

줌 카메라를 이용한 3차원 물체 재구성

주도완, 김주영*, 김수용**, 고광식*

*경북대학교 전자공학과, **창신대학 전자과

Tel: 053)950-5540, E-mail: dsd@ee.kyungpook.ac.kr

3 Dimensional Object Reconstruction Using Zoom Camera

Do-Wan Joo, Joo-Yung Kim*, Soo-Yong Kim**, and Kwang-Sik Koh*

*Dept. of Electronics Kyungpook National University, **Changshin College

Tel: 053)950-5540, E-mail: dsd@ee.kyungpook.ac.kr

Abstract

This paper presents a new method for reconstructing 3 dimensional object model using a zoom camera. The proposed method uses zoom images to find the distance(D) between camera and object. Also the method uses images obtained around the object to find an angle(θ) between two connected planes of the object. With the D and θ , we can reconstruct the real sized 3-D model of object with less errors without stereo camera or rangefinder.

I. 서론

물체의 3차원 모델 구성은 컴퓨터 비전의 중요한 분야로서 다양한 방법들이 제안되었다. 기존에는 스테레오 카메라와 같은 2안 박전 시스템으로부터 얻은 영상들로부터 거리 정보를 추출하여 3차원 모델을 구성하거나, 거리 측정기(rangefinder)를 이용하여 물체 표면에 대한 여러 장의 거리 영상(range image)들을 획득하고 영상 등록(image registration) 과정을 거쳐 3차원 모델을 구성하는 방법 등을 사용하였다. 최근에는 단안 비전 시스템인 줌 렌즈를 이용한 여러 장의 영상들로부터 거리 정보를 추출하여 3차원 모델을 구성하는 방법들에 대한 연구가 진행되고 있다[1].

본 논문에서는 줌 카메라를 이용하여 다면체의 여러 각도에서 얻어진 영상들로부터 실제 크기의 3차원 모델을 구성하는 방법을 제안한다. 먼저 기준 영상의 여러 줌 영상들을 이용하여 카메라와 물체간의 실제 거리를 구하고, 물체를 회전시키며 획득한 영상들로부터 Hough 변환을 이용하여 기준 영상(reference image)과의 회전 각도를 구한다. 이렇게 구한 실제

거리와 회전각도들로부터 사진 영상에서 만나는 두 점이 이루는 각도와 물체를 구성하는 각 점의 거리 정보를 추출한다. 사진 영상에 나타나는 각 점의 2차원 좌표와 거리 정보로부터 물체의 실제 3차원 좌표를 구할 수 있고 이러한 물체에 대한 부분적인 정보들을 합성하여 상대 크기가 아닌 절대 크기의 실제 3차원 모델을 재구성할 수 있다.

II. 물체의 실제 거리와 회전각도 측정

카메라 좌표계에 대한 물체의 실제 좌표를 구하기 위해서는 먼저 카메라와 물체간의 거리를 구하여야 한다. 본 논문에서는 카메라 렌즈에 대한 모델로서 그림 1에 나타낸 간단한 형태의 핀홀 모델(pin-hole model)을 사용하였다.

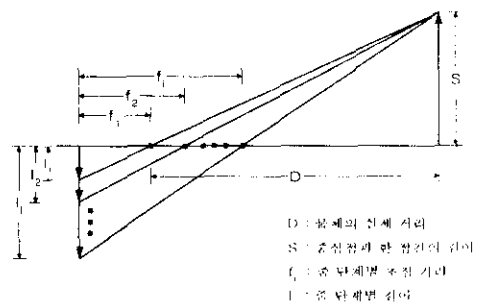


그림 1. 핀홀 모델

Fig. 1. Pin-hole model

물체의 실제 거리를 구하기 위해서 n 단계의 줌 영상들을 이용하며, 여기서 f_i 는 줌 단계별 초점 거리로서 미리 구해놓은 값들을 이용하고, l_i 는 줌 카메라로부터 얻은 사진 영상에서 물체의 중심점과 한 점과의 길이이다.

광축(optical axis)을 z축으로 하여 카메라 렌즈를 원점으로 하는 3차원 공간을 가정하면 n 단계의 줌 영상들에서 동일한 매칭점(matching point)을 찾을 수 있고 그 점들의 길이 \$I_i\$와 사용된 각 초점거리로부터 계산된 길이 \$\hat{I}_i\$의 차이가 모든 줌 단계에 걸쳐 최소가 되도록 하는, 즉 식(1)의 에러 함수를 최소로 하는 실제 거리(D)와 길이(S)를 찾을 수 있다.

$$e(D, S) = \sum_{i=1}^n \| I_i - \hat{I}_i \|^2 \quad (1)$$

$$\hat{I}_i = \frac{S \times f_i}{D - (f_i - f_1)}$$

또한 물체의 3차원 모델을 얻기 위해서는 기준 영상과 회전된 물체로부터 얻은 영상들 사이의 변환 관계를 알아야 한다. 본 논문에서 두 영상간의 회전 각도를 구하기 위해 사용한 Hough 변환은 Duda, Hart가 제안한 방법으로서, 전처리 과정을 통해 얻은 입력 영상의 에지에 해당하는 점들의 좌표를 식(2)를 이용하여 파라미터(\$r, \theta\$) 공간에서 하나 또는 여러 개의 점들의 자취로 나타내게 된다.

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (2)$$

정면 영상을 담고있는 영상을 기준 영상으로 하여 전처리 과정을 통해 얻은 기준 영상의 에지의 점들을 앞서 구한 거리를 이용하여 3차원 회전시킨 후 투영시킨 영상에 대한 Hough 결과와 회전된 영상으로부터 구한 에지의 Hough 결과를 비교하여 물체의 회전된 각도를 구하게 된다.

III. 3차원 모델의 재구성

본 절에서는 앞서 구한 카메라 좌표계에 대한 물체의 실제 거리와 각 영상들간의 회전 각도를 이용하여, 영상에 나타나는 물체에 대한 공간상의 실제 좌표를 얻고 이들 사이의 변환을 구하여 실제 크기의 3차원 물체를 재구성하는 과정에 대해 설명한다.

먼저 본 논문에서는 대상이 되는 물체를 다면체로 한정하므로 인접한 면들이 이루는 각도를 찾아야 한다. 그림 2에서와 같이 광축에 수직인 XY평면과 B면이 이루는 각도는 Hough 변환을 통해 구한 회전각도 \$\theta_1\$과 \$\theta_2\$, 그리고 동일한 수평축 상에서 B면의 투영된 길이 \$d_1, d_2\$를 식(3)에 대입하여 구할 수 있다.

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left[\frac{d_2/d_1 - \cos(\theta_2 - \theta_1)}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \right] \quad (3)$$

따라서 A면과 B면이 이루는 각도 \$\theta\$는 식(4)로 주

어진다.

$$\theta = 180 - \theta_1 - \alpha_1 \quad (4)$$

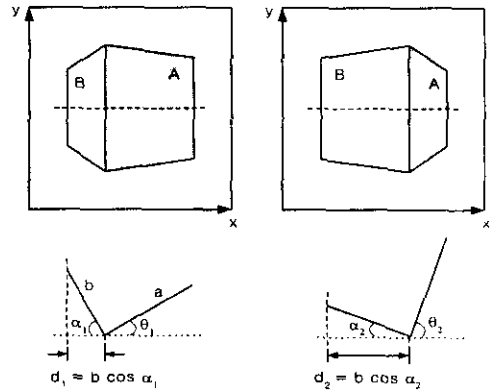


그림 2. 접하는 두 면이 이루는 각도
Fig. 2. Angle between two connected planes

사진 영상에서 카메라 좌표계에 대한 각 점들의 거리 z는 앞서 구한 각 면들의 각도와 사용된 초점거리 \$f\$, 그리고 물체의 거리 D를 이용한 비례식을 계산함으로써 구할 수 있다. 또한 그림 3에서와 같이 사진 영상의 한 점 P'는 3차원 공간상의 점 P가 이미지 평면(image plane)에 투영된 것이므로 앞서 구한 P'점의 거리 z와 사용된 초점거리 \$f\$를 이용하면 식(4)를 통해서 공간상의 실제 3차원 좌표를 구할 수 있다.

$$x = \frac{z}{f} X, \quad y = \frac{z}{f} Y \quad (5)$$

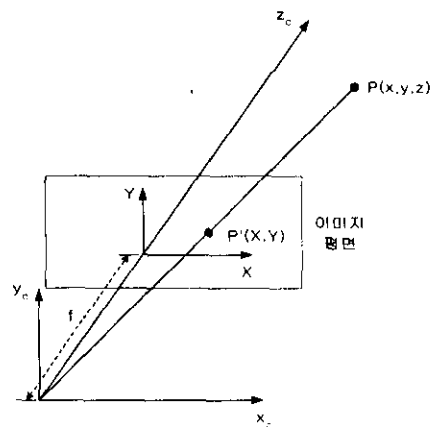


그림 3. 원근 투영
Fig. 3. Perspective projection

각 사진 영상은 물체 표면의 일부분만을 포함하므로 물체의 전체적인 3차원 모델을 얻기 위해서는 각 영상으로부터 구한 거리 영상들을 영상 등록을 거쳐 합성하는 과정이 필요하며, 영상 등록을 위해서는 동일한 면을 포함하는 두 거리 영상간의 변환 T를 구해야 한다[3].

영상 등록을 위한 변환 T는 회전이동과 평행이동을 포함하는데 회전된 각도는 Hough 변환을 통해 구한 값이 되며, 평행이동은 하나의 거리 영상을 앞서 구한 각도만큼 반대 방향으로 회전 이동시킨 후 대응되는 면들의 중심점간의 차이로부터 구할 수 있다. 이렇게 구한 각 거리 영상들간의 변환 T를 이용하여 기존 영상에 대해 각 거리 영상을 합성함으로써 전체적인 3차원 모델을 얻을 수 있다.

IV. 실험

본 논문에서는 제안한 방법을 검증하기 위하여 두 가지 실험을 하였다. 실험에 사용된 줌 카메라는 삼성 케녹스 카메라 Z145 모델이며 사용된 초점 거리는 38, 45, 60, 80, 100, 120, 145mm로 일곱 단계의 줌을 이용하였다.

두 실험에서는 줌 카메라를 고정하고 물체를 회전시켜 영상을 획득하였으며 일반적인 카메라를 사용하므로 별도의 보상(calibration) 과정은 없었고 단지 광축을 안정시키는 작업을 수행하였다.

각 영상에 나타나는 면들을 합성할 때 기준 영상은 카메라의 광축과 수직인 면을 포함하는 최고 배율의 영상으로 하고, 실험 결과 얻어진 물체의 3차원 모델을 표현하기 위해 삼각형 메쉬 방법과 렌더링(rendering)을 이용하여 합성된 영상을 나타내었다.

첫 번째 실험은 직육면체를 대상으로 카메라 좌표계에 대한 물체의 실제 거리를 구한 후 사진 영상에 나타나는 물체의 두 면에 대한 실제 좌표를 구하여 3차원 모델을 구성하고 실제 크기를 구하였다. 실험 1에서 사용한 물체의 실제값과 제안된 방법을 이용해서 구한 결과를 표 1에 나타내었다. 재구성된 물체의 구조와 사진 영상에 나타나는 두 면을 합성한 결과 영상은 그림 4에서와 같다.

두 번째 실험에서는 다섯 개의 면으로 구성되는 물체를 대상으로 실험을 행하였다. 여기서는 물체의 전체적인 3차원 모델을 구하기 위하여 여러 각도와 줌 단계에서 얻은 사진 영상으로부터 먼저 물체의 실제 거리를 구하고 각 영상에 나타나는 점들의 실제 좌표를 구한 후 물체를 구성하는 여러 면들을 합성하고 물체의 실제 크기를 구하였다. 실험 2의 결과와 여러 각도에서 본 합성 영상은 표 2와 그림 5에 나타내었다.

두 실험 결과로부터 카메라와 물체사이의 실제 거리와 회전 각도를 모르는 상황에서도 물체에 대한 실제 크기의 3차원 모델을 90%이상의 정확도로 재구성할 수 있음을 확인하였다.

표 1. 첫 번째 실험의 결과 데이터

Table 1. Output data of the first experiment

	실제값	계산값	오차 [%]
거리(D) [mm]	2500	2507.5	0.3
가로(W) [mm]	161.5	169.2	4.0
세로(H) [mm]	169.5	176.3	3.0
두께(T) [mm]	51.0	54.0	5.9
사이각 [°]	90	86.62	3.8

표 2. 두 번째 실험의 결과 데이터

Table 2. Output data of the second experiment

	실제값	계산값	오차 [%]
거리(D) [mm]	2500	2510	0.3
가로(W) [mm]	100	105.6	5.6
세로(H) [mm]	160	169.8	6.1
두께(T) [mm]	120	123.1	2.6
사이각 1 [°]	90	91.34	1.5
사이각 2 [°]	90	90.08	0.1

V. 결론

본 논문에서는 하나의 줌 카메라를 이용하여 카메라와 물체사이의 실제 거리를 구하고 실제 크기의 3차원 모델을 재구성하는 방법을 제안하였다. 실험으로부터 주어진 물체에 대해 약 6%이내의 오차만을 가지는 양호한 결과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문은 기존의 2안 또는 3안 비전 시스템이나 레이저와 CCD 카메라로 구성되는 거리측정기와 같은 특수한 장비의 도움이 없이도 일반적인 하나의 줌 카메라만으로 카메라와 물체사이의 실제 거리와 실제 크기의 3차원 모델을 재구성하는 것이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 또한 제안한 방법을 이용하면 서로 다른 거리에서 획득한 영상들로부터 실제 크기의 3차원 모델을 구성할 수도 있으며 이에 대한 연구가 진행중이다.

향후에는 원거리에 위치하는 물체에 대해서도 정확한 3차원 모델을 구성하기 위한 방법이 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] J. M. Lavest, C. Delherm, B. Peuchot, and N. Daucher, "Implicit Reconstruction by Zooming," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 66, No. 3, June, pp. 301-315, 1997.
- [2] J. M. Lavest, G. Rives, and M. Dhome, "3D reconstruction by zooming," *IEEE trans. Robotics Automat.* Vol. 9, No. 2, April, pp. 196-208, 1993.
- [3] Greg Turk and Marc Levoy, "Zippered Polygon Meshes from Range Images," *SIGGRAPH 94*, pp. 311-318, 1994.
- [4] Paul J. Besl and Ramesh C. Jain, "Three Dimensional Object Recognition," *ACM Computing Surveys*, Vol. 17, No. 1, March, pp. 75-140, 1985.
- [5] Donald Hearn and M. Pauline Baker, "Computer Graphics," Prentice Hall, 1997.

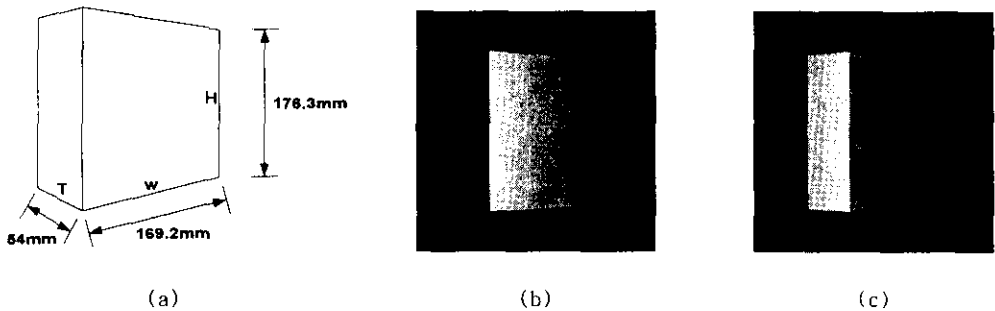


그림 4. 실험 1의 결과 영상

(a) 재구성된 물체의 크기 (b)-(c) 물체를 서로 다른 각도에서 본 합성 영상

Fig. 4. Output image of the first experiment

(a) Size of reconstructed object (b)-(c) Two different views of reconstructed object

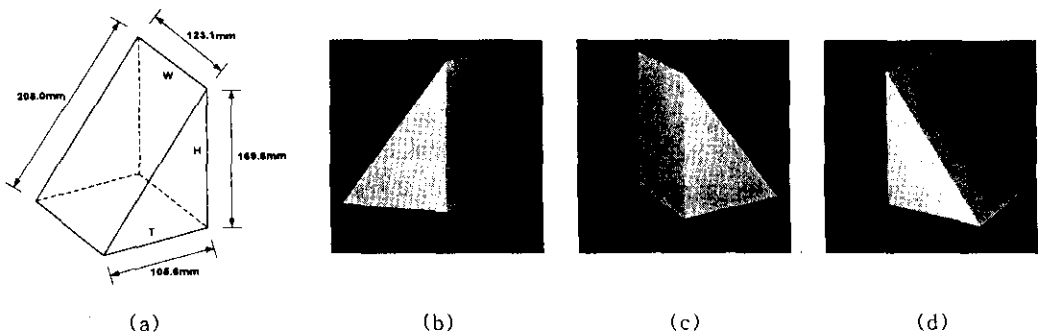


그림 5. 실험 2의 결과 영상

(a) 재구성된 물체의 크기 (b)-(d) 물체를 서로 다른 각도에서 본 합성 영상

Fig. 5. Output image of the second experiment

(a) Size of reconstructed object (b)-(d) Three different views of reconstructed object