

## 특징점 궤적에 의한 자율이동로봇의 상대거리 및 각도 추정

황덕인<sup>o</sup>, 공성곤  
송실대학교 전기공학과

Estimation of Relative Distance and Angle from  
the point trajectories in a mobile robot

Duk-In Hwang<sup>o</sup>, Seong-Gon Kong  
Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ.

Abstract - This paper presents an estimation of relative distance and angle from a mobile robot to an object. From the number of pulses required to make the mobile robot move to the feature point, we find the relative distance and angle between the mobile robot and the object. The proposed method shows a practical way of measuring the relative distance and angle between the mobile robot and an object without setting up real world coordinate system.

### 1. 서론

주행하는 자율이동로봇은 알고 있는 표지를 이용하여 자신의 위치를 알거나 장애물의 위치를 파악하여야 한다. 표지는 정해진 위치에 있지 않는 것이 보통이므로 이 경우 카메라로 표지의 위치를 알아내는 연구가 진행 중이다[1].

본 논문에서는 자율이동로봇에 장착된 CCD카메라로부터 영상신호를 입력받아 장애물이나 경로를 나타내는 특징점을 추출하고, 자율이동로봇을 단계적으로 이동시킬때 생기는 특징점의 궤적과 특징점을 이동시키는데 사용한 스텝모터의 입력 펄스수의 관계로부터 카메라에 나타난 점의 위치만으로 거리와 방향을 추정하였다. 이러한 방법은 카메라의 각도, 위치, 축소, 확대등과 같은 조건이 변하는 경우에도 오프라인으로 우선 특징점의 궤적을 얻은 후에 온라인에서 로봇과 물체와의 거리를 추정할 수 있다.

이 방법은 자율이동로봇에 이미 장착된 CCD 카메라를 이용한 영상처리기법에 의해 처리하므로 물체와의 거리를 측정하는데 적외선 센서와 같은 추가적인 하드웨어 없이 실시간으로 특징점을 추적하는 것이 가능하다.

### 2. 시스템 구성

이동로봇으로 부터 받아들이는 영상 정보의 양은 2차원의 방대한 데이터량으로 처리시간이 오래 걸린다는 단점으로 인해 이동로봇이 주행하는데 장애가 된다. 따라서 로봇이 필요로 하는 특징을 찾는데 시간을 단축하는 것이 필요하다.

이러한 점을 감안하여 본 논문에서는 인식하는 부분의 영상을 75×125로 줄였다. 또한 로봇과 물체와의 거리와 각도를 어느 정도 정확히 추정하기 위해 스텝핑 모터를 사용하였다.

그림 1의 흐름도는 CCD 카메라로 입력된 신호를 PC에 있는 프레임 그래픽으로 받아들이고 후 특징점의 위치를 인식한 후 구동부에 제어 신호를 주면서 특징점의 궤적을 스텝모터에 가한 펄스수와 함께 저장한 다음 실제 특징점의 거리와 각도를 추정하는데 이용한다.

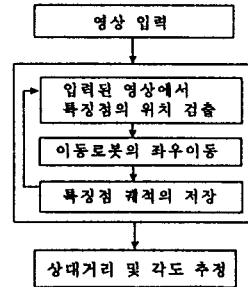


그림 1: 전체 구성의 흐름도

### 3. 상대거리 추정을 위한 특징점의 추출

#### 3.1. 특징점

본 논문에서 사용한 특징점은 로봇의 전방에 위치하는 점으로 크기는 지름이 4cm인 원 모양이며 검은색으로 되어 있다. 배경은 흰색 바닥으로 되어있고 그 위에 특징점이 존재한다. 로봇은 전방에서 CCD카메라로 특징점을 읽고 특징점의 위치를 얻는다.

#### 3.2. 특징점의 추출과정

특징점의 추출과정에서 임계치를 설정하는 것과 같은 단순한 이진화를 취하게 되면 정보의 손실을 피할 수 없게 된다. 외부의 조명등의 영향으로 CCD카메라에 나타난 특징점의 밝기 정도가 때에 따라 변할 수가 있으므로 기하학적 방법으로 영상의 특징을 추출하여 이진화에 의한 불필요한 정보를 제거하였다[2].

영상 데이터를 가지고 특징점을 찾기 위해 사용한 방법은 흑백 영상을 연속된 표면으로 간주하고 영상의 표면의 지형학적 특징(topographical feature)이 원래의 영상에 나타난 특징에 부합된다고 가정했다. 이 가정으로부터 흑백 영상에서 직접 특징을 추출하는 방법을 제시하였다. 연속인 표면의 x,y 위치의 화소값을 f(x,y)로 나타내었을 때, 영상의 특징을 추출하기 위해서 한 점 f(x,y)에 대해 다음과 같이 정의된 Hessian 행렬 H를 사용하였다.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

일때 각각의 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} &= \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^N (n-i, m-j) h(i,2) \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} &= \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^N (n-i, m-j) h(i,1) \\ \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} &= \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^N (n-i, m-j) h(i,2) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 커널 크기는  $(2N+1) \times (2N+1)$ 이 되며  $i$ 는 커널의 인덱스이고  $h(i;1)$ 과  $h(i;2)$ 는 각각  $i$ 방향의 1차 편미분과 2차 편미분으로 식(3)으로 나타낸다.  $f$ 의 1,2차 편미분값은 식(3)을 이용하여 식(2)를 계산한다.

$$\begin{aligned} M(i,1) &= \frac{5i(3N^2+3N-1)^2 - 5(3N^2+6N-3N+1)}{(N-1)(2N+1)(2N+1)(2N+3)} \\ M(i,2) &= \frac{30(3N^2-M(N+1))}{M(N+1)(2N-1)(2N+1)(2N+3)} \end{aligned} \quad (3)$$

본 실험에서 사용한  $N$ 값은 진폭추선의 계산량을 고려하여 4로 설정하였다.

행렬  $H$ 가 대칭이므로 고유치는 실수이고 고유벡터가 직교하는 성질을 이용하여 예지의 특징을 추출하는데 이용한다. 영상의 각 점  $f(x,y)$ 에 대해 행렬  $H$ 를 구하고 고유치와 고유벡터를 계산한다. 만일  $\nabla f$ 의 크기가 0이 아니면 고유벡터  $w_1, w_2$ 를 두 개의 직교하는  $d_1, d_2$ 로 근사화하고  $d_1, d_2$ 에 해당하는 화소의 1계 편미분값을  $P_{21}, P, P_{22}$ 와  $P_{11}, P, P_{12}$ 로 놓는다. 대부분의 경우 1계 편미분값이 0이 아닌 경우가 발생하므로 이 경우  $P_{11}, P, P_{22}(i=1,2)$ 이 영교차가 일어나는지를 판단해야 한다.

그림 2에서는 일반적인 영상의 3차원 모습을 나타내었고 peak, ridge, ravine를 나타내었다. 그림 2에서와 같이 peak는 지역최대가 되는 곳이고 ridge는 한 방향으로 반드시 지역최대가 존재하는 곳이며 ravine은 한 방향으로 반드시 지역최소가 존재하는 곳이다. 다음의 두가지 경우에서 영교차 여부에 의해 영상의 특징을 결정하는 방법을 나타 내었다

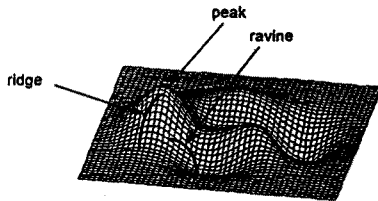


그림 2: peak, ridge와 ravine의 정의

case 1 : S를 영상에서의 위치를 나타내면 두 방향 중 한 쪽 방향으로만 영교차가 일어났을 때 S는 ridge이거나 ravine이다. 영교차가 일어난 방향이  $d_1$ 이라면  $d_1$ 방향에 대해서,  $\lambda_1 > 0$ 이면 ravine이고  $\lambda_2 < 0$ 이면 ridge이다.  $\lambda_1 = 0$ 이면 S와 이웃하는 S들의 평균을 비교해서 판단한다. 즉, 중심의 S가 영교차가 일어난 이웃하는 S들의 평균보다 클 때 ravine이고, 중심의 S가 영교차가 일어난 이웃하는 S들의 평균보다 작을 때 ridge이다.

case 2 : 양쪽 방향으로 영교차가 일어났을 때,

$\lambda_1 < 0, \lambda_2 < 0$  이면 S는 peak

$\lambda_1 < 0, \lambda_2 = 0$  이면 S는 ridge

이 된다. 결국은 ridge에 해당하는 화소의 위치  $(x_0, y_0)$ 을 특징점의 위치를 대표하는 값으로 한다. 이 좌표는  $0 < x_0 < 125$ 이며  $0 < y_0 < 75$ 사이의 값을 가진다.

#### 4. 특징점의 위치와 모터 스텝수의 관계 설정 과정

본 논문에서는 이차원상의 특징점의 위치와 로봇과의 거리와

각도를 추정하기 위해 특징점의 위치와 모터의 스텝수와와의 관계를 설정시키는 방법을 제안하였다. 그림 3에서 로봇의 이동과 특징점 궤적을 간단한 모델로 나타내었다. 여기서  $\theta_1$ 은 로봇의 바퀴축을 수직이동분하는 선과 선분 AB와 이루는 각이다. 로봇의 이동은 우로 이동할때의 +와 좌로 이동할때의 -로 나타내었다. 바닥에 존재하는 특징점은 그림과 같이 광학적 중심을 이룰때 영상표면에 나타난다.

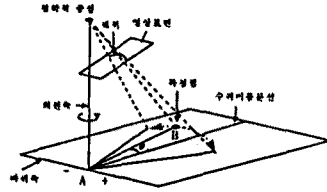


그림 3: 로봇의 이동과 특징점 궤적을 간단한 모델로 나타낸 그림

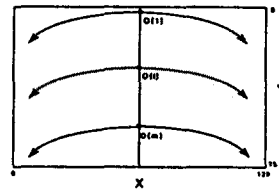


그림 4: 영상의 모델

그림 4에서의  $i$ 는 1에서 시작하여 간격을 5씩 증가시켜 70까지 변하게 하였다. 여기서 간격을 5로 설정하여 전체의 궤적을 얻었으며 간격이 5보다 클 경우에는 거리와 각도의 추정 오차가 커지게 된다. 따라서  $m$ 은 14가 된다. 알고리즘은 다음과 같으며 알고리즘에 나타난 변수들은 그림 4에 나타내었다.

#### 알고리즘

단계1 : 초기화( $i=1$ )

단계2 :  $O(i)$ 로 이동

단계3 : 로봇을 왼쪽방향으로 움직일때의 각 화소마다의 스텝수를 기억

단계4 :  $O(i)$ 로 이동

단계5 : 로봇을 오른쪽방향으로 움직일때의 각 화소마다의 스텝수를 기억

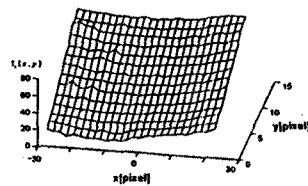
단계6 :  $O(i)$ 로 이동

단계7 :  $i$ 가  $m$ 가 될때까지 하나씩 증가시키면서 단계 2에서 단계 6를 반복

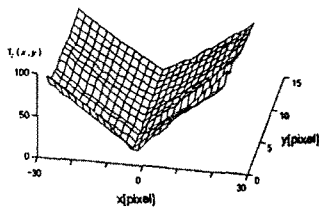
#### 5. 상대거리 및 각도 추정 및 결과

그림 4에 나타난 특징점의 궤적으로부터 생성된 데이터를 그림 5에 나타내었다.

그림 5(a)는 x방향에 대해 저장된 y좌표값으로 각 경로마다 누적된 y좌표값을 나타낸다. 그림 5(b)는 각각의 y값에 대해 x만큼 옮기는데 필요한 펄스수를 나타낸다.



(a)  $T_1(x,y)$



(b)  $T_2(x,y)$

그림 5:(a) x방향에 대해 저장된 y좌표값  
(b) 각각의 y값에 대해 x만큼 옮기는데 필요한 펄스수

그림 5의 x축은 로봇이 좌우로 움직이는 방향을 나타내고 있다. 양수는 오른쪽 움직는 왼쪽으로 움직이는 것을 나타내며 y축은 로봇이 전진할 때의 대표되는 스텝수할 나타낸다. 실제로 x의 값은 0에서 125까지 5화소를 간격으로 -13에서 13까지 변하고 y의 값은 0에서 75까지 5화소를 간격으로 1에서 14까지 변한다.

위의 결과로부터 영상에서의 특징점의 위치와 스텝모터의 펄스수와와의 관계를 설정할 수 있다. y가 변수인 식

$$y' = \min |T_1(x_0, y) - T_1(x_0, y_0)| \quad (4)$$

일때  $T_2(x_0, y')$ 와 그림 6의  $F(y')$ 를 이용하여 영상에 나타난 특징점의 위치  $(x_0, y_0)$ 에 대한 실제 로봇과의 거리와 각도를 추정할 수 있다. 로봇에서 바라본 특징점의 각도는 그림 7과 같이 두 바퀴의 중심을 잇는 선을 수직 이동분하는 선과 특징점을 지나는 선과의 각도로 나타내며 O점에서 특징점까지를 거리로 나타낸다.

모터의 한 스텝은 0.9도씩 회전하고 바퀴의 반지름은 26[mm]이다. 그림 7에서 펄스당 바퀴의 움직이는 크기는 펄스당 회전하는 모터의 원호이다. 따라서 모터의 스텝당 회전하는 바퀴의 원호는

$$0.9 \frac{\pi}{180} 26 = 0.4[\text{mm}] \quad (5)$$

로 계산된다.

그림 7로 부터  $L = r\theta_1$ [mm]라는 것을 알수 있고 여기서 r은 바퀴축의 반지름으로 실제값은 45[mm]이다. 그림 5(b)에서 구한 스텝수  $T_2(x_0, y')$ 에 만큼 L값이 증가하므로  $L = 0.4T_2(x_0, y')$ 라는 것을 알수 있다. 따라서 식(5)로부터  $\theta_1 = (0.4/45)T_2(x_0, y')$ 가 됨을 알수 있다.

로봇에서 부터 특징점까지 실제의 거리와 각도를 측정한 것과 기구학적으로 계산하여 추정한 결과를 표 1에 나타내었다. 그림 8은 본 논문에서 실제로 사용한 자율이동 로봇을 나타내었고 실제 크기는  $145 \times 105 \times 175\text{mm}^3$ 이며 스텝핑 모터의 제어를 위해 L297과 L298을 사용하였으며 주제어기로 IBM/PC AT(180386DX 20Mhz)를 사용하였다. 또한 카메라의 필드각 조절을 위해 카메라의 뒤에 보이는 서보모터를 사용하였다.

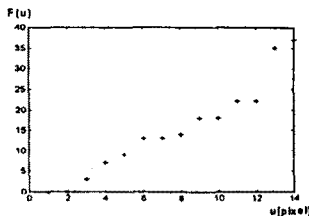


그림 6: 전진할 때 화소단위당 모터에 가한 펄스의 수,  $F(u)$

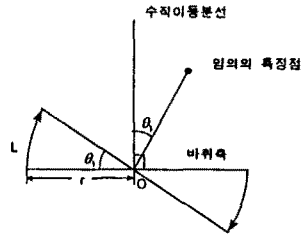


그림 7: 임의의 특징점과 로봇의 위치

표 1 실제 거리[mm] 및 각도[rad]의 측정값과 추정값

	위치1	위치2	위치3
실제 거리	156	170	70
실제 각도	0.592	0.785	-0.523
추정 거리	160	165	70
추정 각도	0.525	0.750	-0.488



그림 8: 실제 사용한 이동로봇

## 6. 결론

표1에서 거리와 각도의 실측값과 추정한 값 사이에 약간의 오차를 갖는 결과가 나타났다. 이는 그림4에 나타난 영상 모델의 x,y축을 5화소 단위로 나눌 때 생기는 샘플링 오차와 바퀴의 미끄러짐이나 바닥의 상태가 고르지 못했을때 생기는 현상으로 볼 수 있다.

본 논문에서 사용한 방법은 좌표축을 설정하지 않고 실험에서 각 특징점의 경로마다 누적된 y좌표값과 각각의 y좌표에 대해 x좌표만큼 옮기는데 필요한 펄스수, 그리고 전진할 때 화소 단위당 모터에 가한 펄스의 수 이 세 가지를 구한 후 기구학적인 방법으로 거리와 각도를 추정하였다. 또한 필드각을 조정하는 것에 의해 먼 거리에 존재하는 특징점의 위치를 추정할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] Min-Hong Han and Sangyong Rhee, "Camera Calibration for Three-Dimensional Measurement," *Pattern Recognition* Vol. 25, No.2, pp. 155~164, 1992.
- [2] Li Wang and Theo Pavlidis, "Direct Gray-Scale Extraction of Features for Character Recognition," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 15, No. 10, OCT, 1993
- [3] 윤형우, 배건용, 김성진, 배진호, "비전 카메라를 이용한 이동로봇의 퍼지 주행 제어에 관한 연구", *전기학회의 논문지* 42권 4호 1993년 4월