

스테레오 비전 시스템을 이용한 자율 이동 로봇의 지도 작성에 관한 연구

손 영섭, 이 쾌희
서강대학교 전자공학과

A study on map generation of autonomous Mobile Robot using stereo vision system

Young-Seop Son, Kwae-Hi Lee
Dept. of Electronic Engineering, Sogang Univ.

Abstract

Autonomous mobile robot provide many functions such as sensing, processing, and driving. For more intelligent jobs, more intelligent functions are to be added and the existing functions may be updated.

To execute a job autonomous mobile robot has a information of surrounding environment. So, robot uses sonar sensor, vision sensor and so on. Obtained sensor information is used map generation.

This paper is focused on map generation using stereo vision system.

1. 서 론

근래에 산업이 급속도로 발달하면서 사람을 대신하여 작업을 수행할 로봇에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 사람이 공장의 라인에서 직접 작업을 하기보다는 그 작업 환경에 필요한 로봇이 사람을 대신하여 작업을 진행한다. 이런 산업용 로봇은 1940년대 중반 방사성 물질을 다루기 위해서 제작된 이후, 여러 산업 현장에서 널리 사용되고 있다.

로봇은 인간에 의해서 주어진 작업을 수행할 경우 먼저 주어진 환경에 관한 정보를 자신 스스로 취득해야한다. 그러기 위해 로봇은 초음파 센서, 시각 센서, 레이저 센서등을 사용한다.

본 논문에서는 시각 센서만을 이용하여 지도 작성 알고리즘을 알아본다.

2. 본 론

2.1 카메라 모델링

카메라 모델링은 크게 점대용 관계를 이용하는 방법과 선대용 관계를 이용하는 방법으로 분류할 수 있다. 점대용 관계를 이용한 카메라 모델링은 매우 정확한 반면, 그 정확성은 사용한 데이터의 수에 비례하게 된다. 실제 널리 사용되는 Tsai 모델에 대한 파라미터를 추정하기 위해서는 이론적으로는 1개의 데이터만이 필요하지만, 실제 60개 이상의 데이터를 이용하여 pseudo inverse 기법에 의해 파라미터를 추정할 것이 권장된다. 반면 선대용 관계를 이용하여 카메라 모델링에 필요한 데이터를 취득하는 방법은 적은 수의 직선과 이들에 대한 영상평면상의 대응되는 직선과의 관계로부터 카메라의 파라미터를 추정하는 것이다. 이 방법은 영상에서 직선 파라미터를 정확하게 찾아내는 것은 매우 어려운 문제이기 때문에 일반적으로 추정된 파라미터의 정확도가 떨어지며, 대부분의 기존 알고리즘에서 추정하는 요소도 외부파라미터로 제한되어 있다.

본 논문에서는 Tsai 카메라 모델링 기법을 이용하여 카메라의 정보를 취득하여 3차원 정보 취득 시 필요한 focal length를 구한다.

2.2 스테레오 정합

스테레오 영상으로부터 3차원 고도를 추출하는 방법에는 크게 영역 기반 알고리즘과 특징 기반 알고리즘이 있다. 영역 기반 알고리즘은 연속성의 가정을 기초로 하여 영상의 밝기값을 이용하여 화소 단위로 정합하는 알고리즘으로서 좌,우 영상 중 하나를 기준으로 기준 영상의 전체 화소에 대해 나머지 영상의 대응점을 찾는 것이다. 이 정합 방법은 세밀한 변이지도를 얻을수 있다는 장점이 있으나 건물과 같은 불연속인 고도 값을 가지는 부분에서는 뭉롱화 현상이 일어난다는 단점이 있다.

특징 기반 정합이란 영상의 특징 점들을 사용하여 특징 점들과의 관계를 조사하여 정합하는 방법이다. 이 특징 점들은 영상의 밝기 정보 자체를 이용하지 않고 에지 연산자를 사용하여 추출하기 때문에 비교적 영상의 왜곡, 영상 획득시의 조명의 강도에 영향을 받지 않는다. 또한 특징점들만 정합을 수행하기 때문에 계산시간이 적게 걸린다는 장점이 있지만, 에지는 영상의 모든 부분에서 존재하지 않으므로 정합 정도가 조밀하지 못하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 다음에 제안하는 직선 정합 알고리즘을 이용하여 두 영상의 변이차를 구한다.

2.2.1 정합 특징 추출

i. 방향의 유사성

좌측 영상에서 i 번째 직선을 l_i , 그리고 우측 영상에서 j 번째 직선을 r_j 라 하면, 직선 l_i 와 r_j 의 기울기 비를 방향 유사성으로 정의한다. 즉 좌,우측 영상에서 직선의 시작점 좌표와 끝점의 좌표를 각각 $(X_{init}, Y_{init}), (X_{initr}, Y_{initr}), (X_{end}, Y_{end}), (X_{endr}, Y_{endr})$ 라 하면 $slope(l_i)$ 와 $slope(r_j)$ 는 다음과 같다.

$$slope(l_i) = \frac{Y_{end} - Y_{init}}{X_{end} - X_{init}}, \quad slope(r_j) = \frac{Y_{endr} - Y_{initr}}{X_{endr} - X_{initr}}$$

이 두 직선의 기울기를 이용하여 방향에 대한 유사성은 다음과 같이 정의한다.

$$OS(l_i, r_j) = \frac{\min[slope(l_i), slope(r_j)]}{\max[slope(l_i), slope(r_j)]} \quad (2.2-1)$$

ii. 높이의 유사성

높이의 유사성은 그림 1에서 보는 바와 같이 직선 l_i 와 r_j 의 중간점이 각각 $(X_{mid}, Y_{mid}), (X_{midr}, Y_{midr})$ 일 때, 공선 조건을 만족하는 두 직선의 높이 유사성은 다음과 같이 정의한다.

$$HS(l_i, r_j) = e^{-\frac{\delta_y}{S_2}} \quad (2.2-2)$$

$$\delta_y = |Y_{mid} - Y_{midr}| \quad S_2 \text{는 스케일 파라미터}$$

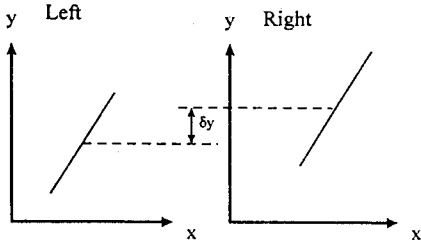


그림 1. 높이의 유사성

iii. 길이의 유사성

좌우 두 영상에서 두 직선 l_i 와 r_j 의 길이의 비를 이용하여 길이의 유사성을 계산하였다. 직선의 길이는 양 끝점 사이의 화소수로 정의되는데, 직선 l_i 의 화소의 수를 $len(l_i)$, 직선 r_j 의 화소의 수를 $len(r_j)$ 라고 하면 길이의 유사성은 다음과 같이 정의한다.

$$LS(l_i, r_j) = \frac{\min[len(l_i), len(r_j)]}{\max[len(l_i), len(r_j)]} > T_1 \quad (2.2-3)$$

iv. 겹침 정도

겹침 정도는 직선 l_i 와 r_j 가 주어졌을 때, 그림 2과 같이 δy 로 정의되며, 겹침 정도는 다음과 같이 정의한다.

$$OR(l_i, r_j) = \frac{\delta y / len(l_i) + \delta y / len(r_j)}{2} \quad (2.2-4)$$

여기서 $len(l_i)$, $len(r_j)$ 는 l_i 와 r_j 의 직선의 길이를 나타낸다.

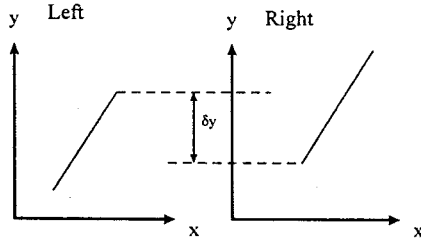


그림 2. 겹침 정도

2.3 로봇의 Kinematics

자율 이동 로봇의 좌표는 절대 좌표, 로봇 좌표, 카메라 좌표로 표현된다. 이는 다음의 그림에서 보여주고 있다.

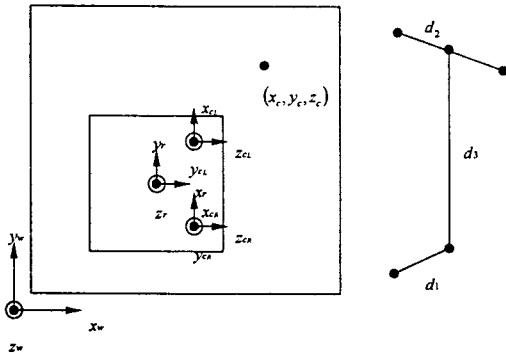


그림 3. 로봇의 좌표계

로봇 위치 : (x_p, y_p, θ_p)

카메라 좌표 : $\vec{P}_c = (x_c, y_c, z_c, 1)$

로봇 좌표 : $\vec{P}_r = (x_r, y_r, z_r, 1)$

절대 좌표 : $\vec{P}_w = (x_w, y_w, z_w, 1)$

$$Trans(x, y, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & \theta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(x, \psi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(y, \psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Rot(z, \psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

우리가 지도를 작성할 때 사용하는 좌표는 절대 좌표에서 표현된다. 그러므로 위의 식을 이용하여 카메라 좌표에서 절대 좌표로의 변환 행렬을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$${}^cT^w = Trans(x_p, y_p, 0) \cdot Rot(z, \theta_p) \cdot Rot(x, 90^\circ) \cdot Rot(y, 90^\circ) \cdot Trans(d_1, d_2, d_3) \quad (2.3-1)$$

2.4 3차원 거리 정보 취득

2.2의 과정에서 얻어진 스테레오 영상의 변이차를 구하게 된다. 구해진 영상의 변이차는 아래의 그림에서 보이듯이 3차원 거리 정보를 얻는데 사용된다.

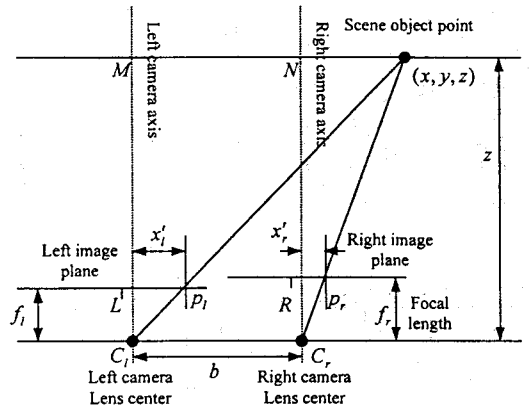


그림 4. 3차원 거리 정보 취득

$$\triangle PMC_l \sim \triangle p_l LC_l$$

$$\therefore \frac{x}{z} = \frac{x'_l}{f_l} \quad (2.4-1)$$

$$\triangle PNC_r \sim \triangle p_r RC_r$$

$$\therefore \frac{x-b}{z} = \frac{x'_r}{f_r} \quad (2.4-2)$$

식(2.4-1)와 식(2.4-2)를 연립하여 식(2.4-3)의 결과를 얻을 수 있다.

$$\therefore z = \frac{f_l \cdot f_r \cdot b}{x'_l \cdot f_r - x'_r \cdot f_l} \quad (2.4-3)$$

2.5 지도 작성

지도의 작성은 절대 좌표 상에서 이루어진다. 우리가 2.4에서 얻어진 결과는 카메라 좌표 상에서 얻어진 결과이므로 이를 절대 좌표로 변화해 주어야 한다. 이는 다음과 같다.

$$\vec{P}_w = {}_cT^w \cdot \vec{P}_c \quad (2.5-1)$$

식(2.5-1)에서 얻어진 절대좌표를 우리가 원하는 격자의 크기에 맞게 표현하면 된다.

$$Map[x_m][y_m] = Black \quad (2.5-2)$$

$$x_m = \frac{x_w}{scale}, y_m = \frac{y_w}{scale}, scale = Grid \text{ 크기}$$

3. 실험 결과

본 논문은 학교 건물의 복도 주행(20m×20m)을 하면서 얻어진 스테레오 영상을 이용하였다. 아래의 그림은 복도 주행을 통해 얻어진 영상들이다.

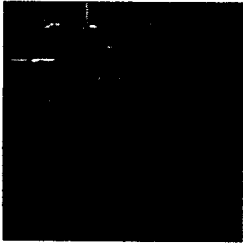


그림 5. 1번 Left영상

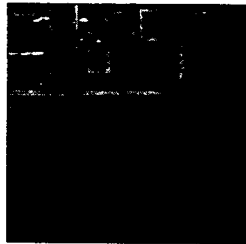


그림 6. 1번 Right영상

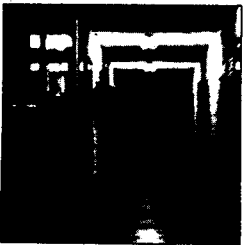


그림 7. 19번 Left영상



그림 8. 19번 Right영상

아래는 위에서 얻어진 영상의 정합 결과이다.

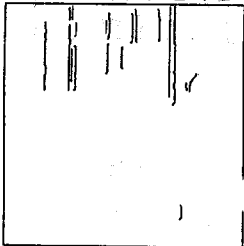


그림 9. 1번 변이지도

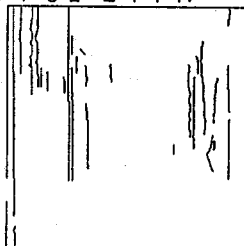


그림 10. 19번 변이지도

위에서 얻어진 변이지도는 지도 작성을 위해서 사용된다. 지도 작성을 위해 우선 카메라의 정보를 얻어야 한다. 그러기 위해서 Tsai 모델 실험을 통하여 다음과 같은 정보를 얻었다.

$$f_l = 7.94mm$$

$$f_r = 7.82mm$$

얻어진 모든 결과를 이용하면 다음과 같은 지도를 얻게 된다.

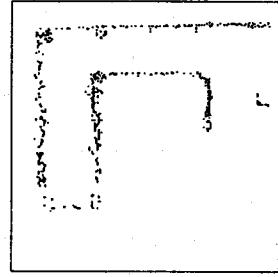


그림 11. 생성된 지도

4. 결 론

본 논문은 시각 센서를 이용하여 지도 작성 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과에서 보듯이 좋은 결과를 얻었다. 하지만 real time으로 수행하는 데는 조금 어려움이 있다. 영상의 취득, 로봇의 움직임, 정합 실험, 지도 작성 등이 동시에 수행되기 때문이다. 하지만 초음파 센서를 통해서 얻어진 지도보다는 정확하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 초음파 지도와 시각 지도를 가지고 있을 때 fusion 실험을 수행하면 정확도가 높아질 것이라는 예측을 할 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Roger Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the shelf TV cameras and lenses," IEEE Journal on Robotics and Automation, Vol RA-3, No. 4, pp. 364-347, August 1987.
- [2] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [3] K. K. Yip and W. P. Ho, "Multi-level Based Line Matching with Structural Information Using Dynamic Programming", Proc. ICIP, vol.2, pp. 341-344, 1996.
- [4] K. K. Yip and W. P. Ho, "A Dynamic Programming Approach for Stereo Line Matching with Structural Information", Proc. ICPR, pp 791-794, 1996.
- [5] R. Jain and R. Kasturi, Machine Vision. McGRAW - HILL, 1995.