

평면 호모그래피를 이용한 3차원 재구성

정희원 윤용인*, 학생회원 옥형수** 종신회원 최중수*, 정희원 오정수***

3D Reconstruction Using the Planar Homography

Yong-In Yoon* *Regular Member*, Hyung-Soo Ohk** *Student Member*,
Jong-Soo Choi* *Lifelong Member*, Jeong-Su Oh*** *Regular Member*

요약

본 논문에서는 비 교정 영상에서 3장의 평면 패턴 영상들을 위치시켜, 한 장의 영상으로 찍어 얻은 영상으로부터 이들 평면 패턴 영상 간에 호모그래피(homography)로 카메라 교정을 하는 새로운 기법이 제안된다. 비교정 영상에서 3차원 재구성을 하려면 카메라 교정이 필수적이다. 제안된 방법은 대상 영상내에 존재하는 패턴 영상 간에 호모그래피를 계산함으로써, 3차원 재구성 시, 보다 쉽고 간단히 구현한다.

실험 결과는 제안된 방법(한 장내에 3장의 패턴영상 사용)에 의한 카메라 교정법이 기존 방법(3장의 패턴영상 사용)에 비해 매우 유용함을 확인한다. 또한, 비 교정 입력 영상에서 제안된 알고리즘을 이용한 3차원 재구성의 예로 증명한다.

Key Words : 3D reconstruction, planar pattern image, camera calibration, homography

ABSTRACT

This paper proposes a new technique of the camera calibration to be computed a homography between the planar patterns taken by a single image to be located at the three planar patterns from uncalibrated images. It is essential to calibrate a camera for 3-dimensional reconstruction from uncalibrated image. Since the proposed method should be computed from the homography among the three planar patterns from a single image, it is implemented to more easily and simply to recover 3D reconstruction of an object than the conventional.

Experimental results show the performances of the proposed method are the better than the conventional. We demonstrate examples of recovering 3D reconstruction using the proposed algorithm from uncalibrated images.

I. 서론

컴퓨터 그래픽스(CG), 애니메이션, 가상현실, 게임 등과 같은 디지털 영상 콘텐츠 제작 시, 3차원 영상으로 표현하면, 입체적이면서 가상세계와의 구현이 용이하다. 따라서 증강현실 구현 등 엔터테인먼트 기술 분야에 널리 응용되고 있다¹⁻³⁾.

3차원 영상 표현에는 CG에서 쓰이는 렌더링 기법이 있다. 일반적으로 이 기법은 3차원 물체 모델

링/렌더링에 시간이 많이 걸린다. 물체 표면 정보를 일일이 모두 계산해야 하기 때문이다. 이와 달리, 여러 장의 교정된 카메라에 찍힌 영상(2D)을 이용하여, 대상 물체(3D: 실세계)를 복원할 수 있다. 이것을 영상 기반 렌더링(Image Based Rendering)이라고 한다³⁾. 3차원 모델링은 건축물과 같은 정형화된 3D 실세계의 모델링/렌더링에 유효하다. 비교적 정형화되어 있어서 다양한 기본 모형(Primitive)을 이용, 모델링/렌더링 할 수 있다. 그러나 사용자 입

※ 본 과제(결과물)는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

* 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 영상정보 연구실(yoonyi@imagelab.cau.ac.kr),

** 삼성전자 DM총괄 프린트 사업부 재직(hs.ohk@samsung.com) *** 부경대학교 화상정보공학부(ojs@pknu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-01-008, 접수일자 : 2006년 1월 8일, 최종논문접수일자 : 2006년 2월 10일

력을 통한 숙련 및 노력이 필요한 단점이 있다. 또한 자연 정경을 표현해줄기가 어렵다.

카메라로 찍은 연속 영상을 이용하여, 3차원 재구성하는 기법이 있다. 이 방법들은 카메라 교정이 필요하며, 이들의 카메라 교정 계산이 어렵다. 따라서 3차원 재구성이 복잡하다^{4,6)}.

최근에 한 장의 영상으로 3차원 재구성이 가능함을 보이고 있다. 이 방법은 영상 내에 소실점을 이용하여 카메라 교정을 행한다. 소실점 계산이 가능한 건축물 등에 제한된다^{7,9)}.

본 논문은 비 교정 영상에서 3장의 평면 패턴 영상을 한 장으로 찍어, 이들 평면 패턴 영상 간에 호모그래피(homography)를 구하여, 카메라 교정을 하는 새로운 기법이 제안된다. 일반적으로 비 교정 영상에서 카메라 교정 기법은 두 영상 간 대응점 찾는 문제가 발생하기 때문에, 이 방법은 많은 오류가 존재하였다. 따라서 제안된 카메라 교정 방법은 오류의 문제가 감소해야 하기 때문에, 평면 패턴으로 카메라 교정 방법을 사용하였다. Zhang¹⁰⁾은 연속된 3장의 평면 패턴 영상으로 호모그래피를 이용한 카메라 교정이 제안되었다. 본 논문에서는 3장의 평면 패턴 영상을 한 장의 영상으로 찍어, 호모그래피를 사용한 새로운 카메라 교정하는 방법이 제안된다. 이 방법은 사용자가 평면 패턴 영상에서 좌표계를 쉽게 설정할 수 있다. 3차원 좌표의 오류 제거가 제한조건으로 사용하기 때문에, 기존의 방법들과 비교하여 오차를 많이 줄일 수 있는 장점이 있다. 그 다음에 평면 패턴의 특징점 간의 매칭 정보를 이용하여, 기본 행렬(Fundamental Matrix)이 계산된다. 에피플 직선이 구해지면, 영상 교정(Image Rectification)을 수행한다. 최종적으로 교정된 영상으로 두 영상의 대응점을 계산해서, 역투영법으로 3차원 재구성이 구현된다.

본 논문은 다음과 같이 서술된다. 2절은 제안된 3차원 재구성의 전체 블록도를 서술하고, 사영 공간에서 카메라 투영 관계 및 평면 패턴을 이용하여, 제안된 알고리즘의 내/외부 매개 변수의 유추하는 방법이 설명된다. 3절에는 두 평면 패턴의 대응점 관계를 이용한 기본 행렬(Fundamental Matrix)의 추출 방법이 설명되고, 영상 교정(Image Rectification)의 방법이 서술된다. 4절은 교정된 영상을 이용하여 영상간의 대응점 계산을 하고, 시차맵의 구성과 역투영법에 의한 3차원 좌표 계산 방법이 설명된다. 5 절에서는 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘의 오차 계산 대한 모의실험의 결과를 나타낸다.

또한 영상에서 3차원 재구성의 예를 보여준다. 6절은 본 논문의 결론을 서술한다.

II. 제안된 알고리즘

2.1 제안된 3차원 재구성의 전체 블록

그림 1은 본 논문의 제안한 전체 블록도이다. 첫 번째 단계에서 비 교정 입력 영상에서 평면 패턴의 특징 점을 추출 후, 각 평면 패턴의 특징 점을 x, y 방향으로 정렬한다. 정렬된 특징 점들로 각각의 카메라에서 찍은 한 장의 영상 내에 3개의 평면 패턴 호모그래피(Homography)를 구하고, 카메라 교정의 내/외부 매개 변수(Parameter)가 계산된다. 두 번째로 평면 패턴은 특징점 간의 매칭 정보를 이용하여 기본 행렬(Fundamental Matrix)이 계산된다. 두 대의 카메라가 동일한 직선상에 위치해야 하기 때문에, 영상 교정(Image Rectification)의 기법이 필요하다. 세 번째로 교정된 영상은 좌/우 영상의 다수의 매칭 점을 찾은 후, 두 영상의 모든 대응점을 찾아 조밀한 시차 맵이 구성된다. 시차 맵은 역투영법(Back Projection)에 의해 3차원 좌표를 쉽게 계산한다. 마지막으로 3차원 좌표는 들로니 삼각화법(Delauny Triangulation)의 방법에 의해서 다면체로 구성한다. 다면체는 텍스처(Texture)를 매핑(Mapping)함으로써 3차원 재구성이 구현된다.

제안된 방법은 두 대의 카메라를 이용, 깊이 정보가 추출될 수 있는 스테레오 카메라 시스템으로 구성된다. 제안된 재구성은 사용자의 입력이 없이 간단하고 쉽게 카메라로 찍힌 영상 물체에 3차원 모델링이 구현된다.

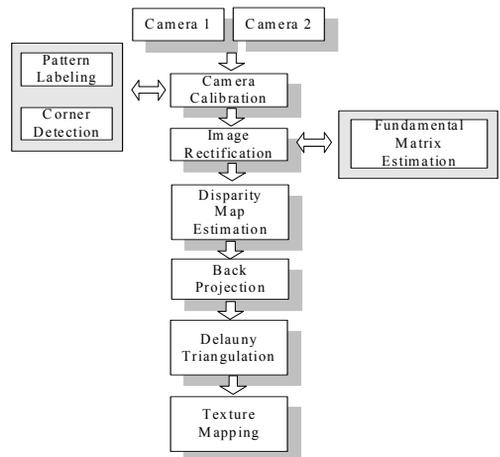


그림 1. 제안된 전체 알고리즘의 블록

2.2 카메라 모델

일반적인 세공(細孔, pin-hole) 카메라로 3차원 공간상의 한 점 \mathbf{Xi} 와 대응되는 2차원 카메라 평면 영상 좌표계의 한 점 \mathbf{xi} 가 주어졌을 때, 이 두 점들의 관계는 34 카메라 투영 행렬에 의해 모든 점 i 에 대하여 $x_i = PX_i$ 를 만족한다.

$$\lambda_i \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

위의 식(1)에서 사영 행렬은 11 자유도(degrees of freedom)가 있다. 다음 (2)식은 실세계 좌표계와 카메라 원점간의 관계가 표현된 식이다. (3X3 회전행렬 R , 31 이동 벡터 T)

$$P = K[R \ T] \quad (2)$$

$$K = \begin{bmatrix} f_x & s & o_x \\ 0 & f_y & o_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

내부 변수 K 는 5 자유도를 갖는 33 상 삼각 행렬, f_x, f_y 는 카메라 영상의 각 x, y 축에 대한 크기 비율, s 는 x, y 두 축의 기울기, 그리고 O_x, O_y 는 카메라 중심과 카메라 투영 평면(image plane)이 직교하는 주점(主點, principal point)를 나타낸다^[11].

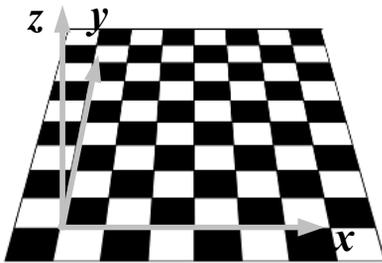


그림 2. 평면 패턴의 좌표계 설계

2.3 평면 패턴과 투영된 영상간의 호모그래피

그림 2와 같이 평면 패턴의 가로/세로를 3차원 좌표계의 x, y 축, 평면 패턴과의 법선 방향을 z 방향으로 가정하면, 평면패턴에서의 z 좌표는 0의 값이 된다. 회전 행렬의 각 열을 r_1, r_2, r_3 , 이동 벡터를 t 라 하면, 아래의 관계가 성립한다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K[r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

따라서 영상내의 좌표 m 과 설정된 3차원 좌표 M 사이에는 H 의 호모그래피 관계가 성립한다.

$$sm = HM \quad (\text{단, } H=K[r_1 \ r_2 \ t]) \quad (5)$$

2.4 특징점 추출

영상과 3차원 좌표간의 호모그래피를 구할 때, 먼저 세 개 패턴의 특징 점을 찾아야 한다. 본 논문에서는 특징 점으로 패턴의 교점이 추출되었는데, 해리스 특징 점 검색(Harris Corner) 방법을 사용하였다^[11]. 이 연산자는 다음과 같다.

$$R(x, y) = \det[C] - k\text{trace}^2[C] \quad (6)$$

$$C = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 I_x 와 I_y 는 x 축과 y 축 방향의 편미분 값이다. k 값은 상수로 Harris가 제안한 0.04로 설정 하였다. 또한 잡음으로 발생하는 잘못된 결과가 존재하기 때문에, 입력 영상은 가우시안 필터를 적용시켜 잡음의 영향을 적게 하였다.

2.5 제안된 알고리즘

제안된 알고리즘은 Zhang의 제안된 알고리즘으로부터 유도되었다. Zhang의 방법은 3장의 평면패턴 영상으로 호모그래피 관계를 사용하였다. 제안된 알고리즘은 3장의 평면 패턴 영상을 한 장으로 찍어서, 영상내의 호모그래피 관계가 이용된 새로운 알고리즘이다^[12].

카메라 행렬 $P = \lambda K[R \ t]$, (1)식과 (2)식으로부터 회전 행렬의 r_1, r_2, r_3 의 성질을 이용하면, 내부 변수는 다음과 같다.

$$H_\infty = \lambda KR \quad (8)$$

여기서 H_∞ 과 R 는 $H_\infty = [h_1 \ h_2 \ h_3]$ 과 $R = [r_1 \ r_2 \ r_3]$ 로 나타낸다. $K^{-1}H_\infty = \lambda R$ 과 $H_\infty^T K^{-T} = \lambda R^T$ 에서

$$H_\infty^T K^{-T} K^{-1} H_\infty = \lambda^2 R^T R = \lambda^2 I. \quad (9)$$

(9)식의 좌측 행렬은 다음과 같다:

$$\mathbf{H}_e^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{H}_e = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 & \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \\ \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 & \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \\ \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 & \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \end{bmatrix} \quad (10)$$

(9)식과 (10)식에서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 & \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \\ \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 & \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \\ \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 & \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 & \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \end{bmatrix} = \lambda^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

(11)식에서 $\mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$ 의 선형 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 &= \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 = \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 = 0 \\ \mathbf{h}_1^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_1 &= \mathbf{h}_2^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_2 = \mathbf{h}_3^T \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{h}_3 \end{aligned} \quad (12)$$

행렬 $\mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$ 은 5 자유도의 코닉(conic)의 계수이다. 코닉은 일반적인 위치에서 다섯 점들로 결정된다^[13]. 식(12)에서SVD(singular value decom- position)을 사용하여, $\mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$ 는 6 개의 방정식이 있다^[22].

위 선형방정식에서 행렬 $\mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$ 을 \mathbf{Q} 라고 하자. 즉 $\mathbf{Q} = \mathbf{K}^{-T} \mathbf{K}^{-1}$. 따라서 $\mathbf{Q}^{-1} = \lambda \mathbf{K} \mathbf{K}^T$ 으로 표현된다. \mathbf{Q}^{-1} 는 대칭이므로, \mathbf{Q}^{-1} 는 다음과 같다.

$$\mathbf{Q}^{-1} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_4 & a_5 \\ a_3 & a_5 & a_6 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$\mathbf{Q}^{-1} = \lambda \mathbf{K} \mathbf{K}^T$ 의 관계에서 (3)식을 대입하면, 다음과 같은 관계식이 유도된다.

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_2 & a_4 & a_5 \\ a_3 & a_5 & a_6 \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} f_x^2 + s^2 + o_x^2 & s f_y + o_x o_y & o_x \\ s f_y + o_x o_y & f_y^2 + o_y^2 & o_y \\ o_x & o_y & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

(14)식에서 내부 변수가 계산된다. 그 해의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda &= a_6, o_x = a_3/a_6, o_y = a_5/a_6, \\ f_y &= \sqrt{\frac{a_4 a_6 - a_5^2}{a_6^2}}, s = \left[\frac{a_2}{a_6} - \frac{a_3 a_5}{a_6^2} \right] / f_y, f_x = \sqrt{\frac{a_1}{a_6} - s^2 - o_x^2} \end{aligned} \quad (15)$$

따라서 회전행렬과 이동 행렬의 수식은 (8)식과 카메라 행렬식을 이용해서 만든 수식이다.

$$\mathbf{R} = \frac{1}{\det(\mathbf{K}^{-1} \mathbf{H}_e)^{\frac{1}{3}}} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{H}_e, \quad \mathbf{t} = \frac{1}{\det(\mathbf{K}^{-1} \mathbf{H}_e)^{\frac{1}{3}}} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{p}_4 \quad (16)$$

단, \mathbf{p}_4 는 $\mathbf{P} = \lambda \mathbf{K}[\mathbf{R} | \mathbf{t}]$ 의 네 번째 열벡터이다. 계산된 회전 행렬 \mathbf{R} 은 회전 행렬의 성질에 따라 계산이 정확하지 않다는 것을 알고 있다. \mathbf{R} 의 SVD를 $\mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T$ 라고 하자. 단, $\mathbf{\Sigma} = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$. 정확한 회전 행렬이 $\Sigma = \text{diag}(1, 1, 1)$ 이므로, 계산된 회전 행렬에서 가장 근접한 행렬 값인 $\mathbf{R} = \mathbf{U} \mathbf{V}^T$ 로 계산하기 때문이다^[22]

2.6 영상교정

스테레오 영상의 정합(Matching) 문제는 영상 교정이 구성되면 보다 효과적으로 해결된다. 영상 교정은 두 영상의 에피폴라 선(Epipolar Line)을 평행하게 수행되어, 영상이 변형하는 것이다. 에피폴라 계산은 본 논문에서 기본행렬 수식에서 RANSAC의 방법을 사용하여, 기본 행렬이 계산되었다^[19]. 영상 교정이 구성되면, 스테레오정합 문제는 2차원 검색 영역에서 1차원 검색 영역으로 감소한다. 기존의 영상 교정법은 두 영상의 3차원 공간을 한 평면의 영상으로 변형하는 것이다^[14-16]. 본 논문에서는 영상의 x, y 기준 좌표계에서 에피폴(Epipole), 좌표 거리와 각도를 사용한 좌표계로 변형하는 방법^[17]이 사용된다. 각도를 사용한 좌표계가 변형될 경우, 각도에 필요 없는 화소(pixel)가 발생한다. 따라서 각도의 좌표계가 변환될 경우, 영상에서 에피폴과 멀리 떨어진 쪽의 y 좌표계가 사용된다. 이 변환법은 필요 없는 화소가 발생하지 않은 방법이다. 또한 호모그래피를 사용한 영상 교정법과 다르게 직관적으로 좌표계가 변환된다. 결과적으로 사용된 방법은 영상 내에 에피폴이 위치하는 경우, 교정된 영상이 무한대로 가는 것을 제거하였다.

2.7 시차 맵 구성

스테레오 영상에서 3차원 모델링의 시차맵 구성이 가장 이상적인 경우에는, 두 영상의 모든 대응점을 찾고 조밀한 시차맵이 구성되는 것이다. 영상 기반 모델링(Image Based Modeling)에서 가장 어려운 부분이 시차맵 구성이다. 시차맵 구성은 최종 모델링 결과에 의해 결정된다. 시차맵이 구성되는 경

우에는 시점 보간을 찾는 방법, 3차원 재구성에서 역 투영법을 찾는 대응점 추출 기법이 있다. 시점 보간 방법은 조밀한 시차맵 구성이 중요하다. 그렇지만 3차원 재구성의 시차맵은 투영된 3차원 점들의 집합을 폴리곤의 형태로 구성되기 때문에, 정확한 시차맵 구성이 중요한 요소이다.

본 논문에서는 우선 오차의 발생률을 최소화해서, 모델 구성으로 각 영상의 각 화소가 일정 크기의 윈도우(window)를 설정하였다. 영상에서 윈도우내 분산(variance)을 계산, 분산 문턱치(threshold)보다 큰 화소들은 1차 대응 후보점으로 추출한 후, 후보점으로 시차맵을 구성하였다.

$$Var(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \overline{I_1}(u_1, v_1)]^2}{(2n+1)(2m+1)} \quad (20)$$

(단, $\overline{I_k}(u, v) = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k(u+i, v+j) / [(2n+1)(2m+1)]$)

영상 1(좌측 영상)에서 문턱치 이상의 분산을 갖는 화소들은 검색된 후, 이 화소를 영상2(우측 영상)에서 검색해서 정합한다. 정합 방법은 다음과 같다.

영상 1에서 점 m1는 점 m1 중심으로 상관 윈도우 크기를 (2n+1)(2m+1)로 정의하였다. 따라서 영상 2에서 m1에 대응되는 점은 영상 2의 에피폴라 선을 검색해서, 영상 1에서 m1에 대응되는 m2 점을 영상 2에서 찾는다. 영상 교정이 이루어진 경우, 영상 1과 같은 영상 2의 점은 v좌표 점에서 검색을 한다. 상관 함수는 다음과 같다.

$$Score(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \overline{I_1}(u_1, v_1)] \times [I_2(u_2 + i, v_2 + j) - \overline{I_2}(u_2, v_2)]}{(2n+1)(2m+1) \sqrt{\sigma^2(I_1) \times \sigma^2(I_2)}} \quad (21)$$

여기서 $\overline{I_k}(u, v) = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k(u+i, v+j) / [(2n+1)(2m+1)]$ 는 영상 Ik(k=1,2)에서 점 (u, v)의 평균값이고, (Ik)는 점 (u, v)의 이웃한 (2n+1)(2m+1)의 영상 Ik의 표준편차이다.

$$\sigma(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k^2(u, v)}{(2n+1)(2m+1)} - \overline{I_k}(u, v)^2} \quad (22)$$

스코어(score) 범위는 상관 윈도우가 완전히 부정확할 경우 -1에서 이상적으로 정확할 경우 1까지 이다. 이 정합 계수는 정확한 정합을 찾는 조건이다^{20, 21}.

(21)식은 상관관계에 의해 정합 점으로 영상 1의 점 (u, v)에 대응되는 영상 2의 점 (u', v')가 검색되었다고 가정하자. 영상 1의 (u, v)점에 영상 2의 최대 상관도의 점이 (u', v')라고 할지라도, 영상 2의 (u', v')를 기준으로 영상 1에서 검색 시, 정합 점은 점 (u, v)가 아닐 가능성이 있다. 따라서 본 논문에서는 영상 1의 한 점을 기준으로 영상 2에서 검색 후, 정합된 점을 기준으로 다시 영상 1에서 검색하여, 영상 1에서 정합이 되었을 경우만 최종 정합결과로 사용하였다.

상관관계의 정합 방법은 최대 상관도의 점들로 시차맵이 구성될지라도 많은 오류를 포함한다. 그 오류는 화소 값으로 정합하기 때문에, 반드시 존재한다. 따라서 오류들을 제거하기 위해, 본 논문에서는 시차 분포를 계산한 후, 시차 평균값을 기준으로 양쪽의 문턱치 이하의 시차들이 오류로 제거 하였다.

카메라의 내부와 외부 변수가 계산되면, 역 투영법에 의해 2차원 영상에 3차원 정보가 계산된다¹³.

IV. 실험 결과

4.1 패턴 영상의 카메라 교정 계산

카메라 교정을 하기 위해, 본 논문에서는 카메라 두 대를 사용하여, 좌우 영상에서 3개의 패턴의 영상을 찍어서 입력 영상으로 실험하였다. 입력 영상은 그림 3, 그림 4이다. 표 4는 제안된 알고리즘으로 계산된 카메라 내/외부 변수의 실험결과이다.



그림 3. 좌측 상자 입력 영상



그림 4. 우측 상자 입력 영상

표 1. 제안된 알고리즘을 사용한 카메라 내/외부 변수 계산

		인형 영상(좌)		
회전 성분		0.998886	0.040753	-0.023772
		0.998886	-0.746565	-0.665152
		-0.044854	0.664063	-0.74633
이동 성분		-76.744688	172.577577	539.28478
내부 변수	Ox	513.733589		
	Oy	373.094744		
	fx	1198.148237		
	fy	1193.746485		
		박스 영상(좌)		
회전 성분		0.980409	-0.180299	0.079313
		-0.098724	-0.798224	-0.594215
		0.170446	0.574744	-0.800386
이동 성분		-65.475841	165.37827	502.529801
내부 변수	Ox	530.207811		
	Oy	394.470289		
	fx	1161.314738		
	fy	1157.540851		

		인형 영상(우)		
회전 성분		0.998883	-0.007386	0.046676
		0.025065	-0.754518	-0.655801
		0.040062	0.656238	-0.75349
이동 성분		-25.082835	184.042526	525.130315
내부 변수	Ox	472.984713		
	Oy	343.197327		
	fx	1214.748703		
	fy	1207.029158		
		박스 영상(우)		
회전 성분		0.974201	-0.180574	0.135374
		-0.071326	-0.815447	-0.574421
		0.214116	0.549945	-0.807288
이동 성분		-41.273199	150.995878	507.330957
내부 변수	Ox	532.834408		
	Oy	400.488855		
	fx	1164.80464		
	fy	1161.426555		

회전성분 **R**은 R1, R2, R3의 성분이다. 이동성분 **T**는 좌우의 이동 거리의 벡터이다. 또한 내부변수 **K**는 3X3의 행렬에서 계산된 값이다. 여기서 두 축

의 기울기는 1로 가정하고 계산하였다.

제안된 알고리즘과 Zhang^[10]의 방법에서 카메라 교정은 오차를 비교 실험하였다. 대표적인 샘플 영상은 그림 5이다. 샘플 영상들은 50장 영상 중에 대표적인 것만 선택한 영상들이다. 비교할 대상은 샘플 영상에서 카메라 교정한 재구성된 영상들이다. 재구성 대상의 각 꼭지점들은 A, B, C G로 정렬하였다. 꼭지점들 사이에 연결된 길이는 선분의 크기를 1로 했을 때, 발생하는 오차를 비교하였다. 그림 5에서 꼭지점 A에서 꼭지점 B로 연결된 선을 a, 꼭지점 C에서 꼭지점 D로 연결된 선을 b, 꼭지점 E에서 꼭지점 F로 연결된 선을c, 꼭지점 B에서 꼭지점 D로 연결된 선을 d, 꼭지점 A에서 꼭지점 C로 연결된 선을 f, 꼭지점 G에서 꼭지점 E로 연결된 선을 g, 꼭지점 D에서 꼭지점 F로 연결된 선을 h, 꼭지점 C에서 꼭지점 E로 연결된 선을 i, 꼭지점 A에서 꼭지점 G로 연결된 선을 j라고 하자. 같은 길이 비율인 a:b:c, d:e:f와 h:i:j 비율의 오차는 샘플 영상에서 계산하여 비교하였다. 표 5는 샘플 영상 50장에 대한 RMS 오차의 평균값을 계산하였다. a:b:c, d:e:f와 h:i:j에서 제안된 알고리즘은 RMS 오차 평균값이 0.023, 0.025, 0.027이다. 기존의 알고리즘은 RMS 오차 평균값이 0.029,0.03,0.033이다. 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수함을 알 수 있다.

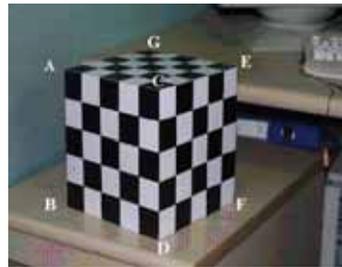


그림 5. 우측 상자 입력 영상

표 2. 길이의 비율에 대한 비교

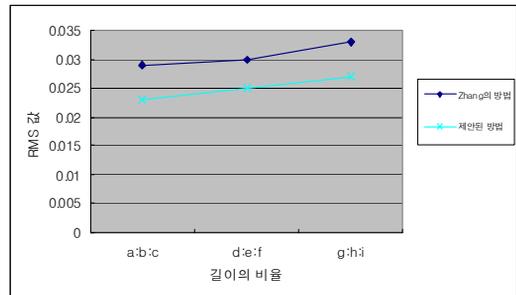


표 3. 인형 입력 영상에 대한 기본행렬과 에피폴라

기본 행렬	2.49734E-06	-3.3507E-06	0.000775527
	-8.08592E-06	2.53161E-07	-0.07531111
	-0.006025611	0.08178137	1
좌측 에피폴	-9308.660069	-698.085259	1
우측 에피폴	23304.53116	253.2602136	1

4.2 영상 교정과 시차맵의 구성에 관한 실험

두 영상에서 기본 행렬과 두 개의 에피폴이 계산되었다. 표 3에서 영상 교정은 두 영상의 에피폴라 선(Epipolar Line)을 평행하게 계산 되어 영상이 변형된 것이다. 그림 6은 좌/우측의 에피폴라 선을 평행하게 계산되어 변형된 영상 교정이다. 영상 교정으로 그림 7은 영상 교정을 좌/우측에 교정한 것이다. 그림 8은 교정된 영상에서 정확한 정합이 수행되어야 하기 때문에, 분산 값으로 계산한 정합 후보 점을 산출한 결과이다. 즉, 좌/우측의 영상 시차이다. 따라서 좌/우측 교정된 영상에서 에지로 시차맵이 구성된 후, 계산된 시차 분포는 표 4와 같다. 시

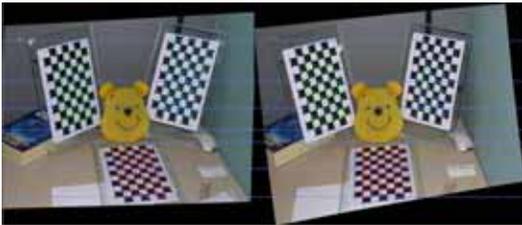


그림 6. 영상 교정(Image Rectification)

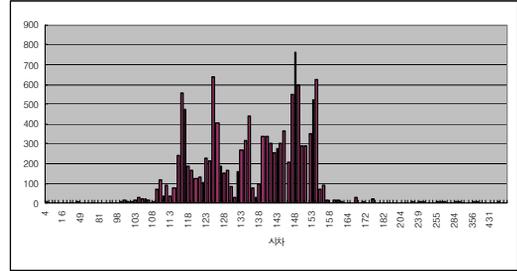


그림 7. 교정된 영상(Rectified Image)



그림 8. 분산에 기반한 정합 후보점

표 4. 계산된 시차의 분포도



차맵이 정확히 계산된 정합 후보 점으로 구성된 후, 시차들의 분포도가 표 4이다. 본 논문에서는 문턱치 이하의 시차맵들이 오차로 삭제하였다. 표 4에서 시차맵은 108에서 156사이에 분포되어 있다.

4.3 3차원 재구성 구현

계산된 3차원 좌표는 역 투영법에 의해 투영된다. 역 투영된 3차원 좌표들은 들로니 삼각화법(Delaunay Triangulation)에 의해 폴리곤을 형성한다. 그림 9와 그림 12는 입력 영상에서 3차원 좌표를 계산해서, 역 투영되어 재구성된 것이다. 그림 10과 그림 13은 3차원 좌표 점으로 폴리곤이 구성됐다. 3차원 좌표를 OpenGL로 구현한 것이 그림 11과 그림 14이다.



그림 9. 3차원 점 좌표의 재구성

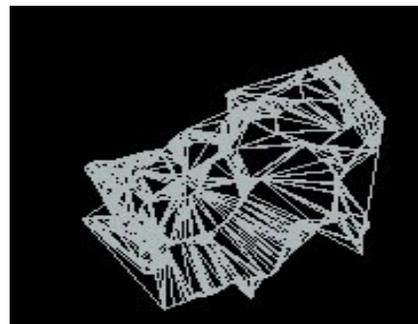


그림 10. 3차원 좌표점에 대한 폴리곤

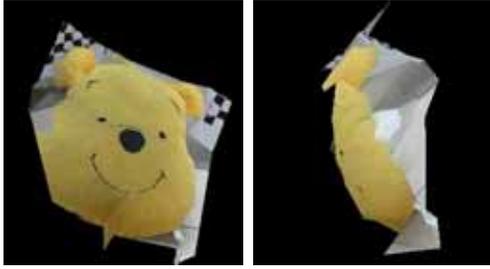


그림 11. OpenGL로 구현된 3차원 재구성

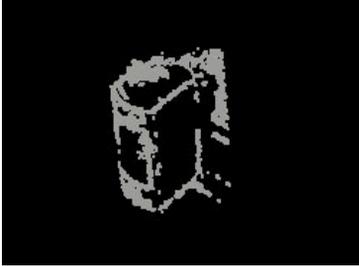


그림12. 3차원 점 좌표의 재구성

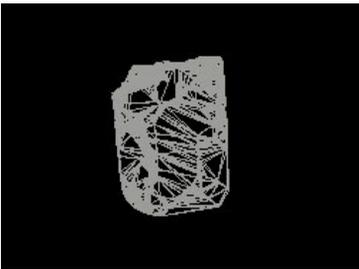


그림13. 3차원 좌표점에 대한 폴리곤

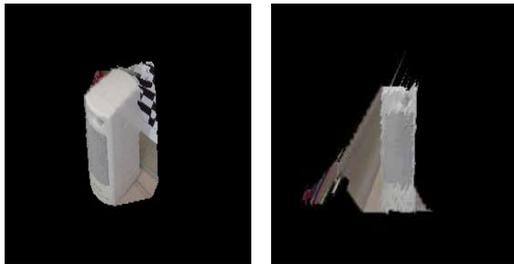


그림 14. OpenGL로 구현된 3차원 재구성

V. 결론

본 논문은 비 교정 영상에서 카메라 교정으로 사용된 평면 패턴의 영상 간에 평면 호모그래피를 이용해서, 새로운 카메라 교정 기법이 제안되었다. 실험 결과로 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 성능이 우월하다는 것을 증명하였다.

영상 기반 모델링의 경우에, 카메라 교정, 기본 행렬 계산, 시차맵 구성, 역 투영법 등은 수행 시,

모든 부분에서 오차가 발생한다. 따라서 최종적으로 영상 모델링은 어려운 점이 많다. 본 논문에서는 오류 발생을 최소화시키기 위해 평면 패턴의 영상을 카메라 교정으로 사용하였다. 세 장의 패턴을 한 장의 영상으로 찍어 얻은 영상에서 카메라 교정이 가능하였다. 최대 개연성 추정 알고리즘(Maximum Likelihood Estimation)은 최적화된 카메라 변수를 추출하는데 사용하였다. 영상 교정(Image Rectification)에 사용된 기본행렬은 계산 시, RANSAC 방법을 이용하여 오류를 최소화하였다. 시차맵 구성은 대응점 후보의 분산(Variance)으로 대응점 후보를 추출한 후, 상관관계를 검색하여 시차맵이 구성되었다. 시차맵 분포가 계산되면, 문턱치 이하의 시차는 오류 가능성이 있는 대응점으로 추정 제거하였다. 이와 같은 과정으로 사용자가 원하는 물체는 3차원 재구성 시스템으로 구현되었다.

참 고 문 헌

- [1] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [2] Y. Ohta and H. Tamura, "Mixed Reality-Merging Real and Virtual Worlds", *Ohmsha Ltd. & Springer-Verlag*, 1999.
- [3] R. P.E Debevec, C.J Taylor, and J. Malik, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry and Image-Based Approach", *In Proceedings of ACM SIGGRAPH 1996, ACM Press/ACM SIGGRAPH*, pp. 11-21, Aug. 1996.
- [4] P.Beardsley, P.Torr and A.Zisserman, "3D Model Acquisition from Extended Image Sequences", *In Proceeding 4th European Conference on Computer Vision, Cambridge, LNCS 1065, Volume II*, pp. 683-695, Springer-Verlag, 1996.
- [5] M. Pollefeys, R. Koch and L. Van Gool, "Self-Calibration and Metric Reconstruction in spite of Varying and Unknown Internal Camera Parameters", *International Journal of Computer Vision*, 32(1), 7-25, 1999.
- [6] C.Tomasi and T. Kanade, "Shape and motion from image streams under orthography: a factorization method", *International Journal of Computer Vision*, 9(2), 137-154, 1990.

[7] D. Liebowitz, A. Criminisi, and A. Zisserman, "Creating Architectural Models from Images", pp. 39-50, *EUROGRAPHICS*, 1999.

[8] Beardsley, P.A., Torr, P.H.S and Zisserman, A.P., "3D model acquisition from extended image sequence" *OUEL Report 2089/96, Department of Engineering Science, University of Oxford*. 1996.

[9] Antonio Criminisi, Ian D. Reid, Andrew Zisserman, "Single View Metrology", *International Journal of Computer Vision*, vol.40, no.2, pp. 123-148, 2000.

[10] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.22, no.11, pp. 1-20, 1998.

[11] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector", *Fourth Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1988.

[12] Jang-Hwan Im, Yong-In Yoon, and Jong-Soo Choi, "A linear method for camera calibration and its application to augmented reality", *6th ACCV*, Jan. 2004, pp. 617-621.

[13] R. Hartely and A. Zissermann, "Multiple View Geometry in Computer Vision", *Cambridge University Press*, 2000.

[14] O. Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision: a Geometric Viewpoint", *MIT press*, 1993.

[15] N. Ayache and C. Hansen, "Rectification of images for binocular and trinocular stereo-vision", *Proc. International Conference on Pattern Recognition*, pp. 11-16, 1988.

[16] D. Papadimitriou and T. Dennis, "Epipolar line estimation and rectification for stereo image pairs", *IEEE Trans. Image Processing*, 5(4):672-676, 1996.

[17] Pollefeys, M. Koch, R. Van Gool, L., "A simple and efficient rectification method for general motion", *Computer Vision*, 1999.

[18] R. Deriche, Z. Zhang, Q.-T. Luong and O. Faugeras, "Robust Recovery of the Epipolar Geometry for an Uncalibrated Stereo Rig", *European Conference on computer Vision*, Vol.1, pp. 567-576, Stockholm, Sweden, May 1994.

[19] M. Fischler and R. Mourrain, "RANDOM SAMPLING CONSENSUS: a paradigm for model fitting with application to image analysis and automated cartography", *Commun. Assoc. Comp. Mach.*, 24:381-95, 1981.

[20] Y. Shan and Z. Zhang, "New Measurements and Corner-Guidance for Curve Matching with Probabilistic Relaxation", *International Journal of Computer Vision*, vol.46, no.2 pp.157-171, 2002.

[21] Z. Zhang, R. Deriche, O. Faugeras and Q.-T. Luong. "A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry", *Artificial Intelligence Journal*, Vol.78, pp. 87-119, 1995.

[22] G. Golub and C. van Loan, "Matrix Computations", *The John Hopkins University, Baltimore, Maryland, 3 edition*, 1996.

윤 옹 인 (Yong-In Yoon)

정회원



1986년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과(석사)
 2003년 8월 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과(공학박사)
 1991년 7월~1993년11월 국제전

자(주) 연구원

1994년 1월~1999년 2월 대우 고등기술연구원
 2003년 9월~2005년 8월 중앙대학교 첨단영상대학원 박사후 과정
 2005년 9월~현재 중앙대학교 문화콘텐츠연구원 영상콘텐츠 전임연구원
 <관심분야> 증강현실, 신호처리, 컴퓨터 비전, 영상처리 등

옥 형 수 (Hyung-Soo Ohk)

학생회원



2001년 2월 중앙대학교 전자전기 공학부 졸업
 2003년 2월 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사
 2003년3월~현재 삼성전자 DM 총괄 프린팅 사업부 재직
 <관심분야> 신호처리, 컴퓨터 비

전, 영상처리 등

최 종 수 (Jong-Soo Choi)

중신회원



1975년 2월 인하대학교 전기공
학과 졸업

1977년 2월 서울대학교 대학원
전자공학과 석사

1981년 2월 일본 게이오대학
대학원 전기공학과 공학박사

1981년~1999년 중앙대학교 전

자공학과 교수

1995년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 교수

<관심분야> 증강현실, 컴퓨터 비전, 영상정보기술

오 정 수 (Jeong-Su Oh)

정회원



1990년 2월 중앙대학교 전자공
학과 졸업

1992년 8월 중앙대학교 대학원
전자공학 석사

1993년 7월~1997년 1월 신도리
코 기술연구소

2001년 8월 중앙대학교 첨단영

상대학원 영상공학과 박사

2002년~현재 부경대학교 화상정보공학부 교수

<관심분야> 디지털 영상 처리, 적외선 신호처리