

스테레오 보정 카메라를 이용한 영상 기반 3차원 모델링에 관한 연구

A Study on the Image-Based 3D Modeling Using Calibrated Stereo Camera

김 효 성*, 남 기 곤*, 주 재 흠**, 이 철 헌***, 설 성 욱*

Hyo-Sung Kim*, Ki-Gon Nam*, Jae-Hum Joo**, Chul-Hun Lee***, Sung-Wook Seol*

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 스테레오 보정 카메라를 이용한 영상 기반 3차원 모델링 시스템을 제안한다. 3차원 모델을 생성하기 위한 제안 알고리즘은 카메라 보정 단계, 3차원 좌표 복원 단계, 3차원 좌표 등록 단계로 이루어진다. 카메라 보정 단계에서는 영상 획득용 카메라에 대한 카메라 행렬을 계산하며 3차원 좌표 복원 단계에서는 스테레오 영상의 일치점으로부터 삼각측량법에 의해 3차원 좌표를 복원한다. 3차원 좌표 등록 단계에서는 개별적으로 복원된 3차원 좌표의 단일 모델을 생성하기 위한 기준 좌표로의 변환을 추정하여 최종 3차원 모델을 생성한다. 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, we propose the image-based 3D modeling system using calibrated stereo cameras. The proposed algorithm for rendering 3D model consists of three steps, camera calibration, 3D reconstruction, and 3D registration step. In the camera calibration step, we estimate the camera matrix for the image acquisition camera. In the 3D reconstruction step, we calculate 3D coordinates using triangulation from corresponding points of the stereo image. In the 3D registration step, we estimate the transformation matrix that transforms individually reconstructed 3D coordinates to the reference coordinate to render the single 3D model. As shown the result, we generated relatively accurate 3D model.

Key words : 3D Reconstruction, Camera Calibration, Registration, 3D Modeling

1. 서론

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 쇼핑몰 등 가상 현실을 구

현하기 위한 필수 요건은 3차원 모델을 생성하는 것이다.

3차원 모델링의 기술은 센싱(sensing) 방법에 따라 능동형(active)과 수동형(passive)으로 나눌 수 있다[1]. 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. 수동형 센싱은 카메라로 획득된 영상만을 사용하여 3차원 정보를 추출하는 기술로 정밀도는 낮지만 저가의 장비로 구현이 가능하기 때문에 컴퓨터 비전 연구분야에서 활발히 연구되어지고 있다.

* 부산대학교 전자공학과 **부산 카톨릭 대학교 컴퓨터공학부

*** 부산 정보대학 전기 전자 계열

접수 일자 : 2003. 5. 16 수정 완료 : 2003. 7. 23

논문 번호 : 2003-2-12

※본 연구는 부산대학교 기성회 재원 학술 연구 조성비에 의한 연구입니다.

수동형 센싱은 다시 크게 보정(calibrated) 카메라에 의한 복원법과 비보정(uncalibrated) 카메라에 의한 복원법으로 구분된다[2]. 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 못 한다. 비보정 카메라에 의한 복원법은 카메라 보정 절차가 필요가 없으며 일반적인 영상에서 적용 가능 하지만 실 유클리디언 좌표로 복원할 수 없으며 입력정보에 매우 민감하게 반응한다.

본 논문에서는 개인용 컴퓨터에서 저가형 영상기반 3차원 모델생성 시스템을 제안한다. 제안 알고리즘에서는 비교적 실물과 유사한 3차원 모델을 생성하기 위해 수동형 센싱 중 보정 카메라에 의한 복원법을 사용하였으며 카메라 보정, 3차원 좌표 복원, 3차원 좌표 등록(registration)의 세 단계로 구성된다. 카메라 보정 단계에서는 보정 패턴(calibration pattern)을 이용하여 영상획득용 카메라에 대한 카메라 행렬을 구한다. 3차원 좌표 복원 단계에서는 스테레오 영상의 일치점으로부터 삼각 측정법(triangulation)에 의해 3차원 좌표를 복원한다. 3차원 좌표 등록 단계에서는 다양한 뷰에서의 개별적으로 복원된 3차원 좌표를 기준 좌표로 매핑 시킨다. 좌표 등록법은 2차원 모자이크 방법[3]에서 주로 사용되며 본 논문에서는 2차원 좌표 등록법을 확장하여 사용하였고 기존의 단방향 등록법의 오차 누적을 해결하기 위해 양방향 등록법을 사용하였다. 최종 단일 3차원 모델에 대해 텍스처 매핑(texture mapping)을 수행하여 실감나는 3차원 모델을 생성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안 영상기반 3차원 모델 생성 시스템에 대해 설명하고 3장에서 카메라 보정에 대해 기술한다. 4장에서 3차원 좌표 복원에 대해 5장에서 레지스트링 과정에 대하여 설명하고 6장에서 실험 및 결과를 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

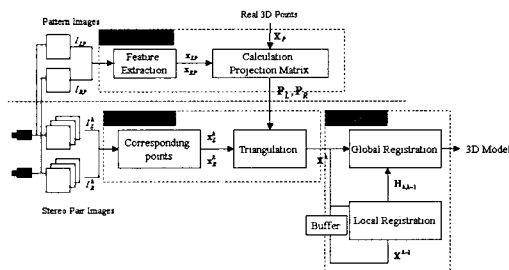


그림 1. 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of the image-based 3D modeling system.

보정 단계, 3차원 좌표 복원 단계, 3차원 좌표 등록 단계로 나뉜다. 카메라 보정 단계에서는 보정 패턴을 이용하여 좌·우 카메라에 대한 카메라 행렬을 구한다. 3차원 좌표 복원 단계에서는 삼각 측정법을 이용하여 스테레오 영상의 일치점과 카메라 보정 단계에서 계산된 카메라 행렬로부터 3차원 유클리디언 좌표를 생성한다. 3차원 좌표 등록 단계에서는 각각의 스테레오 영상에서 복원된 3차원 좌표를 기준 좌표로 변환하게 함으로써 최종 단일 3차원 모델을 생성하게 된다.

III. 카메라 보정(Camera Calibration)

3.1 원근 투영 카메라 모델

일반적으로 CCD 카메라는 원근 투영(perspective projection) 카메라 또는 핀홀(pinhole) 카메라로 모델링된다[4]. 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.

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

여기서 P 는 3x4 행렬로써 카메라 내부 파라미터로 구성되는 K 행렬(3x3), 카메라의 외부 자세를 나타내는 회전 R 행렬(3x3)과 이동 T 벡터(3x1)로 구성된다. \cong 는 동차좌표계(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 검출법[5]을 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. 여기서 $g_{xx}(u_i, v_j)$ 는 u_i, v_j 위치에서의 2차미분을 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} \sum_i \sum_j g_{xx}(u_i, v_j) & \sum_i \sum_j g_{xy}(u_i, v_j) \\ \sum_i \sum_j g_{xy}(u_i, v_j) & \sum_i \sum_j g_{yy}(u_i, v_j) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_u \\ C_v \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} \sum_i g_{xx}(u_i, v_j)u_i + \sum_j g_{xy}(u_i, v_j)v_j \\ \sum_i g_{xy}(u_i, v_j)u_i + \sum_j g_{yy}(u_i, v_j)v_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

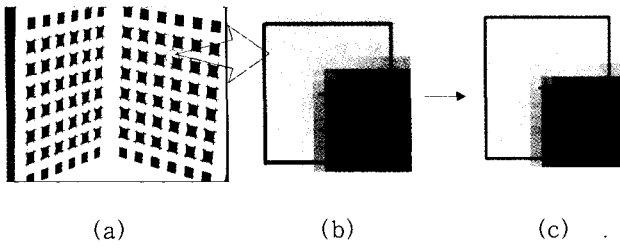


그림 2. 특징점 추출

- (a) 보정 패턴 영상
- (b) 초기 특징점 위치
- (c) 특징점 위치 보정

Fig. 2. Feature extraction

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

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°, L은 13mm, Z_I 는 500mm이다. 그림 3의 (b)는 3차원 공간상의 Y에 대한 좌표 할당에 대한 그림이다.

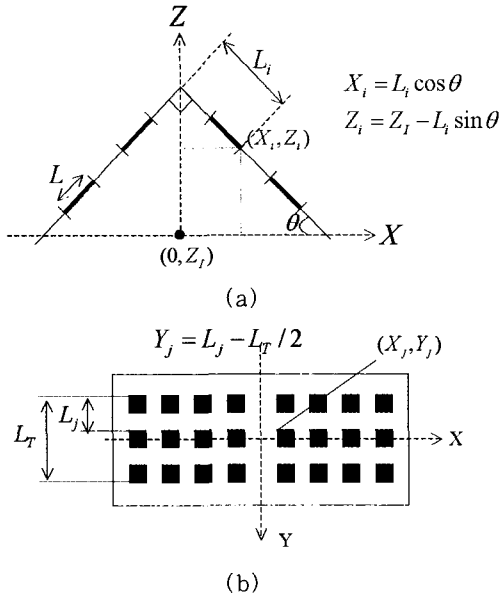


그림 3. 3차원 좌표 할당

- (a) X, Z 좌표 할당
- (b) Y 좌표 할당

Fig. 3. Assignment of 3D coordinate.

- (a) Assignment of X, Z coordinate
- (b) Assignment of Y coordinate

3.3. 카메라 행렬 계산

할당된 X, x에 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. P는 스케일에 무관하므로 p_{34} 를 1로 두면 n개의 일치점 쌍으로부터 식 (5)와 같이 행렬 형태로 표현할 수 있다. 미지수가 11개 이며 한 점에 대해 2개의 방정식을 얻을 수 있으므로 최소한 6개의 일치점 쌍으로부터 P를 계산할 수 있다.

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

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

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

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1X_1 & -u_1Y_1 & -u_1Z_1 & p_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -v_1X_1 & -v_1Y_1 & -v_1Z_1 & p_{12} \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_2X_2 & -u_2Y_2 & -u_2Z_2 & p_{13} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & -v_2X_2 & -v_2Y_2 & -v_2Z_2 & p_{14} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M & & & & & & & & & & & M \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_nX_n & -u_nY_n & -u_nZ_n & p_{32} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -v_nX_n & -v_nY_n & -v_nZ_n & p_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

IV. 3차원 좌표 복원

스테레오 영상의 일치점으로부터 3차원 좌표 복원은 삼각 측량법에 의해 이루어진다. 삼각 측량법은 그림 4와 같이 2.3에서 추정된 좌·우 카메라 행렬 P_L, P_R 과 일치점 x_L, x_R 에 의해 구해진다. 좌·우 카메라에 대해 식 (1)은 식(6)과 같이 표현되며 스케일 요소를 제거하기 위해 외적(cross product) 관계를 사용하면 식 (7)과 같이 표현할 수 있다. 식 (7)을 분해시키면 각 카메라에서 식 (8)과 같이 3개의 연립 방정식을 유도할 수 있으며 3개의 연립 방정식 중 2개의 연립 방정식이 서로 독립적이므로 식 (9)와 같이 X를 구하기 위한 단일 방정식 형태로 나타낼 수 있다. 여기서 P^{iT} 는 P의 i번째 행벡터를 나타내며 X는 계수 행렬 A의 영공간에 있다.

$$x_L \cong P_L X, \quad x_R \cong P_R X \quad (6)$$

$$x_L \times \{P_L X\} = 0, \quad x_R \times \{P_R X\} = 0 \quad (7)$$

방법 1 (SM : Simple Method) :

$$H_j = \prod_{n=2}^j H_{n,n-1} \quad (13)$$

방법 2 (UDM : Uni-Directional Method) :

$$H_{ji}^T H_i^T - H_j^T = 0 \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} I \\ 0 \\ M \\ 0 \\ M \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{H}_{21}^T & -I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M & M & & M & & M \\ 0 & 0 & \mathbf{H}_{j(j-1)}^T & -I & 0 & 0 \\ M & M & & M & & M \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{H}_{N(N-1)}^T & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1^T \\ \mathbf{H}_2^T \\ M \\ \mathbf{H}_j^T \\ M \\ \mathbf{H}_N^T \end{bmatrix} \quad (15)$$

방법 3 (SDM : Semi-Directional Method) :

$$\begin{cases} H_{ji}^T H_i^T - H_j^T = 0 & j < N/2 \\ H_{ji}^T H_i^T + H_{jk}^T H_k^T - 2H_j^T = 0 & j = N/2 \\ H_{jk}^T H_k^T - H_j^T = 0 & j > N/2 \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} I \\ 0 \\ M \\ 0 \\ 0 \\ M \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{H}_{21}^T & -I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M & M & & M & & M \\ 0 & 0 & \mathbf{H}_{(N/2)(N/2+1)}^T & -2I & \mathbf{H}_{(N/2)(N/2+1)}^T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -I & \mathbf{H}_{(N/2+1)(N/2+2)}^T \\ M & M & & M & & M \\ 0 & \mathbf{H}_{N1}^T & 0 & 0 & 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1^T \\ \mathbf{H}_2^T \\ M \\ \mathbf{H}_{N/2}^T \\ \mathbf{H}_{N/2+1}^T \\ M \\ \mathbf{H}_N^T \end{bmatrix} \quad (17)$$

방법 4 (BDM : Bi-Directional Method) :

$$H_{ji}^T H_i^T + H_{jk}^T H_k^T - 2H_j^T = 0 \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} I \\ 0 \\ M \\ 0 \\ M \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{H}_{21}^T & -2I & \mathbf{H}_{23}^T & 0 & 0 & 0 \\ M & M & & M & & M \\ 0 & 0 & \mathbf{H}_{j(j-1)}^T & -2I & \mathbf{H}_{j(j+1)}^T & 0 \\ M & M & & M & & M \\ 0 & \mathbf{H}_{N1}^T & 0 & 0 & \mathbf{H}_{N(N-1)}^T & -2I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1^T \\ \mathbf{H}_2^T \\ M \\ \mathbf{H}_j^T \\ M \\ \mathbf{H}_N^T \end{bmatrix} \quad (19)$$

VI. 실험 및 결과

제안하는 영상 기반 3차원 모델 생성 시스템의 영상 획득용 카메라는 XC-55 흑백 비디오 카메라 모듈을 사용하였으며 스테레오 영상을 획득하기 위해 동일 기종의 카메라 2대를 사용하였다. 획득 영상은 그레이 영상이며 640×480의 해상도를 갖는다. 3차원 모델에 대한 디스플레이는 OpenGL을 사용하여 구현하였다[6].

각 카메라의 보정을 위한 좌·우 보정 패턴 획득 영상은 그림 6과 같다. 카메라 보정 후 3차원 모델을 생성하기

위하여 물체를 회전 시켜가며 스테레오 영상을 획득하였다. 실험에 사용된 물체는 모형 컴퓨터를 사용하였다. 그림 7에서 획득된 총 8개의 스테레오 영상 중 4개만을 나타내었다.

그림 8은 k=1인 스테레오 영상에서 선택한 특징점과 3차원 모델 구성 요소(primitive) 및 텍스처 매핑을 위한 면을 나타내었다. 특징점은 마우스로 직접 선택하였다. 그림 9는 그림 7의 입력 영상에 대한 복원된 3차원 모델링 결과이다. 그림 10은 지역등록에 의해 2개의 3차원 모델을 하나의 모델로 결합한 결과를 보여준다. 그림 11은 전역 등록법에 의한 3차원 모델에 대한 매쉬(mesh)를 보여준다. 5.2절에서 설명한 방법 중 기존의 SM과 UDM에서는 복원된 좌표가 단일화 되지 않고 심한 불일치를 나타내었지만 제안한 SDM, BDM에 의한 결과에서 오차가 극부적으로 나타나지 않고 전체적으로 퍼짐을 확인할 수 있다.

4가지 방법의 정량적인 비교법으로 3차원 복원 좌표군에 대한 표준 편차를 그림 12의 도표에 나타내었다. 여기서 표준 편차는 식 (20)과 같으며 단일 좌표를 형성하기 위한 좌표군의 평균에 대한 편차를 의미한다. 이상적인 경우 표준 편차는 영(zero)이다.

$$Error_{std} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mathbf{H}_i \mathbf{X}_i^k - \bar{\mathbf{X}}^k)^2} \quad (20)$$

where, $\bar{\mathbf{X}}^k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{H}_i \mathbf{X}_i^k$

그림 12의 결과에서 보듯이 제안한 BDM이 표준 편차가 가장 낮음을 확인할 수 있다. 그림 13은 방법 4에 의해 생성된 3차원 좌표군에 대해 평균을 취하여 단일 좌표로 복원된 모델을 보여주며 그림 14는 최종 생성된 3차원 모델의 다양한 각도에서 본 영상을 나타내었다. 최종 결과에서 보듯이 제안 시스템이 입력 스테레오 영상만을 사용하여 실감나는 3차원 모델을 생성함을 보여주고 있다.

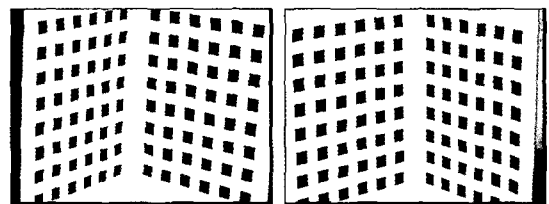


그림 6. 카메라 보정용 좌·우 영상
Fig. 6. Left · right images for camera calibration.

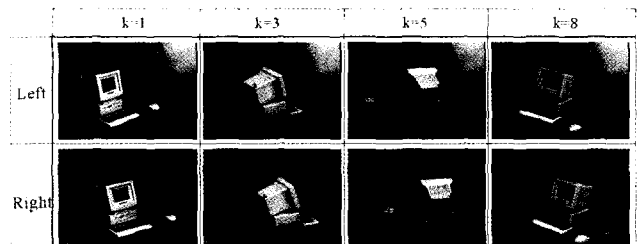


그림 7. 입력 스테레오 영상
Fig. 7. Input stereo images.

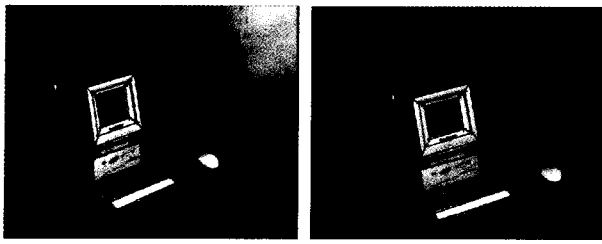


그림 8. 스테레오 영상의 특징점과 프리미티브
 Fig. 8. Detected feature points and primitives in the stereo image.

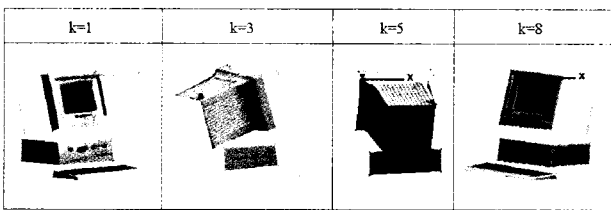


그림 9. 스테레오 영상 별 3차원 모델 영상
 Fig. 9. 3D model images for each stereo image.

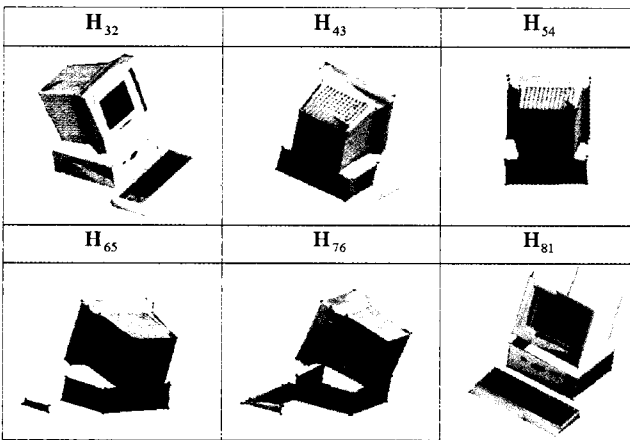


그림 10. 지역 등록에 의한 3차원 모델 영상
 Fig. 10. 3D model images after local registration.

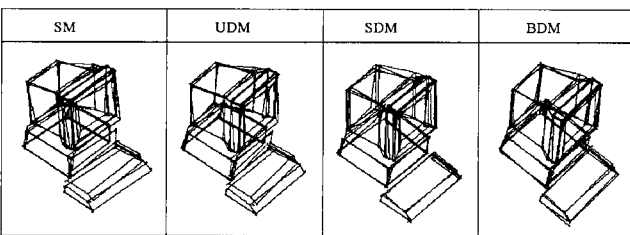


그림 11. 전역 등록에 의한 방법별 3차원 모델 매쉬
 Fig. 11. 3D model mesh for each method of global registration.

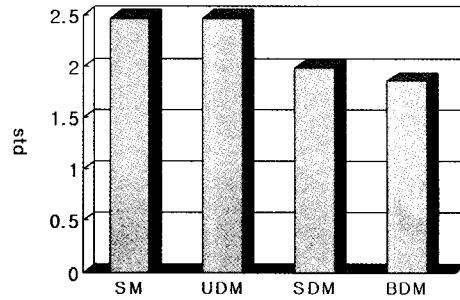


그림 12. 표준편차 비교그래프
 Fig. 12. Comparison graph of standard deviation.

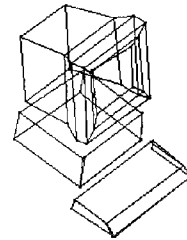


그림 13. 단일 3차원 좌표 할당 결과 영상
 Fig. 13. Mesh image after assignment of single 3D coordinate.

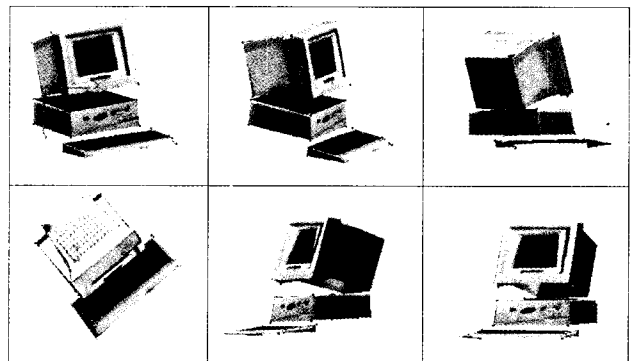


그림 14. 다양한 뷰에서의 최종 3차원 모델 영상
 Fig. 14. Final 3D model images in the multi-view point.

Ⅶ. 결론

본 논문에서는 스테레오 보정 카메라를 이용한 영상 기반 3차원 모델링 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 카메라 보정 단계, 3차원 좌표 복원 단계, 3차원 좌표 등록 단계로 구성하였다. 개별적인 3차원 좌표를 병합하는 방법으로 양방향 매핑 구조인 BDM 기법을 제안하였으며 실험결과 제안 알고리즘이 표준편차 측면에서 우수함을 확인하였다. 최종 계산된 3차원 매쉬는 텍스처 매핑에 의해 실감나는 3차원 모델로 디스플레이 하였다. 제안 시스템은 고가형 3D 스캐너를 필요로 하지 않는 개인용 3차원 모델링 시스템에 활용될 것으로 기대된다. 그러나, 물체의 표

면 구성이 평면에 한정되어 있으며 향후 과제로는 평면 구성 모델이 아닌 곡면 형태의 모델을 생성하는 기술의 개발이다. 평면 구성 모델과는 달리 곡면 형태의 모델을 생성하기 위해서는 복원 좌표를 B-spline 등 다양한 곡면 근사화 기법을 통해 3차원 모델을 생성해야 하는 문제점을 가지고 있다.

참고 문헌

- [1] B. Girod, G. Greiner, H. Niemann, *Principles of 3D Image Analysis and Synthesis*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [2] Richard Hartley and Andrew Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge Univ. Press, 2000.
- [3] Davis, J., "Mosaics of Scenes with Moving Objects," *IEEE Comp. Soc. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR98)*, 1998.
- [4] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(11):1330-1334, 2000.
- [5] C. J. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *In Proc. 4th Alvey Vision Conf.*, Manchester, pages 147-151, 1988.
- [6] Richard S. Wright, Jr. and Michael Sweet, *OpenGL Superbible*, 에프.윈, 1997.



이 철 현 (Chul-Hun Lee)
 正會員
 2000년 부산대학교 전자공학과 박사
 현재 부산정보대학 전기전자계열 전임
 강사.



설 성 옥 (Sung-Wook Seol)
 準會員
 1995년 경성대학교 컴퓨터공학과 학사
 1998년 부산대학교 전자공학과 석사
 2003년 부산대학교 전자공학과 박사

관심분야 : 영상처리 및 컴퓨터비전, 얼굴인식, 멀티미디어



김 효 성 (Hyo-Sung Kim)
 準會員
 2000년 부산대학교 전자공학과 석사
 2000년~현재 부산대학교 전자공학과
 박사 과정
 관심 분야 : 3차원 복원, 패턴인식



남 기 곤 (Ki-Gon Nam)
 正會員
 1997년 부산대학교 전자공학과 학사
 1981년 부산대학교 전자공학과 석사
 1989년 부산대학교 전자공학과 박사
 현재 부산대학교 전자공학과 교수
 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소 연구원
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 패턴 인식



주 재 흠 (Jae-Hum Joo)
 正會員
 2000년 부산대학교 전자공학과 박사
 현재 부산카톨릭대학교 컴퓨터정보공학
 부교수