

# 능동형 인공표지를 이용한 이동로봇의 위치 인식

이재경<sup>\*</sup>, 박영환<sup>1</sup>

## Localization of Mobile Robot using Active Landmark

Jae-Kyung Lee<sup>1\*</sup> and Young-Hwan Park<sup>1</sup>

**요약** 이동로봇이 임의의 작업공간에서 임무를 수행하기 위해서는 주변 환경에 대한 위치 인식 능력이 있어야 한다. 본 논문에서는 새로운 능동형 인공표지를 이용하여 이동로봇의 위치를 인식할 수 있는 방법을 제안한다. 능동형 인공표지에는 이동로봇에서 무선통신으로 제어가 가능한 LED가 부착되어 있는데, 제안한 방법은 CCD 카메라로 인공표지의 LED가 점등 및 소등된 두 영상의 차영상을 이용하여 인공표지 여부를 판별하기 때문에 주변 환경의 복잡도에 관계없이 인식시간을 최소화할 수 있으며 인공표지의 특징점 정보를 이용하여 간단하게 위치를 인식할 수 있다. 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 실험을 하였으며 실험 결과는 제안한 방법이 이동로봇의 위치 인식에 적용될 수 있음을 보였다.

**Abstract** In order that a mobile robot can perform tasks in unknown environment localization of a mobile robot is essential task. In this paper, a new localization method for a mobile robot using an active landmark is proposed, which is very simple to implement. The landmark has a LED which can be controlled by a mobile robot via wireless communication. CCD camera gets two images of the landmark, one of which is with LED off and the other is with LED on. Because the landmark can be detected by using the difference image of the two images, detection time can be minimized. By using the characteristic points of the landmark, localization can be performed simply. A series of experiments are performed to evaluate the proposed method and the experimental results show that the proposed method can be applicable to the localization of a mobile robot.

**Key Words** : Localization, Mobile Robot, Active Landmark

### 1. 서론

이동로봇이 작업공간을 안전하게 이동하며 주어진 임무를 성공적으로 수행하기 위해서는 주변 환경에 대한 위치 인식 능력이 있어야 한다[1]. 위치 인식은 이동로봇의 핵심 기술로서 이동로봇이 속한 공간에서 2차원 위치 좌표와 로봇이 향한 방향정보를 알아내는 것을 말한다.

이동로봇은 매우 광범위한 분야에 응용되고 있는데, 그 중 가장 상용화가 많이 된 분야가 가정용 청소로봇이다. 최근 맞벌이 부부의 증가 등으로 가정에서의 대표적이 기피 작업인 청소를 사람대신 하는 청소로봇에 대한 요구가 증대됨에 따라 다양한 기능을 가진 청소로봇이 개발되고 있다. 가정용 청소로봇은 이동로봇에 청소기구

가 추가된 방식을 채택하고 있다. 즉, 이동로봇이 청소기구를 작동시킨 상태에서 청소 구역을 이동함으로써 청소가 이루어지게 된다. 그런데, 청소로봇이 위치 인식 능력이 없을 경우 랜덤 방식으로 청소를 해야 하기 때문에 청소를 한 구역과 하지 않은 구역을 판단하지 못하므로 사람이 할 경우보다 청소시간이 훨씬 많이 소요될 뿐 아니라 아무리 오랫동안 청소를 하더라도 청소 불능 구역이 존재하는 등의 문제점을 가지게 된다. 따라서 상기 청소로봇의 예에서 보듯이 이동로봇이 주어진 임무를 효율적으로 수행하려면 위치 인식 능력이 필수적이기 때문에 실내공간에서의 위치 인식 기술에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[2-5].

무선통신 기반의 위치 인식 기술로 잘 알려진 GPS(Global Positioning System)기술은 정확도가 높고 전 세계적으로 동작이 가능하며 사용료가 없기 때문에 실외의 위치 인식을 위하여 널리 사용되고 있으나 실내 환경에서는 사용이 불가능하다. Fox 등은 초음파 센서나 레이

이 논문은 2006년도 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육인적자원부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구임

<sup>1</sup>충주대학교 정보제어공학과

<sup>\*</sup>교신저자: 이재경(jklee@cjnu.ac.kr)

저 거리계 등을 이용하여 이동로봇의 주위 장애물까지의 거리를 측정하고 장애물지도와 정합하여 위치를 추정하였으나 이 방법은 장애물의 형상에 영향을 받을 뿐 아니라 처리시간이 많이 걸리고 정확한 위치 인식이 어렵다 [6]. Yuen 등은 컴퓨터 비전을 이용하여 자연적으로 존재하는 특징 중 배경과 구분이 뛰어난 자연 표지를 이용하여 위치를 인식하는 방법을 연구하였다. 그러나 이 방법은 연산 시간이 많이 걸리고 일반적으로 자연 표식을 찾아내기가 어렵다[7].

본 논문에서는 새로운 능동형 인공표지를 제안하고 능동형 인공표지의 특징점 정보를 이용하여 이동로봇의 위치를 인식할 수 있는 방법을 제안한다.

## 2. 위치 인식 원리

이동로봇의 위치를 인식하기 위하여 그림 1과 같은 좌표계를 사용한다. 그림에서  $\{W\}$  는 월드좌표계,  $\{R\}$  은 이동로봇 좌표계,  $\{C\}$  는 이동로봇에 부착된 카메라 좌표계,  $\{L\}$  은 인공표지의 좌표계를 나타낸다.  $\{W\}$  에 대한  $\{R\}$  의 동차변환행렬  $T_W^R$  는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_W^R = T_W^L T_L^C T_C^R \quad (1)$$

식 (1)에서  $T_W^L$  은  $\{W\}$  에 대한  $\{L\}$  의 동차변환행렬,  $T_L^C$  는  $\{L\}$  에 대한  $\{C\}$  의 동차변환행렬,  $T_C^R$  는  $\{C\}$  에 대한  $\{R\}$  의 동차변환행렬이다. 일반적으로 인공표지는 벽 등에 고정되기 때문에  $T_W^L$  는 상수행렬이다. 그리고 카메라는 팬/틸트 장치로 이동로봇에 고정되므로  $T_C^R$  를 구할 수 있다. 따라서 식 (1)에서  $T_L^C$  을 알면 이동로봇의 자기 위치를 알 수 있다.  $T_L^C = [T_C^L]^{-1}$  이므로 결과적으로 카메라에 대한 인공표지의 상대적인 위치를 측정하면 이동로봇의 위치를 인식할 수 있다.

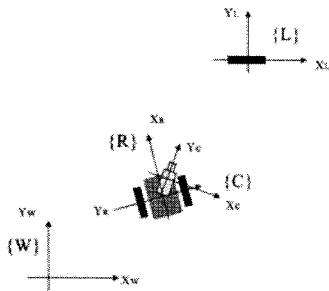


그림 1. 이동로봇의 위치 인식을 위한 좌표계

카메라에 대한 인공표지의 상대위치를 산출하기 위해 그림 2와 같은 투시 변환을 이용한다. 그림에서 인공표지 평면상의 점 Q의 영상을 P라 하고 카메라의 영상좌표계  $\{I\}$  를 기준으로 한 P와 Q의 위치 벡터를 임의의  $w$  를 도입하여 동차 형태로 표시하면 다음과 같이 된다.

$$\tilde{P}^I = (wx_p, wy_p, wz_p, w)^T, \tilde{Q}^I = (x_q, y_q, z_q, 1)^T \quad (2)$$

투시 변환행렬 G를 도입하여 정리하면  $\{I\}$  에 대한  $\{L\}$  의 동차변환행렬  $T_I^L$  는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_I^L = \text{TRANS}(D_x, D_y - f, D_z) \text{ROT}(Z_b, \phi_z) \text{ROT}(Y_b, \phi_y) \text{ROT}(X_b, \phi_x) \quad (3)$$

여기서  $f$  는 카메라의 초점거리이며 TRANS는 병진 변환을 ROT는 회전변환을 나타낸다.

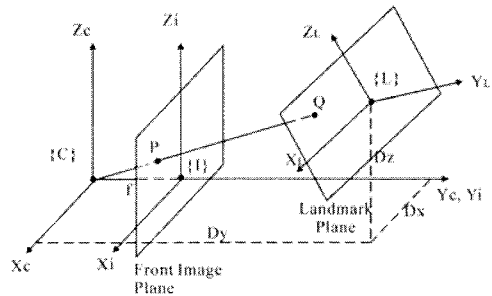


그림 2. 투시 변환(Perspective Transformation)

식 (3)을 정리하면 다음과 같이 된다.

$$T_I^L = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & Dx \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & Dy - f \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & Dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $R_{11} = c_{\phi_y} c_{\phi_z}$ ,  $R_{12} = s_{\phi_x} s_{\phi_y} c_{\phi_z} - c_{\phi_x} s_{\phi_z}$ ,  $R_{13} = s_{\phi_x} s_{\phi_z} + c_{\phi_x} s_{\phi_y} c_{\phi_z}$ ,  $R_{21} = s_{\phi_z} c_{\phi_y}$ ,  $R_{22} = s_{\phi_x} s_{\phi_y} s_{\phi_z} + c_{\phi_x} c_{\phi_z}$ ,  $R_{23} = -s_{\phi_x} c_{\phi_z} + c_{\phi_x} s_{\phi_y} s_{\phi_z}$ ,  $R_{31} = -s_{\phi_y}$ ,  $R_{32} = s_{\phi_x} s_{\phi_y}$ ,  $R_{33} = c_{\phi_x} c_{\phi_y}$  이다. 인공표지 상의 Q점의 위치벡터를  $\tilde{Q}^L = (x_L, 0, y_L, 1)^T$  라하고 영상 위치벡터를  $\tilde{P}^I = (wx_i, wy_i, wz_i, w)^T$  이라 하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{R_{11}x_L + R_{13}z_L + Dx}{w} \\ z_i &= \frac{R_{31}x_L + R_{33}z_L + Dz}{w} \\ w &= \frac{R_{21}x_L + R_{23}z_L + Dy}{f} \end{aligned} \quad (5)$$

위 식을 정리하면 인공표지 상의 임의의 점에 대한 영상좌표를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_i &= f \frac{c_{\phi_y}c_{\phi_z}x_L + (c_{\phi_x}s_{\phi_y}c_{\phi_z} + s_{\phi_x}s_{\phi_z})z_L + Dx}{c_{\phi_y}c_{\phi_z}x_L + (c_{\phi_x}s_{\phi_y}s_{\phi_z} - s_{\phi_x}c_{\phi_z})z_L + Dy} \\ z_i &= f \frac{-s_{\phi_y}x_L + c_{\phi_x}c_{\phi_y}z_L + Dx}{c_{\phi_y}c_{\phi_z}x_L + (c_{\phi_x}s_{\phi_y}s_{\phi_z} - s_{\phi_x}c_{\phi_z})z_L + Dy} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $s_{\phi_x}$ 는  $\sin(\phi_x)$ ,  $c_{\phi_x}$ 는  $\cos(\phi_x)$ 등을 나타낸다. 실내에서 주행하는 이동로봇은 평면을 이동하므로 카메라는 팬기능의 자유도만 있고 인공표지는 수직 벽면에 카메라의 높이와 동일하게 부착한다고 가정하면  $\phi_x = 0$ ,  $\phi_y = 0$ ,  $D_z = 0$ 이 되므로 식 (6)은 다음과 같이 간략화된다.

$$x_i = f \frac{c_{\phi_z}x_L + Dx}{s_{\phi_z}x_L + Dy}, \quad z_i = f \frac{z_L}{s_{\phi_z}x_L + Dy} \quad (7)$$

### 3. 제안한 인공표지

#### 3.1 인공표지 구조

본 논문에서는 그림 3과 같은 인공표지를 제안한다. 인공표지의 중앙 하단에는 이동로봇에서 무선통신으로 On-Off 제어가 가능한 LED가 있으며 LED의 수직 상부에 검은 색의 원이 있다. LED의 좌우에는 대칭으로 검은색의 stripe가 있으며 인공표지의 바탕색은 흰색이다.

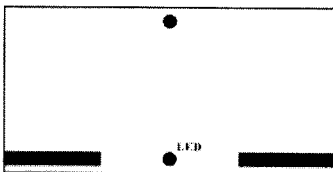
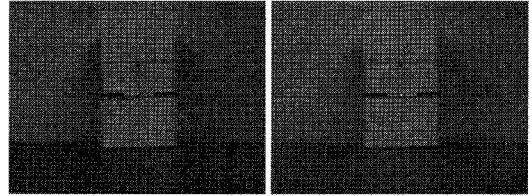
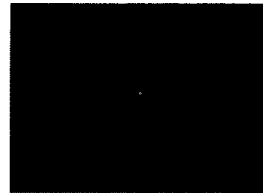


그림 3. 제안한 인공표지

인공표지를 인식하기 위한 영상처리 시간을 줄이기 위하여, 동일한 지점에서 LED를 On-Off한 두 영상의 차영상을 이용한다. 차영상은 주변 환경 영상의 복잡도에 관계없이 LED를 나타내므로 LED영상유무로 인공표지를 인식할 수 있다. 그림 4에서 (a)는 LED Off인 경우의 영상을 나타내고, (b)는 LED On인 경우의 영상을 나타내며 (c)는 차영상을 나타낸다. (c)에서 보듯이 차영상은 LED를 나타낸다.



(a) LED Off인 경우 (b) LED On인 경우



(c) 차영상

그림 4. 인공표지 영상

#### 3.2 인공표지를 이용한 위치 인식 방법

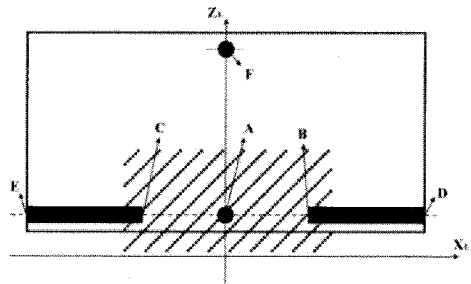


그림 5. 인공표지 좌표계

그림 5는 인공표지의 좌표계를 나타낸다. 픽셀의 불확실성에 의한 오차를 줄이기 위해서는 인공표지의 영상크기가 커야하나 이럴 경우 이동로봇이 인공표지와 가까워지면 인공표지 영상이 영역을 초과하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이동로봇이 인공표지와 가까울 경우와 멀 경우에 서로 다른 특징점의 정보를 이용함으로써 픽셀의 불확실성에 의한 오차를 줄였다. 즉, 그림의 빗금친 영역과 같이 영상에 인공표지의 일부분만 획득되는 경우에는 A,B,C 세 점의 영상 정보를 이용하고 인공표지 전체가 획득되는 경우에는 F,D,E 세 점의 영상 정보를 이용한다.

인공표지의 A와 F의 좌표를  $(0, L_1)$ ,  $(0, L_2)$ 이라 하면 영상면의 다음 위치에 맞힌다.

$$x_{i0} = f \frac{Dx}{Dy} \quad (8)$$

$$z_{i0}(A) = f \frac{L_1}{Dy}, \quad z_{i0}(F) = f \frac{L_2}{Dy} \quad (9)$$

인공표지의 B와 C의  $x$  좌표를 각각  $x_{i1} = H_1$ ,  $x_{i2} = -H_1$  라 할 때 영상면상의 좌표는 다음과 같이 된다.

$$x_{i1} = f \frac{c_{\phi z} H_1 + Dx}{s_{\phi z} H_1 + Dy} \quad (10)$$

$$x_{i2} = f \frac{-c_{\phi z} H_1 + Dx}{-s_{\phi z} H_1 + Dy} \quad (11)$$

식(10)과 식(11)을 정리하면

$$s_{\phi z} = \frac{2fDx - (x_{i1} + x_{i2})Dy}{(x_{i1} - x_{i2})H_1} \quad (12)$$

$$c_{\phi z} = \frac{f(x_{i1} + x_{i2})Dx - 2x_{i1}x_{i2}Dy}{fH_1(x_{i1} - x_{i2})} \quad (13)$$

가된다. 식(8), 식(12), 식(13)을 정리하면  $\phi z$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\phi z = \tan^{-1} \left[ f \frac{2x_{i0} - (x_{i1} + x_{i2})}{x_{i0}(x_{i1} + x_{i2}) - 2x_{i1}x_{i2}} \right] \quad (14)$$

인공표지의 D와 E의  $x$  좌표를  $x_{i1} = H_2$ ,  $x_{i2} = -H_2$  라하고 C와 D의 경우와 동일한 방법으로 구하면 식 (14)와 동일한 결과를 얻을 수 있다.

제안한 방법의 순서도는 그림 6과 같다. 차영상의 중심좌표를 구하면 A점의 좌표( $x_{i0}, z_{i0}$ )가 된다. A점에서  $Z_L$  방향으로 Scan하여 F점이 존재하면 F점의 좌표로 ( $x_{i0}, z_{i0}$ )의 값을 Update한다. 그리고 A점에서  $X_L$  방향으로 Scan하여 Strip의 시작점과 끝나는 점의  $x$  좌표를 구하면 B점과 D점의  $x$  좌표가 되며  $-X_L$  방향으로도 동일한 방법으로 구하면 C점과 E점의  $x$  좌표가 된다. 만약 D점과 E 점이 존재할 경우에는  $x_{i1}$ 에 D점의  $x$  좌표를,  $x_{i2}$ 에 E점의  $x$  좌표를 선택하며 그렇지 않을 경우에는  $x_{i1}$ 에 B점의  $x$  좌

표를 선택하고  $x_{i2}$ 에 C점의  $x$  좌표를 선택한다.

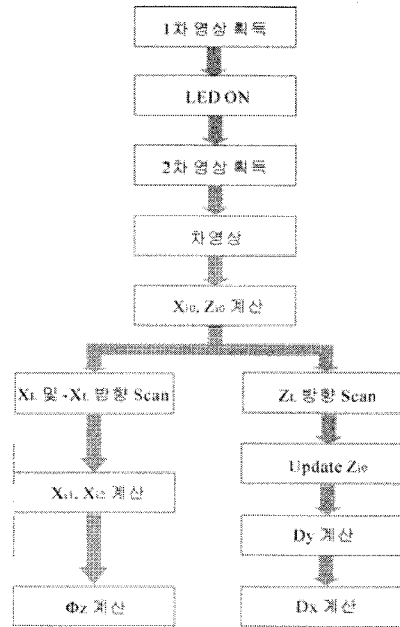


그림 6. 제안한 방법의 순서도

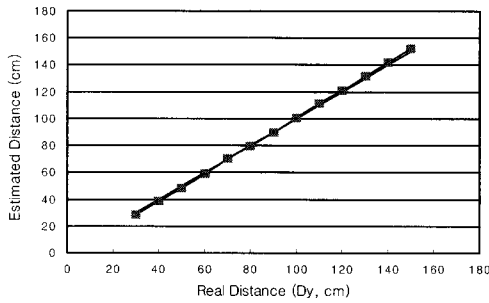
#### 4. 실험 및 결과

실험에는 표1과 같은 능동형 인공표지를 사용하여 세 종류의 실험을 수행하였다. 실험 환경은 일반적인 이동로봇의 작업 환경과 동일하게 무조명의 주간 환경과 형광 등 조명의 야간 환경으로 하였다.

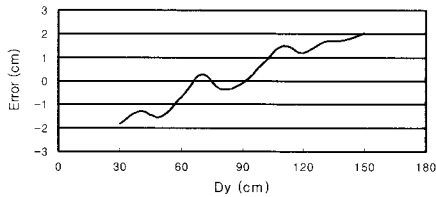
표 1. 실험에 사용한 인공표지

특징점	좌표(cm)	특징점	좌표(cm)
A	(0,5)	D	(12,5)
B	(5,5)	E	(-12,5)
C	(-5,5)	F	(0,15)

첫 번째 실험은  $Dx = 0\text{cm}$ ,  $\phi z = 0^\circ$  로 고정시키고  $Dy$ 를 30cm 부터 10cm 간격으로 150cm까지 변화시키면서  $Dy$ 의 값을 측정하였다. 그림 8은 실험 결과로서 실제  $Dy$ 값과 측정된  $Dy$ 값의 비교와 오차를 보여준다. 평균 오차는 1.15cm 로 실제 값을 잘 추정함을 알 수 있다.



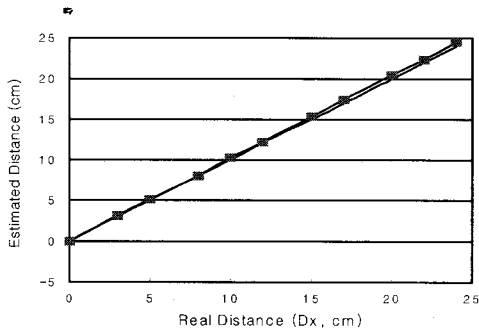
(a) 실제  $Dy$ 값과 측정된  $Dy$ 값의 비교



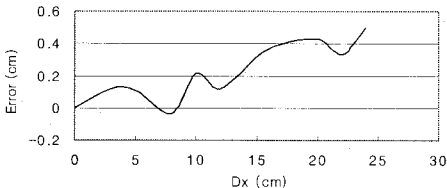
(b) 오차

그림 8.  $Dy$ 값 변화에 대한 실험결과

두 번째 실험은  $Dy = 100\text{cm}$ ,  $\phi z = 0^\circ$  로 고정시키고  $Dx$ 를 0cm 부터 24cm 까지 변화시키면서  $Dx$ 를 측정하였다. 그림 9는 실험 결과로서 실제  $Dx$ 값과 측정된  $Dx$ 값의 비교와 오차를 보여준다. 평균 오차는 0.23cm로 실제 값을 잘 추정함을 알 수 있다.

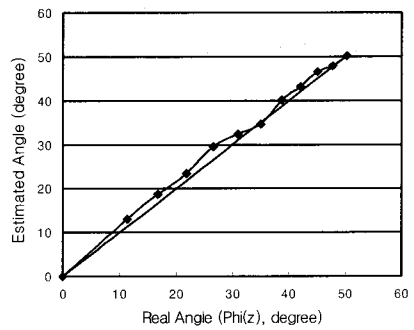


(a) 실제  $Dx$ 값과 측정된  $Dx$ 값의 비교

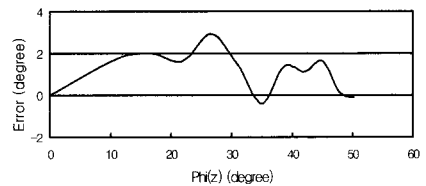


(b) 오차

그림 9.  $Dx$ 값 변화에 대한 실험결과



(a) 실제  $\phi z$ 값과 측정된  $\phi z$ 값 비교



(b) 오차

그림 10.  $\phi z$ 값 변화에 대한 실험결과

세 번째 실험은  $Dy$ 를 100cm 부터 156cm 까지 변화 시킴과 동시에  $\phi z$ 를  $0^\circ$  부터  $50.2^\circ$  까지 변화시키면서 방향각을 측정하였다. 그림 10은 실험 결과로서 실제  $\phi z$ 값과 측정된  $\phi z$ 값의 비교와 오차를 보여준다. 평균 오차는  $1.26^\circ$  로 실제 값을 잘 추정함을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 위치 인식을 위해 실내 환경에서 사용할 수 있는 능동형 인공표지를 제안하였고 CCD 카메라를 사용하여 인공표지의 영상 특징점으로 부터 위치를 인식할 수 있는 방법을 제안하였다. 능동형 인공표지는 이동로봇에서 무선통신을 통하여 제어가 가능한 LED를 부착하고 있기 때문에 이동로봇이 영상을 획득할 때 LED가 On된 경우와 Off된 경우의 두 영상의 차 영상 획득이 가능한 구조로 되어있다. 따라서 주변 환경의 복잡성에 관계없이 짧은 시간에 인공표지 인식이 가능하며 이동로봇이 인공표지와 가까울 경우와 멀 경우에서 다른 특징점의 정보를 이용함으로써 오차를 줄였다.

제안된 방법의 성능을 평가하기 위하여 실험을 수행하였으며 실험 결과는 제안된 방법이 이동로봇의 위치 인식에 적용될 수 있음을 보였다.

## 참고문헌

- [1] K. Pahlavan, X.Li, and J.Makela, "Indoor geolocation science and technology", IEEE Communications Magazine, pp.112-118, 2002.
- [2] 하경남, 이경창, 이석, "스마트 홈을 위한 PIR센서 기반 맥내 위치 인식 시스템 개발", 제어·자동화시스템 공학 논문지, 제12권, 제9호, pp.905-911, 2006.
- [3] 최정욱, 오동익, 김승우, "RFID 태그플로어 방식의 내비게이션에 관한 연구", 제어·자동화시스템 공학 논문지, 제12권, 제10호, pp.968-974, 2006.
- [4] J.Hightower and G.Borriello, "Localization system for ubiquitous computing", IEEE Computer, vol. 34, no. 8, pp.57-66, 2001.
- [5] 임형수, 최승우, 이장명, "모바일 로봇을 위한 RFID 센서공간에서 효율적인 위치인식 알고리즘", 제어·자동화시스템 공학 논문지, 제13권, 제10호, pp.949-955, 2007.
- [6] D.Fox and W.Burgard, "Active markov localization for mobile robots", Robotics and Autonomous Systems, vol. 25, pp.195-207, 1999.
- [7] D.C.K.Yuen and B.A.MacDonald, "Vision-based Localization algorithm based on landmark matching, triangulization, reconstruction and comparision", IEEE Trans. Robotics, vol. 21, no. 2, pp.217-226, Apr. 2005.

### 박 영 환(Young-Hwan Park)

[정회원]



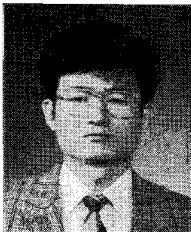
- 1986년 2월 : 고려대학교 공대 전기공학과 졸업
- 1990년 2월 : 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사)
- 1998년 2월 : 동 대학원 전기공학과 졸업 (박사)
- 1998년 9월~현재 : 충주대학교 정보제어공학과 부교수

<관심분야>

제어이론(적응제어, 비선형제어), 자율이동로봇

### 이 재 경(Jae-Kyung Lee)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (학사)
- 1982년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 기계공학과 (석사)
- 1996년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 기계공학과 (박사)
- 1982년 ~ 1986년 : 대우중공업 중앙연구소

- 1987년 ~ 1996년 : 한국원자력 연구소 첨단로봇연구실
- 1997년 ~ 현재 : 충주대학교 정보제어공학과 교수

<관심분야>

이동로봇, 지능시스템, 컴퓨터비전