

움직이는 거울을 이용한 물체의 3차원 복원 시스템

김기범⁰ 장경호 정순기
경북대학교 컴퓨터 공학과 가상현실연구실
{gbkim, khjang}@vr.knu.ac.kr, skjung@knu.ac.kr

3D Reconstruction System Using Active Mirror

Gi Bum Kim⁰ Kyung Ho Jang and Soon Ki Jung
Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요 약

본 논문은 움직이는 거울을 사용하여 얻은 물체의 영상에서 물체의 3차원을 실시간에 복원하는 능동적 비전(active vision) 시스템을 제안한다. 거울을 사용한 기존의 스테레오 시스템에서는 거울들과 카메라가 고정되어 있어 물체의 부분적인 3차원 복원만이 가능한 반면, 제안하는 시스템은 거울에 의해 생성되는 두 개의 소실점을 이용함으로써 항상 실시간 카메라 보정이 가능하며, 간단하게 거울에 맺힌 영상들간의 대응점을 찾음으로써 물체의 3차원 복원이 가능하다.

1. 서 론

컴퓨터 그래픽스에서 주목할 만한 연구분야는 물체의 기하 정보와 속성들을 모델링하기 위한 복잡한 CAD 시스템을 개발하는 것과 사진과 같은 현실감을 가진 영상을 생성하기 위한 렌더링 시스템의 개발로 대변할 수 있다. 그러나, CAD 시스템을 이용하여 실제 물체의 기하 정보를 사실적으로 모델링하는 것은 많은 시간을 요구하며 어렵다. 이러한 이유로, 모델링된 결과는 사실적인 면에서 한계가 있다. 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 주로 렌더링의 한계를 극복하기 위한 방향으로 연구가 이루어지고 있으며, 그 대표적인 연구분야로는 영상기반 모델링 및 렌더링(Image based Modeling and Rendering) 기법이 있다.

특히, 영상 모델링 및 렌더링 기법에서 영상으로부터 3차원 정보를 추출하기 위해서는 카메라 보정 작업이 요구된다. 보정작업을 위한 기법으로 Tsai[1]과 DLT(Direct Linear Transformation)[2]기법이 있으며, 이는 인위적인 보정용 물체로부터 카메라를 보정(calibration)하였다. 또한, Guillou[3]는 촬영된 영상으로부터 소실점(vanishing point)의 위치정보를 이용하여 카메라 보정을 수행하는 방법을 제안하였다.

그러나, Tsai나 DLT 기법들은 매번 카메라의 보정이 필요한 경우, 실시간에 물체의 3차원 복원이 어렵고, Guillou의 기법은 실제환경에서 카메라 보정을 위한 소실점(vanishing point)을 얻기 어렵다는 문제점을 가진다. Glukman[4]는 한 대의 카메라와 두 대의 거울로부터 스테레오 영상을 얻었으며, 이를 이용하여 실시간으로 3차원 복원이 가능하였다. 하지만, 시각영역(field of view)이 제한된다는 단점을 가진다.

본 논문에서는 시간 영역의 제한성을 해결함과 동시에 실시간으로 카메라의 보정을 통해 영상에서 3차원 물체를 실시간으로 복원할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 물체의 3차원 정보를 얻기 위한 모델링 기법을, 3장에서는 가상카메라의 보정기법에 대해 설명하고, 4장에서는 실험결과를, 5장에서는 결론 및 향후과제를 기술한다.

2. 3차원 물체 모델링 시스템

본 장에서는 제안 하는 3차원 모델링을 위한 시스템 환경을 설명한다.

그림 1과 같이 제안하는 시스템의 네 개의 마커(marker)를 부착한 거울과 비디오 카메라로 구성된다. 제안된 시스템으로부터 카메라 보정을 위해서는 획득된 영상으로부터 소실점을 찾아야 한다. 이를 위해 거울에 부착된 마커의 중심과 그 순서를 정한다. 그런 다음, 카메라 보정 작업과 가상 카메라의 보정 작업을 수행한다.

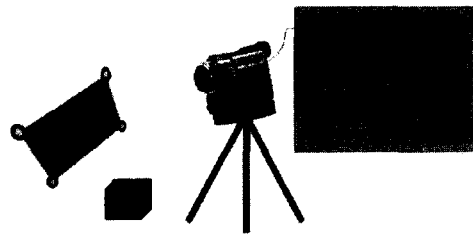


그림 1. 시스템 구성도

이 논문은 한국과학재단에서 지원한 가상현실연구센터의 연구 수행 결과임

2.1 마커 레이블링

거울에 부착한 마커는 빠른 시간 내의 중심점을 찾기 위해 빨간색의 둥근 마커 내부에 노란색의 둥근 마커를 부착하였다. 이러한 마크는 실제환경에서 단색 마커에 비해 구별이 용이하다는 특징을 가진다.

거울의 네 귀퉁이에 부착된 마커로부터 중심점을 찾기위해서 BoundaryFill 알고리즘[5]을 사용하였다. 이때 색상의 점진적인 변화를 허용하여 빨간색 마커의 영역을 인식하고 인식된 영역 내에서 노란색 마커의 영역을 구해서 그 중심을 마크의 중심으로 둔다.

마커의 중심을 찾은 다음, 마커 중심의 2차원 좌표와 거울의 사각형 성질을 이용하여 마커에 대한 레이블링(labeling)을 수행한다.

레이블링 과정은, 소실점을 자동으로 생성하기 위해 마커간의 이분점을 있는 수평축과 수직축에 의해 마커들은 네 개의 영역으로 분할되어 지며, 서로 다른 부호를 가지게 만드는 것이다. 레이블링 과정을 살펴보면, 먼저 마커들을 연결하는 외곽선의 이분점을 구하기 위해서는 그림 2와 같이 두 마커간의 벡터를 구해서 내적이 가장 큰 벡터들을 찾고, 이 벡터들의 이분점을 구한다.

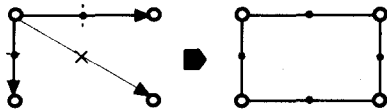


그림 2. 마커간의 이분점 결정

이분점이 결정되면 그림 3과 같이 이분점을 서로 연결하는 벡터들을 구해서 이 벡터들의 내적이 가장 큰 것과 연관되는 벡터를 제거함으로써 두 개의 축을 생성할 수 있다.

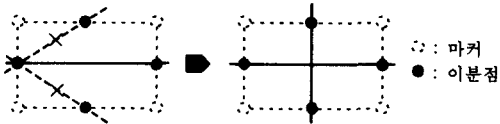


그림 3. 마커를 식별하기 위한 축 설정

이러한 축이 생성되면 기술기의 절대값이 큰 것과 작은 것을 각각 수직축과 수평축으로 하여 x, y축을 결정한다.

마지막으로 그림 4와 같이 이러한 축은 마커를 서로 분할하여 마커의 좌표 (x, y)의 부호가 다르게 레이블링 한다.

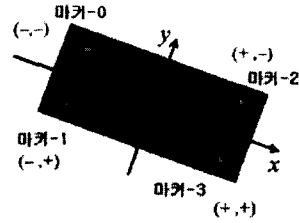


그림 4. 마커의 레이블링

2.2 소실점의 자동 생성

본 논문에서는 카메라의 보정 작업을 위해 2개의 소실점을 자동으로 구해 낸다. 마커 0번과 1번 및 마커 2번과 3번, 마커 0번과 2번, 마커 1번과 3번을 잇는 직선을 각각 l_1 및 l_2, l_3, l_4 라 하자. 그러면 그림 5와 같이 l_1 과 l_2 에 의해 y축 방향으로, l_3 과 l_4 에 의해 x축 방향으로 소실점 vp_1 과 vp_2 가 자동으로 생성된다.

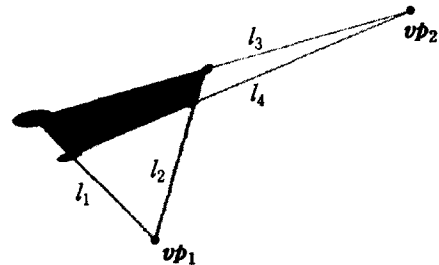


그림 5. 마커의 중심을 이용한 자동 소실점 생성

3 가상카메라의 보정(virtual camera calibration)

이 장에서는 가상 카메라 보정 방법을 기술한다. Guillou[3]는 두 개의 소실점으로 카메라 구성요소(카메라의 초점거리, 카메라의 회전 및 이동)를 구하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서도 Guillou의 방법을 이용하여 카메라의 초점거리(focal length)와 외부파라미터를 구한 후, 실제계 좌표계를 카메라 좌표계로 변환한다.

이렇게 함으로써 거울에 부착한 마커의 중심들이 이동된 좌표를 구할 수 있으며, 또한 이런 중심들을 이용하여 거울의 평면 방정식을 구할 수 있다. 구해진 정보들로부터 그림 6과 같이 가상카메라의 이동 및 회전 변환을 계산하기 위한 \vec{n} (거울의 법선)과 d (거울과 카메라와의 수선의 길이)를 구하고, 식 (1)의 Householder Reflection[6]을 이용하여 거울 속의 가상 카메라의 위치를 구한다.

$$v = Dc$$

$$D = \begin{bmatrix} I - 2nn^T & 2dn \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{식(1)}$$

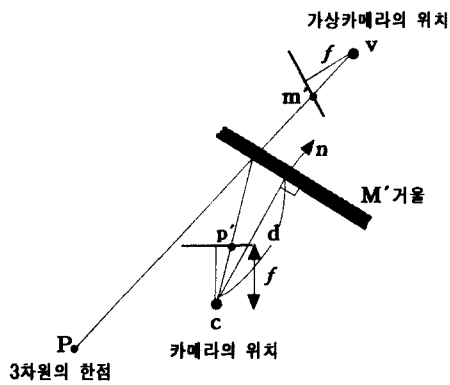


그림 6. 실제카메라와 거울속의 가상 카메라의 관계

또한 가상카메라의 내부파라미터는 실제카메라의 내부 파라미터와 동일한 성질을 가진다[4]. 가상카메라의 외부/내부 파라미터가 모두 정해지면, 가상카메라에서의 시점 영상들로부터 대응점을 찾아서 3차원 복원이 가능해진다.

4. 실험결과

본 논문에서 제안한 시스템은 Pentium-III 700MHz의 CPU와 256MB 메모리를 가진 PC에서 Visual C++ 6.0과 Vision SDK를 이용하여 구현하였으며, 아래의 그림 7과 같이 촬영된 거울 속의 이미지를 이용하여 그림 8과 같이 물체의 3차원 복원을 수행한다.

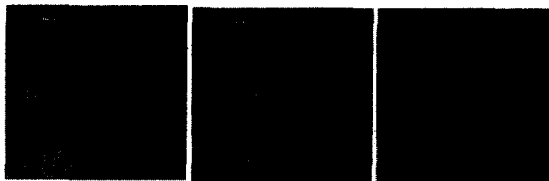


그림 7. 실험에 사용된 영상들

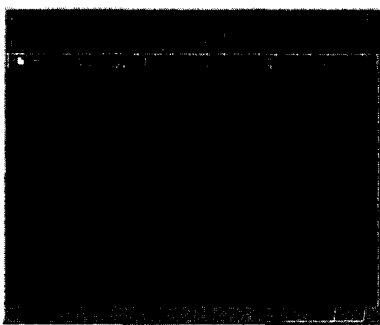


그림 8. 물체의 3차원 복원 결과

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 평면거울과 비디오 카메라를 사용하여 물체의 3차원을 실시간으로 복원이 가능한 능동적인 비전(active vision) 시스템을 제안하였다.

거울이 고정된 기존의 스테레오 시스템과는 달리 제안하는 방법은 움직이는 거울을 사용함으로써 물체의 영상을 폭넓게 획득할 수 있기 때문에 물체의 3차원 복원에 훨씬 유리한 장점을 가진다. 그러나, 2개의 소실점으로 카메라 보정 정보를 얻 으므로써 오차가 생길 수 있고, 카메라의 초점거리를 제외한 내부파라미터 값들은 0으로 가정하였다[3]. 따라서, 향후 카메라 보정 시에 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위한 방법과 정확한 카메라의 내부파라미터 값을 얻어내는 방법의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] R. Y. Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision", Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami Beach, FL, pages 364-374, 1986.
- [2] Abdel-Aziz, Y.I., & Karara, H.M "Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry", Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, pages 1-18, 1971
- [3] E. Guillou, D. Meneveux, E. Maisel, and K. Bouatouch "Using vanishing points for camera calibration and coarse 3D reconstruction from a single image" Springer-Verlag 2000 The Visual Computer(2000) 16:396-410
- [4] J. Gluckman and S. K. Nayar "Planar Catadioptric stereo : Geometry and Calibration" Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Fort Collins, June 1999.
- [5] D. Hearn and M. P. Baker "Computer Graphics," Prentice Hall, 127-130
- [6] B. Noble and J. W. Daniel, "Applied linear algebra," Prentice Hall, 307-310