithm에 대하여 설명한다. 그리고 V 장에서 실험을 통하여 algorithm의 타당성을 검증하며 마지막으로 VI 장에서 결론을 맺는다.

II. 실내 위치 추정 프로세스 (iGS)

1. iGS 구조

Algorithm 검증을 위하여 부산대학교 지능로봇실험실과 나인터 시스템(社)이 공동 제작한 실내위치추정 시스템인 iGS (실내위치 추정오차: $\pm 5\text{cm}$ 이내)를 사용하였다. 그림 1과 같이 3개의 비컨(Active beacon set)과 1개의 localizer로 구성되며 localizer가 RF 통신으로 각각 ID를 가지는 비컨을 호출하게 되고 호출된 비컨으로부터 송출된 초음파를 localizer가 수신함으로써 초음파의 비행시간[9]을 이용하여 localizer와 각 비컨 사이에서 계산된 거리를 이용해 삼변측량법[10,11]의 원리를 적용하여 대상물체의 절대위치를 추정하는 시스템이다. 그림 2는 localizer의 운용패턴을 나타내고 있다. localizer에서 ID를 가지는 RF 신호를 전송함과 동시에 카운터를 시작하고 각 비컨은 RF 신호를 수신하여 ID를 확인한 다음 신호가 일치되는 타이밍에 초음파 신호를 발신하며 localizer가 신호를

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. 7. 5., 채택확정 : 2008. 10. 29.

엄위섭, 서대근, 박재현, 이장명 : 부산대학교 전자전기공학과

(usuby@pusan.ac.kr/sdk@pusan.ac.kr/jae-hyun@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

※ 본 과제는 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과임.

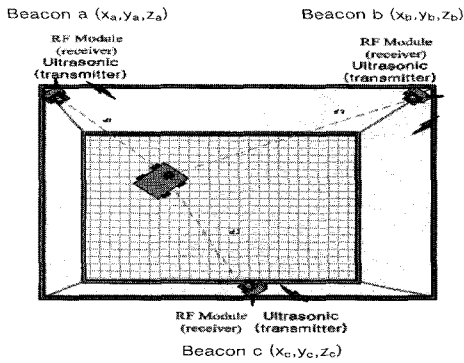


그림 1. iGS 비컨 공간.
Fig. 1. Beacon space of iGS.

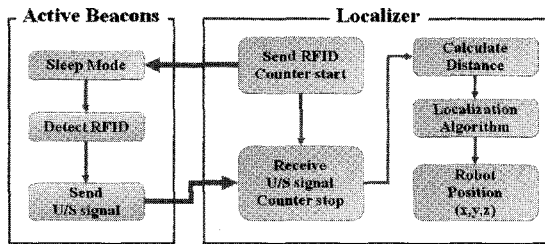


그림 2. iGS의 운영구조.
Fig. 2. Operating sequence of the iGS and localizer.

수신하면 카운터는 멈추게 된다. 이 카운터 값을 이용하여 localizer와 비컨간의 거리를 계산한 후 이동로봇의 위치를 계산한다[12].

2. TOF 및 대상 물체 절대좌표 계산

초음파를 이용한 거리측정 시스템은 초음파의 전파속도와 비행시간을 이용하고, 이를 TOF (Time of Flight)[13]라 한다. 그림 3과 같이 localizer에서 threshold 이상의 신호가 검출된 시점을 기준으로 비컨에서 음파를 송신한 시점과 localizer에서 음파를 수신한 시점의 시간차로 정의되며 식 (1)과 같다.

$$TOF = T_r - T_t \tag{1}$$

T_t 는 RF 신호가 발신되어 localizer의 timer가 count되는 순간 시간이고 T_r 은 초음파 신호가 수신되어 timer count가 종료되는 시간이다. 식 (2)는 온도상수에 따른 초음파의 전파속도를 나타낸 식이며 localizer와 beacon 사이의 거리, d 는 식 (3)과 같이 초음파 전파 속도와 TOF의 곱으로 구할 수 있다.

$$d = v \times TOF \tag{2}$$

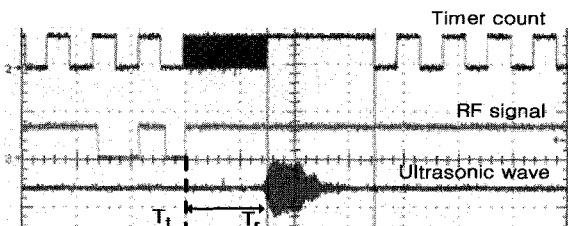


그림 3. TOF Diagram.
Fig. 3. TOF Diagram.

$$v \cong 331.5 \sqrt{\frac{T}{237}} [m/s] \tag{3}$$

v 는 초음파의 전파 속도, T 는 절대온도를 나타낸다[14]. 각 비컨의 절대좌표를 각각 (x_a, y_a, z_a) , (x_b, y_b, z_b) , (x_c, y_c, z_c) 라 하고 localizer와 beacon사이의 거리를 각각 d_1, d_2, d_3 라 하면 이동로봇의 절대위치 좌표 $P(X, Y, Z)$ 의 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} (X-x_a)^2 + (Y-y_a)^2 + (Z-z_a)^2 \\ (X-x_b)^2 + (Y-y_b)^2 + (Z-z_b)^2 \\ (X-x_c)^2 + (Y-y_c)^2 + (Z-z_c)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 \\ d_2^2 \\ d_3^2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

이 3개의 식을 행렬식으로 정리하여 해를 구하면, 식 (5)와 같이 이동로봇의 절대좌표가 구해진다.

$$P(X, Y, Z) = A^{-1}B$$

where $A = 2 \begin{bmatrix} x_b - x_a & y_b - y_a & z_b - z_a \\ x_c - x_b & y_c - y_b & z_c - z_b \\ x_a - x_c & y_a - y_c & z_a - z_c \end{bmatrix}$, $P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$ (5)

and $B = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 - x_a^2 + x_b^2 - y_a^2 + y_b^2 - z_a^2 + z_b^2 \\ d_2^2 - d_3^2 - x_b^2 + x_c^2 - y_b^2 + y_c^2 - z_b^2 + z_c^2 \\ d_3^2 - d_1^2 - x_c^2 + x_a^2 - y_c^2 + y_a^2 - z_c^2 + z_a^2 \end{bmatrix}$.

III. Multi-block 시스템

초음파 음원이 구면상으로 방사되는 경우 거리의 자승에 반비례하여 감쇠하는 특성[15]을 가지므로 iGS 1set을 사용하여서는 5m X 5m(무향공간 기준)의 범위를 벗어나는 광역에서의 적용 시 장애물에 의한 신호간섭, 음원 감쇠 등의 이유로 위치추정 시 치명적인 오차를 야기시킴과 동시에 로봇 이동 영역에 공간적 제약을 줄 수 있다. 이러한 문제는 초음파 센서의 물리적 특성을 개선시켜 광역에서 적용을 하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 초음파를 이용하여 넓은 영역에서 이동하는 로봇의 localization을 하는 경우에는 그 localization의 정도를 높이기 위하여 센서공간을 적절히 분할하여 분할된 공간 내에 localization을 위하여 필요한 개수의 비컨이 존재하도록 환경을 구비하여야 한다. 이렇게 다수개의 block으로 구성하는 경우 block 경계를 넘어가는 순간에 localization을 수행하기 위하여 영역마다 사용하는 비컨들의 선정이 바뀌어야 하는데 이를 위하여 비컨의 (X, Y)좌표가

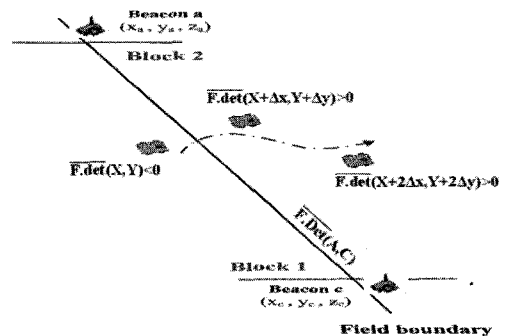


그림 4. Block 경계선 인식 과정.
Fig. 4. Move to another block.

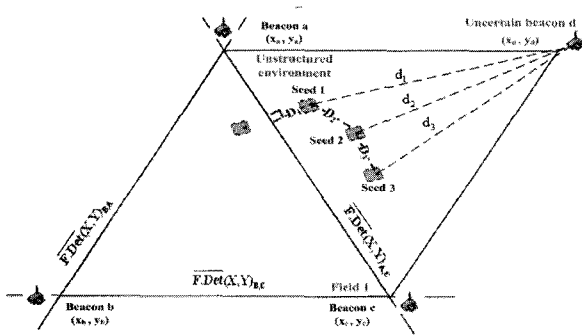


그림 6. 미지의 비컨 공간에서의 auto-calibration.
Fig. 6. Auto-calibration in unstructured environment.

이루는 직선의 방정식과 이동로봇의 현재 좌표를 이용한 부호비교관계에 의하여 block 인식 기법을 정의하였다.

그림 4는 이동로봇이 비컨 a와 비컨 c가 이루는 경계선을 지나 block을 이동하는 그림이다. 이동로봇은 비컨의 (X, Y) 좌표를 이용하여 식 (6)과 같이 직선의 방정식을 이용하여 field boundary를 항상 인식하고 있다고 정의한다.

$$Y - y_a = \frac{y_c - y_a}{x_c - x_a} X + \frac{y_c - y_a}{x_a - x_c} x_a \quad (6)$$

$$\overline{F.Det}(X, Y) = Y - \frac{y_c - y_a}{x_c - x_a} X - \frac{y_c - y_a}{x_a - x_c} x_a - y_a \quad (7)$$

$F(X, Y) \neq F(X + \Delta x, Y + \Delta y)$, transition
otherwise, stay

$\overline{F.det}$ 는 beacon 좌표가 이루는 직선의 방정식, x_n 은 beacon n의 x좌표, y_n 는 beacon n의 y좌표를 나타낸다. 이동로봇은 비컨이 이루는 직선의 방정식과 이동로봇의 (X, Y)좌표의 부호비교를 이용하여 block 이동 여부를 판단하게 되며 block 2로 진입하였다고 판단할 경우 이동로봇은 스스로 active beacon set을 재설정하여 localization을 수행한다.

IV. Auto-calibration algorithm

1. Auto-calibration algorithm

이전 방식(거리측정장비를 이용)을 사용하여 비컨의 위치를 측정하는 것은 각각의 비컨 좌표를 수동으로 측정해야 하기 때문에 설치시간이 걸어지고, 비컨의 위치 좌표를 잘못 설정 할 경우 로봇 위치 오차에 미치는 영향이 커지게 된다. 이를 해결 하기 위해 제안된 것이 auto-calibration algorithm[16]으로 기본 원리는 localization에 적용되는 삼변측량법의 역으로 구성되는 방법으로 그림 5와 같이 user가 임의로

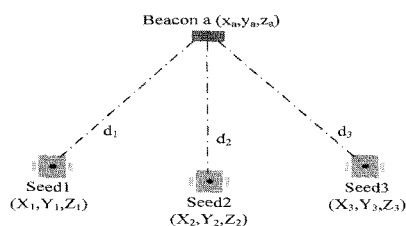


그림 5. Auto-calibration을 위한 이동로봇의 초기 위치.
Fig. 5. Initial position of mobile robot for auto-calibration.

지정한 seed 1에서 seed 3까지 이동로봇을 순차적으로 이동시켜가며 각 seed에서 구해지는 비컨과 이동로봇간의 거리데이터를 이용하여 비컨의 좌표를 이동로봇 스스로 산출해 설치시간의 단축과 비컨 위치 정밀도를 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

그림 5와 같이 센서공간상의 세 seed 좌표를 안다고 가정할 경우 비컨 a의 좌표를 구하는 유도식은 식 (8)과 같다.

$$\begin{bmatrix} (X_1 - x_a)^2 + (Y_1 - y_b)^2 + (Z_1 - z_c)^2 \\ (X_2 - x_a)^2 + (Y_2 - y_b)^2 + (Z_2 - z_c)^2 \\ (X_3 - x_a)^2 + (Y_3 - y_b)^2 + (Z_3 - z_c)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1^2 \\ d_2^2 \\ d_3^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

d_1 은 이동로봇이 seed 1의 위치에서 비컨 a간 측정된 거리 값, d_2 은 이동로봇이 seed 2의 위치에서 비컨 a간 측정된 거리 값이고, d_3 은 이동로봇이 seed 3의 위치에서 비컨 a간 측정된 거리 값이고 이 식을 통하여 비컨 a의 위치좌표를 인식할 수 있으며 비컨 b와 비컨 c의 좌표도 동일 방법으로 구할 수 있다. 이동로봇이 이동 중에 그림 6과 같이 비컨이 손실되어 user 임의로 배치한 uncertain beacon을 포함한 unstructured environment로 진입하는 경우, 기본적으로 위치 측정을 하기 위해 서는 항상 3개의 비컨을 사용해야 하기 때문에 uncertain beacon의 위치정보를 이동로봇 스스로 파악하여 localization에 적용하기 위하여 새로이 auto-calibration을 수행하여야 한다.

하지만 이 경우에는 user가 auto-calibration시 seed를 지정하지 못해 다음과 같은 문제점이 발생한다. 이동로봇이 auto-calibration을 수행하는 도중 이동량이 없거나 매우 적은 이동량을 나타낼 경우 각 seed의 좌표가 동일하게 나타나고, 식 8이 성립되지 않아 오차를 발생시키게 된다. 이를 이동로봇의 이동변위량과 sampling time을 이용하여 평균 이동량 이상 이동하였을 시 seed를 결정하고 auto-calibration을 수행하여 문제점을 해결하였다.

이동로봇이 $\overline{F.det}$ 함수값으로 인하여 다른 block으로 이동하였다고 판단하였을 경우 비컨이 이루는 경계선상과 이동로봇좌표의 수직거리를 계산하여 이동로봇의 속도와 sampling time에 대한 이동패턴 이상 이동하였을 경우 그 좌표를 seed로 결정하고 uncertain beacon으로부터의 d 정보를 구한다.

$$D_1 = \frac{\left| \frac{1}{x_c - x_a} X - \frac{1}{y_c - y_a} Y + \frac{y_a}{y_c - y_a} - \frac{x_a}{x_c - x_a} \right|}{\sqrt{\left(\frac{1}{x_c - x_a}\right)^2 + \left(\frac{1}{y_c - y_a}\right)^2}} \quad (9)$$

D_1 은 경계선을 이루는 직선의 방정식과 이동로봇과의 거리를 나타내고 표 1은 이동로봇이 seed를 결정하는데 걸리는 sampling time을 나타낸다. Block-recognition은 이동로봇이 현재의 블록 위치를 판별하는 것으로 식 (7)을 행하는 부분이다.

이동로봇의 이동 속도를 $\alpha \text{ cm/s}$ 라 할 경우 이동로봇은 data update time 마다 $\alpha \text{ cm}/3.7$ 의 패턴으로 이동하게 되는데 $D_n > \alpha \text{ cm}/3.7 (n=1,2,3)$ 의 조건을 만족할 경우 해당 좌표를 seed로 결정하고 d_n 정보를 측정한다. Seed 결정에는 이

표 1. Seed 1 결정을 위한 좌표 연산시간.
Table 1. Sampling time to obtain position data.

positioning	Block-recognition	d_i detection
200ms	20ms	40ms

동로봇의 이동거리를 이용하여 조건을 형성한다. 식 (10)은 Sampling time 당 이동로봇 이동 거리를 나타낸다. $\Delta x, \Delta y$ 는 로봇이 새로운 block을 인식하고 seed 1에서 seed 2로, seed 2에서 seed 3으로 이동 할 때의 위치 변위량이다.

$$D_n = \sqrt{\{X - (X + \Delta x)\}^2 + \{Y - (Y + \Delta y)\}^2} \quad (10)$$

where , $n = 2, 3$

D_2, D_3 는 seed 2와 seed 3 결정 후 식 (10)을 통해 결정된다. 각각의 D 값을 구한 후 auto calibration을 수행하여 uncertain beacon을 새로운 기준 비컨으로 선택하고, 새로이 선택된 새 비컨을 active beacon set으로 지정한다.

2. Auto-calibration 수행 시 발생하는 문제점

Auto-calibration 수행 시 seed 좌표정보는 이전 block의 비컨의 정보를 이용하여 연산하게 되는데 그림 7과 같이 noise에 간섭을 받은 신호를 seed로 결정하여 uncertain beacon 좌표를 연산한다면 정확한 uncertain beacon 좌표를 얻지 못할 뿐만 아니라 localization에 누적오차를 발생시킨다.

이 문제점을 해결하기 위하여 초음파의 이전 비거리 data들을 이용하여 noise 간섭 여부를 판단하는 NRW (Noise Rejection Window) algorithm[17]을 적용하였다.

초음파의 비거리 범위를 알고 연속된 비거리 data들의 차이가 iGS의 허용오차를 벗어나지 않는다고 가정할 경우 윈도우에 저장되어 있는 이전 비거리 data를 이용하여 다음 상

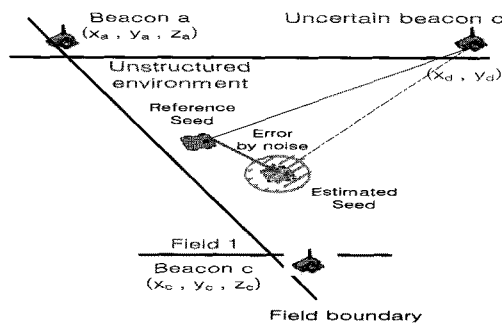


그림 7. Noise에 의해 발생하는 위치오차.
Fig. 7. Localization error by noise signal.

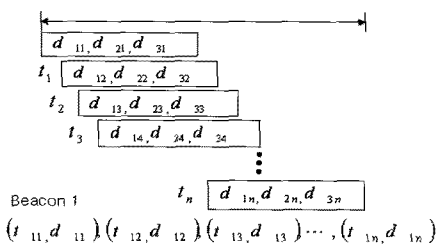


그림 8. Data 저장.
Fig. 8. Data stack.

태의 초음파 비거리 범위를 예측할 수 있다. 그림 8은 비거리 data가 윈도우에 저장되는 형식을 나타낸 것이며, i 는 beacon의 번호, j 는 윈도우의 순번을 나타낸다.

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

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

σ_i 는 비거리 data들의 공분산, w 는 윈도우 사이즈, x_{ij} 는 비거리 data의 변량, m 은 비거리 data의 평균 $d_{i(j-n)}$ 은 beacon i 의 n 번 이전 비거리 data, \hat{d}_{ij} 는 beacon i 의 비거리 예측값을 나타내고 직전의 비거리 data와 공분산 data의 합으로 예측할 수 있다.

$$\begin{aligned} & tolerance > |d_{i(j-1)} - d_{ij}|, \bar{d}_{ij} = d_{ij} \\ & otherwise, \bar{d}_{ij} = \hat{d}_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)는 예측 값과 실제 값을 선택하는 조건이며 \bar{d}_{ij} 는 Update 되는 비거리 data를 나타내며 tolerance는 iGS의 sampling time에 준하여 직전 비거리 data의 $\pm 10\%$ 로 설정하였다. 실제 비거리 data의 변량이 허용오차를 만족하면 직접 파로 해석하였고 허용오차보다 크면 간섭을 받았다고 가정하여 예측값을 적용하였다.

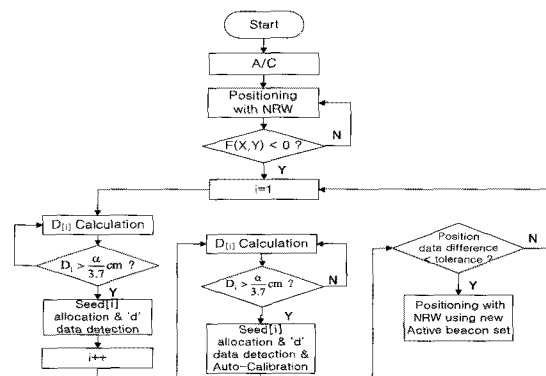
그림 9는 auto-calibration algorithm의 순서도를 나타낸 그림으로 이동로봇이 block 이동을 인식하고 새로운 active beacon set의 절대 위치 좌표를 산출하기 위하여 seed를 결정하고 auto-calibration을 수행하는 과정이다.

V. 실험

Auto-calibration algorithm의 성능검증에 앞서 실험에 오차 요인으로 작용할 수 있는 localizer와 비컨간의 측정거리 정밀도와 NRW algorithm의 성능을 먼저 테스트 한 후 algorithm을 테스트 하였다.

1. 선행실험

- Localizer와 beacon간의 측정거리 정밀도(iGS)



* Position data difference = | Positioned data using pre-Active beacon set at seed 3 - Positioned data using new Active beacon set at seed 3 |

그림 9. Auto-calibration 순서도.
Fig. 9. Flow-chart of auto-calibration.

Localizer와 beacon간의 상대적인 위치 정보를 1m 단위로 10번 반복 측정한 결과 표 2과 같이 평균 2.3mm의 오차를 나타내었다.

- 200ms마다 신호 간섭이 존재할 경우NRW algorithm의 성능 검증(iGS)

동일 주파수의 초음파 센서를 200ms마다 발신시켜 잡음원으로 가정하고 NRW algorithm을 적용하여 성능을 확인하였고 오차 정도를 그림 10의 그래프로 나타내었다.

NRW algorithm을 사용 함으로써, 잡음으로 인해 발생하는 오차를 제거 할 수 있어 신뢰도 높은 위치 데이터를 획득하게 된다.

위의 선행실험을 통하여 iGS의 기본 설정이 auto-calibration algorithm 성능검증에 오차요인으로 작용하지 않는다는 것을 확인하였다.

2. Auto-calibration을 이용한 광역 localization

실험을 위해 그림 11과 같은 오각형의 workspace를 확보하여 3개의 block으로 분할하여 (0,2500,1700), (700,30,1700), (2800,3700,1700), (4000,80,1700), (8000,1500,1700), [단위:mm],의 위치에 각각 beacon a-e를 설치하였고 천장에 camera를 설치

표 2. iGS의 상대위치 측정 정밀도 [mm].

Table 2. Relative position accuracy [mm].

Reference data	Test data	Error
1000.0	1005.2	5.2
2000.0	1996.1	3.9
3000.0	3000.5	0.5
4000.0	4000.8	0.8
5000.0	4999.1	0.9

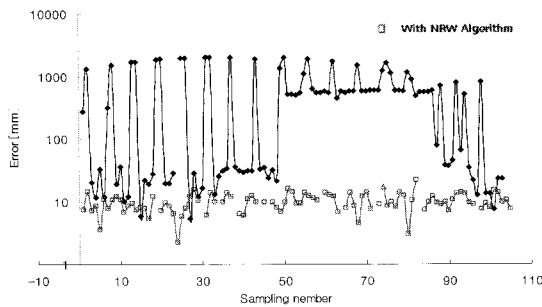


그림 10. Noise filter 실험 데이터.

Fig. 10. Noise filter test data.

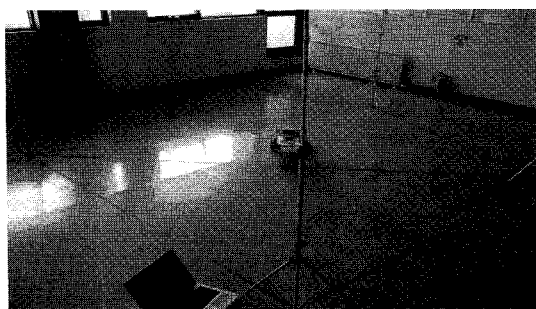


그림 11. 실험 환경.

Fig. 11. Test environment.

하여 이동로봇의 reference 이동궤적 데이터를 획득하여 실험 데이터와 비교·분석하였다.

실험에 사용된 iGS는 beacon과 localizer로 구성되는데 localizer의 RF신호 제어를 위해 Microchip(社)의 rfPIC12F675F, 시스템 제어를 위해 Ti(社)의 TMS320C2406A, 초음파 수신을 위해 (社)Nippon Ceramic의 AT40-10P(40kHz)를 사용하였고, beacon의 시스템 제어를 위해 Microchip(社)의 MSP403F1101A, 초음파 송신을 위해 AR40-10P(40kHz)를 사용하였다.

- Auto-calibration algorithm을 이용한 uncertain beacon 좌표 인식

Block 2를 unstructured environment, 비컨 d를 uncertain beacon 이라 가정하고 이 때 이동로봇이 block을 넘어 uncertain beacon d의 절대좌표를 인식하는 실험을 수행하였다. 이때 기존의 auto-calibration을 사용한 것과 본 논문에서 제안한 auto-calibration의 절대 좌표 인식 오차를 비교하기 위해 20회 반복 실험하여 연산되는 uncertain beacon d의 오차를 그림 12에 나타내었고 좌표를 표 3에 나타내었다.

위의 실험으로 이동로봇이 unstructured environment 환경에 진입하였을 경우 uncertain beacon의 좌표를 인식하는데 있어서 기존의 auto-calibration을 사용한 것만큼 본 논문에서 제안한 auto-calibration 이 uncertain beacon좌표를 안정적으로 인식한다는 것을 알 수 있다.

다음으로 비컨 d가 손실 된 unstructured environment 환경에서 비컨 a, 비컨 b, 비컨 c, 비컨 e를 이용하여 구한 이동로봇

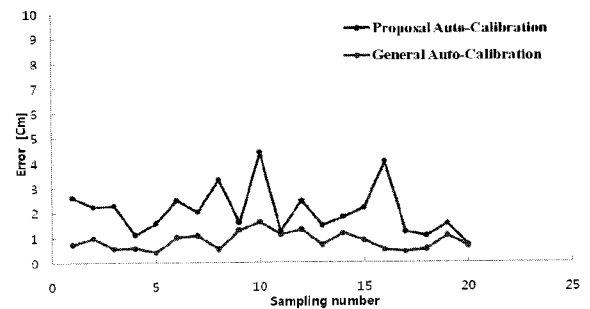


그림 12. Uncertain beacon d 좌표 인식오차.

Fig. 12. Measurement of uncertain beacon d position.

표 3. Uncertain beacon d 절대 좌표 인식 [mm].

Table 3. Measurement uncertain beacon position data.

기존의 Auto-Calibration				논문에서 제안한 Auto-Calibration			
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
4002	87	3990	85	3981	98	3968	71
4009	84	4002	67	4012	99	4016	82
3996	76	4000	87	4009	101	4035	107
3997	85	4006	90	3989	82	4006	91
4001	76	4008	84	3987	71	4009	57
4001	90	3997	76	4001	105	3987	87
4010	76	3997	77	3989	63	3998	98
4005	82	4005	82	4016	65	4008	87
3987	80	4010	84	3989	119	4011	91
3989	92	4005	76	3998	68	3999	87

의 궤적과 unstructured environment 내에 임의로 uncertain beacon을 배치하여 auto-calibration을 통하여 구한 이동로봇의 궤적을 각각 그림 13과 그림 14에 나타내었다.

그림 13은 비컨이 손실되어 active beacon set의 범위가 5m를 벗어난 경우로서, 각 비컨으로부터 5m이상 떨어진 영역에서는 그림 15와 같은 오차정도를 나타내어 신뢰성 있는 데이터를 보장할 수 없었다. 하지만 비컨이 손실된 지역에서도 임의의 uncertain beacon 배치와 auto-calibration algorithm의 적용할 경우 그림 16과 같은 오차 정도를 나타내는 안정적인 위치 측정 데이터를 획득할 수 있었다.

다음으로 이동로봇이 block 이동을 하며 연속적으로 비컨이 손실된 지역을 통과할 경우를 모델로 실험을 진행하였다. 비컨 d와 비컨 e위치에 임의의 uncertain beacon을 부착하여 두고 이동로봇이 auto-calibration을 통하여 block을 이동하며

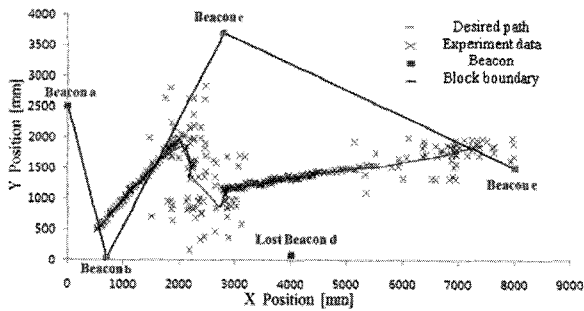


그림 13. Unstructured environment에서의 이동로봇 궤적.
Fig. 13. Trajectory of mobile robot in unstructured environment.

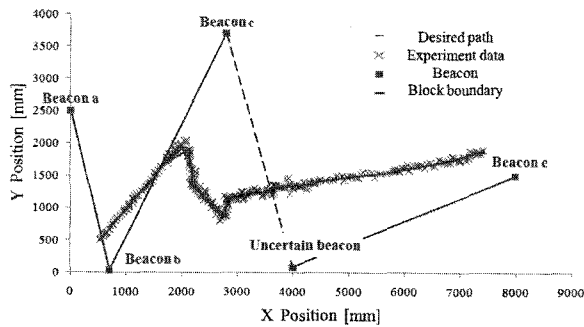


그림 14. Uncertain beacon을 배치했을 경우 이동로봇의 궤적.
Fig. 14. Trajectory of mobile robot with uncertain beacon in unstructured environment.

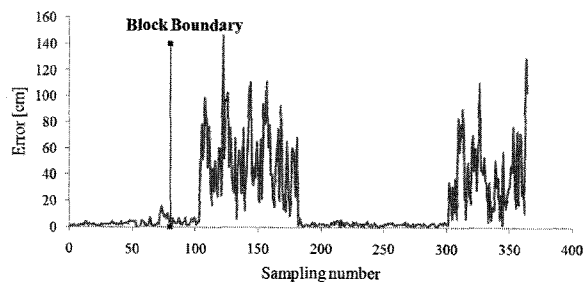


그림 15. Unstructured environment에서의 궤적 오차.
Fig. 15. Localization error in unstructured environment.

은 궤적을 그림 17에 나타내었다.

이동로봇이 3번째 block으로 진입하면서부터 두 개의 uncertain beacon을 이용하여 위치를 인식하는 궤적의 영역별 오차 정도를 그림 18에 나타내었다.

이동로봇의 이동 경로에 uncertain beacon을 부착시켜가며 auto-calibration의 성능을 test한 결과 1개의 uncertain beacon이 포함되었을 경우 평균 4.3cm, 2개의 uncertain beacon이 포함되었을 경우 평균 4.9cm의 오차를 나타내었다. 오차 정도가 iGS의 허용오차를 만족하며 그림 13에서 나타난 바와 같이 임의로 비컨을 부착하지 않았을 경우보다 매우 안정적인 위치 좌표를 나타내었다.

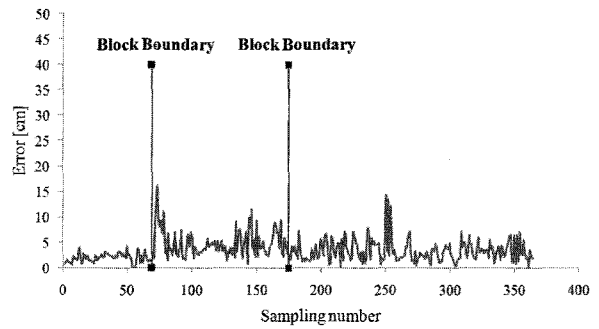


그림 16. Uncertain beacon을 배치했을 경우의 궤적 오차.
Fig. 16. Localization error with uncertain beacon in unstructured environment.

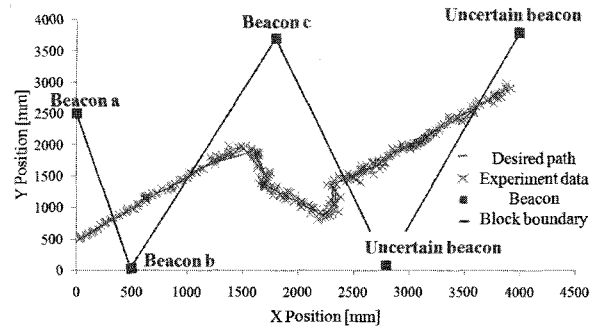


그림 17. 연속하여 uncertain beacon 사용시 이동로봇 궤적.
Fig. 17. Trajectory of mobile robot with two uncertain beacons in unstructured environment.

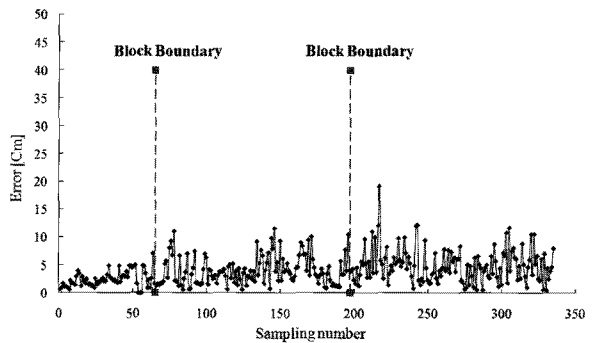


그림 18. Uncertain beacon을 연속 배치시 이동로봇 궤적 오차.
Fig. 18. Localization error with two uncertain beacons in unstructured environment.

VI. 결론

초음파 센서를 이용하여 localization을 수행하는 iGS는 저 비용, 높은 위치정밀도 등으로 실내 혹은 지하와 같은 GPS 수신이 불가능한 영역에서 이동로봇의 localization 수행에 적용하기 적합하다. 하지만 초음파의 음파 전달 특성상 감쇠현상이 발생하여 넓은 영역에서의 적용이 불가능하다. 또한 기 설치된 비컨 영역 내에서만 localization이 가능한 한계점이 있다. 본 논문에서는 위와 같은 커버영역 한계점을 극복하고 localization의 정도를 높이기 위하여 다수개의 비컨에 의하여 분할된 실내 센서공간을 제시하였고, 이동로봇이 각 block 경계를 인식하여 localization에 필요한 새로운 비컨의 좌표를 인식하는 기법을 제시하였다.

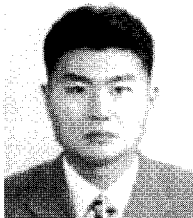
본 algorithm의 개발로 인하여 기 배치된 센서공간뿐만 아니라 위험 지역이나 미지의 지역과 같이 정확한 위치에 비컨을 설치할 수 없는 상황에서도 필요에 따라 uncertain beacon을 임의 위치에 부착하고 기존의 비컨 정보를 활용하여 uncertain beacon 위치를 파악하여 localization에 활용할 수 있게 되어 이동로봇이 점진적으로 미지의 영역에서의 운용이 가능해지게 되었다. 논문에서는 uncertain beacon이 점점 늘어나는 상황을 구현하여 multi-block 시스템과 auto-calibration algorithm의 성능을 검증하였다.

참고문헌

[1] J. Wang, R. Cipolla, and H. Zha, "Vision-based Global Localization Using a Visual Vocabulary," *IEEE int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 4230-4235, Apr. 2005.
 [2] Y. Zhou, W. Liu, and P. Huang, "Laser-activate RFID-based Indoor Localization System for Mobile-Robots," *IEEE int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 4600-4605, Apr. 2007.
 [3] W. Lin, S. Jia, T. Abe, and K. Takase, "Localization of mobile robot based on ID tag and WEB camera," *IEEE int. Conf. on Robotics, Automation and Mechatronics*, vol. 2, pp. 851-856, Dec. 2004.
 [4] C. C. Tsai, "A Localization system of a mobile robot by fusing dead-reckoning and ultrasonic," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 47, no. 5, pp. 1399-1404, Oct. 1998.
 [5] W. Qinhe and H. Hashimoto, "Fast Localization of multi-targets in the Intelligent Space," *Annual Conf. SICE. 2007*, pp. 264-269,

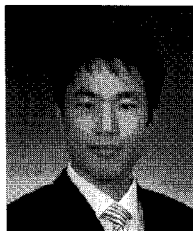
Sep. 2007.
 [6] H. Premans and V. Campenhout, "High resolution sensor based on tri-aural perception," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 9, no. 1, pp. 36-48, Feb. 1993.
 [7] Zimmerman, "Experimental Development of an Indoor GPS Based sensing system for Robotic Applications," *Navigation*, vol. 43, no. 4, pp. 375-395, 1996-1997.
 [8] J. G. Sin, S. H. Cho, and J. M. Lee "Area-expansion technique of LBS," Patent, Korea, no. 10-0758177, Apr. 2006.
 [9] D. E. Manolakis, "Efficient solution and performance analysis of 3D position estimation by trilateration," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 32, no. 4, pp. 1239-1248, Oct. 1996.
 [10] E. Grosicki and K. Abed-Meraim, "A new trilateration method to mitigate the impact of some non-line-of-sight errors in TOA measurements for mobile Localization," *IEEE int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 4, pp. 1045-1048, Mar. 2005.
 [11] F. Thomas and L. Ros, "Revisiting trilateration for robot Localization," *Trans. on Robotics*, vol. 21, no. 1, pp. 93-101, Feb. 2005.
 [12] W. S. Eom and J. M. Lee, "Ubiquitous Positioning Network of a Mobile Robot with Active Beacon Sensors," *int. Conf. on Circuits/System, Computers and Communications*, Jul. 2007
 [13] B. Barshan, "Fast processing techniques for accurate ultrasonic range measurements," *IOP J. Meas. Sci. Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 45-50, Jan. 2000.
 [14] M. Parrialla, J. J. Anaya and C. Fritsch, "Digital signal processing techniques for high accuracy ultrasonic range measurements," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 40, no. 4, pp. 759-763, Aug. 1991.
 [15] S. Y. Yi and B. W. Choi, "Autonomous navigation of indoor mobile robots using a global ultrasonic system," *Robotica*, vol. 22, no. 4, pp. 369-374, Aug. 2004.
 [16] S. B. Kim, J. M. Lee, and I. O. Lee, "Precise Indoor Localization System For a Mobile Robot Using Auto Calibration Algorithm," *int. Conf. on Advanced Robotics*, pp. 635-640, Aug. 2007.
 [17] 서대근, 조성호, 이장명, "iGS를 이용한 모바일 로봇의 실내위치 추정 알고리즘," 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제3호, pp. 242-247. Mar. 2008.

엄 위 섭



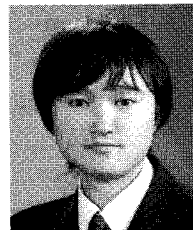
1998년 부산대학교 항공우주공학과 졸업. 2002년 동 대학원 석사. 2007년~현재 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학 중. 관심분야는 모터제어, 최적 동력분배, Localization.

박 재 현



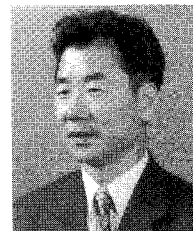
2008년 동의대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2008년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중. 관심분야는 지능로봇제어, Localization, 센서네트워크.

서 대 근



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

이 장 명



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