

논문 2012-49CI-3-4

호모그래피기반의 카메라 추적기술을 이용한 텔레프레즌스 시스템

(Tele-presence System using Homography-based
Camera Tracking Method)

김 태 협*, 최 윤 석*, 남 보 담*, 홍 현 기**

(Taehyub Kim, Yoonseok Choi, Bodam Nam, and Hyunki Hong)

요 약

텔레프레즌스(tele-presence)와 원격조정(tele-operation) 기술은 멀리 떨어진 사용자에게 몰입감이 높은(immersive) 장면이나 모바일 로봇 등의 제어 환경을 제공한다. 본 논문에서는 호모그래피(homography) 정보 기반의 카메라 추적기술을 이용한 텔레프레즌스 시스템이 제안된다. 먼저 카메라가 탑재된 HMD(head mounted display)를 착용한 사용자의 머리 움직임을 카메라 추적기술로 분석한다. 그리고 전방향(omni-directional) 카메라를 장착한 로봇으로부터 입력되는 파노라마 영상에서 사용자의 시야(field of view)에 해당하는 장면을 생성하여 HMD를 통해 디스플레이한다. 사용자의 움직임을 추정하는 과정에서 3차원 평면으로 구성된 공간의 호모그래피 정보를 이용하며, 실제로 측정된 3차원 데이터를 기준으로 마커기반의 ARToolkit을 이용하는 방법과 호모그래피 기반 방법의 정확도를 각각 비교하였다.

Abstract

Tele-presence and tele-operation techniques are used to build up an immersive scene and control environment for the distant user. This paper presents a novel tele-presence system using the camera tracking based on planar homography. In the first step, the user wears the HMD(head mounted display) with the camera and his/her head motion is estimated. From the panoramic image by the omni-directional camera mounted on the mobile robot, a viewing image by the user is generated and displayed through HMD. The homography of 3D plane with markers is used to obtain the head motion of the user. For the performance evaluation, the camera tracking results by ARToolkit and the homography based method are compared with the really measured positions of the camera.

Keywords : Tele-presence, mobile robot, HMD, omni-directional camera, homography

I. 서 론

사용자가 현재 위치한 공간이 아닌 임의의 다른 공간에 있는 것처럼 느끼도록 하기 위하여 HMD(Head

Mounted Display) 등으로 몰입감이 높은 장면을 생성하는 텔레프레즌스(tele-presence) 기술은 컴퓨터공학 분야에서 중요한 연구주제이다. 이를 구현하기 위해 사용자에게 가상의 공간을 제공하고 카메라 추적기술을 활용하는 혼합현실(mixed reality) 등의 연구가 진행되었다^[1]. 특히 증강현실(augmented reality)을 바탕으로 시각 및 촉각을 결합하여 사용자가 위치한 공간의 제약성을 극복하는 연구도 활발하게 제안되었다^[2].

사용자 머리 자세(pose)가 변화함에 따라 먼 거리에 있는 팬-틸트 카메라 등을 직접 제어하여 원격 장면을 생성하는 경우에는 자세 지연(latency) 등의 문제가 발

* 학생회원, ** 평생회원-교신저자, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과

(Dept. of Imaging Science and Arts, GSAIM, Chung-Ang University)

※ 본 논문은 교육과학기술부 재원으로 학술연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2010-0010398)임.

접수일자: 2011년11월3일, 수정완료일: 2012년4월30일

생한다. 이러한 지연 문제는 피드백되는 영상의 해상도보다 사용자가 느끼는 실제감에 더 많은 영향을 주며, 이를 해결하기 위해 파노라믹(panoramic) 또는 전방향(omni-directional) 카메라를 사용하는 시스템이 제안되었다^[3-4]. 그러나 대부분의 연구에서 사용자 자세의 움직임을 추정하기 위해서 자기식(magnetic), 중력식(inertial) 등의 별도 센서를 HMD에 탑재해야 하는 불편함이 있다. 따라서 HMD에 장착된 카메라에 의해 입력된 영상을 해석해서 사용자의 자세를 추정하는 마커기반의 ARToolkit이 주로 적용되었다^[5]. ARToolkit은 가상의 공간을 구성하는 과정이 매우 간단하고 인식성이 우수하다는 장점이 있는 반면에 실제 3차원 공간에서 마커에 대한 카메라 방향에 따라 정확도가 일정하지 않으며, 다수의 면에 위치한 마커들을 해석하는 과정에서 오차가 발생하는 단점이 있다^[6].

텔레프레즌스 시스템은 사용자의 시선 변화에 따라 왜곡이 없는 장면을 실시간에 생성해야 한다. 이를 위해 디스플레이 및 이미징 시스템을 포함한 HMD 장비를 개발하거나 전방향 카메라 등으로부터 얻어지는 파노라마 영상을 기하학적인 변환 과정을 거쳐 디스플레이하는 연구가 활발하게 제안되었다^[4, 7-8]. 특히 자동차에 탑재된 전방향 카메라로부터 사용자가 원하는 장면을 생성하기 위해 웹 브라우저 상에서 마우스를 이용하거나 HMD에 자이로 센서를 장착하는 방법도 개발되었다^[9]. 그러나 HMD 이외에 별도의 센서가 필요하며, 로봇의 이동에 대한 명령을 생성할 수 없다. 또한 모바일 로봇에 장착된 단일 카메라에 의한 입력 영상을 대상으로 블럭 매칭 또는 SIFT(scale invariant feature transform) 방법을 적용하여 파노라마 영상을 생성한 다음, HMD에 장착된 카메라의 시선 방향에 따라 로봇이 동일 지점을 향하는 네트워크 기반 비전 시스템이 제안되었다^[10]. 그러나 로봇과 사용자가 동일한 공간에 위치해야 하며, SIFT 등의 방법은 실시간에 구현하기 어렵다는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 마커들이 위치한 평면상에 존재하는 호모그래피(homography) 관계로부터 사용자의 자세를 실시간에 추정하며, 카메라 추적 과정을 안정적으로 구현하기 위해 확장 칼만(extended kalman) 필터를 적용한다. 또한 사용자의 자세 및 움직임 정보를 이용해 전방향 카메라를 탑재한 모바일 로봇의 실제 이동 명령을 생성하며, 이를 통해 사용자가 실제 로봇이 위치한 장소에 있는 것처럼 느끼고 로봇을 조작하는 시스템을 개

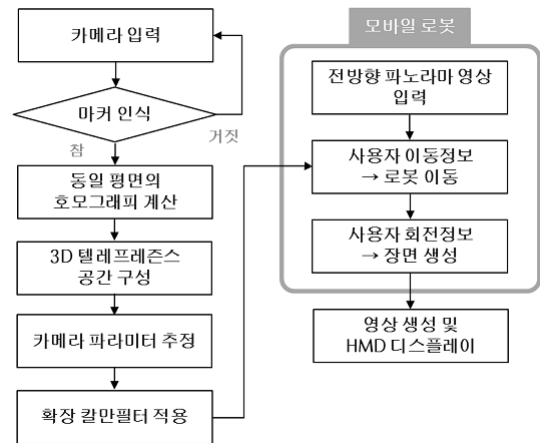


그림 1. 제안된 시스템 구성도.
Fig. 1. Proposed flow chart.

발하였다. 또한 좌표계로 표현된 전방향 영상 시퀀스를 임의의 구에 매핑한 다음, 사용자의 시점과 시선 방향에 따라 로봇이 실제 공간을 이동하면서 새로운 장면을 생성하는 렌더링 시스템을 제안하였다. 그림 1은 제안된 텔레프레즌스 시스템의 구성도이다.

II. 본 론

본 논문에서는 별도의 센서를 이용하지 않고 HMD에 부착된 카메라로부터 입력된 영상으로부터 사용자의 움직임과 자세 등을 추정하는 카메라 추적기술을 구현한다. 동일 평면 위에 존재하는 사각형 마커의 인식 및 카메라 추적 등에 다양하게 활용되는 마커기반의 ARToolKit이 오픈소스로 제공^[11]되고 있지만, 카메라 추적 성능이 시선 방향에 따라 정확도가 일정하지 않는 등의 여러 문제점이 제기되었다^[6]. 본 논문에서는 임의의 공간에서 안정적으로 카메라 파라미터를 추정하기 위해 평면상에 존재하는 마커를 구성하는 각 특징점으로 부터 호모그래피를 구하고 이를 분해하여 카메라의 외부(extrinsic) 파라미터를 추정하는 방법을 적용한다^[12-13]. 여기서 각 평면상의 마커를 해석하는 방법들을 고려하였으며, 실험을 통해 상대적으로 안정적인 카메라 추적 방법을 제안한다.

크기를 알고 있는 마커를 3차원 평면(X_m, Y_m, Z_m)에 위치시키고, 임의의 지점(X_c, Y_c, Z_c) 상에 존재하는 카메라의 기하적 관계 및 좌표계 설정을 그림 2와 식 (1)에 나타내었다. 여기에서 카메라의 이동 및 회전은 동차(homogeneous) 좌표계에서 $t_{3 \times 1}$ 과 $r_{3 \times 3}$ 으로 각각 표현

되며, 마커 좌표계로부터 카메라간의 기하변환 관계를 T_{CM} 으로 정리하였다.

$$\begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{3s3} & & & \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix} = T_{CM} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & s & u \\ 0 & f_y & v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix}$$

여기서 $\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2)$

3차원 공간상에서 Z축을 0으로 가정한 평면 위의 마커 중점 $(X_M, Y_M, 0)$ 이 2차원 영상의 한 픽셀 (x, y) 로 사영(projection)되는 과정을 식 (2)에 나타내었으며, 여기에는 초점거리 f , 기울어짐(skew) s , 영상의 중심점 (u, v) 등을 포함한 카메라 내부(intrinsic) 파라미터 K 가 포함되었다.

카메라 내부 파라미터를 사전에 보정한 경우, 영상 내의 한 픽셀과 실제 3차원 공간상의 한 점은 3×3 행렬로 구성된 호모그래피 H 가 성립한다. 식 (2)에서 r_1 과 r_2 는 x축과 y축의 회전 변환값, t 는 이동변환값이며, 식 (3)을 이용해 카메라의 움직임 정보를 구한다. 여기서 K 는 정칙행렬로서 역행렬이 존재하며, r_3 는 회전형렬의 직교 성질을 이용해 r_1 과 r_2 의 외적(cross product)으로 계산된다. 또한 λ 는 행렬의 크기 인자(scale factor)이며 식 (4)로 계산된다.

$$r_1 = \lambda K^{-1}h_1, \quad r_2 = \lambda K^{-1}h_2, \quad r_3 = r_1 \times r_2, \quad t = \lambda A^{-1}h_3 \quad (3)$$

$$\lambda = 1 / \|K^{-1}h_1\| = 1 / \|K^{-1}h_2\| \quad (4)$$

마커가 부착된 평면에 대한 호모그래피를 계산하여 카메라의 움직임 정보를 계산한다. 즉, 3차원 좌표값을 알고 있는 마커의 각 특징점과 이에 대응되는 영상 내의 픽셀로부터 카메라의 회전 및 이동 정보를 얻을 수 있다. 또한 한 평면에 여러 마커가 입력되면, 추적되는

특징점과 3차원 정보를 선형 방정식으로 구성하고 DLT(Direct Linear Transform) 방법을 적용한다. DLT는 영상에서 검출된 특징점과 실제 세계에 존재하는 3차원 점들과의 대응 관계를 통해 카메라의 사영 행렬을 계산하는 방법으로 최소 6개 이상의 대응점이 필요하다. 대응 관계를 단일 행렬로 구성하고 SVD(singular value decomposition)를 수행한 다음, 분해된 고유(eigen) 벡터 행렬 중 최소 고유값에 대응되는 벡터로서 사영 행렬을 추정한다.

사용자의 자세 변화에 따라 한 평면에서 인접한 다른 평면의 마커가 입력되는 경우에는 ARToolKit으로부터 추정된 카메라 움직임에 불연속적인 오차가 발생한다. 본 논문에서는 두 평면상에 위치한 각 마커를 구성하는 4개의 특징점 위치를 기준으로 해당 마커의 면적을 계산하고 추정된 각각의 카메라 정보에 대한 상대적인 가중치를 이용한 평균값을 구한다. 평면상에 존재하는 호모그래피 기반의 카메라 해석방법에서 카메라를 정면으로 마주하는 평면의 마커로부터 얻어진 정보가 상대적으로 기울어진 면의 마커로부터 계산된 결과 보다는 정확하다. 일반적으로 한 평면에 고르게 대응점이 분포하는 경우에 정확한 호모그래프가 계산되기 때문이다^[13]. 따라서 각 면에서 검출된 마커의 개수와 각 마커의 면적을 고려하여 각 면으로부터 얻어진 카메라 정보에 상대적인 가중치를 부여한다.

또한 각 마커에 대해 카메라 정보를 계산하지 않고 동일 평면에 존재하는 다수의 마커 특징점으로부터 호모그래피를 추정하는 방법의 상대적인 정확성을 제시하였다. 즉, 다수 평면에 여러 마커가 존재하는 경우에 카메라 움직임 정보를 안정적으로 추정하는 방법을 제안

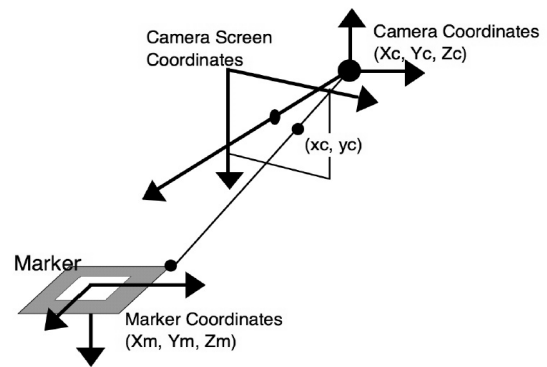


그림 2. 카메라와 마커의 좌표계 설정.
Fig. 2. Camera and marker coordinate system.

하고 각각의 성능을 비교한다. 최종 단계에서 확장형 칼만 필터를 적용하여 안정적으로 카메라 파라미터를 추적한다.

동시에 3개의 평면이 카메라에 입력되면, 사용자의 비선형적인 움직임 특성을 고려하기 위해 LM (Levenberg-Marquadt) 알고리즘을 이용한다. 번들 조정(bundle adjustment)은 움직임 정보를 여러 프레임 동안 누적하여 조정하는 방식으로 3차원 점 X 와 이를 영상내 투영한 좌표 x 에 대한 카메라 투영 행렬 P 를 포함한 함수 $f(P, X)$ 로 구성한다. 그리고 실제 점 x 와의 차이를 오차함수로 식 (5)와 같이 정의하고 이를 최소화한다^[11]. 본 논문에서는 번들 조정을 실시간에 적용하기 위해서 누적 조건을 검사하여 키 프레임을 해석하는 지역(local) 번들 조정을 사용한다.

$$\min_{P_i, X_j} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \|x_{ij} - f(P, X_j)\| \quad (5)$$

모바일 로봇에 탑재된 전방향 카메라로부터 실시간에 파노라마 영상이 입력되며, 임의의 구면의 환경맵으로 매핑된다. 카메라 추적을 통해 얻어진 사용자의 움직임에 따라 파노라마 영상 내에 해당 영역이 선택되며, 대각선 방향으로 45도에 해당하는 텔레프레즌스 장면이 HMD에 실시간으로 디스플레이된다.

III. 실험

구현된 텔레프레즌스 시스템은 (구)다사로봇의 모바일 로봇 플랫폼 TETRA-DS에 전방향 영상을 취득하는 Pointgrey社의 Ladybug 2를 장착하였으며 컴퓨팅 장비는 HP xw4600 워그스테이션, 그리고 사용자에게 장면을 피드백하기 위해 eMagin社의 Z-800 HMD로 각각 구성하였다. 사용자의 움직임에 따른 장면을 생성하는 가상현실 공간을 구현하기 위해 HMD에 장착된 카메라의 회전 및 이동 파라미터를 정확하게 추정해야 한다. 구현된 카메라 추정 방법의 정확도를 분석하기 위해 3차원 계측장비인 WorldViz社의 PPT X4를 이용하였으며, 실제 장비 제원(specification)은 $3 \times 3 \times 3m$ 공간 내에서 0.5cm 이내의 오차범위에서 측정 정확도를 가진다.

제안된 방법의 정확도를 검증하기 위해 3개의 면으

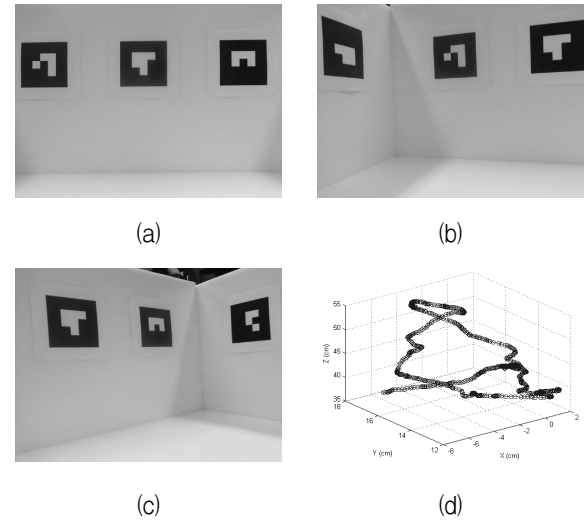


그림 3. (a-c) 구성된 공간에서 입력 시퀀스 영상 (d) 실제 카메라 궤적.

Fig. 3. (a-c) Input sequence frames (d) the really measured camera trajectory.

로 이루어진 임의의 공간을 설치하고 각 면에 마커를 부착하였다. 해당 공간에서 카메라를 비교적 자유롭게 이동하면서 750 프레임을 동영상으로 촬영했으며, 이 궤적은 PPT X4 장비에 의해 실시간에 저장되어 비교 과정에서의 기준 데이터로 활용된다. 구성된 실험환경에서 입력된 시퀀스 영상과 실제 카메라 궤적을 그림 3에 나타내었다.

ARToolkit은 마커를 검출하고 해당 마커로부터 상대적인 카메라 정보를 계산하며, 여러 개의 마커가 존재하는 경우에는 본 논문에서는 각각의 마커로부터 얻어진 카메라 정보를 평균하였다. 그림 3 (a)와 같이 마커를 구성하는 대응점이 한 평면에 고르게 분포하는 경우에는 정확한 호모그래프가 계산되지만, 그림 3 (b), (c)와 같이 입력 영상에 두 평면이 존재하는 경우에는 기울어진 면의 마커로부터 일부 부정확한 카메라 정보가 추정될 수 있다. 이를 고려하기 위해 검출된 각 마커의 면적을 계산하고 이를 해당 마커로부터 ARToolkit을 이용해 해석된 카메라 정보의 선형적 가중치로 활용한다. 즉, 더 큰 면적을 가지는 마커에 의해 얻어진 카메라 정보를 보다 신뢰하는 방식으로 구현하였다.

얻어진 실험결과를 그림 4(a)에 나타내었으며, ARToolKit에 의해 각 마커마다 얻어지는 카메라 정보에 해당 마커의 면적을 고려해도 정확도면에서 성능이 크게 개선되지 않음을 확인하였다.

전체 시퀀스에 대해 각 방법의 평균 오차값을 표 1에

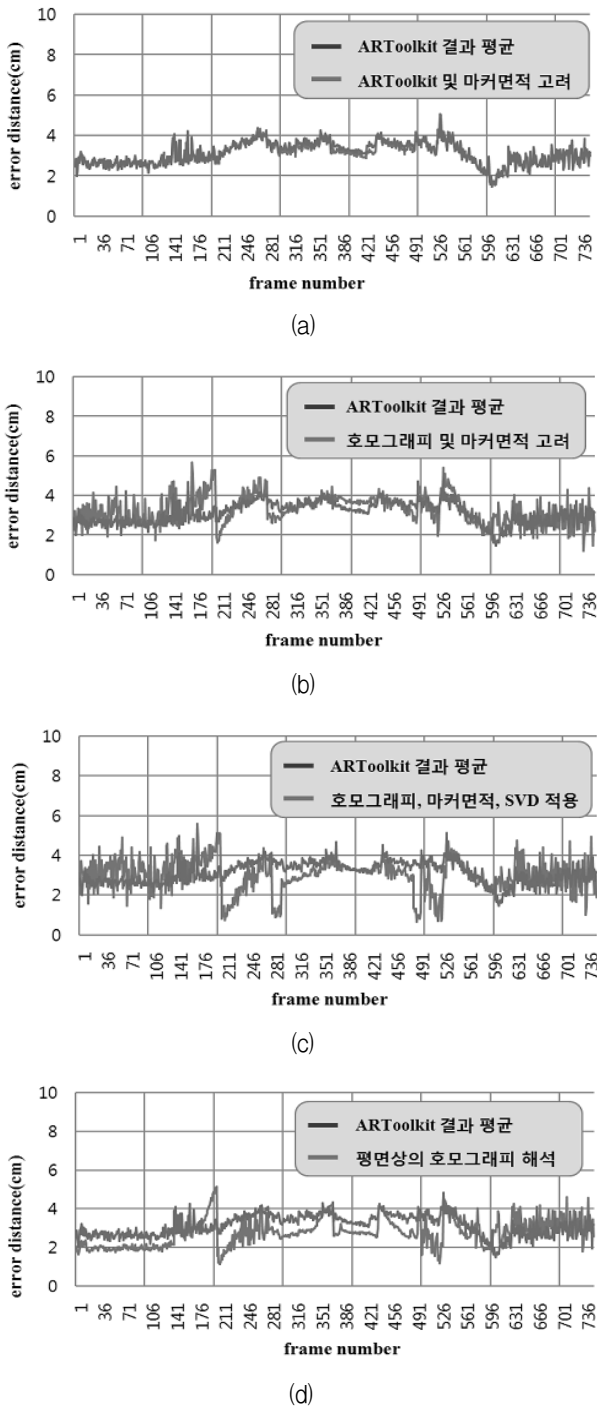
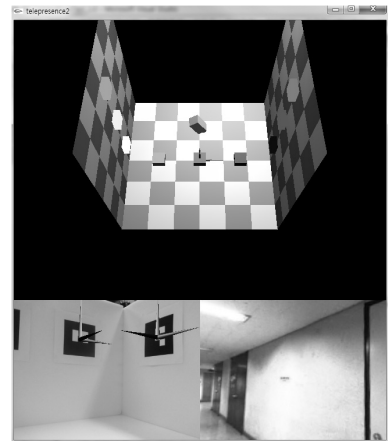


그림 4. 실험 환경에서 구현된 방법간에 의해 추정된 오차비교. ARToolkit 결과와 (a) 각 마커면적에 따른 가중치 고려 (b) 마커 면적의 가중치 고려한 호모그래피 해석 (c) 호모그래피/마커면적/SVD 적용 (d) 동일 평면에서의 호모그래피 해석 방법.

Fig. 4. Comparison of result errors by ARToolkit and (a) considering the relative marker areas (b) homography method and the area weights (c) homography/the area weights/SVD (d) the planar homography.



(a)



(b)

그림 5. (a) 실험공간에서의 마커와 카메라 위치 및 자세 표현 (상단), 해석된 마커의 기준축 (하단 좌측) 및 HMD에 생성되는 가상 장면(하단 우측) (b) 입력되는 전방향 영상.

Fig. 5. (a) Marker and camera positions in the simulation (upper), the reference axis of the marker (lower and left), and the rendered view on HMD (lower and right), (b) input omnidirectional image.

서 비교하였다. 텔레프레즌스를 구현하는 과정에서 사용자의 움직임에 따라 자연스럽게 지연이 없는 영상을 생성해야 하며, 실제 적용되는 공간의 범위가 확장되기 때문에 카메라 정보의 추정 성능은 매우 중요하다. 대상 공간에 존재하는 마커를 인식하고 각 마커의 면적 등을 계산하는 과정, 해당 마커가 위치한 동일 평면의 호모그래피를 계산하는 과정, 그리고 카메라 파라미터를 추정하는 DLT 연산 과정에서 평균 3.2, 0.08, 0.014×10^{-3} 초가 각각 소요된다.

임의 실험공간의 마커와 카메라에 대한 추정된 위치 및 자세를 그림 5 (a)에 나타내었으며, 해석된 마커의 기준축 및 HMD에 생성되는 가상 장면, 그리고 다른 공간에 위치한 모바일 로봇으로부터 취득되고 있는 정

표 1. 전체 시퀀스에 대해 각 방법의 평균 오차 비교.

Table 1. Comparison of averaged errors over sequence.

		거리 오차(cm)		
		x	y	z
ARToolkit		1.5073	1.2891	2.1413
ARToolkit 및 가중치 고려		1.5129	1.2585	2.0700
각 마커의 호모그래피	가중치 고려	1.8985	1.0951	2.0027
	가중치 및 SVD 적용	1.6398	0.9202	1.7919
전체 평면 영역에서의 호모그래피 해석		1.4318	1.0056	1.7394



(a)



(b)



(c)

그림 6. (a) 전시공간과 HMD 영상의 외부 디스플레이 (b) HMD를 착용한 사용자 (c) 모바일 로봇과 전방향 카메라 시스템.

Fig. 6. (a) System exhibition and HMD image display (b) user wearing HMD (c) omni-directional camera mounted on the mobile robot.

방향 영상을 (b)에 보였다. 그림 6은 실제 전시 공간에 구현된 시스템이며, 사용자 외에도 다른 관람자들을 위해 HMD 영상을 (b)와 같이 외부로도 디스플레이한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 호모그래피 기반의 카메라 추적 기술을 이용한 텔레프레즌스 시스템이 개발되었다. 기존 HMD 장비에서 필요로 하는 다양한 추가 센싱 장치를 사용하지 않으면서도 사용자 시선과 머리의 이동 정보를 실시간에 해석할 수 있다. 또한 카메라 추적에 널리 사용되는 ARToolKit 라이브러리와 호모그래피 기반의 카메라 추적 방법 등을 각각 비교하였으며, 이를 통해 동일 평면에 존재하는 다수의 마커를 동시에 고려하는 방법이 가장 안정적인 결과를 얻음을 확인하였다. 그리고 실제 공간에서 다수의 관람객이 참여하는 인터랙티브 전시에 제안된 시스템을 활용 및 발표하였다. 이후 연구에서는 마커가 없는 자연 실내 공간에서 특징 점 추출 및 추적 시스템을 결합할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino, "Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum," in Proc. of Telem manipulator and Telepresence Technologies, Vol. 2351, pp. 282-292, 1994.
- [2] G. Mantovani, G. Riva "Real presence : how different ontologies generate different criteria for presence, telepresence, and virtual presence," MIT press., 1999.
- [3] S. Dasgupta and A. Banerjee, "An augmented-reality-based real-time panoramic vision system for autonomous navigation," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 36, No. 1, pp. 154- 161, 2006.
- [4] M. Fiala, "Pano-presence for teleoperation," in Proc. of Intelligent Robots and Systems, pp. 3798-3802, 2005.
- [5] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system," in Proc. of IWAR, pp. 85-94, 1999.
- [6] D. Abawi and J. Bienwald, "Accuracy in optical tracking with fiducial markers : an accuracy function for ARToolKit," in Proc. ISMAR, pp. 260-261, 2004.
- [7] A. Takagi, S. Yamazaki, Y. Saito, and N. Taniguchi, "Development of a stereo video see-through HMD for AR systems," in Proc. of ISAR, pp. 68-77, 2000.

[8] H. Nagahara, Y. Yagi, and M. Yachida, "Wide field of view head mounted display for tele-presence with an omnidirectional image sensor," in Proc. of Omnidirectional Vision and Camera Networks, pp. 16, 2003.

[9] K. Yamazawa, T. Ishikawa, T. Sato, S. Ikeda, Y. Nakamura, K. Fujikawa, H. Sunahara, and N. Yokoya, "Web-based telepresence system using omni-directional video streams," Lecture Notes on Computer Science, Vol. 3333, pp. 45-52, 2004.

[10] H. Lee, D. Kim, M. Park, and G. Park, "Augmented reality based vision system for network based mobile robot," Lecture Notes on Computer Science, Vol. 5068, pp. 123-130, 2008.

[11] <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

[12] F. Dornaika and C. Garcia, "Robust camera calibration using 2D to 3D feature correspondences," Optical Science Engineering and Instrumentation, Videometrics V, Vol. 3174, 1999.

[13] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple view geometry, Cambridge University Press, 2004.

— 저 자 소 개 —



김 태 협(학생회원)
2010년 안양대학교 컴퓨터공학과
학사
2011년~현재 중앙대학교 첨단영
상대학원 영상학과 석사
과정

<주관심분야: 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스 등>



최 윤 석(학생회원)
2009년 경기대학교 전자공학과
학사
2012년 중앙대학교 첨단영상대학
원 영상학과 석사
<주관심분야: 증강현실, 컴퓨터
비전 등>



남 보 담(학생회원)
2010년 중앙대학교 컴퓨터공학과
학사
2012년 중앙대학교 첨단영상대학
원 영상학과 석사
2012년~현재 LG전자

<주관심분야: 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스 등>



홍 현 기(평생회원)
1998년 중앙대학교 전자공학과
박사
1998년~1999년 서울대학교 자동
제어특화연구센터 연구원
2002년~2003년 Post-doc., Univ.
of Colorado at Denver
2000년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학
과 교수 재직 중

<주관심분야: 증강현실, 컴퓨터비전, 컴퓨터그래
픽스 등>