

소실점을 이용한 3차원 재구성

김 상 훈[†] · 김 태 은^{††} · 최 종 수^{†††}

요 약

본 논문에서는 2장의 영상으로부터 카메라 내부 파라미터를 추출하는 교정 방법을 제시한다. 카메라 교정은 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 얻기 위해서는 필수 불가결한 기술이다. 기존의 많은 연구들이 수행되어 왔는데, 영상내에 체크 패턴을 포함한 3장의 영상을 이용하는 방법과 연속된 3장의 영상으로부터 Kruppa 방정식을 풀어 카메라 교정하는 방법이 대표적인 예가 되겠다. 본 논문에서는 인간이 만든 조형물에서 쉽게 발견할 수 있는 기하학적인 정보를 이용하여 보다 쉽고 빠르게 내부 파라미터를 추출한다. 이러한 내부 파라미터는 소실점들로부터 추정되며 대응되는 2장의 영상에서 대응점들로부터 외부 파라미터를 추출할 수 있다. 이렇게 교정된 내부, 외부 파라미터를 이용하여 사영 행렬을 유도하고, 유도된 사영행렬로부터 3차원 정보를 얻게 되고 3차원 재구성을 구현하게 된다.

3D Reconstruction using vanishing points

Sang-Hoon Kim[†] · Jong-Soo Choi^{††} · Tae-Eun Kim^{†††}

ABSTRACT

This paper proposes a calibration method from two images. Camera calibration is necessarily required to obtain 3D information from 2D images. Previous works to accomplish the camera calibration needed the calibration object or required more than three images to calculate the Kruppa equation, however, we use the geometric constraints of parallelism and orthogonality can be easily presented in man-made scenes. The task of it is to obtain intrinsic and extrinsic camera parameters. The intrinsic parameters are evaluated from vanishing points and then the extrinsic parameters which are consisted of rotation matrix and translation vector of the camera are estimated from corresponding points of two views. From the calibrated parameters, we can recover the projection matrices for each view point. These projection matrices are used to recover 3D information of the scene and can be used to visualize new viewpoints.

키워드 : Calibration, Vanishing point, 3차원 재구성(3D Reconstruction)

1. 서 론

최근 데스크탑 컴퓨터 또는 웹 브라우저 상에서 3차원 그래픽이 눈에 띄게 증가 함으로서 값비싼 CAD와 같은 장비의 사용 없이 현실감 있는 3차원 모델의 수요가 날로 증가하고 있다. 따라서, 현실 세계의 사진과 같은 현실감 있는 3차원 모델을 만들기 위한 연구가 많이 진행되어왔다. 가장 일반적인 모델링 방법은 Maya, SoftImage, 3D Studio 등의 프로그램을 이용하는 것인데 영상의 현실감은 질적인 면과 3D 모델의 복잡성에 따라서 감소하게 된다. 모델링에 있어서 최근의 경향은 실제 물체에 대한 사진으로부터 정확한 정보를 이용하여 3차원을 재구성 하는 것이다. 이러한 새로운 패러다임은 영상기반 모델링(IBM : Image Based Modeling) 이라

고 불리는데 전적으로 실제 사진 영상을 이용한 모델링 기법이다[1]. 가장 큰 이점은 실제 세계로부터 취득한 텍스처를 이용하여 좀더 실제에 가까운 영상을 만들어 내는 것이다.

영상으로부터 3차원 정보를 얻기 위해서는 카메라 교정이라는 과정을 필수적으로 거쳐야 하는데, 이러한 카메라 교정 기술은 로보틱스(Robotics), 3차원 비전(3D Vision)등의 다른 여러 분야에도 많이 활용되고 있는 기술로 그에 따른 상당한 연구가 진행되어 왔다. 그 중 카메라 교정 장비 및 3차원 위치 센서 등을 이용하는 방법이 있으나 이는 교정을 위한 고가의 장비 및 제한된 취득 환경을 요구하는 단점이 있다.

카메라 이외의 다른 장비를 사용하지 않고 취득한 영상만을 이용하는 시각 기반(vision-based) 방법 중에는 Z. Zhang은 사전에 알고 있는 체크 패턴을 실세계에 포함하여 그 패턴이 투영된 영상을 이용하여 카메라를 교정 하였다[2]. 이 방법은 비교적 정확한 카메라 파라미터를 얻어 낼 수는 있으나 영상 내에 항상 사전에 알고 있는 패턴이 존재

* 본 연구는 교육부의 두뇌한국21 사업(BK21) 및 과학기술부의 국가지정 연구실(M1020400-0079-02J0000-07310) 지원으로 수행되었습니다.

† 준 회 원 : 중앙대학교 대학원 영상공학과

†† 정 회 원 : 남서울대학교 멀티미디어학과 부교수

††† 정 회 원 : 중앙대학교 영상공학과 교수

논문접수 : 2003년 5월 21일, 심사완료 : 2003년 8월 21일

해야 하는 큰 제약이 따른다.

이 외에 또 다른 카메라 보정 방법으로는 영상내의 아무런 사전 정보 없이 영상간의 대칭점들의 관계를 이용하여 자동 교정(Self-Calibration)이 있으나 카메라 내부 파라미터가 고정되어 3장의 영상에서 코닉(Conic)을 이용하여 크루파(Kruppa) 방정식을 풀어 카메라 보정을 하는 방법이 있으나 이는 연속된 영상에서 최소 3장 이상의 영상을 필요로 한다[3, 12]

본 논문에서는 3차원 재구성에 있어서 필수 불가결한 기술인 카메라 교정 방법을 제안한다. 이러한 방법은 특정 교정 물체나 또는 영상에서의 제약 조건 등을 요구하지 않고 영상 내에 산재되어 있는 기하학 정보만을 이용하여 카메라 내부 파라미터를 추출한다.

인간이 만들어낸 물체 또는 구조물에는 직교성과 평행성 등의 기하학 정보를 다수 포함하고 있는데, 이러한 기하학적 정보는 영상으로부터 3차원 정보를 얻기 위한 카메라 교정에 있어서 직관적인 해법을 제공한다. 공간에서의 평행한 선들은 카메라에 투영되었을 때 모두 한 점에서 만나게 되어 소실점(Vanishing Point)를 형성한다. 공간에서의 직교하는 평행선들의 집합이 만들어 낸 각 축 방향으로의 3개의 소실점을 이용하면 그 투영 영상에 대한 카메라 내부 파라미터를 얻을 수 있게 된다. 또 한 영상간의 대응점 관계를 이용하면 두 영상 사이의 상대적인 카메라의 회전 및 이동 성분을 얻어 낼 수 있다. 따라서 카메라의 내부, 외부 성분을 추출 함으로써 사영 행렬을 계산하고 역 투영 방법에 의해서 3차원 재구성을 구현 하게 된다.

2. 기하학적 정보를 이용한 내부 카메라 교정

2.1 카메라 모델

일반적인 세공(細孔, pin-hole) 카메라에 대해서 3차원 공간 상의 한 점 X_i 가 2차원 영상 평면 x_i 로 투영되었을 때, 이 두 점의 관계는 식 (1)과 같이 3×4 카메라 투영 행렬에 의해 표현된다.

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

위의 사영 행렬은 11 자유도(degrees of freedom)을 가지고 있으며, 사영 행렬을 다시 식 (2)와 내부 파라미터 K , 회전행렬 R , 이동 벡터 T 로 표현될 수 있다.

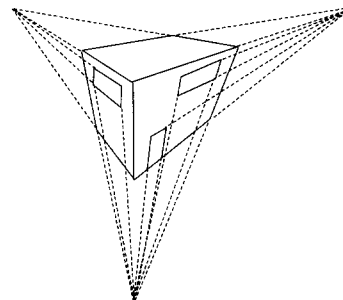
$$P = K[R \ T] \quad (2)$$

$$K = \begin{bmatrix} \alpha_u & s & u_0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

K 는 5 자유도를 갖는 삼삼각 행렬로 α_u, α_v 는 카메라 영상의 각 x, y 축에 대한 크기 비율, s 는 그 두 축의 기울기, 그리고 u_0, v_0 는 카메라 중심과 카메라 투영 평면(image plane)이 직교하는 주점(主點, principal point)를 나타낸다[5, 11]

2.2 영상에서 기하학적 정보

공간상에 존재하는 평행한 선분들은 카메라를 통해 2차원 영상에 투영될 때 하나의 소실점을 형성하게 된다. 이러한 소실점은 매우 강력한 기하학적 단서이다. 이것들은 선들의 방향성과 평면들의 방위에 대한 많은 정보들을 전달한다. 이러한 소실점은 카메라와 장면 시점과의 명백한 기하학적 정보 없이 영상으로부터 직접적으로 계산할 수 있다. 때로 이러한 소실점들은 영상 밖에 놓여질 수 있으나 계산에는 아무런 영향을 미치지 않는다[5, 9, 10]



(그림 1) 소실점의 형성

2.3 소실점(vanishing point) 추정

실 세계에서 평행한 선들은 2차원 영상에 투영될 때 각각 소실점에서 교차한다. 그러므로 소실점은 적어도 그러한 2개 이상의 선들로 정의된다. 그러나 2개 이상의 선들을 이용할 수 있는 경우, 소실점을 찾기 위해 최대 개연성 추정 알고리즘 - Maximum Likelihood Estimate(MLE) - 을 적용할 수 있다. 소실점을 계산하기 위해서는 실 세계에서 평행한 선들의 벡터 곱을 통해서 계산할 수 있다. 사영 공간에서 직선을 다음과 같이 나타내면

$$l_i = [a_i, b_i, c_i]^T \quad (4)$$

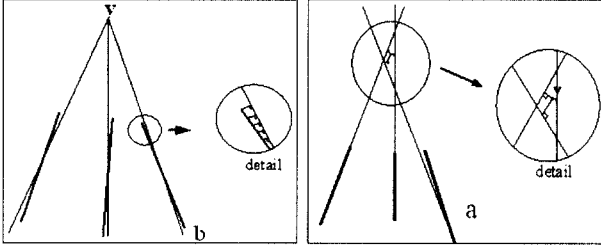
두 직선의 교점은 $l_1 \wedge l_2 = l_1 \times l_2$ 이다.

2.4 선 조정(Line Fitting)

소실점을 구하기 위해 초기 사용자에 의해서 평행한 선들의 집합을 정의해 주어야 한다. 이 때 발생할 수 있는 오차를 최소화 하기 위해 선 조정 알고리즘을 적용하였다.

카메라에 투영된 선 영상은 일반적으로 많은 잡음과 외곽(outlier)을 포함하기 때문에 기존의 최소 자승법(Least squares method)으로는 정확한 선의 방정식을 얻기 힘들다. 최소 자승법은 자승 거리의 합을 최소화하는 파라미터를 찾

는 것으로 몇 개의 점이 큰 거리를 가지고 있을 때 큰 오류를 범할 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 가중치된 최소자승(weighted least squares)을 이용한 최대 개연성 추정법을 적용하였다.



(그림 2) 선 조정

2.5 소실점을 이용한 내부 카메라 교정

식 (1)과 서로 직교 하는 3방향성에 대한 무한 점을 고려하면 다음의 식 (5)를 얻을 수 있다. 이는 각 X, Y, Z축 방향의 무한점이 사영 행렬에 의해 소실점으로 영상에 투영되는 관계식을 의미한다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 u_1 & \lambda_2 u_2 & \lambda_3 u_3 \\ \lambda_1 v_1 & \lambda_2 v_2 & \lambda_3 v_3 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, u_i, v_i 는 소실점을 그리고, λ_i 는 초기 스케일(scale) 성분을 나타낸다. 위의 식은 카메라 교정 행렬(Camera Calibration Matrix : K)과 회전 행렬(Rotation Matrix : R)로 다시 표현 될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} = KR \quad (6)$$

카메라 교정 행렬에서 각 x, y축에 대한 크기 비율을 알고 두 축의 기울기 (s)값을 영으로 가정 하면 식 (6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & u_0 \\ 0 & \alpha & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R \quad (7)$$

따라서 식 (7)을 회전 성분으로 전개하면 다음과 같다[5, 6, 10]

$$R = \begin{bmatrix} \lambda_1(u_1 - u_0)/\alpha & \lambda_2(u_2 - u_0)/\alpha & \lambda_3(u_3 - u_0)/\alpha \\ \lambda_1(v_1 - v_0)/\alpha & \lambda_2(v_2 - v_0)/\alpha & \lambda_3(v_3 - v_0)/\alpha \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

v_x, v_y, v_z 을 각각의 방향성분 X, Y, Z의 소실점으로 다시 정의하면 영이 아닌 실수 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 에 대하여 다음 식을 만족한다.

$$\begin{aligned} \lambda_1 v_x &= K[R | t] X_d = Kr_1 \\ \lambda_2 v_y &= K[R | t] X_d = Kr_2 \\ \lambda_3 v_z &= K[R | t] X_d = Kr_3 \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)로부터 다음과 같은 수식이 유도된다.

$$\begin{aligned} \lambda_1 K^{-1} v_x &= r_1 \\ \lambda_2 K^{-1} v_y &= r_2 \\ \lambda_3 K^{-1} v_z &= r_3 \end{aligned} \quad (10)$$

식 (10)에서 회전 행렬 R의 성질 $R^T R = R R^T = I$ 을 이용하면 다음과 같이 카메라 내부 변수를 구할 수 있는 조건을 얻을 수 있다.

$$v_x^T K^{-T} K^{-1} v_x = v_y^T K^{-T} K^{-1} v_y = v_z^T K^{-T} K^{-1} v_x = 0 \quad (11)$$

만약 카메라 내부 변수가 $f = f_x = f_y$ 이고 $s=0$ 이면 제약 조건 식 (11)을 통하여 카메라 내부 변수를 구할 수 있다.

$$K^{-T} K^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{f^2} & 0 & -\frac{O_x}{f^2} \\ 0 & \frac{1}{f^2} & -\frac{O_y}{f^2} \\ -\frac{O_x}{f^2} & -\frac{O_y}{f^2} & \frac{O_x^2}{f^2} + \frac{O_y^2}{f^2} + 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$v_x = (v_1, u_1, 1)$, $v_y = (v_2, u_2, 1)$, $v_z = (v_3, u_3, 1)$ 라 하면 조건 (11)으로부터 다음과 같은 선형방정식을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} -1 & u_1 + u_2 & v_1 + v_2 \\ -1 & u_2 + u_3 & v_2 + v_3 \\ -1 & u_3 + u_1 & v_3 + v_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} O_x^2 + O_y^2 + f^2 \\ O_x \\ O_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 u_2 + v_1 v_2 \\ u_2 u_3 + v_2 v_3 \\ u_3 u_1 + v_3 v_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

3. 투영법에 의한 3차원 좌표 추출

카메라에 대한 내부, 외부 파라미터가 계산 되어지면 역투영법에 의해서 2차원 영상에 대한 3차원 정보를 구할 수 있다. 각 영상에 대해서 $x = PX$, $x' = P'X$ 관계식은 $AX = 0$ 의 선형 방정식으로 표현 가능한데 과정은 다음과 같다.

각 영상의 점에서 다음의 세 개의 식을 유도하기 위해 먼저 스케일 성분을 외적의 연산을 통해서 제거 할 수 있다. 첫 영상에 대해서 $x \times (PX) = 0$ 으로부터

$$x(P^{3T} X) - (P^{1T} X) = 0 \quad (32)$$

$$y(P^{3T} X) - (P^{2T} X) = 0 \quad (33)$$

$$x(P^{3T} X) - y(P^{1T} X) = 0 \quad (34)$$

여기서 P^{iT} 는 사영 행렬 P의 행 벡터이다. 이 식들은 X성분에 대해서 다음의 선형 방정식으로 분해가 가능하다[11].

$$AX = 0 \quad (35)$$

$$A = \begin{bmatrix} xP^{3T} - P^{1T} \\ yP^{3T} - P^{2T} \\ x'P'^{3T} - P'^{1T} \\ y'P'^{3T} - P'^{2T} \end{bmatrix} \quad (36)$$

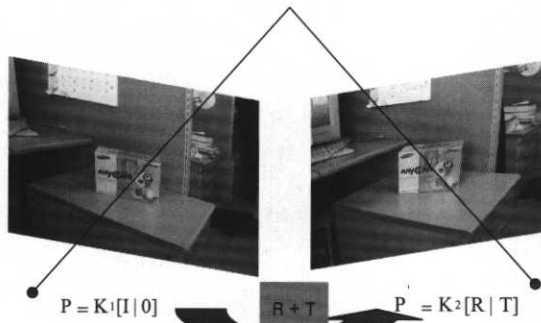
식 (36)은 DLT(Direct Linear transformation) 알고리즘을 통해서 동차 방법(Homogeneous Method)으로 구할 수 있는데, A 행렬의 SVD(Singular value decomposition)을 통해서 최소의 특이치를 갖는 특이 벡터가 곧 방정식의 해가 되고 우리가 구하고자 하는 공간상의 좌표가 되겠다.

4. 비교정 영상의 3차원 재구성 실험 및 검토

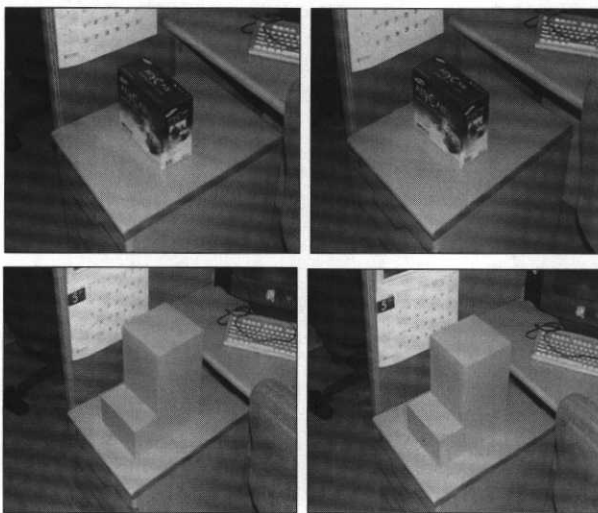
(그림 3)에서와 같이 첫 번째 영상에 대한 사영 행렬을 $P_1 = K_1[I|0]$ 로 가정하고 두 번째 영상에 대한 사영 행렬 P' 를 카메라 움직임에 의해서 다음과 같이 정의할 수 있다[4].

$$P' = K_2[R | T] \quad (37)$$

K_1, K_2 는 각각 첫 번째와 두 번째 영상에서의 3×3 카메라 행렬로 카메라 내부 파라미터를 포함한다. 각 영상으로

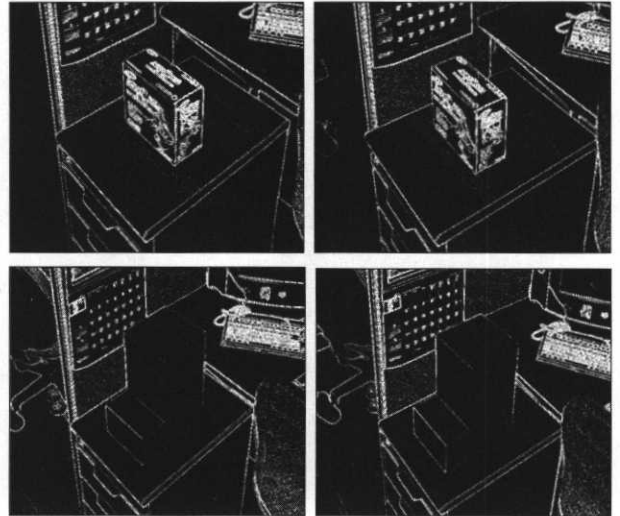


(그림 3) 두 영상간의 상대적인 움직임



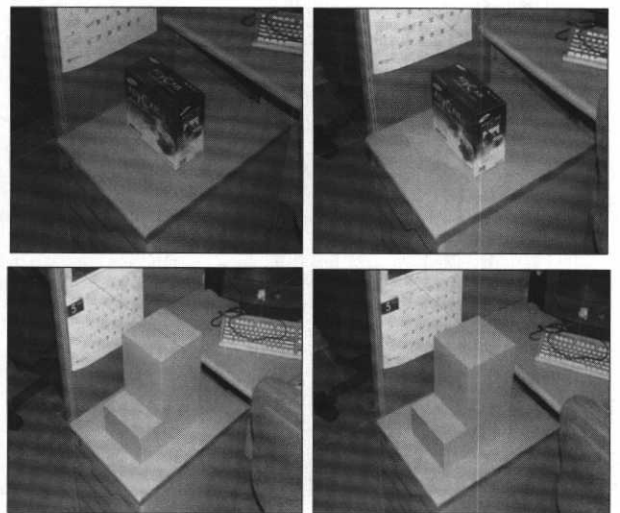
(그림 4) 실험을 위한 두 쌍의 원영상

부터 세 쌍의 평행하고 직교하는 선분들을 이용하여 세 방향의 소실점을 구하고 이로부터 카메라 내부 파라미터를 추정할 수 있다. R과 T는 두 영상 사이의 상대적인 회전과 이동 성분으로서 영상간의 대응점을 이용하여 구할 수 있다[7, 8, 13, 14]



(그림 5) 에지(edge) 추출 영상

(그림 5)는 선 조정 알고리즘을 적용하기 위해 에지(edge)를 찾고 이 에지를 따라서 가중 최소 자승(weighted least squares)을 이용한 최대 개연성 추정법을 적용하여 새로운 선들로 조정 하였다(그림 6). 새로이 조정된 3쌍의 선들로부터 각각 X, Y, Z 축 방향의 소실점을 찾았다. 이렇게 찾은 소실점들을 이용하여 내부 파라미터를 추출하였다.



(그림 6) 선 조정 알고리즘을 적용한 영상

(그림 7)은 Zhang 방법을 이용하기 위한 패턴이 포함된 3장의 영상이고, (그림 8)은 (그림 7)의 영상을 이용하여 Zhang 방법을 통한 3차원 재구성 결과 영상이다. Zhang의 방법은

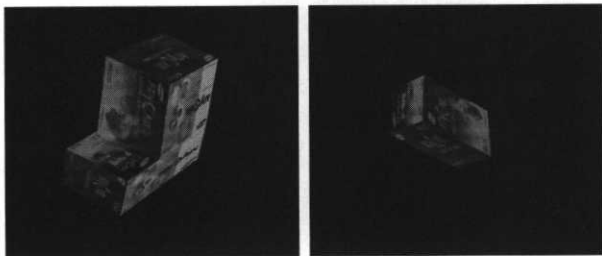
영상내에 체크 패턴(교정 물체)를 삽입하여 실 세계 좌표와 영상간의 좌표 관계를 직접적으로 해석하여 사영 행렬을 구하는 방법이다[2]. 비교적 정확한 카메라 파라미터를 찾을 수 있으나 항상 영상내에 패턴이 존재해야 한다는 조건이 따른다.



(그림 7) Zhang 방법을 사용하기 위한 3장의 패턴 영상



(그림 8) Zhang 방법을 이용한 3차원 재구성



(그림 9) 제안된 방법의 2장의 영상을 이용한 3차원 모델 영상

<표 1> 기존 연구와의 비교 검토

방법 항목	Faugeras (Self-calibration)	Cipolla	Zhang	제안한 알고리즘
사용자 입력	없음	평행하며 직교하는 선들의 집합	영상내의 보정 물체 이용	3쌍의 직교하며 평행한 선분
입력 영상	3장	1장	3장	2장
카메라 교정	내부, 외부	내부	내부, 외부	내부, 외부

<표 4>는 3차원 재구성을 위한 카메라 교정 방법을 기존의 방법들과 비교한 결과이다. 기존의 방법들과 비교하여 본 논문에서는 Faugeras 방법에서의 복잡한 연산 과정을 필요치 않고 단순화 시켰으며 또한 카메라 교정 물체 없이 2장의 영상으로부터 카메라 교정 방법을 이용하여 3차원 재구성을 구현하였다.

5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 영상내의 기하학 정보를 이용하여 카메라 내부 성분을 추출하고 영상간의 정확한 대응점 정합 알고리즘을 이용하여 카메라 교정을 하였다. 이를 바탕으로 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 추출하였고 3차원 재구성을 실현하였다.

초기 영상 입력 과정에서 사용자에게 의한 평행선들을 지정함으로써 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 선 조정 과정을 도입하여, 단순 하지만 직관적인 기하학 정보를 이용하는 데 있어서 오차를 최대한 줄이도록 하였다. 또한 카메라 움직임 추정 부분에 있어서는 영상간의 명확한 대응점 관계를 위해서 RANSAC 방법을 도입하여 보다 정확한 카메라 움직임 정보를 추출하였다. 결국 일반적인 사영 카메라 모델에서 카메라 내부·외부 정보를 얻을 수 있었으며 이를 통해서 3차원 정보를 얻어 낼 수 있었다.

본 알고리즘을 이용한 3차원 재구성 시스템을 이용하면 기존의 카메라 교정을 위한 패턴을 이용한다거나 또는 카메라 파라미터를 미리 알고 있어야 하는 제약으로부터 자유로워질 수 있다. 즉 본 알고리즘을 적용하는데 있어서는 기지의 어떠한 정보를 필요치 않고 보다 정확한 3차원 재구성을 실현 하는데 있어서 본 알고리즘의 우수성을 검증하였다.

그러나 본 시스템에서는 카메라 내부 파라미터를 구하기 위해 초기 사용자 입력이 들어가야 하는 제약이 따른다. 그러므로 향후 과제로 입력 영상으로부터 실 세계에 평행한 선들을 사용자 입력이 아닌 자동적으로 검출 할 수 있도록 하는 연구가 뒤따라야 하겠다.

참고 문헌

- [1] P. Debevec, C. Taylor and J. Malik, "Modeling and rendering architecture from photos : a hybrid geometry and image-base approach," *SIGGRAPH '96 Conference proceedings, Annual Conference Series*, pp.11-20, July, 1996.
- [2] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Techinque for Camera Calibration," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.11, pp.1-20, 1998.
- [3] D. Leibowitz and A. Zisserman, "Combining Scene and Auto-calibration Constraints," *International conference on Computer vision*, pp.203-300, 1990.
- [4] 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*, Stockholm, Sweden, Vol.1, pp.567-576, May, 1994.
- [5] B. Caprile and V. Torre, "Using Vanishing Points for Camera Calibration," *International Journal of Computer Vi-*

sion, Vol.4 pp.127-139, 1990.

- [6] Roberto Cipolla, D. Robertson and E. Boyer, "PhotoBuilder-3D Models of Architectural Scenes from Uncalibrated Images," *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Vol.1, pp 25-31, 1999.
- [7] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector," *Fourth Alvey Vision Conference*, pp.147-151, 1988.
- [8] 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.
- [9] D. Leibowitz, A. Criminisi and A. Zisserman, "Creating architectural models from images," *EuroGraphics*, Milan, Italy, Sep., 1999.
- [10] Antonio Criminisi, Ian D. Reid, Andrew Zisserman, "Single View Metrology," *International Journal of Computer Vision*, Vol.40, No.2, pp.123-148, 2000.
- [11] R. Hartly and A. Zisserman, "Multiple view geometry in computer vision," Cambridge University Press, pp.184-243, 2000.
- [12] 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.
- [13] Z. Zhang, R. Deriche, Q.-T. Luong and O. Faugeras, "A Robust Approach to Image Matching : Recovery of the Epipolar Geometry," in *Proc. Int'l Symposium of Young Investigators on Information, Computer, Control*, Beijing, China, pp.7-28, February, 1994.
- [14] 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.



김 상 훈

e-mail : sh_kimsh@nsu.ac.kr

1999년 인하대학교 전자공학과(학사)
 2002년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과(공학석사)
 2003년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정

관심분야 : 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성



김 태 은

e-mail : tekim@nsu.ac.kr

1989년 중앙대학교 전기공학과(학사)
 1992년 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1997년 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1994년~1996년 한국과학재단 ERC 참여연구원
 1995년 삼성전자 휴먼테크논문 은상 수상
 1997년~현재 남서울대학교 멀티미디어학과 부교수
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 가상현실, 멀티미디어 시스템



최 종 수

e-mail : sh_kimsh@imagelab.cau.ac.kr

1975년 인하대학교 전기공학과(학사)
 1977년 서울대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1981년 Keio University(일본) 전기공학과(공학박사)

1981년~1981년 Aloka Co. Ltd.(연구) 연구소 연구원
 1981년~1999년 중앙대학교 전자공학과 교수
 1999년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 교수
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성, 영상압축, 영상통신