

# 평면상에 존재하는 물체의 거리계측을 위한 3차원 영상계측 알고리즘

김용준, 서경호, 김태효  
경남대학교 전자공학과

## A 3D Image Measurement Algorithm for the Distance Measurement to the Object on 3D Plane

Yong-joon Kim, Kyung-ho Seo, Tae-hyo Kim  
Dept. of Electronics, Kyungnam Univ.  
viper1250@orgio.net

### 요약

본 논문에서는 평면상에 존재하는 물체까지의 거리를 카메라시스템을 이용하여 실제 거리를 계측하는 알고리즘을 제안하였다. 계측 시스템을 교정하기 위해, 우선 3차원 실세계 좌표계와 2차원의 카메라 좌표계의 관계를 해석하고, 카메라의 변수들을 포함하는 카메라 좌표계의 변수들을 구하였다. 한편, 3차원 공간에서 계측면을 평면으로 가정하고 평면의 방정식과 좌표계 변환 방정식으로부터 뉴턴-랩슨법을 이용하여 최소값에 대응하는 근사치를 구함으로써 물체까지의 거리 정보를 추출하였다. 실제의 계측 실험에서, 도로에 표준 물체인 Calibration 시트를 두고 승용차의 백미러 위치에 카메라를 설치하고 영상을 획득하였다. 계측 거리는 4m부터 10m까지는 1m간격으로 계측하고, 10m부터 30m까지는 10m간격으로 계측하였다. 그 결과 4m에서는 약 1.4mm의 오차가 발생하였고, 30m의 거리에서는 3.5m의 오차를 보였는데 계측 거리가 길어질수록 오차가 지수함수적으로 증가함을 알 수 있었다.

### I. 서론

컴퓨터 시각(Computer Vision) 분야에서 가장 중요한 과제 중의 하나는 카메라에서 얻은 영상의 3차원 거리 정보를 복구하는 일이다. 영상의 3차원 거리 정보는 로봇의 정확한 제어, 이동 또는 차량의 자동 주행, 생산제품의 자동 검사, 대상물의 추적 또는 감시, 그리고 그 외의 수많은 자동화 문제에 필수적이다.

2차원 영상으로부터 3차원 거리정보를 복구하기 위해 많은 연구가 이루어져 왔다. 이러한 방법 중에는 하나의 영상 안에서 영상의 그림자 (Shading)<sup>[1,2]</sup>, 초점 (Focus)<sup>[3]</sup>, 또는 결 (Texture)<sup>[4]</sup> 등의 정보를 이용하여 3차원 형상과 거리 정보를 구하는 방법이 있고, 기지 패턴에 의한 캘리브레이션 시트의 실세계 좌표를 이용하거나 둘 또는 그보다 많은 영상들로부터 각 점들의 변이 (Disparity), 또는 움직임 (Motion) 정보를 사용하여 3차원 거리 정보를 구하는 방법이 있다.

구하는 방법이 있다. 이와 같은 방법들 중 본 논문에서는 크게 두 단계로 파라미터를 구한다. 첫째, 2차원 영상 좌표로부터 3차원 실세계 좌표를 구하는 변환 과정을 구한다. 이 과정에서 카메라 내부 변수 및 좌표계 변환을 위한 사영 행렬을 구한다. 둘째, 도로면을 이용하여 도로면에 대한 실세계 좌표를 이용한 평면의 방정식을 구한다. 이 과정에서 평면에 대한 캘리브레이션을 통하여 평면의 방정식에서 필요한 파라미터를 구한다. 이러한 카메라의 캘리브레이션을 바탕으로 카메라로부터 입력받은 영상을 바탕으로 3차원 정보를 구현한다.

## II. 본론

### 1. 카메라를 이용한 모델링

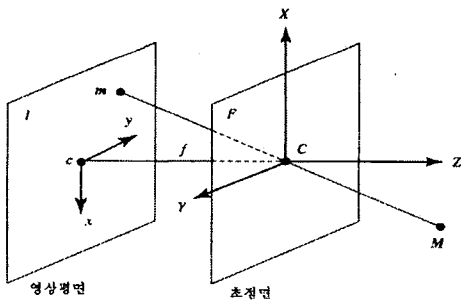


그림.1 이상적인 핀-홀 카메라 모델

본 논문에서는 이상적인 핀-홀 카메라 모델을 이용하여 3차원 좌표와 2차원 영상간의 관계를 이끌어 내었다.

$$x = f \frac{X}{Z}, \quad y = f \frac{Y}{Z} \quad \text{---식(1)}$$

### 2. 좌표계 변환

계측을 위하여 사용된 좌표계의 종류는 영상 평면 좌표계, 카메라 좌표계, 실세계 좌표계등이며 각각의 좌표계간의 변환 관계식을 유도하였으며 다음의 세 단계를 거쳤다.

#### 1) 영상평면 좌표와 카메라 좌표

2) 카메라 좌표와 실세계 좌표

3) 영상평면 좌표와 실세계 좌표

우선, 영상평면 좌표와 카메라 좌표사이의 관계식을 유도해보면,

$$s \cdot \tilde{m} = H \cdot P \cdot \tilde{M}_c \quad \text{--- 식(2)}$$

과 같이 유도되어지고, 카메라좌표와 실세계좌표간의 관계식을 유도해보면,

$$D \tilde{M}_w = \tilde{M}_c \quad \text{--- 식(3)}$$

과 같이 유도된다.

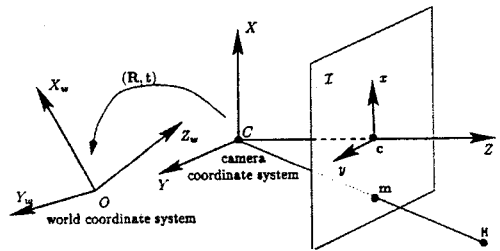


그림.2 카메라 좌표와 실세계 좌표간의 변환 끝으로 영상평면 좌표와 실세계 좌표간의 변환은 식(2) 와 식(3)의 관계식으로부터

$$s \cdot \tilde{m} = H \cdot P \cdot D \cdot \tilde{M}_w \quad \text{--- 식(4)}$$

으로 나타난다.

$D$  : 3차원 유클리드 변환 [ 공간상에서 임의의 방향으로 물체운동을 표현 ]

$\tilde{M}_w$  : 실세계 좌표,  $\tilde{M}_c$  : 카메라 좌표

$$\tilde{M}_c = \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad \tilde{M}_w = \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

$\tilde{M}_c = R \tilde{M}_w + t$ ,  $R$ : 회전성분,  $t$ : 병진(이동)성분

$$\tilde{M}_c = D \tilde{M}_w$$

$$H = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & k_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{변환 행렬}$$

$s$  : 영상의스케일(크기)

### 3. 모의 실험 및 고찰

표[1]. 시스템 사양

항목	사양
CCD 카메라	CCD-TR7 (SONY) 축점거리 : 35 mm 유효 화소 : 640 × 480
System Controller	Pentium III-600E, RAM 128MB Monitor : SAMBO 17" 7701SP
Calibration Object	356 × 588 × 580 (mm)
Calibration Point	직육면체의 꼭지점(6 Point)

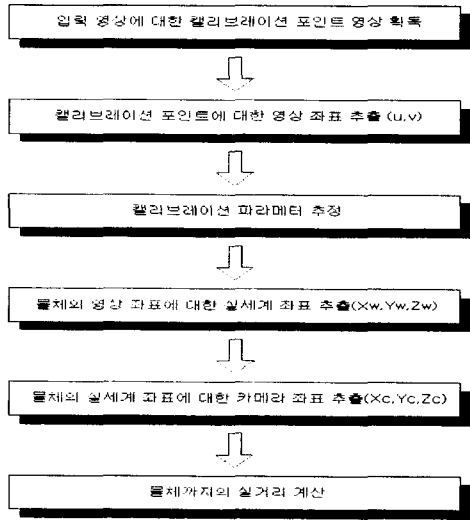


그림.3 실험 과정

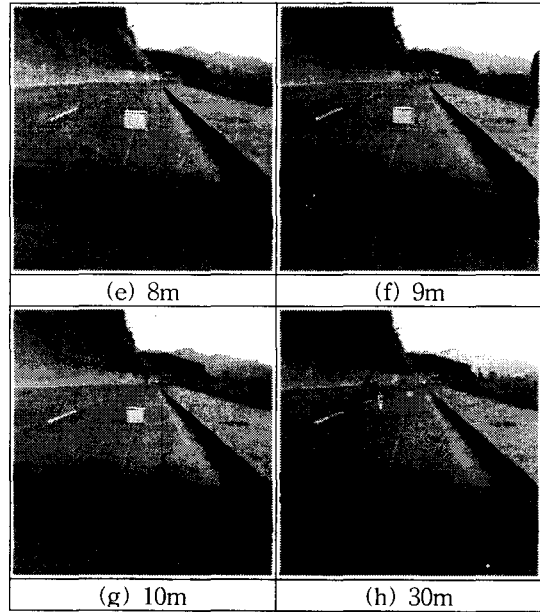
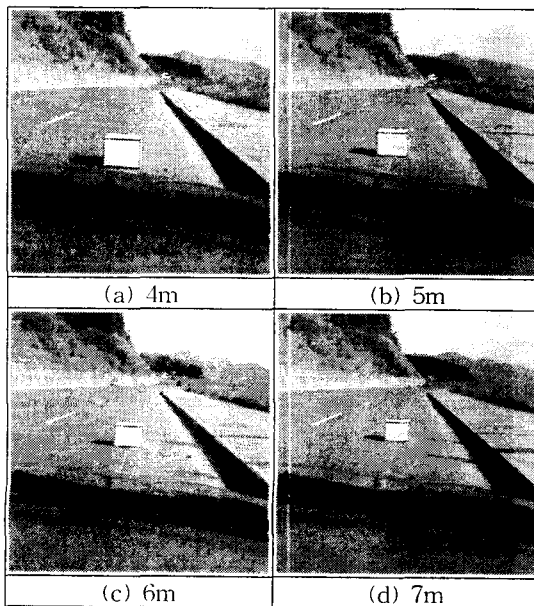


그림.4 캘리브레이션 시트의 거리별 영상

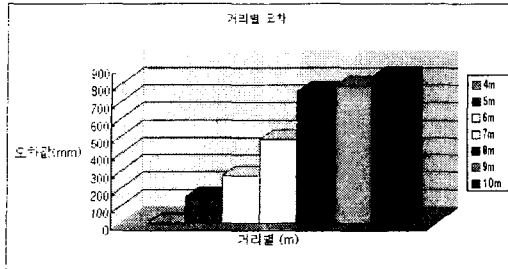
표[2]. 파라미터 추출값

	Camera			
사영행렬 (P)	0.155860	0.002557	0.069824	221
	0.007709	-0.145504	0.024979	283.9532
	0.000014	-9.870911	0.000193	0.999984

표[3]. 캘리브레이션 시트의 거리 정보 추출 값

계측 거리 (mm)	연산 거리 (mm)	발생 오차 (mm)
4000	3998.617	1.383
5000	4848.072	151.928
6000	5725.082	274.918
7000	6513.057	486.943
8000	7238.031	761.969
9000	8210.283	789.717
10000	9153.797	846.203
30000	26505.4	3494.6

그림.5 캘리브레이션 시트의 거리별 오차



### III. 결론.

본 논문에서는 한 대의 CCD 카메라를 이용하여 물체의 깊이 정보를 추출하기 위해 비전 시스템이 고안되었다. 도로를 평면이라고 가정하고 영상에 도로 평면으로 나타나는 모든 픽셀까지의 거리를 구하기 위해 카메라로부터 캘리브레이션 포인트의 영상을 획득한 뒤 카메라가 가지고 있는 모든 제한 사항인 카메라 렌즈의 왜곡, 초점 거리, 영상의 중심등을 고려하여 캘리브레이션 하였다. 이러한 정보를 바탕으로 영상의 한 점에 대한 포인트와 실세계 좌표간의 관계식을 유도하였고, 이렇게 유도된 식과 도로면을 평면이라고 가정하고 실세계 좌표로 표현된 평면의 방정식을 이용하여 영상의 좌표에 대한 실세계 좌표를 유도하였다. 실험 결과 실측 거리와 연산 거리간에 계측 거리는 4m부터 10m까지는 1m간격으로 계측하고, 10m부터 30m까지는 10m간격으로 계측하였을때, 4m에서는 약 1.4mm의 오차가 발생하였고, 30m의 거리에서는 3.5m의 오차가 발생하였는데 계측 거리가 길어질수록 오차가 지수함수적으로 증가함을 알 수 있었다. 고려되어지는 오차 발생 원인으로서는 실제의 도로 면이 이상적인 평면이 아니라 부분적인 요철이나 패임이 있을 수도 있고, 수 작업으로 이루어진 실측 거리 측정의 정확도에서 오차 성분을 포함하고 있을 수도 있다. 카메라 역시 이상적인 Pin-hole 카메라가

아니므로 본 논문에서 사용한 비전 시스템의 측정 결과와 실제의 거리측정과의 차이가 났다. 향후에 더욱 보강되어야 할 부분으로는 오차에 대한 보정 함수에 대한 상세한 연구가 되어져야 할 것이다.

### IV. 참고문헌

- [1] B.K.P.Horn and K.Ikeuchi, "Numerical shape from shading and occluding boundaries", *Artificial Intelligence* 17, pp. 141-184, 1981
- [2] P.S.Tsai and M.Shah, "Shape from shading using linear approximation", *IVC(12)*, No.8, pp.487-498, 1994
- [3] B.Jahne and P.Geissler, "depth from focus with one image" *CVPR94*, pp.713-717.1994
- [4] J.Y.Jau and R.T.Chin, "Shape from texture using the Wiger distribution", *CVGIP* 52, No.2, pp.248-263, 1990
- [5] A. Kirchner, Th. Heinrich "Model based detection of road boundaries with a laser scanner", 1998 *IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, pp.93~97
- [6] Margrit Betke, Huan Nguyen "Highway Scene Analysis from a Moving Vehicle under Reduced Visibility Conditions" 1998 *IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, pp.131~136
- [7] Sayd P., Chapuis R., Aufrere R., Chausse F.A "Dynamic Vision Algorithm to Recover the 3D Shape of a Non-Structured Road", 1998 *IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, pp.80~86
- [8] Kazuyuki SAKURAI, Sholin KYO, Shin'ichiro OKAZAKIA "Lane Recognition Method Based on White Line Detection and Road Area Detection", 1998 *IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, pp.58~62
- [9] Yue Wang, Dinggang Shen and Eam Khwang Teoh "Lane Detection Using Catmull-Rom Spline", *IEEE International Conf. on Intelligent Vehicles*, pp.51~57, 1998.