

# 라인 세그먼트를 이용한 이동 로봇의 자기 위치 추정

강 창 훈, 안 현 식  
동명정보대학교 로봇시스템 공학과

## Localization for Mobile Robot Using Line Segments

Chang-Hun Kang, Hyunsik Ahn  
Dept. of Robot System Eng., Tongmyong University of Information Technology  
E-mail: sonijer@yahoo.co.kr

### Abstract

In this paper, we propose a self-localization algorithm using vertical line segments. Indoor environment is consist of horizontal and vertical line features such as doors, furniture, and so on. From the input image, vertical line edges are detected by an edge operator. Then, line segments are obtained by projecting edge image vertically and detecting local maximum from the projected histogram. From the relation of horizontal position of line segments and the location of the robot, nonlinear equations are come out. Localization is done by solving the equations by using Newton's method. Experimental results show that the proposed algorithm using one camera is simple and applicable to indoor environment.

### I. 서론

이동 로봇은 일상생활에서 인간과 공존하는 인간 지향적 로봇으로 발전하고 있다. 이러한 자율적인 행동을 하기 위해서는 환경인식, 경로계획, 주행제어 및 자기 위치 인식 등의 능력을 갖추어야 한다[1]. 자기 위치를 검출하기 위한 방법으로는 초음파 센서, 가속도 센서, 자이로 센서 등 여러 종류의 센서를 이용한 방법이 있으나 인간의 시각 시스템과 비슷한 카메라를 이용한 방법이 지속적으로 연구 되고 있다. 카메라를 이용한 자기 위치 추정 방법은 스테레오 영상화 방법, 전 방향 카메라를 이용한 방법, 및 한 대의 카메라를 이용한 방법 등이 있다. 스테레오 영상화 방법은 두 영상으로부터 시차 정보를 이용하여 대상 물체의 한 점에 대한 상대적 위치 정보를 검출 한다. 이 방법은 두 영상의 화소를 서로 매칭 해야 하므로 상대적으로 많은 시간이 걸리고 카메라를 두 대 사용 하므로 시스템이 복잡하다. 원뿔형 거울을 이용한 전 방

향 시각 방법은 전면, 측면, 후면의 시각을 한 번에 얻을 수 있으나 영상 정보가 기하학적으로 왜곡이 있으며 정확한 자기위치 추정이 어렵다[2]. 한 대의 카메라를 이용한 방법 중 인공의 고정 표식을 이용한 방법은 위치와 방향 등의 정보를 포함한 일정한 패턴이나 도형을 이용하는 방법이다. 움직이는 표식을 이용한 방법은 표식의 이동 경로와 현재 로봇의 위치를 이용하여 이동 로봇의 자기 위치를 추정 한다[3]. 인공 표식을 이용한 방식은 간단하고 효과적인 방식이지만 표식을 설치해야 하는 단점이 있다. 자연 표식을 이용한 방법은 환경 자체가 지니고 있는 기하학적, 광학적인 특성을 이용하는데, 특징, 에지, 코너 등을 이용하여 인식하는 방법이 있다. 최근에 자연 표식을 이용한 방법은 지도 작성과 자기 위치 추정을 동시에 처리 하는 SLAM(Simultaneous Localization and Map-Building)방법이 연구되고 있으며 앞에서 언급한 센서, 스테레오 영상화 방법 등을 토대로 하고 있다[4,5]. 실내 환경에서 작동 하는 홈 로봇의 경우는 가능한 한 하드웨어 구성을 단순화 하고 처리 속도가 빠른 시스템이 요구 된다. 실내 환경은 주로 수직 수평 에지를 중심으로 구성되어 있으며 수직 라인 에지는 위치 추정 정보로 유용하게 사용될 수 있다.

본 논문에서는 실내 환경의 지도가 주어졌을 때 한 대의 카메라로부터 얻어진 영상의 수직성분의 특징을 이용한 이동 로봇의 자기위치 추정 방법을 제안 한다. 본 논문의 구성은 II장에서 자기 위치 추정 방법을 자세히 설명 하고 III장에서 제안한 방법에 대한 타당성을 실험으로 검증하고 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

### II. 자기 위치 추정 방법

본 논문에서 제안한 이동 로봇의 자기 위치 추정 과정은 그림 1과 같다. 이동 로봇이 동작 하는 환경에 대한 가구, 문 등의 수직 에지와 코너의 위치 정보를 가지고 있는 지도를 구성 한다. 실내 환경에서 이동 로봇의 전방에 장착된 카

메라로부터 입력된 영상으로부터 수직선 세그먼트를 구하고, 수직 세그먼트와 영상의 수평축의 교점을 이루는 특징점을 구한다. 이때 검출된 특징점의 수가 3개보다 작으면 이동 로봇에 장착된 엔코더의 정보를 이용하여 회전, 이동 하면서 3개 이상의 특징점을 얻을 때 까지 위의 과정을 반복한다. 다음 단계는 위 과정에서 검출된 특징점과 환경 지도의 특징점을 정합시켜 이동로봇의 절대위치와 자세를 추정한다. 이때 이전의 이동 로봇의 위치와 현 위치의 상대적 위치가 기준 경계 값보다 크면 위치 추정 불확실성이 증가 하고 위치 불확실성이 증가하면 특징점 검출이 되도록 움직인 후 위 과정을 반복한다. 만약 로봇의 이동을 원할 경우 목표로 하는 목적지를 지정하면 목적지에 대한 이동경로를 계획하고 그림 1의 과정을 통해 추정한 결과와 경로 사이의 차이를 보정 하면서 목적지로 이동 하게 된다.

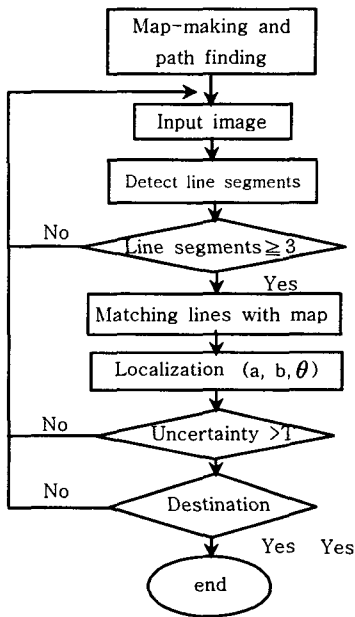


그림 1. 자기 위치 추정 과정

### 2.1 수직 세그먼트 검출

영상에서 직선이나 곡선 선분을 검출하기 위해 허프의 변환을 주로 사용하고 있다. 실내 환경 영상으로부터 허프 변환을 하면 많은 수직선 검출 영역이 나타나며 이로부터 특징점의 수직 세그먼트를 검출 할 수 있으나, 영상이 크면 계산이 복잡하여 처리 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 본 논문에서는 간단하면서도 처리속도가 빠른 방법으로 수직 세그먼트를 검출 하였다. 그림 2는 그 과정을 보여주고 있다. 수직 세그먼트를 검출 하기위해 입력 영상에 대해 소벨 마스크를 사용하여 문턱치 값으로 이치화 하여 수직 성분만 검출 한다. 주변 환경의 장애물과 조명의 변환에 의한 잡음을 제거하기 위해 영상의 수직 방향에 대한 에지 성분을 수직으로 투영하여 축적 히스토그램을 구성한다. 또한 명확하고 긴 수직 세그먼트

성분을 분류하기위해 축적 히스토그램을 1차원 마스크와 컨벌루션하여 가우시안함수의 형태를 가지게 한다. 가우시안 형태의 히스토그램으로부터 최대치를 구해 수직선 세그먼트를 검출한다. 후보 수직선 세그먼트의 각 영역에서 검출된 수직 세그먼트를 영상 이치화 이전의 에지성분과 비교하여, 영상 평면의 수직선 세그먼트의 위치를 나타내는 U축 좌표 값을 특징점으로 검출한다.

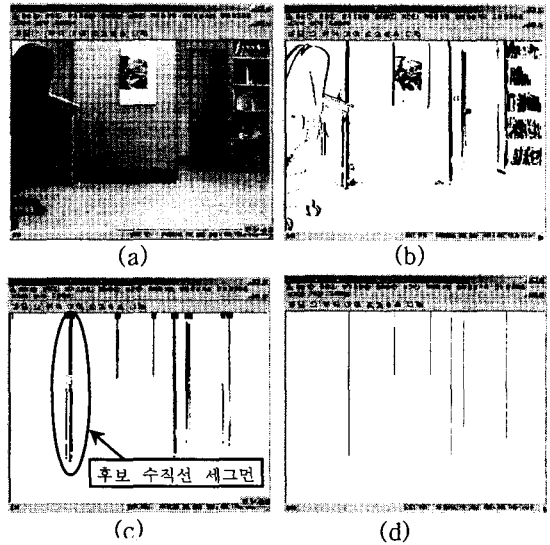


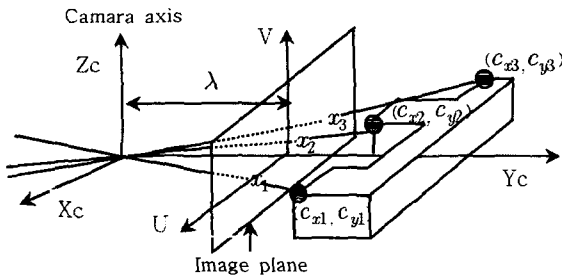
그림 2. 수직 세그먼트 검출

- a) 원 영상
- b) 수직 에지 검출
- c) 후보 수직선 영역 검출
- d) 수직 세그먼트 검출

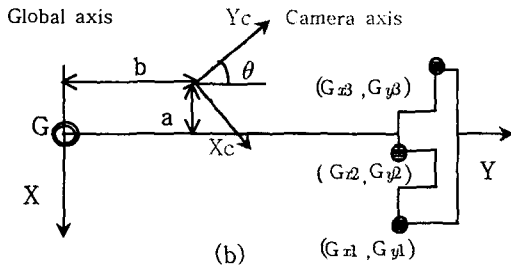
### 2.2 이동 로봇의 자기 위치 추정

본 논문에서는 실내 환경에 대한 수직선 세그먼트를 검출한 후 얻어진 특징점인 n개의 점( $x_1, x_2, \dots, x_n$ )을 카메라 좌표계로 변환 하고, 이를 원근 변환을 함으로서 이동 로봇의 위치와 방향( $a, b, \theta$ )을 추정한다. n이 3이상 이면 위치 검출이 가능하게 되며, ( $a, b, \theta$ )를 구하기 위해 Newton 방법을 이용한 비선형 연립방정식 해법으로 근을 구하였다. 각 좌표계와 행렬은 다음과 같이 정의 한다.

- ( $X, Y, Z$ ) : 전체 좌표계
- ( $Gx_i, Gy_i$ )  $i=1, 2, \dots, n$  : 전체 좌표계의 자연 표식 특징점
- ( $Xc, Yc, Zc$ ) : 카메라 좌표계
- ( $Cx_{ii}, Cy_{ii}$ )  $i=1, 2, \dots, n$  : 카메라 좌표계의 자연 표식 특징점
- ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) : 영상 평면의 특징점
- $\lambda$  : 카메라 초점 거리
- ( $a, b, \theta$ ) : 전체 좌표계에서의 로봇의 이동, 회전 (X축, Y축의 이동 거리, 회전각도)
- n : 특징점의 개수



(a)



(b)

그림 2. 원근 변환과 이동로봇의 위치 추정

(a) 카메라 좌표계의 원근 변환

(b) 전체 좌표계와 카메라 좌표계

카메라 좌표계의 3개의 특징점을 전체 좌표계로 표시하면 다음과 같다. 여기서 로봇은 X, Y축 이동과 Z축 회전으로만 제한하며 특징점은 수평축에 위치하였으므로  $G_z, C_z$ 는 0으로 둔다.

$$\begin{bmatrix} Gx_i \\ Gy_i \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} Cx_i \\ Cy_i \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

여기서 변환 행렬 T는 이동과 회전행렬로서 다음과 같다.

$$T = [T_{trans} | T_{rot}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

전체 좌표계의 자연 표식에 대한 카메라 좌표계로의 좌표 변환은  $T^{-1}$ 를 적용 하면 된다.

$$\begin{bmatrix} Cx_i \\ Cy_i \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = T^{-1} \begin{bmatrix} Gx_i \\ Gy_i \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

여기서  $Gx_i, Gy_i$ 는 사전에 지도 정보로 주어지며 추정되어야 할 파라미터는  $(a, b, \theta)$ 이다. 카메라 좌표계로부터 영상

좌표계로의 원근 변환 식은 다음과 같다

$$Cx_i = \frac{x_i}{\lambda} Cy_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

본 논문에서 위의 식(3)과 (4)로부터  $(a, b, \theta)$ 를 변수로 하는 비선형 연립 방정식이 유도 된다. 여기서 특징의 수가 3개 이상이면 Newton 방법을 이용해 비선형 연립방정식의 해를 구할 수 있다. 벡터함수 F는 n개의 상이한 성분 함수  $f_n$ 을 가지며 이들 각각은 변수중 하나가 변하면 따라서 변한다. 일반 연립 방정식은 함수 F를 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$F(a, b, \theta) = (f_1(a, b, \theta), f_2(a, b, \theta), \dots, f_n(a, b, \theta))^t \quad (5)$$

변수  $(a, b, \theta)$ 을 벡터 P로 표현하면 비선형 연립 방정식은  $F(a, b, \theta) = 0$ 로 표현 할 수 있다.

Jacobi 행렬  $J(a, b, \theta)$ 는

$$J(a, b, \theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(a, b, \theta)}{\partial a} & \frac{\partial f_1(a, b, \theta)}{\partial b} & \frac{\partial f_1(a, b, \theta)}{\partial \theta} \\ \frac{\partial f_2(a, b, \theta)}{\partial a} & \frac{\partial f_2(a, b, \theta)}{\partial b} & \frac{\partial f_2(a, b, \theta)}{\partial \theta} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_n(a, b, \theta)}{\partial a} & \frac{\partial f_n(a, b, \theta)}{\partial b} & \frac{\partial f_n(a, b, \theta)}{\partial \theta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

벡터 방정식  $F(a, b, \theta) = 0$ 으로 표현한 비선형 연립 방정식의 해 P를 찾기 위한 Newton 방법은, 초기 근사 값  $P^{(0)}$ 이 주어지면  $P^{(k)} = P^{(k-1)} - [J(P^{(k-1)})]^{-1} F(P^{(k-1)})$ ,  $k \geq 1$ 이 된다.

해를 구하기 위해 위 과정을 반복하여 구하고 일정한 범위 내에서 값이 변하지 않으면 종료 한다. 여기서  $J(P^{(k-1)})$ 의 역행렬을 구하는 대신 다음의 2단계 연산을 사용한다. 우선  $J(P^{(k-1)}) Y^{(k-1)} = -F(P^{(k-1)})$ 을 만족하는 벡터  $Y^{(k-1)}$ 을 찾는다. 그리고  $P^{(k-1)}$ 에  $Y^{(k-1)}$ 을 더해 새로운 근사 값  $P^{(k)}$ 를 얻는다. 여기서 구해진 해 P는 기준 좌표에 대한 이동 로봇의 위치와 방향  $(a, b, \theta)$ 을 의미한다.

### III. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 자기 위치 검출 방법을 실험실 환경에서 실험 하였다. 여기서 책장, 문, 파티션 등은 기준 좌표계에 대해 각각 약 3m, 6m, 5m에 위치한다. 그림 4는 이동에 따른 수직선 세그먼트를 검출한 결과를 나타낸다. 표 1은 이동 로봇의 이동에 따른 위치와 방향을 검출한 결과이다. 그림 5는 전체 좌표계의 원점에서 Y축을 따라 이동 하면서 발생하는 오차를 그래프로 표시한 결과이다. 이동 로봇과 실내 환경

의 수직 세그먼트와의 거리가 원거리이면 영상의 해상도가 감소하며 근거리이면 해상도가 증가하게 된다. 따라서 자연 표식의 위치가 카메라와 원거리에 위치하면 오차가 증가하며, 근거리에 위치하면 오차가 줄어든다. 그러나 그림 5에서와 같이 물체에 근접할 경우 오차가 증가되는 경우가 발생한다. 이것은 여러개의 에지를 형성하는 문과 같은 자연 표식의 경우 소벨 연산으로 검출된 수직 에지 성분이 원거리에서는 성분이 나타나지만 근거리에서는 단에 따른 여러 개의 수직 에지 성분이 나타나기 때문이다. 본 논문 제안한 방법은 3개 이상의 특징점을 찾아야 하는데 특징점을 찾지 못한 경우는 엔코더 정보를 이용하여 이동 로봇을 회전 또는 이동시킨 후 다시 특징점을 검출한다. 이와 같은 방법으로 자기위치를 추정하면서 앞에서 설정한 경로를 따라 이동한다.

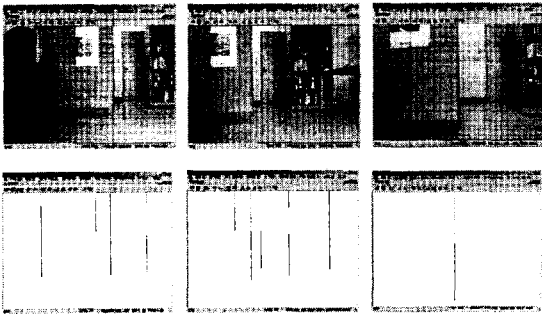


그림 4. 자율이동에 따른 수직 세그먼트 검출

표 1. 위치와 방향에 따른 오차

순번	실제 좌표 값			측정 결과		
	X 축	Y 축	Theta	X	Y	Theta
1	0	0	0	23.7919	46.1322	0.0416
2	-160	100	0	32.5107	41.5437	1.5305
3	-160	600	0	37.6711	61.4102	1.2038
4	-160	1200	0	30.4663	-18.4712	1.3843
5	-160	1800	0	9.3829	9.4685	2.004
6	100	0	0	-19.3495	-18.7642	2.1783
7	300	0	0	68.501	82.5982	1.232
8	-100	0	0	39.6897	-55.9324	1.433
9	-200	0	0	52.7682	-36.5327	1.261
10	-257	450	-10	54.7783	10.6532	1.8141
11	-135	1060	-10	27.5193	88.4951	0.381
12	-90	1210	-10	29.5501	20.7374	1.6306
표준편차 ( $\sigma$ )				22.597	44.79	0.6136

#### IV. 결론

본 논문에서는 실내 환경의 수직선 세그먼트가 카메라 영상 평면의 수평축과 만나는 특징점의 변화에 따른 이동 로봇의 위치와 자세의 변화를 추정하는 알고리즘을 제안 하였다. 먼저 입력된 영상에서 수직선 에지 검출 후 축적 히스토그램을 이용하여 수직선 세그먼트를 얻고, 이로부터 3개 이상의 특징 점을 구한다. 이때 검출된 특징점들을 이용하여 비선형 해를

구해 전체 좌표계에 대한 이동 로봇의 위치와 방향을 추정한다. 본 논문에서 제안한 자기 위치 추정 방법은 표 1과같이 표준 편차  $\sigma$ 는 X축 22.597mm, Y축은 44.79mm, 회전은  $0.6139^\circ$ 이다. 따라서 제안한 자기 위치 추정 방법은 간단하면서도 빠른 처리 속도를 원하는 홈 로봇과 같은 시스템에 충분히 적용 가능성을 알 수가 있다.

앞으로의 연구는 표식의 위치정보가 주어지지 않아도 이동 로봇이 동적으로 자기위치 추적이 가능하고, 복잡한 실내 환경과 실내가 아닌 실외에 대한 연구도 계속 되어야 할 것이다.

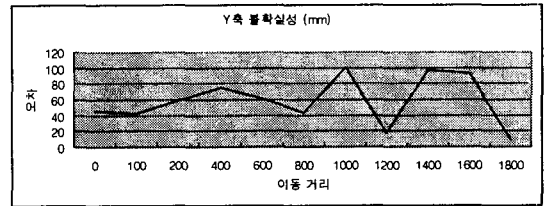


그림 5. Y축 이동에 따른 불확

#### 참고 문헌

- [1] 허화라, 박재한, 박성현, "동적환경에서 이동로봇의 지능적 운행," 전자공학회논문지, 제37권 SC편, 제 2호, 16-28쪽, 2000년 3월.
- [2] Alessandro Rizzi, Riccardo Cassinis, "A robot self-localization system based on omnidirectional color images." Robotics and Autonomous System., vol. 34, pp. 23-38, April 2001.
- [3] 노동규, 김일명, 김병화, 이장명, "운동물체의 정보를 이용한 이동로봇의 자기 위치 추정," 제어. 자동화. 시스템 공학논문지, 제7권, 제11호, 933-938쪽, 2001년 11월.
- [4] David Lowe, Jim Little, "Mobile Robot Localization and Mapping with Uncertainty using Scale-Invariant Visual Landmarks", The International Journal of Robotics Research., vol. 21, no. 8, pp. 735-758, August 2002.
- [5] Andrew J. Davison and David W. Murray, "Simultaneous Localization and Map-Building Using Active Vision" IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence., vol. 24, no. 7, pp. 865-879 July 2002.