
피라미드 볼륨 교차기법을 이용한 영상기반의 3차원 형상 복원

이상욱*

A Image-based 3-D Shape Reconstruction using Pyramidal Volume Intersection

Sang-Wook Lee*

요 약

영상 기반 3차원 모델링은 카메라로부터 획득된 영상을 입력으로 하여 3차원 그래픽 모델을 생성하는 기술로 고가형 3D 스캐너의 대체 기술로 연구되어지고 있다. 본 논문에서는 피라미드 볼륨 교차기법을 이용한 영상 기반 3차원 모델링 시스템을 제안한다. 3차원 모델을 생성하기 위한 제안 알고리즘은 카메라 보정 단계, 3차원 형상 복원 단계, 3차원 표면 생성 단계로 이루어진다. 카메라 보정 단계에서는 영상 획득용 카메라에 대한 카메라 행렬을 계산 하며 3차원 형상 복원 단계에서는 실루엣 기반 피라미드 볼륨 교차 기법에 의해 실 3차원 형상을 생성한다. 3차원 표면 생성 단계에서는 3차원 형상 복원 단계의 결과인 복원 볼륨 공간을 그물망 형태의 3차원 표면을 생성시킨다. 실험 결과 제안 알고리즘이 비교적 정확하게 3차원 모델을 생성함을 확인하였다.

ABSTRACT

The image-based 3D modeling is the technique of generating a 3D graphic model from images acquired using cameras. It is being researched as an alternative technique for the expensive 3D scanner. In this paper, I propose the image-based 3D modeling system using calibrated camera. The proposed algorithm for rendering 3D model is consisted of three steps, camera calibration, 3D shape reconstruction and 3D surface generation step. In the camera calibration step, I estimate the camera matrix for the image acquisition camera. In the 3D shape reconstruction step, I calculate 3D volume data from silhouette using pyramidal volume intersection. In the 3D surface generation step, the reconstructed volume data is converted to 3D mesh surface. As shown the result, I generated relatively accurate 3D model.

키워드

3D reconstruction, camera calibration, pyramidal volume intersection

I. 서 론

최근 컴퓨터의 급속한 발달과 초고속 인터넷 망의 구축으로 인하여 멀티미디어에 대한 인간의 욕구는 2차원 평면상이 아닌 3차원 공간상의 미디어를 갈망하고 있다. 3D 애니메이션, 3D 게임, 가상 쇼핑물 등 가상 현실을 구현하기 위한 필수 요건은 3차원 모델을 생성하는 것이다.

3차원 모델링의 기술은 센싱(sensing) 방법에 따라 능동형(active)과 수동형(passive)으로 나눌 수 있다^{[1][2]}. 능동형 센싱은 복원하고자 하는 물체에 직접적으로 레이저 또는 패턴을 투사하여 3차원 거리 정보를 추출하는 기술로 일반적인 3차원 스캐너 장비에 사용된다. 이 방법은 정밀도 측면에서는 매우 뛰어나지만 장비의 고가로 인하여 대중화되기는 힘들며 적용 대상 및 장소에 제약을 받는다.

* 국립경상대학교 정보통신공학과 교수

수동형 센싱은 카메라로 획득된 영상만을 사용하여 3차원 정보를 추출하는 기술로 정밀도는 낮지만 저가의 장비로 구현이 가능하기 때문에 컴퓨터 비전 연구분야에서 활발히 연구되어지고 있다.

수동형 센싱은 다시 크게 보정(calibrated) 카메라에 의한 복원법과 비보정(uncalibrated) 카메라에 의한 복원법으로 구분된다^[3]. 보정 카메라에 의한 복원법은 카메라 보정에 의해 획득된 영상들로부터 3차원 복원법으로 실제 유클리디언(Euclidean) 좌표까지 복원할 수 있는 장점을 가지나 카메라 보정 정보가 없는 일반적인 영상에서는 적용하지 못한다. 비보정 카메라에 의한 복원법은 카메라 보정 절차가 필요없으며 일반적인 영상에서 적용 가능하지만 실제 유클리디언 좌표로 복원할 수 없으며 입력 정보에 매우 민감하게 반응한다.

따라서 본 논문에서는 개인용 컴퓨터에서 저가형 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템을 제안한다. 제안 알고리즘에서는 비교적 실물과 유사한 3차원 모델을 생성하기 위해 수동형 센싱 중 보정 카메라에 의한 복원법을 사용하였으며 카메라 보정, 3차원 형상 복원, 3차원 표면 생성의 세 단계로 구성된다. 3차원 패턴 모델을 카메라로 획득하고 촬영된 2차원 패턴 영상에서 특징점을 추출한다. 특징점은 패턴에서의 사각 모서리점으로 선택하고 Harris 모서리 검출기^[4]를 통해 특징점을 추출해 낸다. 특징점의 2차원 영상 좌표와 기 설정된 3차원 패턴 모델의 좌표계를 입력으로 카메라 행렬을 계산한다. 계산된 카메라 행렬은 3차원 형상 복원 단계의 입력으로 주어진다. 3차원 형상 복원 단계에서는 실루엣 기반 볼륨 교차 기법^[5-7]에 의해 3차원 형상을 생성한다. 그리고 3차원 복셀 공간과 실루엣 영상을 피라미드 구조화하는 피라미드 볼륨 교차 기법을 제안하여 복원 시간을 단축시키고자 하였다. 3차원 표면 생성 단계에서는 3차원 형상 복원부의 결과인 복원 복셀 공간을 그물망 형태의 3차원 표면을 생성시킨다. 3차원 표면 생성 알고리즘으로는 복셀 값에 따른 등가 삼각 표면 생성 알고리즘인 마칭 큐브(marching cubes)를 사용한 다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템에 대해 설명하고 3장에서 카메라 보정에 대해 기술한다. 4장에서 3차원 형상 복원에 대해 기술하고 5장에서 3차원 표면 생성 과정을 설명한다. 6장에서 실험 및 결과를 그리고 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

II. 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템

본 논문에서 제안하는 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템의 전체 블록도는 그림 1과 같다. 시스템은 크게 카메라 보정 단계, 3차원 형상 복원 단계, 3차원 표면 생성 단계로 나뉜다. 카메라 보정 단계에서는 보정 패턴을 이용하여 영상획득용 카메라에 대한 카메라 행렬을 구한다. 3차원 형상 복원 단계에서는 카메라 보정 단계의 출력인 카메라 행렬을 입력으로 하여 실제 3차원 형상을 복원한다. 입력 영상으로부터 실루엣을 생성하고 생성된 실루엣 영상은 제안 피라미드 볼륨 교차 기법에 의해 형상을 복원한다. 3차원 표면 생성 단계에서는 복셀 단위의 복원 형상을 삼각 그물망 형태의 모델로 변환한다.

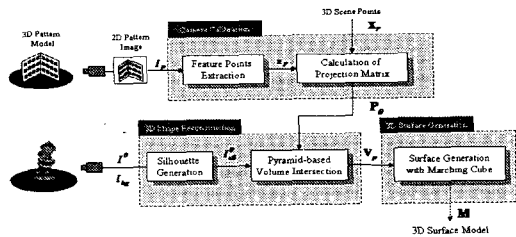


그림 1. 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of the image-based 3D modeling system.

III. 카메라 보정(Camera Calibration)

3.1 원근 투영 카메라 모델

일반적으로 CCD 카메라는 원근 투영(perspective projection) 카메라 또는 핀홀(pinhole) 카메라로 모델링된다^{[8][9]}. 3차원 공간상의 한점 $X = [X \ Y \ Z \ 1]^T$ 는 카메라 행렬 P 를 통해 영상 평면의 점 $x = [u \ v \ 1]^T$ 로 투영되며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x \cong K [R \ | \ T] X = P X \quad (1)$$

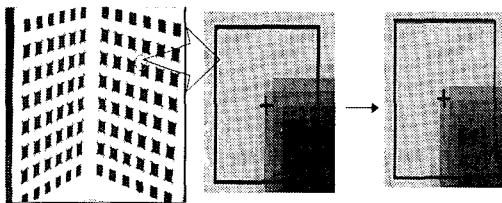
여기서 P 는 3×4 행렬로써 카메라 내부 파라미터로 구성되는 K 행렬(3×3), 카메라의 외부 자세를 나타내는 회전 R 행렬(3×3)과 이동 T 벡터(3×1)로 구성된다. \cong 는 동차 좌표계(homogeneous coordinate)에서의 등가를 나타낸다.

3.2 특징점 추출 및 3차원 좌표 할당

카메라 행렬 P 를 구하기 위해 사용된 보정 패턴은 사각형 패턴으로 구성된 두 평면을 수직으로 접합하였다. 그림 2의 (a)는 보정 패턴을 카메라로 획득한 영상이다. 특징점은 각 패턴의 모서리 점을 선택하였다. 모서리 점을 추출하기 위한 알고리즘은 Harris 모서리 검출법을 기반으로 한다. Harris 모서리 검출법은 영상의 밝기값에 대한 2차 미분값에 의한 모서리 정도를 판별하는 방법으로 정수형의 픽셀 단위를 세분화하기 위하여 식 (2)와 같이 2차 미분에 대한 중심점을 택하도록 하였다. 그림 2의 (c)는 그림 2의 (b) 초기 특징점 위치가 식 (2)에 의해 사각형의 모서리로 이동됨을 보여준다.

$$\begin{bmatrix} \sum_i \sum_j g_{xx}(u_i, v_j) & \sum_i \sum_j g_{xy}(u_i, v_j) \\ \sum_i \sum_j g_{xy}(u_i, v_j) & \sum_i \sum_j g_{yy}(u_i, v_j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_u \\ c_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i [g_{xx}(u_i, v_j)u_i] + \sum_j [g_{xy}(u_i, v_j)v_j] \\ \sum_i [g_{xy}(u_i, v_j)u_i] + \sum_j [g_{yy}(u_i, v_j)v_j] \end{bmatrix} \quad (2)$$

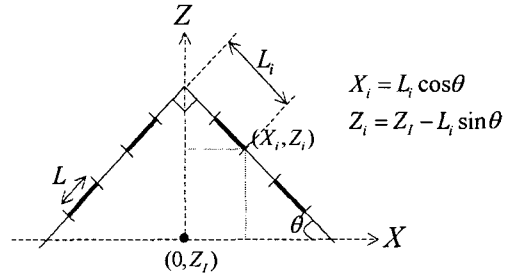
여기서 $g_{xx}(u_i, v_j)$ 는 u_i, v_j 위치에서의 2차미분을 나타낸다.



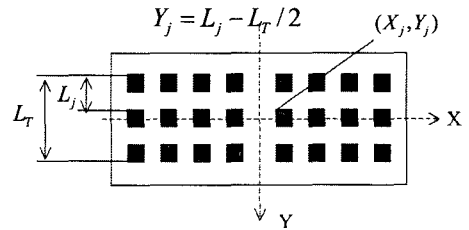
(a) Calibrated pattern image
(b) Initial position of feature
(c) Refined position of feature

그림 2. 특징점 추출
Fig. 2. Feature extraction

추출된 특징점은 그림 3과 같이 해당 모서리 위치에서의 3차원 좌표를 할당한다. 그림 3의 (a)는 3차원 공간상의 X, Z에 대한 좌표 할당에 대한 그림으로 여기서 θ 는 45° , L 은 13mm, Z_i 는 500mm이다. 그림 3의 (b)는 3차원 공간상의 Y에 대한 좌표 할당에 대한 그림이다.



(a) Assignment of X, Z coordinate



(b) Assignment of Y coordinate

그림 3. 3차원 좌표 할당
Fig. 3. Assignment of 3D coordinate.

3.3. 카메라 행렬 계산

할당된 X, x 에 대해 카메라 행렬은 다음과 같이 구할 수 있다. 식 (1)을 구성요소로 표현하면 식 (3)과 같다. 식 (3)을 분해하면 식 (4)와 같이 2개의 연립방정식을 얻을 수 있다. P 는 스케일에 무관하므로 p_{34} 를 1로 두면 n 개의 일치점 쌍으로부터 P 를 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$u = \frac{p_{11}X + p_{12}Y + p_{13}Z + p_{14}}{p_{31}X + p_{32}Y + p_{33}Z + p_{34}}$$

$$v = \frac{p_{21}X + p_{22}Y + p_{23}Z + p_{24}}{p_{31}X + p_{32}Y + p_{33}Z + p_{34}} \quad (4)$$

IV. 3차원 형상 복원

본 장에서는 카메라 캘리브레이션의 결과인 카메라 행

렬과 회전 각도별 획득 영상을 입력으로 하여 실제 3차원 형상을 복원하는 절차에 대하여 설명한다. 실루엣 생성부에서는 회전 각도별 획득 영상을 입력으로 하여 물체와 배경을 분리하는 작업을 수행한다. 피라미드 기반 볼륨 교차기법에서는 실루엣 영상과 카메라 행렬을 입력으로 하여 물체가 차지하는 복셀을 남겨두고 물체 외부의 복셀은 제거한다.

4.1 실루엣 생성

실루엣 생성부에서는 회전 각도별 획득 영상을 입력으로 하여 물체와 배경을 분리하는 작업을 수행한다. 실루엣 생성에 대한 블록도는 그림 4와 같다. 먼저 배경 영상을 획득하고 회전 각도별 획득 영상과의 차 영상을 구한다. 차 영상에서 문턱값을 적용시킨 후 다음과 같이 물체와 배경을 분리한다.

$$I_{sil}^{\theta} = \begin{cases} 1 & \text{if } |I_{bg} - I^{\theta}| < T_{bg} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 I_{bg} 는 배경 영상으로 물체 없이 촬영된 영상이며 I^{θ} 는 회전 각도별 입력 영상, T_{bg} 는 배경과 물체를 분리시키기 위한 문턱값이다.

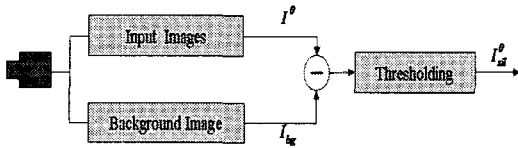


그림 4. 실루엣 생성 블록도.
Fig. 4. Block diagram for silhouette generation.

4.2 피라미드 기반 볼륨 교차 기법

볼륨 교차 기법에서는 생성된 실루엣 영상과 카메라 행렬을 입력으로 주어진 복셀의 투영 영역이 실루엣의 내부 또는 외부에 위치하는 지를 판별한다. 결과적으로 물체가 존재하는 복셀은 남겨두고 나머지 복셀은 제거한다.

4.2.1 복셀의 구성 및 투영

물체가 놓여진 3차원 공간을 그림 5와 같이 3차원 공간을 복셀 단위로 세분화 한다. 주어진 3차원 공간이 X, Y, Z

축으로 각각 W, H, D 의 거리를 가지고 I, J, K 개의 복셀로 나누어지면 임의의 복셀 $\mathbf{V}^{i,j,k}$ 의 8개 모서리에 대한 실 3차원 좌표 할당은 다음과 같다.

$$\mathbf{X}^{i,j,k} = \begin{bmatrix} \frac{W}{2} + \frac{W}{2}i \\ \frac{H}{2} + \frac{H}{2}j \\ \frac{D}{2} + \frac{D}{2}k \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

복셀은 직육면체의 형태를 가지고 있기 때문에 복셀의 영상 평면으로의 투영은 그림 6과 같이 이루어진다. 각 복셀의 모서리를 카메라 행렬을 통해 영상 평면으로 투영시켜서 투영된 8개의 모서리를 포함하는 최외각 사각형을 찾는다. 투영에 의한 최외각 사각형 영역 $\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k}$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k} \equiv \text{Projection}(\mathbf{V}^{i,j,k}, \theta) \quad (7)$$

$$\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k} = \{(u, v) \mid u_{\theta_min}^{i,j,k} \leq u < u_{\theta_max}^{i,j,k} \text{ and } v_{\theta_min}^{i,j,k} \leq v < v_{\theta_max}^{i,j,k}\} \quad (8)$$

즉 $\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k}$ 는 복셀이 가지는 8개의 모서리를 투영한 최외각 사각형 영역에서의 영상 좌표 집합을 나타낸다. 여기서, $u_{\theta_min}^{i,j,k}, v_{\theta_min}^{i,j,k}, u_{\theta_max}^{i,j,k}, v_{\theta_max}^{i,j,k}$ 는 영상 평면에서의 최외각 사각형의 u, v 좌표를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$u_{\theta_min}^{i,j,k} = \min_u \{u \mid \mathbf{P}_{\theta} \mathbf{X}^{lmn}, l=i, i+1, m=j, j+1, n=k, k+1\} \quad (9)$$

$$u_{\theta_max}^{i,j,k} = \max_u \{u \mid \mathbf{P}_{\theta} \mathbf{X}^{lmn}, l=i, i+1, m=j, j+1, n=k, k+1\} \quad (10)$$

$$v_{\theta_min}^{i,j,k} = \min_v \{v \mid \mathbf{P}_{\theta} \mathbf{X}^{lmn}, l=i, i+1, m=j, j+1, n=k, k+1\} \quad (11)$$

$$v_{\theta_max}^{i,j,k} = \max_v \{v \mid \mathbf{P}_{\theta} \mathbf{X}^{lmn}, l=i, i+1, m=j, j+1, n=k, k+1\} \quad (12)$$

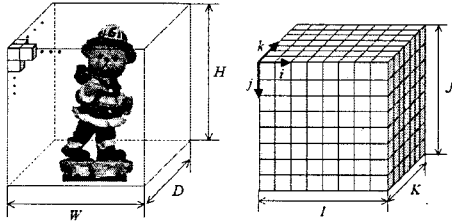


그림 5. 실 공간에서의 복셀 구성
Fig. 5. Construction of voxels in real space.

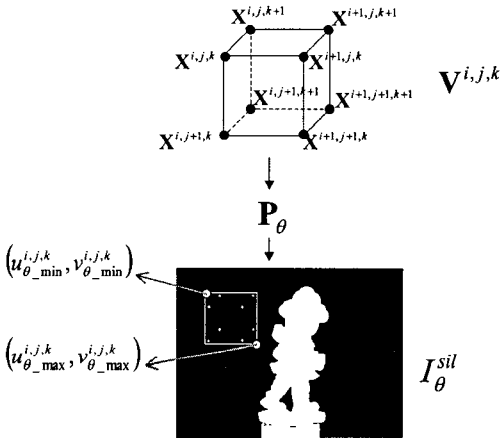


그림 6. 복셀의 영상면으로의 투영
Fig. 6. Projection of voxel to image plane.

4.2.2 피라미드 기반 복셀 조각 기법

복셀 조각 기법의 처리 속도를 향상시키기 위하여 피라미드 기반 복셀 조각 기법을 제안한다. 제안 복셀 조각 기법은 그림 7과 같이 복셀 배열과 실루엣 영상을 피라미드 구조로 형성하고 각 피라미드 레벨에서 복셀 조각 기법을 수행한다. 피라미드 상위 레벨에서 대략적인 복셀 형상을 만들어 내고 하위 레벨에서는 상위 레벨의 조각 정보를 받아 더욱 세밀하게 볼륨을 조각한다. 상위 레벨에서 실루엣 윤곽에 놓여진 복셀에 대해서만 하위 레벨에서 조각하기 때문에 처리 속도를 향상시킬 수 있다.

제안 피라미드 기반 복셀 조각 기법에 대한 순서도는 그림 8과 같다. 입력 실루엣 영상과 3차원 복셀 배열을 피라미드 구조로 초기화한다. 모든 복셀은 “ambiguous” 값을 할당하고 최상위 레벨부터 최하위 레벨로 복셀 조각 기법을 수행한다. 임의의 레벨에서 “ambiguous” 값을 가지는 복셀에 대해 복셀 조각 기법을 적용한다. 복셀 조각

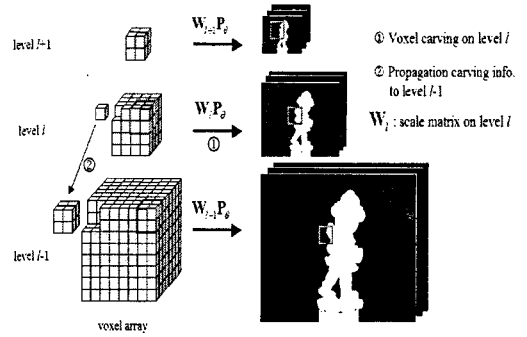


그림 7. 제안 피라미드 기반 볼륨 교차 기법의 개념도
Fig. 7. Concept of proposed pyramid-based volume intersection.

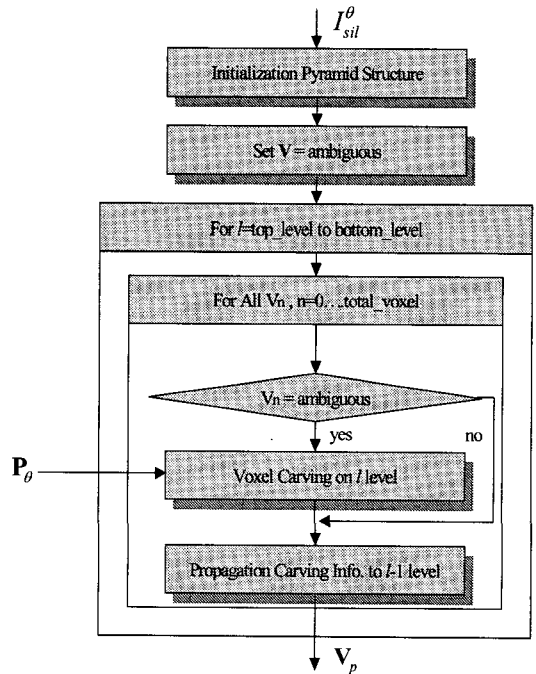


그림 8. 피라미드 기반 볼륨 교차기법에 대한 흐름도
Fig. 8. Flow chart of pyramid based volume intersection.

기법의 결과는 하위 레벨로 전파되며 최하위 레벨에 도착할 때까지 반복 수행한다.

4.2.2.1 피라미드 구조 생성

입력 실루엣 영상에 대한 피라미드 구조는 다음과 같이 생성된다.

$$L'_\theta(u, v) = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 L_{\theta}^{l-1}(2u+m, 2v+n) \quad (13)$$

$$L_{\theta}^0(u, v) = I_{\theta}^{sil}(u, v) \quad (14)$$

최하위 레벨은 실루엣 영상으로 식 (14)와 같이 초기화되며 상위 레벨은 하위 레벨의 값의 합으로 구성된다. 일반적인 영상의 피라미드 구조는 하위 레벨에서 상위 레벨로 올라갈 때 그 평균의 값을 취하지만 본 논문에서는 합의 값을 상위 레벨로 전달한다. 이는 피라미드 레벨에서 복셀 조각기법을 적용할 때 내·외부 판단 시 하위 레벨의 정보를 유지하기 위해서이다.

4.2.2.2 피라미드 레벨에서의 복셀 조각기법

각 피라미드 레벨에서의 복셀 조각 기법은 복셀 피라미드 공간과 영상 피라미드 공간에서 이루어진다. l 레벨에서의 복셀을 $\mathbf{V}^{i,j,k,l}$ 라고 두면 해당 복셀의 모서리 좌표는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{X}^{i,j,k,l} = \begin{bmatrix} -\frac{W}{2} + \frac{W}{I} 2^l i \\ \frac{H}{2} + \frac{H}{J} 2^l j \\ -\frac{D}{2} + \frac{D}{K} 2^l k \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

또한 $\mathbf{V}^{i,j,k,l}$ 의 복셀을 θ 영상의 피라미드 l 레벨로의 투영 영역을 $\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}$ 로 표현하고 다음 식으로 나타낸다.

$$\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l} \equiv \text{Projection}(\mathbf{V}^{i,j,k,l}, \theta) \quad (16)$$

$$\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l} = \left\{ (u,v) \mid u_{\theta_{\min}}^{i,j,k,l} \leq u < u_{\theta_{\max}}^{i,j,k,l} \text{ and } v_{\theta_{\min}}^{i,j,k,l} \leq v < v_{\theta_{\max}}^{i,j,k,l} \right\}$$

$\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}$ 는 복셀이 가지는 8개의 모서리를 투영한 최외각 사각형 영역에서의 영상 좌표 집합을 나타낸다. 여기서, $u_{\theta_{\min}}^{i,j,k,l}$, $v_{\theta_{\min}}^{i,j,k,l}$, $u_{\theta_{\max}}^{i,j,k,l}$, $v_{\theta_{\max}}^{i,j,k,l}$ 는 θ 영상의 피라미드 l 레벨 영상 평면에서의 최외각 사각형의 u, v 좌표를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$u_{\theta_{\min}}^{i,j,k,l} = \min_u \left\{ \mathbf{WPX}_{\theta}^{e,f,g,l}, e=i,i+1, f=j,j+1, g=k,k+1 \right\} \quad (17)$$

$$u_{\theta_{\max}}^{i,j,k,l} = \max_u \left\{ \mathbf{WPX}_{\theta}^{e,f,g,l}, e=i,i+1, f=j,j+1, g=k,k+1 \right\} \quad (18)$$

$$v_{\theta_{\min}}^{i,j,k,l} = \min_v \left\{ \mathbf{WPX}_{\theta}^{e,f,g,l}, e=i,i+1, f=j,j+1, g=k,k+1 \right\} \quad (19)$$

$$v_{\theta_{\max}}^{i,j,k,l} = \max_v \left\{ \mathbf{WPX}_{\theta}^{e,f,g,l}, e=i,i+1, f=j,j+1, g=k,k+1 \right\} \quad (20)$$

여기서 \mathbf{W}_l 은 피라미드 l 레벨에서의 스케일 행렬을 나타낸다.

각 레벨에서의 복셀 조각 판단은 다음 수식으로 정의되며 “outside”는 임의의 θ 에 대해 $\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}$ 내에 물체가 없는 경우, “inside”는 모든 θ 에 대해 $\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}$ 내에 물체가 모두 차지하는 경우, “ambiguous”는 “outside”나 “inside”가 아닌 경우 즉, $\mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}$ 에 물체가 겹쳐있는 경우를 의미한다.

$$\mathbf{W}(i,j,k,l) = \begin{cases} \text{outside} & \text{if } \sum_{(u,v) \in \mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}} L_{\theta}(u,v) = 0 \text{ for any } \theta \\ \text{inside} & \text{if } \sum_{(u,v) \in \mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}} L_{\theta}(u,v) = \sum_{(u,v) \in \mathbf{S}_{\theta}^{i,j,k,l}} 1 \text{ for all } \theta \\ \text{ambiguous} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

그림 7에서 ②의 과정은 ①의 과정에서의 복셀 조각 정보를 하위 레벨로 전파하는 과정이다. 하위 레벨에서는 상위 레벨에서 “ambiguous”한 복셀에 대해서만 ①의 과정을 반복 수행한다.

V. 3차원 표면 생성

4장에서 복원된 3차원 형상은 복셀 단위의 데이터를 가지고 있다. 실제 3차원 모델은 표면 단위로 표현되어야 하며 표면의 구성단위는 삼각 또는 사각의 그물망 구조를 가질 수 있다. 복셀 단위의 데이터를 삼각 그물망 구조로 변환에는 일반적으로 컴퓨터 그래픽스에서 사용되는 마칭 큐브 알고리즘^{[10][11]}을 적용하였다. 볼륨 기반 마칭 큐브 알고리즘은 원 표면을 근사화시키는 표면을 구성하기 위하여 직육면체의 모서리점의 정보를 사용한다. 마칭 큐

브는 공간을 규칙적으로 배열된 격자로 나누는 후 격자내의 각 직육면체를 고려한다. 하나의 직육면체를 고려할 때 각 직육면체의 꼭지점에서 교점을 계산한다. 표면이 직육면체를 통해 통과할 경우 꼭지점의 일부는 폐곡면의 내부 또는 외부에 위치하게 된다. 표면의 내부에 위치하는 꼭지점에는 "1"을 외부의 꼭지점에는 "0"을 할당한다면 교점의 위치를 찾음으로써 직육면체 내의 표면 위상(topology)을 결정할 수 있다.

VI. 실험 및 결과

실험에 사용된 CCD 카메라는 JAICV-S3300 이며 획득된 영상의 크기는 640X480의 24비트 칼라 영상이다. 컴파일러는 Visual C++ 6.0사용하였으며 3차원 디스플레이를 위해 OpenGL^[12]을 사용하였다. 구현한 컴퓨터 사양은 펜티엄 IV 프로세서 2.0 GHz이다.

실험에 사용된 실 3차원 형상은 모형 조각상을 사용하였으며 9도의 회전 각도를 가지고 총 40장의 영상을 획득하였다. 그림 9에서 획득된 영상 중 일부를 나타내었다.

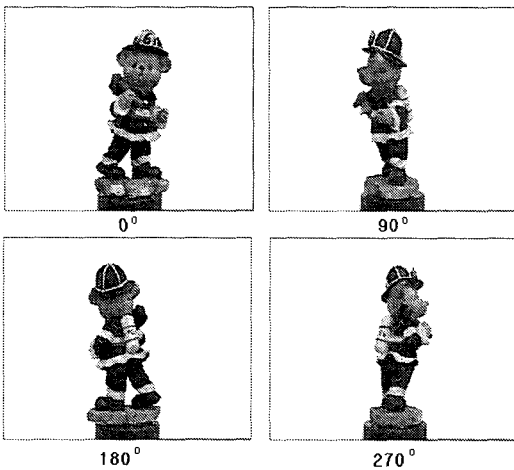


그림 9. 입력 영상
Fig. 9. Input images

피라미드 기반 복셀 조각기법의 성능을 평가하기 위한 실험 환경에서의 3차원 복셀 공간을 64 X 64 X 64, 128 X 128 X 128, 256 X 256 X 256의 세가지의 해상도로 나누어 실험하였다. 제안 피라미드 기반 복셀 조각기법의 처리 시간

면에서 성능을 평가하기 위하여 최상위 레벨을 변경하여 처리 시간을 비교하였다. 표 1에서 실험 영상에 대한 각 해상도별 최상위 레벨에서의 볼륨 교차기법에 대한 처리 시간을 나타내었다. 64 X 64 X 64 해상도에서는 제안 피라미드 기반 복셀 조각기법이 피라미드 구조를 사용하지 않은 기존 알고리즘 보다 1.8배 처리 속도가 빠르고, 128 X 128 X 128 해상도에서는 3.1배, 256 X 256 X 256 해상도에서는 6.5배의 처리 속도가 향상됨을 알 수 있다. 즉 복셀 공간에 대한 해상도가 클수록 제안 피라미드 기반 볼륨 교차기법의 효과가 증가함을 확인할 수 있다. 그림 10에서 표 1에 대해 그래프로 나타내었으며 공간 해상도가 클수록 감소 기울기가 커짐을 알 수 있다. 그림 11은 128 X 128 X 128 해상도에서의 피라미드 레벨별 복원 결과 형상을 복셀 단위로 나타내었다. 피라미드 상위 레벨에서 대략적인 형상이 복원되고 하위 레벨로 복원 과정을 반복할수록 세밀화 됨을 확인할 수 있다. 그림 12는 복원 복셀에 대한 3차원 삼각 그물망 모델을 마칭 큐브 알고리즘에 의해 생성된 결과를 보여준다.

표 1. 각 해상도에 대한 최상위 레벨에서의 처리 시간 비교표

Table 1. Comparison of processing time for top level at each resolution.

	처리시간 [sec.]		
	64×64×64	128×128×128	256×256×256
Level 0	3.75	16.85	106.09
Level 1→0	2.20	6.23	26.60
Level 2→0	2.08	5.17	17.81
Level 3→0	2.07	5.08	16.82
Level 4→0	2.06	5.07	16.56
Level 5→0	--	5.05	16.34

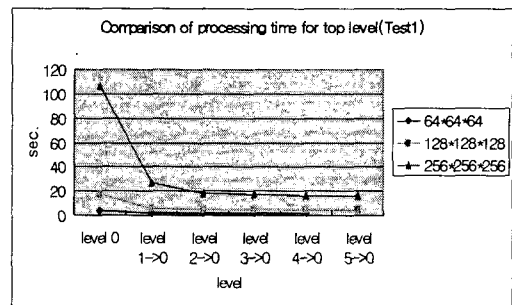


그림 10. 각 해상도에 대한 최상위 레벨에서의 처리 시간 비교 그래프

Fig. 10. Comparison of processing time for top level at each resolution.

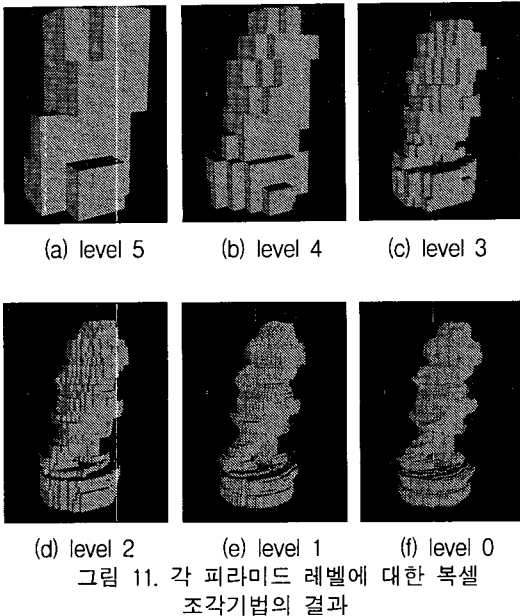


그림 11. 각 피라미드 레벨에 대한 복셀 조각기법의 결과

Fig. 11. Results of voxel carving at each pyramid level.

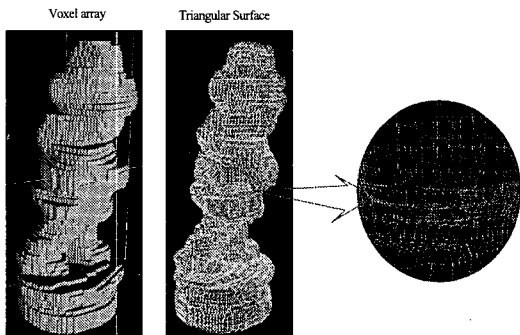


그림 12. 복원된 복셀에 대한 마칭 큐브 적용 결과
Fig. 12. Result of marching cube for reconstructed voxels.

VII. 결 론

본 논문에서는 스테레오 보정 카메라를 이용한 영상 기반 3차원 모델링 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 카메라 보정 단계, 3차원 형상 복원 단계, 3차원 표면 생성 단계로 구성하였다. 3차원 형상 복원 단계에서는 복원 공간과 입력 영상을 피라미드 구조화 하여 빠른 처리 속도를 가지는 피라미드 볼륨 교차기법을 제안하였다. 실험

결과에서 제안 3차원 모델링 시스템이 효과적으로 3차원 형상 모델을 생성할 수 있음을 확인하였다. 제안 시스템은 고가형 3D 스캐너를 필요로 하지 않는 개인용 3차원 모델링 시스템에 활용될 것으로 기대되며 향후 복원 형상에 텍스처 매핑 기법을 도입하여 실감하는 모델로 변환하는 작업이 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] F. Schmitt and Y. Yemez, "3D color object reconstruction from 2D image sequences," IEEE Int. Conf. on Image Process, pp. 102-106, Kobe, Japan, Oct. 1999.
- [2] C. Rocchini, P. Cignoni, C. Montani, P. Pingi and R. Scopigno, "A Low Cost Scanner Based on Structured Light," Eurographics 2001 Conf. Proc., vol. 20, no. 3, pp. 299-308, 2001.
- [3] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, cambridge univ. press, 2000.
- [4] C. J. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *In Proc. 4th Alvey Vision Conf.*, Manchester, pages 147-151, 1988.
- [5] W. N. Martin and J. K. Aggarwal, "Volumetric description of objets from multiple views," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 5, no. 2, pp. 150-158, 1983.
- [6] G. Slabaugh, W. Culbertson, T. Malzbender, M. Stevens and R. Schafer, "Methods for volumetric reconstruction of visual scenes," Int. J. of Computer Vision, vol. 57, no. 3, pp. 179-199, 2004.
- [7] S. M. Seitz and C. R. Dyer, "Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring," Proc. Computer Vision and Pattern Recognition Conf., pp. 1067-1073, 1997.
- [8] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses," IEEE J. of Robotics and Automation, vol. 3, no. 4, pp. 323-344, Aug. 1987.
- [9] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and*

Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.

- [10] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," *Computer Graphics*, vol. 21, No. 4, pp. 163-169, 1987.
- [11] G. Nielson and B. Hamann, "The Asymptotic Decider: Resolving the Ambiguity in Marching Cubes," *IEEE Visualization '91*, pp. 83-91, 1991.
- [12] Richard S. Wright, Jr. and Michael Sweet, *OpenGL Superbible*, 1997.

저자소개

이 상 욱(Sang-Wook Lee)

국립경상대학교 정보통신공학과 교수
컴퓨터정보통신연구소 연구원
해양산업연구소 연구원