

선분의 중점을 이용한 3차원 원시기하모델 복원

*조성동⁰ **윤경현

*중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과

** 중앙대학교 컴퓨터공학과

(sodeng⁰,khyoon)⁰@cgilab.cse.cau.ac.kr

3-D Primitive Reconstruction from Center Point of Line Segment

*Sung-Dong Cho⁰ **Kyung-Hyun Yoon

*Department of Image Engineering Graduate School of Advanced Image Science, Multimedia & Film, Chung-Ang University

**Department of Computer Science & Engineering, Chung-Ang University

요 약

본 논문은 한 장의 사진으로부터 선분과 선분의 중점을 이용한 원시기하모델의 3차원 재구성 시스템을 제안한다. 이 시스템은 선분과 중점을 추출할 수 있는 미리 정의된 다면체를 원시기하모델로 사용하며 그 원시기하모델의 각 점을 사용자가 사진에 매핑 시키는 것으로서 3차원 재구성이 수행된다. 미리 정의된 원시기하모델의 사용은 사용자에게 기존의 소실점 입력 방식보다 직관적인 3차원 재구성을 가능하게 한다. 사진에 매핑된 원시기하모델이 포함하고 있는 2차원상의 선분과 선분의 중점으로부터 원시기하모델을 3차원 재구성한다.

1. 서 론

실 세계의 물체를 컴퓨터 상에 표현하기 위해서는 먼저 모델링 과정을 통하여 물체의 3차원 정보를 저장하여야 한다. 기존의 모델링 방법은 사용자가 직접 물체를 위치시키는 기하학적인 모델링 방법이다. 그러나 이러한 방법은 작업자의 감각에 의존적이며 시간 소모적이고 까다로운 작업이다. 뿐만 아니라 잘못된 사용자 입력에 의하여 의도하지 않은 결과를 생성할 수 있으며 그 수정 과정이 용의하지 않다.

이러한 문제점들을 해결 하기 위하여 최근 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 입력영상으로부터 직접 모델을 생성하는 영상기반 모델링(Image-based modeling)기법에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 방법은 한 장이나 여러 장의 영상으로부터 3차원 정보를 복원하여 사용자가 쉽게 3차원 모델링을 할 수 있도록 한다.

[1]는 입력영상의 소실점을 사용하여 카메라 보정(camera calibration)을 수행하고 영상의 3차원 편집을 가능하게 한다. 이는 물체의 부분적인 3차원 정보만을 복원하기 때문에 물체의 평면 이미지를 추출 하거나 변경만 가능하게 한다. 또 다른 접근 방법들로 Taylor는 여러 영상으로부터 선분들을 3차원 복원하는 방법을 제안하였다[5]. Debevec은 기하학적인 모델링과 영상기반 모델링 기법을 혼합한 새로운 시스템을 발표하였다[3]. Jelinek은 한 장 영상으로부터 다면체로 이루어진 물체의 3차원 재구성 방법을 소개하였다[2].

본 논문은 선분과 선분의 중점을 추출할 수 있는 미리 정의된 다면체를 원시기하모델로 정의하고 그 원시기하모델에 포함된 선분과 선분의 중점정보로부터 물체를 3차원 재구성 하는 방법을 제안한다. 이러한 방법은 카메라 보정을 사용하지 않고 한 장의 이미지로부터 3차원 재구성이 가능하게 한다.

2. 선분의 중점을 이용한 3차원 원시기하모델 복원

선분의 3차원 재구성을 위하여 선분을 이루는 두 점과 선분중점의 정보가 필요하다. 하지만 중점의 정보는 사용자가 직접 입력하기 어렵기 때문에 본 논문에서는 이러한 정보를 내부적으로 포함 할 수 있는 원시기하모델을 미리 정의 하고 영상에 미리 정의된 원시기하모델의 각 점을 입력한다. 2-1에서 원시기하모델의 정의 조건을 알아보고 2-2에서 선분의 중점을 이용한 원시기하모델의 3차원 재구성 방법에 대하여 설명하겠다.

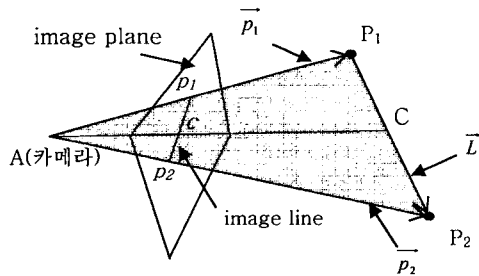
2-1. 원시기하모델 정의

원시기하모델이 포함하고 있는 하나의 선분과 중점은 하나의 벡터로 3차원 재구성된다. 한 평면은 2개의 벡터로 정의 할 수 있으므로 원시기하모델의 한 평면은 2개 이상은 선분과 중점을 포함하고 있어야 재구성이 가능하다.

선분과 중점을 추출할 수 있는 원시기하모델로 직사각형과 육면체를 정의하여 테스트하였다. 직사각형 두 대각선분의 교점은 각 대각선분을 이등분한다. 직사각형은 한 평면에 존재하고 두 개의 대각선분과 선분의 중점이 존재 하므로 재구성이 가능하며, 육면체의 경우 각 면당 1개의 직사각형으로 구성되어 있기 때문에 육면체의 각 면을 재구성 할 수 있다.

본 논문에서 하나의 선분은 벡터로 복원 되기 때문에 원시기하모델의 각 점은 기준점 P_c 로부터 임의의 점 p 까지 벡터로 정의한다. [그림 2]에서 카메라 A의 위치로부터 기준점 P_c 까지 거리 d 가 1일 때 기준점 P_c 로부터 임의의 점 p 까지 복원된 3차원 벡터를 \vec{L} 라고 하면 원시기하모델의 임의의 점 p 는 수식 (1)과 같이 정의된다.

$$p = P_c + d\vec{L} \quad (1)$$



[그림 1] 선분과 선분 중점의 관계

이러한 표현은 복원된 3차원 물체의 투영된 점의 변화 없이 기준점 P_c 의 변화만으로 물체의 크기나 원점으로부터 거리를 변경할 수 있다.

2-2 원시기하모델의 3차원 재구성

원시기하모델이 3차원 재구성되기 위해서는 각 원시기하모델의 선분들이 먼저 복원되어야 한다. 본 논문에서는 카메라는 핀홀 카메라 이고 카메라 좌표계에서 이미지 평면은 $Z=1$ 에 위치한다라고 가정한다.

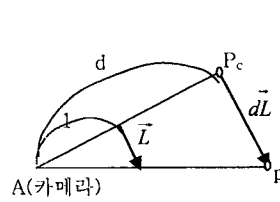
2-2-1 선분의 3차원 재구성

[그림 1]에서 3차원 선분 P_1, P_2 와 선분의 중점 C 가 이미지 평면에 매핑되는 점이 p_1, p_2 와 c 일 때, 이미지 평면상의 p_1, p_2, c 를 사용하여 점 P_1 에서 점 P_2 방향의 3차원 벡터 \vec{L} 을 복원할 수 있다. 카메라로부터 p_1 까지의 단위벡터를 \vec{p}_1, p_2 까지의 단위벡터를 \vec{p}_2, c 까지의 단위벡터를 \vec{c} 라고 할 때 \vec{p}_1 방향의 임의의 점 P_1 과 \vec{p}_2 방향의 임의의 점 P_2 가 이루는 선분은 \vec{c} 에 의하여 이등분 되어야 한다. 이러한 조건으로부터 [그림 3]와 같이 벡터 \vec{c} 가 v 축이 되고 카메라 A와 점 p_1, p_2 가 이루는 u, v 평면상의 점 Q_1 에서 점 Q_2 로 가는 벡터 \vec{L}' 와 카메라 좌표계의 점 P_1 에서 점 P_2 로 가는 벡터 \vec{L} 을 수식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

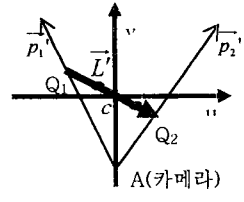
c 를 원점으로 하고 u, v 평면을 x, y 평면으로 변환하는 동차행렬을 F 라고 할 때 $\vec{p}_1' = F \vec{p}_1, \vec{p}_2' = F \vec{p}_2, A' = FA$ $\vec{L}'(u, v, 0) =$ $\left(\frac{-A'_v \times 2}{p_{1v}'/p_{1u}' - p_{2v}'/p_{2u}'}, \frac{-A'_v \times 2}{p_{1v}'/p_{1u}' - p_{2v}'/p_{2u}'} \times \frac{p_{1v}}{p_{1u}} + A'_v, 0 \right)$ $\vec{L} = F^{-1} \vec{L}'$ c 를 지나는 단위벡터 \vec{L}' 과 \vec{p}_1', \vec{p}_2' 의 교점 Q_1, Q_2 의 길이를 k 라고 할 때 카메라로부터 \vec{c} 방향의 임의의 점 C 가 주어지면 수식 (1)로부터 점 P_1, P_2 를 계산하는 수식 (3)을 얻을 수 있다.

$$P_1 = C - L \times \frac{\sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2}}{2k}$$

$$P_2 = C + L \times \frac{\sqrt{C_x^2 + C_y^2 + C_z^2}}{2k}$$



[그림 2] 점의 상대적인 위치 정의



[그림 3] u, v 평면 상에서 \vec{L}' c 로 이등분된다

2-2-2. 복원된 선분으로부터 원시 기하모델의 3차원 재구성

2-2-1에서 설명한 선분의 3차원 재구성 방법으로 직사각형과 육면체 원시기하모델의 대각선분들을 3차원 복원하면 [그림 4]처럼 각각 수직인 X,Y,Z 방향을 축으로 하는 좌표계와 각 축에 대한 길이 비율을 복원 할 수 있다.

[그림 4] (a)의 직사각형의 경우 원시기하모델의 임의의 한 점으로부터 인접한 두 점의 방향이 X축 Y축이 되도록 좌표계를 설정한다. 복원된 원시기하모델이 직사각형의 성질을 유지하기 위해서 복원된 두 대각선분의 길이가 같도록 오차보정이 이루어져야 한다. 오차보정은 두 대각 선분의 3차원 복원과정에서 수식 (3)의 k 변수를 평균하여 같은 값을 사용 함으로서 수행된다.

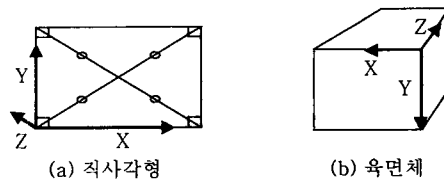
[그림 4] (b)와 같은 육면체 경우 복원된 인접한 면의 법선 벡터가 서로 다른 중심축이 되도록 각 면의 X,Y,Z좌표계를 설정한다. 본 논문에서는 인접한 면이 직각을 이루도록 오차를 각 면에 균일하게 분포시켜 3차원 복원한다.

3. 렌더링

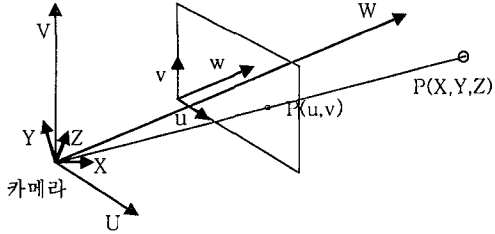
3차원으로 재구성된 원시기하모델을 렌더링 하기 위하여 먼저 투영 변환 행렬을 결정해야 한다. 이미지 평면의 좌측 하단을 원점으로 하고 이미지 평면의 틀을 u, v 로 할당하고 이에 수직인 축을 w 로 하는 이미지 좌표계에서 카메라의 위치(u_c, v_c, w_c)는 (이미지 너비/2, 이미지 높이 /2, 1)로 가정한다. [그림 5]처럼 카메라를 원점으로 하고 원시기하모델로부터 재구성된 X,Y,Z를 좌표축으로 하는 월드 좌표계에서 점 P는 이미지 좌표계와 축이 평행하고 카메라를 원점으로 하는 카메라 좌표계로 변화하여 간단히 이미지에 투영된 점(u, v)를 구할 수 있다.

월드 좌표계(X,Y,Z)로부터 동차행렬을 이용한 투영행렬은 수식 (4)와 같다

$$\begin{bmatrix} tu \\ tv \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_c & 0 & u_c \\ 0 & w_c & v_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xu & Yu & Zu \\ Xv & Yv & Zv \\ Xw & Yw & Zw \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$



[그림 4] 직사각형과 육면체 원시기하모델



[그림 5] 좌표계

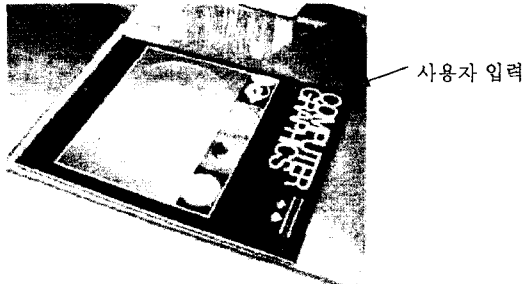
수식 (4)로부터 구해진 투영매트릭 T 와 T^{-1} 을 이용하여 직사각형과 육면체 원시기하모델의 각 평면의 텍스처를 이미지로부터 추출하거나 렌더링시에 텍스처 매핑을 수행한다. 이는 임의의 위치에서 렌더링을 가능하게 한다.

4. 결과 및 향후 과제

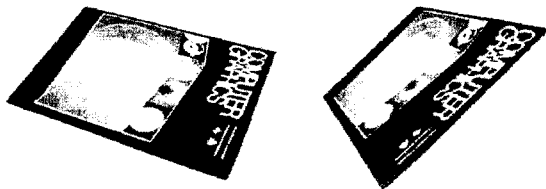
[그림 6]과 [그림 7]은 직사각형 원시기하모델과 육면체 원시기하모델을 3차원 재구성하여 렌더링 한 결과이다. 선분의 중점을 이용한 방법은 기존의 소실점을 이용한 3차원 복원 과정에서 소실점 결정을 위한 평행한 선분의 입력이 최소한 두 개 이상이 되어야 하는 문제점을 개선하여 하나의 선분과 그 선분의 중점만으로 3차원 복원이 가능하다.

향후 과제로 중점의 정보를 포함하고 있는 원시기하모델을 미리 정의하여 사용하는 방법을 사용자가 원시기하모델을 정의할 수 있도록 고려되어야 하며, 여러 개의 원시기하모델을 사용하여 모델링 할 경우 각 원시기하모델들의 관계정의가 필요하다.

픽셀 단위의 사용자 입력으로 인한 3차원 재구성의 오차를 최소화 하는 연구가 필요하다.



(a) 입력 영상



(b) 3차원 재구성 및 임의 시점 렌더링

[그림 6] 직사각형 원시기하모델



(a) 입력 영상



(b) 3차원 재구성 및 임의 시점 렌더링

[그림 7] 육면체 원시기하모델

5. 참고 문헌

- [1] B.S. Villa Alvarez, P.C. Pinto Carvalho and Marcelo Gattass, "Insertion of Three-Dimensional Objects in Architectural Photos," *Proc. WSCG2002*, pp. 17-23, 2002.
- [2] D. Jelink and C.J. Taylor, "Reconstruction of Linearly Parameterized Models from Single Images with a Camera of Unknown Focal Length," *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(7), 2001
- [3] P.E. Debebec, C.J. Taylor, and J. Malik, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-Based Approach," *Proc. SIGGRAPH '96*, pp. 11-21, Aug. 1996.
- [4] B.Caprile and V.Torre, "Using Vanishing Points for Camera Calibration," *Int'l J. Computer Vision*, vol. 4, no.2, pp. 127-140, Mar. 1990
- [5] Camillo J. Taylor and David J. Kriegman, "Structure and Motion from Line Segments in Multiple Images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(11), 1995