

## 천장 부착 컬러 표식을 이용한 이동로봇의 자기위치추정

오종규, 이찬호  
현대중공업 기전연구소

### Localization of Mobile Robot Using Color Landmark mounted on Ceiling

Jong-Kyu Oh, Chan-Ho Lee

Electro Mechanical Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

**Abstract** - In this paper, we proposed localization method of mobile robot using color landmark mounted on ceiling. This work is composed 2 parts : *landmark recognition part* which finds the position of multiple landmarks in image and identifies them and *absolute position estimation part* which estimates the location and orientation of mobile robot in indoor environment. In landmark recognition part, mobile robot detects artificial color landmarks using simple histogram intersection method in *rg* color space which is insensitive to the change of illumination. Then absolute position estimation part calculates relative position of the mobile robot to the detected landmarks. For the verification of proposed algorithm, ceiling-orientated camera was installed on a mobile robot and performance of localization was examined by designed artificial color landmarks. As the result of test, mobile robot could achieve the reliable landmark detection and accurately estimate the position of mobile robot in indoor environment.

## 1. 서 론

자율 이동로봇이 안전하게 목적지에 도달하기 위해서는 현재 이동 로봇이 속해 있는 주변 환경에 대해서 자신의 위치를 스스로 추정할 수 있어야 한다. 이동로봇이 현재의 위치를 추정하기 위한 방법은 데드 레코닝 (dead-reckoning)이라고 불리는 상대적 위치 추정 방법과 외부의 레퍼런스 위치정보를 이용하여 위치를 계측하는 절대적 위치 추정 방법 두 가지로 나눌 수 있다. 상대적 위치 추정 방법은 샘플링 레이트와 단기간 정확도가 우수한 엔코더나 자이로를 이용하는 방법으로 장시간 사용 시 측정 오차가 누적되며, 예기치 못한 일로 과거의 데이터를 잃어버렸을 경우, 위치 추정이 불가능해지는 단점이 있다. 따라서 자율 이동로봇의 공간상의 위치를 직접 측정할 수 있는 외계 인식 센서가 필요한데, 최근에 인간의 시각 능력을 모사한 비전 센서를 이용한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 비전 센서에 의한 이동 로봇의 위치인식은 이미 알고있는 위치에 있는 자연 물체를 검출하는 방법과 인위적인 표식을 검출하는 방법으로 구분된다. 자연 표식을 이용하는 방법은 주위 물체가 비교적 단순한 형태인 경우에는 적용이 가능하나 주위의 상황이 변화하거나 검출할 적절한 물체가 없는 경우에는 적용이 불가능하다[1]. 반면에 인공표식을 이용하는 방법은 먼저 실내환경에서 설치 및 인식이 용이한 표식 설계 및 부착작업과 같은 초기 작업이 요구되는 단점은 있으나, 적절한 표식배치를 통하여 보다 안정된 표

식인식 환경을 구축할 수 있으며, 정의되어진 표식 인식 알고리즘만을 효과적으로 적용할 경우 신속하고 안정하게 이동 로봇의 위치를 추정 할 수 있다.[2] 인공표식 모델은 검출 알고리즘을 고려하여 제작되는데, 바 코드와 같은 특정 형태를 지닌 표식 모델이 제안되기도 하였고 최근에는 Briggs가 self-similar 패턴을 제안하기도 하였다.[4] 그러나 이런 특정 형태 정보를 이용하는 경우에는 영상의 번짐(blurring)이나 비초점(defocus), 잡음 등의 영향에 민감하게 반응한다. 컬러 표식을 사용하는 최근의 연구에서는 컬러 정보의 조명 및 주위 환경에 대한 민감성으로 인해 표식 인식의 오류를 보였다.[3] 따라서 본 논문에서는 흑백영상에 비해 보다 많은 정보를 제공하는 컬러 표식을 비교적 환경이 단순한 실내의 천장에 부착하고 이를 빠르고 강인하게 검출하여 이동 로봇의 자기위치를 추정하는 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 조명 및 기하학적인 변화에 강인한 인식 설계를 설명하고, 3장과 4장에서는 제작된 표식을 인식하기 위한 컬러 표식 인식 방법과 천장 부착 표식을 이용한 자기위치추정 방법을 설명한다.

## 2. 컬러 표식

### 2.1 표식 설계

조명 및 표식의 회전(rotation), 크기 변화(scaling)에 대해서도 검출이 가능한 표식을 설계하기 위해서는 조명변화에 강인한 컬러특성을 제공할 수 있는 컬러공간의 선정, 표식 모델간의 차별화가 용이한 컬러의 선정, 그리고 조망 방향 및 거리 변화에 강인하게 대응할 수 있는 구조를 갖는 컬러 패턴의 구성 등의 요소들을 결정하여야 한다.

#### 2.1.1 컬러 공간

색상은 물체의 특성을 나타내는 고유한 특징점이 될 수 있으며, 물체를 인식하는데 중요한 정보를 제공한다. 모든 색상은 3개의 원색(primary color), 즉 적색(R), 녹색(G), 청색(B)의 조합으로 표현될 수 있다. 색을 표현하는 형식에는 사용하는 용도에 따라 여러 가지가 있는데 일반적으로 화상에서의 컬러모델로는 다른 컬러 모델로 쉽게 변환이 가능한 RGB 모델을 많이 사용하고 있으며, TV 및 비디오에서의 컬러모델로는 YUV 등이 있다. 디지털 영상을 획득하는 프레임 그레버는 아날로그 신호를 각각의 화소에 대해 세 개씩의 레벨 값으로 변환한다. 즉, 한 화소는 각각 0~255 사이의 값을 가지는 R, G, B의 조합으로 표현되는데 이것은 색상뿐만 아니라 빛의 휘도 까지 포함한 값이다. 색상을 이용하여 일련의 작업을 하려고 할 때 큰 문제로 나타나는 것이 조명의 영향이다. 조명의 변화에 색상은 영향을 받지 않으나 휘도는 크게 영향을 받으므로, 이러한 조명에 의한 영향을 제거시킬 수 있는 정규화 과정을 거쳐야 한다.

본 연구에서는 조명의 성분으로 정규화 하여 입력 색의 적색, 녹색 비율로 구성되는 rg 컬러 모델을 사용한다. 식 (1)은 RGB 컬러 모델과 rg 컬러 모델과의 관계를 나타낸 식이다.

$$r = \frac{R}{R+G+B}, g = \frac{G}{R+G+B} \quad \text{식(1)}$$

### 2.1.2 컬러 선정

표식에 사용될 색은 표식 모델간의 차별화가 용이한 색을 선정하기 위하여, 그림 1과 같이 rg 컬러 공간에서 색간의 거리가 먼 위치에 배치되는 6개중 모서리에 위치하는 3개를 사용하였다.

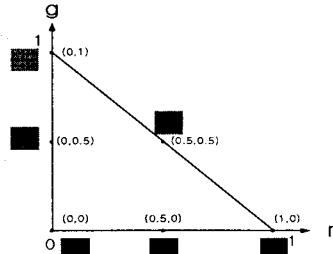
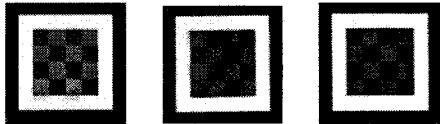


그림 1. 컬러 선정

### 2.1.3 컬러 패턴

표식 내 컬러 패턴의 형태는 그림 1에서 색 간 거리가 먼 위치에 배치된 3가지의 색들을 각각 블록형태로 구성한 후, 그림 2와 같이 2가지의 색 블록으로 구성된 패턴들을 좌우 대칭의 모양이 반복되는 형태로 구성함으로써 표식과 카메라간의 조망(viewing) 방향과 거리 변화에 의한 영상 내 표식의 회전(rotation) 및 크기 변화에 의한 특징량 변화가 적게 하였다. 그리고 표식의 중심점을 구하기 위하여 점정 테두리를 컬러 표식 주위에 추가하였다.



a)모델 0      b)모델 1      c)모델 2

그림 2. 표식 설계

## 3. 컬러 표식 인식 방법

표식기반 자율이동로봇은 이동하면서 자신의 위치를 파악하기 위해 표식을 검출해야만 한다. 이를 위해 기존에는 템플릿(templet)기반 정합 알고리즘이 일반적으로 사용되었다. 하지만 SSD(Sum of Squared Difference)나 NCC(Normalized Cross Correlation)등을 이용한 기존의 템플릿 정합방식은 시간이 많이 소비되고 또한 보는 시각이 바뀌거나 표식이 부분적으로 가려져 있을 경우 표식인식의 오류를 보였다. 본 논문에서는 비교적 단순한 환경인 천장에 부착된 표식을 컬러 히스토그램 인터섹션방법을 이용하여 빠르고 강인하게 검출하는 알고리즘을 제안한다.

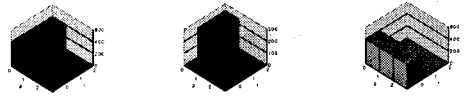
### 3.1 컬러 히스토그램 인터섹션

본 논문에서, 샘플 블록과 표식 모델간의 유사도 측정에는 히스토그램 인터섹션방법을 사용한다.[5] 모델의 히스토그램을  $H_{model}$ , 샘플의 히스토그램을  $H_{block}$ 라 할 때, 표식 모델과 샘플 블록의 히스토그램 인터섹션은 식 (2)와 같이 정의되어지는데, 이것은 모델 히스토그램과

샘플 히스토그램의 인터섹션이 최소가 되는 히스토그램을 누적하여, 누적된 인터섹션 값이 최대가 되는 블록을 표식이 존재하는 영역으로 판단하게 한다.

$$H_{intersection} = \sum_{i \in X, j \in Y} \min\{H_{model}(i, j), H_{block}(i, j)\} \quad \text{식(2)}$$

그림 3은 그림 2의 표식 모델의 히스토그램 영역 분포를 보여준다.



a)모델 0      b)모델 1      c)모델 2  
그림 3. 표식 모델의 히스토그램 영역 분포

### 3.2 표식 인식

그림 4는 표식 인식을 위한 전체 시스템 구성도이다. 전체적인 구조는 크게 컬러 정보를 이용하여 표식의 대략적인 위치를 구하는 컬러 영상 처리 부분과 표식의 테두리 부분을 인식하여 표식의 중심점을 획득하는 이진 영상 처리 부분으로 나눌 수 있다. 컬러 영상 처리 부분은 이미 알고있는 표식 모델의 히스토그램 영역 분포와 샘플 블록의 히스토그램 영역 분포의 인터섹션을 구하고 각각의 모델에 대하여 최대가 되는 인터섹션 값을 저장한 후, 적절한 임계값(threshold)에 의하여 표식의 존재여부를 판단하는 부분이다. 이진 영상 처리 부분은 컬러 영상 처리를 통하여 인식된 표식을 중심으로 일정 크기의 부분 영상을 얻어서 이치화하고, 이치화된 영상을 바탕으로 레이블링(labeling) 과정을 거친 후 레이블링 정보 중 최대가 되는 부분을 표식의 테두리 정보로 인식하고 표식의 중심점을 구한다.

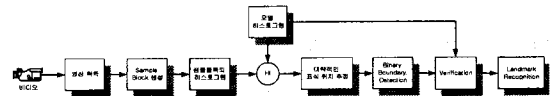


그림 4. 표식 인식 시스템 구성도

### 3.3 컬러 표식 인식 실험 및 결과분석

제안된 알고리즘을 표 1과 같은 개발환경에서 실험하였다.

표 1. 개발 사양

H/W	사양
카메라	TELI-CS5260D
프레임 그래픽	Matrox Meteor II
PC	P III-800 MHZ, RAM : 256 MB

그림 5는 그림 2의 표식 모델의 히스토그램 영역 정보를 이용하여 제안된 표식 인식 방법을 적용한 결과이다. a)는 카메라로부터 획득된 영상이고 b)는 유사도 비교를 위하여 샘플 블록을 발생시킨 영상이다. c)는 각각의 모델에 대하여 히스토그램 영역 인터섹션이 가장 크게 나타난 샘플의 위치를 보여준다. d)는 이치화 영상 처리를 이용하여 표식의 테두리 정보를 획득하고 표식의 중심 위치를 인식한 결과이다. d)의 흰색 블록이 표식의 중심을 나타내고, 빨간색 부분은 인식된 테두리 부분을 나타낸다. 인식된 표식의 테두리 정보들은 이동로봇의 자기위치인식을 위한 입력으로 사용된다. e)는 각 표식의 중심에 대하여 히스토그램을 계 계산하여 표식을 검증한 결과를 보여주고, f)는 두 표식의 거리를 이용하여 표식의 고유번호를 판단하는 컬러코드와 표식의 각도를 구한 결과이다. 수행시간은 해상도가 640\*480인 영상

을 사용할 때 프레임당 500msec정도 걸린다.

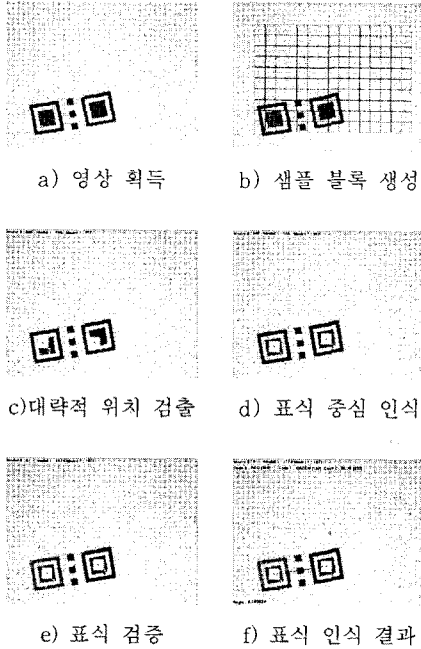


그림 5. 표식 인식 결과

그림 6은 제안된 표식 인식 알고리즘이 표식의 크기, 회전, 조명변화에 대하여 강인하게 대응함을 보여준다. 그림 6의 a)는 초점거리가 작은 렌즈를 사용하여 표식의 크기가 작게 보이는 영상에서 표식을 인식한 결과이고, b)는 표식이 회전되어 획득된 영상에서 표식을 인식한 결과이다. 그림 c)는 그림 b)와 동일한 상황에서 조명의 변화로 인해 어렵게 획득된 영상에서 표식인식을 수행한 결과이다.

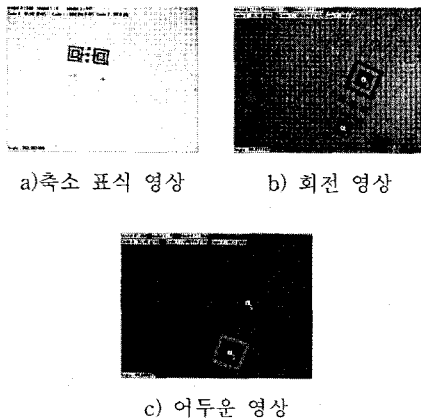


그림 6. 표식의 기하학적인 변화에 따른 인식 성능

#### 4. 자기위치추정

본 장에서는 일정한 높이, 균일한 배경, 시야방해요인이 적은 실내공간의 천장에 절대위치와 방향정보를 알고 있는 컬러표식을 부착한 후, 이동로봇에 부착되어진 천장지향 카메라를 이용하여 표식의 위치와 고유번호를 인식함으로써, 이동로봇의 자기위치를 추정하는 방법을 제안한다.

#### 4.1 자세 및 위치추정

천장부착 표식인식기반 자기위치추정방법은 크게 2가지 단계에 의하여 수행된다. 첫 번째 단계는 이동로봇에 부착되어진 천장지향 카메라와 천장표식간의 기하학적 변환관계를 추정하는 카메라 보정 단계로서 최초 1회만 수행된다. 본 연구에서 사용된 카메라 보정 방법은 실측거리가 균일하게 배치되어진 검은 블록들이 그려져 있는 보정판을 천장에 부착한 후, 천장지향 카메라로 보정판의 영상을 획득하여, 보정판 상의 블록들의 영상좌표계 기준 위치값과 실측치와의 상대위치를 계측하였다.

두 번째 단계는 이동로봇의 자세와 위치정보를 추정하는 단계로서, 그림 7과 같이 컬러모델과 컬러코드로 구성되어진 컬러표식을 3장에서 제안된 표식인식 방법에 의하여, 계측되어진 영상좌표계상에서의 표식의 위치, 회전량 및 고유번호를 이용하여, 자기위치를 추정한다. [6]

이동로봇의 자세는 그림7의 표식위치정보  $L_{11}$ 와  $L_{12}$ 에 의하여 구해지는데, 먼저 식(3)을 이용하여,  $L_{11}$ 과  $L_{12}$ 의 영상좌표계상에서의 변화량  $\Delta_x, \Delta_y$ 를 구한 후, 식(4)과 (5)에 의하여, 영상좌표계를 기준한 회전량  $\theta_{iz}$ 을 구한다.

$$\Delta_x = L_{11x} - L_{12x} \quad \Delta_y = L_{11y} - L_{12y} \quad \text{식(3)}$$

$$\theta_{iz} = \text{atan}\left(\frac{\Delta_y}{\Delta_x}\right) \quad \text{식(4)}$$

$$\begin{aligned} \Delta_x > 0, \Delta_y > 0 \text{ 이면 } & \theta_{iz} = 180^\circ - \theta_{iz} \\ \Delta_x > 0, \Delta_y \leq 0 \text{ 이면 } & \theta_{iz} = 180^\circ - \theta_{iz} \\ \Delta_x \leq 0, \Delta_y > 0 \text{ 이면 } & \theta_{iz} = -\theta_{iz} \\ \Delta_x \leq 0, \Delta_y \leq 0 \text{ 이면 } & \theta_{iz} = 360^\circ - \theta_{iz} \end{aligned} \quad \text{식(5)}$$

이때, 천장부착 표식의 월드좌표계를 기준으로한 부착각도  $\theta_{LWZ}$ 가 이미 정의되어 있으므로, 월드좌표계를 기준한 이동로봇의 자세, 즉, 회전각도  $\theta_{RZ}$ 는 식(6)에 의하여 추정된다.

$$\theta_{RZ} = \theta_{LWZ} + \theta_{iz} \quad \text{식(6)}$$

또한, 이동로봇의 위치는 식(6)에서 구해진 이동로봇의 회전각도  $\theta_{RZ}$ 를 이용하여, 식(7)과 (8), (9)에 의하여, 간단하게 추정된다.

$$\begin{bmatrix} P_{WZ} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^W R \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{Roz} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{RCL} \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{식(7)}$$

$$X_R = X_L + \cos \theta_{RZ} X_{CL} - \sin \theta_{RZ} Y_{CL} \quad \text{식(8)}$$

$$Y_R = Y_L + \sin \theta_{RZ} X_{CL} + \cos \theta_{RZ} Y_{CL} \quad \text{식(9)}$$

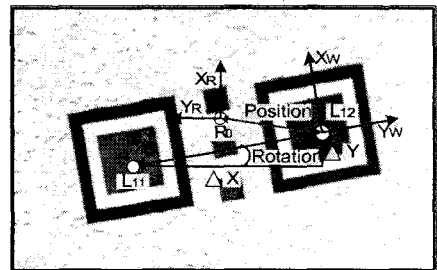


그림 7. 자기위치추정

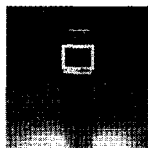
표 2. 용어정의

$L_{11}$	:이동로봇의 회전량 계측 시 사용되는 기준점
$L_{12}$	:월드좌표계를 기준하여, 표식에 설정되어진 표식의 원점
$R_0$	:영상좌표계상에 설정되어진 이동로봇의 중심점
$\theta_{RZ}$	:월드좌표계를 기준한 이동로봇의 회전량
$\theta_{LWZ}$	:월드좌표계를 기준한 표식의 부착 각도
$\theta_{IZ}$	:영상좌표계를 기준한 이동로봇의 회전량
$P_{WL_{12}}$	:월드좌표계를 기준한 표식원점 $L_{12}$ 의 위치 (= $X_L, Y_L$ )
${}^W R$	:월드좌표계를 기준한 이동로봇의 Rotation matrix
${}^W P_{Rotor}$	:월드좌표계를 기준한 이동로봇의 위치 (= $X_R, Y_R$ )
$P_{RCL_{12}}$	:로봇중심점에서 바라본 표식원점 $L_{12}$ 까지의 거리
$X_{CL}, Y_{CL}$	:카메라에서 바라본 표식원점 $L_{12}$ 까지의 거리

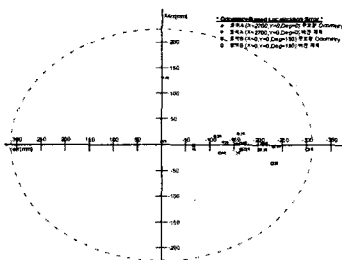
4.2 자기위치추정 실험 및 결과분석

그림8의 (a)는 형광등에 의하여 실내 조명이 공급되고 있는 실험 환경을 보여준다. 설계된 컬러 표식은 실내 천장의 A(0,0)와 B(2700,0)[mm]에 부착되었고, 실험용 이동로봇은 Active Media사의 Pioneer 2-DX가 사용되었다. 표식A와 B 사이를 엔코더정보만을 이용하여 왕복주행 할 경우의 자기위치추정량과 천장표식으로 자기위치를 추정, 갱신하며 왕복주행 했을 경우의 자기위치추정량을 계측하여, 표식A와 B 위치에서의 절대위치를 기준으로 위치추정 오차량을 비교하였다.

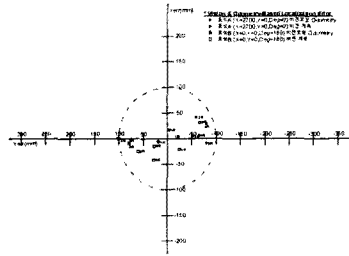
시험결과, 외부의 절대위치정보를 활용하지 않고 엔코더정보만을 이용하여 이동로봇이 왕복주행 했을 경우에는 그림8의 (b)와 같이 약 4회 왕복주행 시 300mm의 위치추정 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 그 위치 오차량은 주행횟수가 늘어날수록 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 천장부착 컬러표식의 절대위치정보를 이동로봇이 영상처리시스템을 이용하여, 인식하며, 약 4회 왕복주행 할 경우에는 그림8의 (c)와 같이 100mm내의 위치오차를 보이는 것을 확인할 수 있었다.



a) 주행시험



b) 엔코더기반 주행오차



c) 표식기반 주행오차

그림 8. 이동로봇 주행성능시험 예

5. 결 론

본 논문에서는 천장 부착 컬러 표식을 이용하여 이동로봇의 자기위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 조명 및 환경 변화에 강인한 컬러 표식을 설계하였으며, 히스토그램 인터섹션 방법을 기반으로 하는 표식 인식 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 실내 환경에서 적용한 결과, 영상에서의 표식의 위치 및 방향을 정확하게 인식할 수 있었으며 왕복 주행 실험을 통하여 이동로봇이 표식을 이용하여 자기위치추정을 할 경우, 안정된 주행이 가능함을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Rafael Murrieta-Cid, Maurice Briot, Nicolas Vandapel "Landmark identification and tracking in natural environment" proceedings of the 1998 IEEE/RSJ intl. Conference on Intelligent Robots and Systems, Oct. 1998.
- [2] Kuk-Jin Yoon, In-So Kwon, Chan-Ho Lee, Jong-Kyu Oh, In-Taek Yeo, "Landmark design and real-time landmark tracking using color histogram for mobile robot localization" 32th International Symposium on Robotics, Apr. 2000.
- [3] Kuk-Jin Yoon, In-So Kwon, Chan-Ho Lee, Jong-Kyu Oh, In-Taek Yeo, "Landmark design and real-time landmark tracking for mobile robot localization" SPIE International Symposium on Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, Oct. 2001.
- [4] J. Briggs, D. Scharstein, D. Braziunas, C. Dima, P.Wall "Mobile Robot Navigation Using Self-Similar Landmarks", in Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1428-1434, 2000.
- [5] Brian V. Funt, Graham D. Finlayson, "Color Constant Color Indexing", IEEE Trans. on PAMI, VOL. 17 NO.5, pp.522-529, May. 1995.
- [6] M. Betke, L Gurvits, "Mobile Robot Localization Using Landmarks", IEEE Trans. on Robotics and Automation, VOL. 13, NO. 2, pp. 251-263, 2000.