

반몰입 가상환경을 위한 삼각측량법 기반 카메라 트래킹*

김 효선^{a0} 김 명희^{ab}

이화여자대학교 컴퓨터 그래픽스/가상 현실 연구센터(CGVR)^a

이화여자대학교 컴퓨터학과^b

(khs3^{a0}, mhkim^{ab})@mm.ewha.ac.kr

Camera Tracking using Triangulation for Semi-Immersive Virtual Environment

Hyo-Sun Kim^{a0} Myoung-Hee Kim^{ab}

Ewha womans unv. Center for Computer Graphics and Virtual Reality^a

Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University^b

Abstract

본 논문에서는 반몰입 가상현실 장비인 프로젝션 월(projection wall)과 가상 워크벤치(virtual workbench) 시스템에 적용 가능한 카메라 트래킹 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 측량학에서 거리를 측정하기 위해 사용되어지는 삼각측량법(triangulation)이다. 이 방법은 스테레오 영상을 얻기 위해 사용되는 두 대의 카메라의 기종이 상이할 경우에도 적용이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 넓은 트래킹 영역을 확보할 수 있기 때문에 프로젝션 월과 같은 수직형 스크린에 적용할 경우 더욱 적합하다. 그리고, 본 논문에서는 실시간 트래킹을 수행하기 위하여 변화 벡터(shift vector) 기반 위치 추정 방법을 도입하여 검색 시간을 단축시켰으며, 사용자 헤드 트래킹을 수행하기 위해 적외선 비전을 셔터 글래스(shutter glass)에 부착하여 사용하였다.

1. 서론

가상현실 기술이 발전할수록 가상 환경에서의 사용자 인터랙션이 강조되고 있다. 사용자 인터랙션이 지원되지 않는 가상현실은 단지 현실감이 강조된 컴퓨터 그래픽 영상에 가깝다고 볼 수 있다. 일반적으로 가상 객체와 사용자의 인터랙션은 다양한 인터페이스를 이용한 트래킹 기술에 의하여 지원된다.

트래킹이란 디스플레이 또는 입력 장치의 움직임을 측정하고 추적하는 것을 말한다[1]. 트래킹 기법의 종류로는 마그네틱 트래킹, 기계적 트래킹, 음향 트래킹, 카메라 트래킹 등이 있으며, 구축하고자 하는 가상현실 어플리케이션에 따라 선택적으로 사용되어지고 있다[2].

카메라 트래킹은 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔고 [2][3][4][5], 또한 지금도 일반적으로 사용되고 있는 트래킹 기법이다. 이 기법은 사용자의 이동에 대한 제약이 없고, 카메라의 대수를 추가함으로써 공간의 확장이 용이하며, 트래킹을 위해 사용하는 마커의 개수에 제한이 없다는 장점이 있다.

본 연구에서는 삼각측량법을 기반으로 한 카메라 트래킹을 반몰입형 가상현실 장비인 프로젝션 월과 가상 워크벤치에서의 사용자 헤드 트래킹에 적용하여 그 효율성을 확장시키고, 이를 활용하여 보다 다양한 가상 현실 어플리케이션이 가능하도록 하고자 한다.

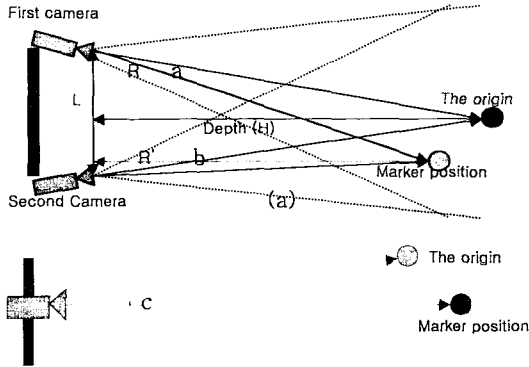
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 카메라 트래킹 프로세스와 삼각측량법을 설명한다. 3장에서는 본 연구를 수행한 환경과 사용한 장비를 설명하고, 4장에서는 삼각측량법 기반 카메라 트래커가 사용자의 헤드 트래킹에 적용된 실험 결과를 기술한다. 마지막으로 5장에서는 결론으로 본 연구의 내용을 요약하고 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 가상환경을 위한 삼각측량법 기반 카메라 트래킹

2.1 삼각측량법 기반 카메라 트래킹

삼각측량법(triangulation)은 측량학에서 거리를 측정할 때 사용하는 기하학상의 기술이다. 이 방법은 삼각형의 한 변(예를 들어 밑변)의 길이를 알고 그 양 끝의 두 각을 안다면 양변의 길이, 즉 피사체까지의 거리를 알 수 있음을 전제로 한다. 그림 1과 같이 두 카메라의 광중심 위치에서 마커까지 이어지는 광선을 가정하면, 마커의 이동시 광선이 함께 이동하면서 생기는 각도의 차를 계산할 수 있다. 이를 위하여 두 카메라 사이의 거리(L)와 카메라에서 원점까지의 거리(H), 카메라 렌즈의 뷰잉 각도 정보가 이용된다. 그리고 그림 1의 환경에서 마커의 3차원 좌표는 삼각측량법을 기반으로 유도되는 식 1, 2, 3을 이용하여 계산된다.

* 본 논문은 부분적으로 정보통신부 대학정보통신연구센터(ITRC) 육성 지원 사업과 한국과학재단 가상 현실연구센터 지원사업, 과학기술부 국가지정연구실 사업의 지원에 의해 수행되었음.



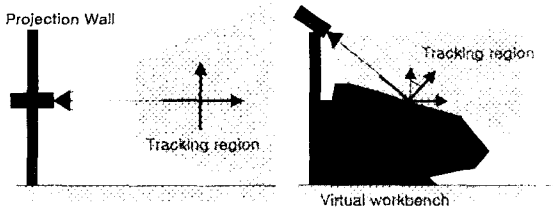
(b)
그림 1. 삼각측량법
(a) XZ 평면 (b) YZ 평면

$$x = \frac{L}{\tan(R+a) * \cot(R'-b) + 1} - \frac{1}{L} \quad (1)$$

$$y = z * \tan(c) \quad (2)$$

$$z = \frac{L}{\cot(R+a) + \cot(R'-b)} \quad (3)$$

삼각측량법을 프로젝션 윌에 적용할 경우, 대형 스크린의 전면부를 포함하는 넓은 트래킹 영역을 확보할 수 있고, 또한 사용자가 스크린으로부터 멀어지더라도 사용자의 인터랙션 부위가 트래킹 영역 밖으로 나가지 않는다. 가상 워크벤치의 환경에서도 동일한 식으로 마커의 위치가 계산된다. 그러나 이 경우에는 사용자의 뷰잉 프리스텀을 고려하기 위해 카메라의 이미지 평면이 기울어져 계산되는 실공간의 좌표축 또한 기울어지게 된다. 따라서 그림 2(b)와 같이 카메라의 기울어진 각도만큼 카메라 좌표계를 회전시켜야 한다.

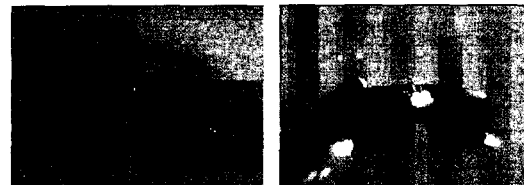


(a) 프로젝션 윌 (b) 가상 워크벤치
그림 2. 트래킹 영역과 카메라 좌표계

카메라 트래킹 장비로서 MS 윈도우즈 기반의 PC와 웹캠을 사용할 경우, 일반적인 윈도우즈용 웹캠 드라이버가 한 대의 카메라만을 지원하므로 스테레오 영상을 얻기 위해서는 여러 대의 다른 기종 카메라를 사용하게 된다. 본 연구에서 제안하는 방법은 각 카메라의 뷰잉 각도를 모두 적용하기 때문에 내부 파라미터가 서로 다른 카메라들을 같이 사용할 시에도 영향을 받지 않는다.

2.2 사용자 헤드 트래킹

반몰입형 가상 현실 장비를 통하여 입체 영상을 보기 위해 사용자는 셔터 글래스(shutter glass)를 착용하게 된다. 그리고 사용자 머리의 회전 및 위치 정보(6 DOF)는 이 셔터 글래스에 부착시킨 마커 3개의 3차원 좌표 정보를 이용하여 계산된다.



(a) LED 작동 전 (b) LED 작동 후
그림 4. 적외선 LED가 부착된 셔터 글래스

3. 변화벡터 기반 위치 추정

640x480 픽셀의 고해상도 카메라 이미지에서 마커가 차지하는 영역은 넓지 않다. 따라서 전체 픽셀에 대해서 마커 검색을 수행하는 것은 불필요한 검색 시간을 소요한다. 본 연구에서는 이 검색 시간을 단축시키기 위하여 변화 벡터(shift vector)[5]를 이용한 마커 위치 추정 방식을 채택하였다. 이 방식에서는 다음 프레임에서의 마커 위치 NP가 위치할 방향 SV를 현재 위치 CP와 지난 위치 PP의 화면 좌표의 차로 가정한 후, CP에 SV를 더하여 NP를 예측한다. 실시간으로 촬영되는 카메라 영상에서 연속되는 프레임 사이의 마커 이동 간격은 그다지 크지 않다. 따라서 급격한 움직임이 없을 경우, 이 예측 방법은 좋은 결과를 보인다.

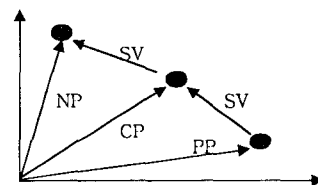


그림 3. 변화 벡터 기반의 위치 추정

4. 실험

4.1 실험 환경

본 연구에서는 어두운 환경을 요하는 프로젝션 시스템에 영향이 없도록 적외선 비컨을 사용하고 카메라에 적외선 필터를 부착시켰다. 비특정 공간을 트래킹 영역으로 활용할 경우 적외선 라이트 소스에서 나오는 적외선을 반사시키는 반사체(reflector)는 트래킹 영역 내의 일반 물체들도 적외선을 반사시킬 가능성이 있으므로 비컨으로서 적합치 않다. 이것은 결과에 노이즈를 유발시키므로 트래킹의 정확성을 낮출 수 있다. 따라서 본 연구에서는 약 950 nm 적외선 LED를 비컨으로 사용하였고, 약 820 nm 대역까지 빛을 차단시키는 적외선 필터를 SONY XC-55 프

로그래시브 스캔 카메라(30 frames/sec)에 부착시켰다. 적외선 필터를 통과한 영상은 깨끗한 이진 임계영상에 가까우므로 마커 세그멘테이션을 위한 모듈을 간략화시켜 트래킹 속도를 향상시킨다.

또한 본 연구에서는 광각(wide-angle)렌즈를 사용해 뷰잉 공간을 넓혀 트래킹 공간을 확장하였다. 사용한 렌즈는 상대 구경(relative aperture) f/1.5, 초점거리 4mm인 Heimann 렌즈(모델명: TV-1.5/4)로, 왜곡수차가 7% 미만인 저왜곡 렌즈이다. 따라서 심한 영상왜곡이 없어, 별도의 보정 프로세스가 없이 거의 실제에 가까운 영상을 얻을 수 있었다.

한편 마커 세그멘테이션에서는 색상 정보가 이용되지 않으므로 두 카메라의 영상 획득 채널을 RGB 색상 지원되는 프레임 그래버 카드의 R 채널과 G 채널에 각각 할당하였다. 두 카메라의 동기화 로직도 하나의 프레임 그래버 카드를 사용함으로써 해결되었다. 이 방법은 각 카메라를 위해 두 개의 그래버 카드를 동기화하여 사용하는 것보다 저렴하고 수월하다. 사용된 그래버 카드는 Matrox Meteor-II/MC4이고, 표준 Intel/MS Windows PC에 장착되었다.

4.2 실험 결과

그림 5는 본 연구에서 수행한 사용자 헤드 트래킹의 실험 결과이다.

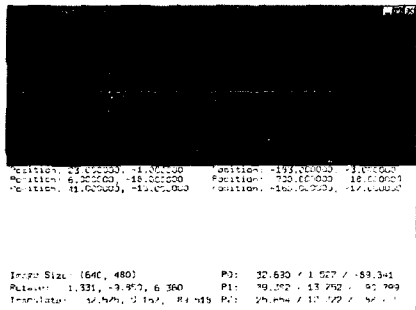


그림 5. 부분 영역 검색에 의한 마커의 위치 추적

실험 결과, 예측된 위치로부터 ±50 픽셀을 검색영역으로 지정한 변화 벡터 기반의 위치 추정 실험에서 서터 클래스에 부착된 3개의 LED는 언제나 예측 영역 내에 포함되었다.

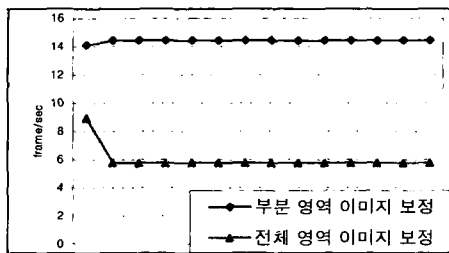


그림 6. 위치 추정에 의한 트래킹 속도의 향상

그림 6은 100 프레임 단위로 트래킹 속도를 측정된 그래프로서, 위치 추정을 수행한 후 향상된 속도를 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 반몰입형 가상현실 디스플레이 장비인 프로젝션 월과 가상 워크벤치의 활용성을 확장하고자, 카메라 트래킹 기법 기반의 사용자 헤드 트래커를 추가하였다. 마커의 3차원 위치는 측량학에서 거리를 측정하는 방법인 삼각측량법을 이용하여 추정하였다. 이 방법은 넓은 트래킹 영역을 보장해주며, 스테레오 영상을 얻기 위해 다른 기종의 카메라를 사용하여도 무방하다는 장점이 있다. 또한 어두운 환경을 요하는 프로젝션 시스템에 영향을 주지 않기 위해서 적외선 LED 비컨을 사용하였고, 카메라에는 적외선 필터를 부착하였다.

향후 연구과제로서 현재 구현되어있는 헤드 트래커에 그랩(grab) 모듈을 추가하여 핸드 트래킹이 가능하도록 기능을 확장하고자 한다.

참고 문헌

- [1] R.Y. Tsai, An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision, Proceedings of CVPR '86, Miami Beach, Florida, pages 364-374., IEEE June 1986
- [2] Mark Alan Livingston, Vision-based Tracking with Dynamic Structured Light for Video See-through Augmented Reality, Ph.D. Thesis, University of North Carolina, Chapel Hill, NC, Computer Science, October, 1998
- [3] K. Dorfmüller and H. Wirth, Real-Time Hand and Head Tracking for Virtual Environments Using Infrared Beacons, Proceedings LNAI 1537, Heidelberg: Springer Verl., 1998
- [4] Miguel Ribo, A new Optical Tracking System for Virtual and Augmented Reality Applications, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Budapest, May 21-23, 2001
- [5] G. Trogemann, B. Graffmann, J. Piesk, 3D-Tracking: Image Based Reconstruction of Camera Parameters for Mixed Reality Postproduction, Proceedings 98 European SMPTE Conference on Imaging Media, Cologne, 1998