

등극선 기하를 이용한 다시점 실감 혼합현실 시스템

김정현*

연세대학교 전기전자공학과 디지털영상미디어연구소

김장현

호서대학교 기계공학과

Multiview real-feeling mixed-reality system using epipolar geometry

Jangheon Kim

Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Digital Image Media Lab, Yonsei Univ.

Janghyun Kim

Dept. of Mechanical engineering, Hoseo Univ.

요 약

기존 증강현실과 같은 합성 추적기법에서, 시점을 확장시켜 깊이감을 얻을 수 있는 다시점 영상기술을 적용하였을 경우 특징추출 및 대응의 연산량은 급격히 증가하며, 넓어진 FOV(field-of-view)는 대응을 어렵게 하여 특징의 흔들림을 초래하고 광원과 가려진 영역의 영향을 증대시켜 시점간의 추적을 어렵게 한다. 이에 본 논문은 등극선 기하조건을 고려한 다시점 실감 영상 합성 추적 기법을 제안한다.

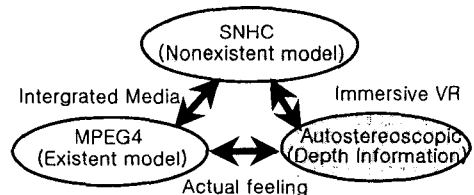
1. 서론

정보화 사회의 고도화가 진행함에 따라 정보유통은 질적인 향상, 특히 영상의 경우에는 컴퓨터그래픽스와 음성과의 결합을 통한 멀티미디어 정보의 복합적인 처리로 나아가고 있으며, 이를 위해 MPEG-4 및 MPEG-7등 객체기반의 부호화 기법이나, 특징기반의 분류와 검색기법 그리고, 가상영상의 부호화 및 다른 매체와의 상호작용을 위한 SNHC(Synthetic Natural Hybrid Coding)등의 표준화가 활발히 진행 중이다. 한편 영상의 보다 현장감 있는 전달 수단으로써의 3차원영상분야도 활발히 연구되고 있으며, 이에 가상오브젝트를 영상에 기반하여 혼합하는 실감미디어 정보에 대한 수요가 급속히 증가하고 있다. 이 때, 가상의 환경에서 공간과 시간의 제약울 극복하는 다양한 요소 정보인 실감미디어를 위해서는 입체디지털 비디오, 오디오, 그래픽합성물체, 문자, 애니메이션, 지식 등의 다양한 정보들이 서로의 상관관계로부터 부자연스러움 없이 결합할 수 있는 강인한 알고리즘이 필요하다.

기존의 연구를 통해 다양한 정보와의 상관성 있는 혼합 형태인 미디어 콘텐츠 제작기술로써 컴퓨터에 의해 인위적

으로 합성된 부가정보를 영상에 결합하는 증강현실 (AR:Augmented Reality)에 대한 연구가 이루어졌다.[1]

그러나, 이는 안경식 디스플레이를 사용하여 시점이 고정되는 한계가 있다. 오늘날의 멀티미디어 및 방송시스템은 사용자가 고품질의 다양한 콘텐츠를 요구하면서, 실영상과 3차원 가상 객체를 다시점으로 자동적으로 혼합하여 현장감 있게 전달할 수 있는 지능형 실감 합성 기술을 필요로 한다. 이에 본 논문은 [그림 1]과 같은 기존 기술과 호환성을 유지할 수 있는 시점 확장 실감 혼합현실 기술을 제안한다.



[그림 1] 실감 혼합현실 기술

하지만, 시점을 확장시켜 깊이감을 얻을 수 있는 다시점 영상기술을 적용하였을 경우, 다음과 같은 심각한 문제점이 발생한다. 먼저, 시점이 늘어날수록 영상정보량의 증가

하기 때문에, 추적을 위해 사용되는 특징추출 및 대응의 연산량은 급격히 증가한다. 게다가, 넓어진 FOV(field-of-view)는 대응을 어렵게 하여 특징의 흔들림을 초래하고 광원과 가려진 영역의 영향을 증대시켜 시점간의 추적을 어렵게 한다. 이에 본 논문은 등극선 기하조건을 고려한 다시점 실감 영상 합성 추적 기법을 제안한다.

2. 관련연구

2.1 증강현실 (AR:Augmented Reality)

기존의 많은 영상 기반 연구에서 3차원 공간과 영상간의 광학할 만한 수학적 해법의 발전이 있었다.

또한 증강현실에서는 실현실과 가상현실의 시점간 움직임간의 상관성 있는 정합을 위해 다양한 추적기법이 연구되었고, 더욱 용이한 검출과 추적을 위해 기점 마커(fiducial marker)나 표지물(landmark)을 영상에 삽입하였다.[1]

이들은 LED, 컬러, 반사형(예. 거울)과 같이 광학적, 시각적 특징을 고려하거나 사각, 점, 원 마커, 바코드패턴과 같이 형상의 대응을 이용한다. 그리고, 이러한 것들은 Shi and Tomasi가 연구를 통해 검증한 것처럼 검출이 용이하게 디자인 되었기 때문에 시점이나 광원에 민감하지 않은 강인한 특성을 띄며 좋은 추적 성능을 가진다. 하지만, 제한된 특성을 가지기 때문에 다양한 콘텐츠에 적용하기에 문제가 있다. 그래서, 다양한 요소를 고려할 수 있는 기점 마커를 사용하여야 한다.[2]

2.2 등극선 기하(Epipolar geometry)

각 시점에 대하여 식(1)과 같이 투사 사영(projective projection)으로 일반화할 수 있다.

$$p = \begin{bmatrix} sx \\ sy \\ s \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = PX \quad (1)$$

여기서, P 행렬은 11 자유도(DOF: degree of freedom)를 가지며, 6개의 알고 있는 좌표로부터 계산될 수 있다. 이와 같은 방법으로 두 번째 카메라 P' 는 정의될 수 있다.

$$P' = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} = [A \ a_4] \quad (2)$$

만약, 첫 번째 카메라가 정규화된 카메라 $P = [I \parallel 0]$ 라 가정하면 기초행렬(fundamental matrix) F 를 얻는다.

$$F = [a_4] \times A \quad (3)$$

3차원으로 등극선 기하를 표시한 것이다. 기초행렬에 의하여, 양쪽 카메라에 점들은 선형적으로 대응된다.

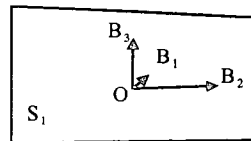
$$\begin{aligned} p'^T F p &= 0 \\ F p &= 0 \\ p'^T F &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

그리고, 이는 스테레오 영상 p, p' 는 임의의 변환 T 에 대해서 F 에 의하여 대응됨을 의미한다. 이와 같이, 기하학적으로 양쪽 카메라의 대응점은 등극선 상에만 존재한다. 다시 말하면, 3차원 공간의 모든 점은 등극선을 지나는 이미지 평면을 교차하는 등극선 평면상의 점으로 사영되고, 등극점에서 모든 선은 교차한다.[3]

3. 등극선 기하를 이용한 다시점 혼합현실

3.1 사각형 마커의 포즈추정

본 논문에서는 등극선 기하를 만족하는 어파인공간(affine space)에서의 방향벡터를 구함으로써, 4개의 모서리를 특징점으로 하는 [그림 2]와 같은 사각평면 마커의 회전 및 이동을 추정할 수 있음을 증명하고, 이를 사용하여, 기준카메라에 대해 자세추정(pose estimation)을 수행한다

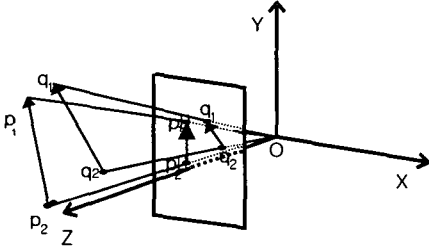


[그림 4] 사각형평면 S_1 과 방향성분 B_1, B_2, B_3

[그림 3]은 3차원 공간의 라인 L 이 L' 로 다음과 같이 투영되는 유사 공간(Affine Space)의 투영 변환이다.

$$L = \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \text{forsome } \lambda, \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \right\} \quad (5)$$

$$L' = \left\{ \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \text{forsome } \eta, \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} + \eta \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix} \right\}$$



[그림 3] 유사공간에서의 네 점의 투영

회전과 이동의 방향을 포함하는 방향벡터(Direction vector)를 계산하기 위해, 투영되는 선을 아래 식(6)과 같은 일반적인 형태로 놓는다.

$$L'_n = \left\{ \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_n \\ d_n \end{pmatrix} + \eta \begin{pmatrix} g_n \\ h_n \end{pmatrix}, n=1, \dots, N \right\} \quad (6)$$

그리고, $\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}$ 을 선 L_n 의 방향벡터라 하고 둔다.

$$h_n f_s b_1 - g_n f_s b_2 + (d_n g_n - c_n h_n) b_3 = 0, n=1, \dots, N \quad (7)$$

이어서, $N=2$ 에 대해 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L'_1 = \left\{ \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ d_1 \end{pmatrix} + \eta_1 \begin{pmatrix} g_1 \\ h_1 \end{pmatrix} \right\} \quad (8)$$

$$L'_2 = \left\{ \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_2 \\ d_2 \end{pmatrix} + \eta_2 \begin{pmatrix} g_2 \\ h_2 \end{pmatrix} \right\}$$

식 (8)으로부터, 다음 식 (9)와 같이 정리할 수 있다.

$$h_1 f_s b_1 - g_1 f_s b_2 + (d_1 g_1 - c_1 h_1) b_3 = 0 \quad (9)$$

$$h_2 f_s b_1 - g_2 f_s b_2 + (d_2 g_2 - c_2 h_2) b_3 = 0$$

이러한 경우, 영상의 투영되는 평면내의 4개의 특징점을 대응시킴으로써, 4개의 점을 근사시킬 수 있고, 우리는 참조되는 영상의 길이를 알 수 있다.

동일한 방법으로 방향성분 B_2 와 B_3 를 $\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}$ 로

표시할 수 있고, 4개의 특징점을 갖는 사각형 영역은 식 (10)과 같이 표시할 수 있다.

$$P_1 = \begin{pmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \end{pmatrix}, P_3 = \begin{pmatrix} p_{31} \\ p_{32} \\ p_{33} \end{pmatrix},$$

$$P_2 = \begin{pmatrix} p_{21} \\ p_{22} \\ p_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{31} \\ p_{32} \\ p_{33} \end{pmatrix} - \lambda_w \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \end{pmatrix} - \lambda_H \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$P_4 = \begin{pmatrix} p_{01} \\ p_{02} \\ p_{03} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} \\ p_{12} \\ p_{13} \end{pmatrix} + \lambda_w \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{31} \\ p_{32} \\ p_{33} \end{pmatrix} + \lambda_H \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}$$

B_2 와 B_3 의 방향성분은 $\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}$ 와 $\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}$ 로 표시할 수 있

고, 초점거리 f_s 에 대해, 두 투영된 선이 평행함에 의해, 계산되어질 수 있다. 여기서, 위의 λ_w and λ_H 는 두 평행선의 길이이다.

방향코사인 $\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 f \\ -g_1 f \\ d_1 g_1 - c_1 h_1 \end{pmatrix}$ 와 $\begin{pmatrix} h_2 f \\ -g_2 f \\ d_2 g_2 - c_2 h_2 \end{pmatrix}$ 에

수직이어야 하므로, 다음 식 (11)과 같이 표시된다. [4]

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \pm \frac{\begin{pmatrix} h_1 f_s \\ -g_1 f_s \\ d_1 g_1 - c_1 h_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h_2 f_s \\ -g_2 f_s \\ d_2 g_2 - c_2 h_2 \end{pmatrix}}{\left\| \begin{pmatrix} h_1 f_s \\ -g_1 f_s \\ d_1 g_1 - c_1 h_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h_2 f_s \\ -g_2 f_s \\ d_2 g_2 - c_2 h_2 \end{pmatrix} \right\|} \quad (11)$$

기본벡터 B_2 의 방향성분 $\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix}$ 과 $\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}$ 를 계산한다.

동일한 방법으로, 투영되는 최소의 선으로부터 기본벡터 B_3 를 계산할 수 있고, B_2 와 B_3 는 식 (12)와 같다.

$$B_2 = \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ a_{23} \end{pmatrix} + \frac{\lambda_w}{2} \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} \right\} \quad (12)$$

$$B_3 = \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{31} \\ a_{32} \\ a_{33} \end{pmatrix} + \frac{\lambda_H}{2} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix} \right\}$$

또 하나의 방향성분 B_1 은 아래와 같이 표시되는 B_2 와 B_3 의 법선벡터이므로 식 (11)처럼 식 (13)으로 둔다. [4]

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \frac{\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix}} \quad (13)$$

B₁에 대해 풀어내면 식 (14)로 구할 수 있다.

$$B_1 = \left\{ \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \end{pmatrix} + \frac{\lambda_z}{2} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} \right\} \quad (14)$$

3.2 등극선 기하를 이용한 추적

본 논문의 사각형 마커는 4개의 모서리와 동일한 색상과 패턴을 가지고 있다. 검출된 모서리에 대하여 기초행렬을 연산하여 등극선 구속조건을 구한다.

등극선 조건에 대하여 대응되는 모서리는 등극선 상에 존재한다. 등극선상의 점들에 대하여, 식 (15)와 같이 네 점의 유사변환 A에 의한 패턴의 최적 대응 R을 찾는다.

$$\hat{R} = RA$$

(15)

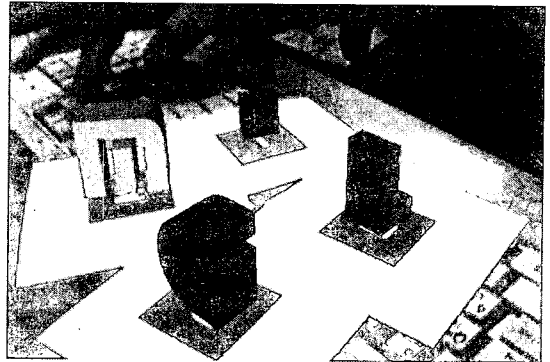
주어진 사각영역의 대응에 의해, 식 (16)과 같은 투영변환 행렬의 요소를 풀 수 있는 8개의 선형 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} x'(h_{31}x + h_{32}y + h_{33}) &= h_{11}x + h_{12}y + h_{13} \\ y'(h_{31}x + h_{32}y + h_{33}) &= h_{21}x + h_{22}y + h_{23} \end{aligned} \quad (16)$$

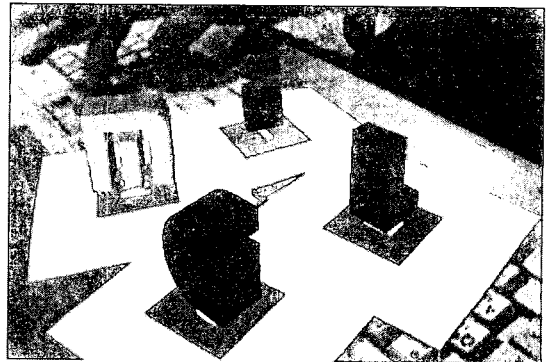
여기서 h는 투영변환의 행렬의 요소를 포함하는 9개 요소이고, Ah=0 형태를 취하기 때문에, h는 A의 무효공간이고, SVD(singular value decomposition)의 알려진 해법을 사용하여 계산될 수 있다.[5]

4. 실험결과

제안된 알고리즘의 등극선 기하를 사용한 사각 마커에 대하여, 2대의 카메라에 대하여 동시에 시점 추적하여 정합한 결과 다음 [그림 4]와 [그림 5]의 결과를 얻었다. [그림 4]의 기준 시점에 대하여 [그림 5]는 매우 잘 추적될 뿐만 아니라 속도가 빨라 Pentium IV 1GHz 시스템에서 평균 약 58FPS (frame per second)의 정합성능을 보인다. 결과적으로 원활한 스테레오 합성을 구현 할 수 있었다.



[그림 4] 기준 시점



[그림 5] 참조 시점

5. 결론

본 논문에서 제안한 합성추적기법의 시점 확장은 지능형 실감방송시스템의 구현을 가능하게 한다. 이러한 지능형 실감방송시스템을 위한 다시점 혼합현실 추적기법은 기존의 증강현실의 적용범위 뿐만 아니라, 차세대 입체 방송시스템의 콘텐츠의 제작이나, 가상광고 및 안내 시스템 등의 넓은 응용분야에 효율적으로 적용될 수 있다.

[참고문헌]

- [1] Milgram, P. and H. Colquhoun, "A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration", Mixed Reality - Merging Real and Virtual Worlds, 1999
- [2] J. Shi and C. Tomasi, "Good features to track", In IEEE Conf. on Comp. Vis. and Pat. Rec., pp.593-600, 1994
- [3] Z. Zhang, "Determining the Epipolar Geometry and its Uncertainty: A Review", International Journal of Computer Vision, 27(2), 161-198, 1998
- [4] W. Boehm & H. Prautsch, Geometric Concepts for Geometric Design, A. K. Peters Ltd., Wellesley, 1994.
- [5] Richard Szeliski, Philip H. S. Torr "Geometrically Constrained Structure from Motion: Points on Planes". Electronic Edition, Springer