

사진을 이용한 건축물의 곡면 요소의 모델링 및 렌더링

이지은, 김정현, 박찬모
포항공과대학교 전자계산학과

Modeling and Rendering Curved Architectures from Photographs

Jieun Lee, Gerard Jounghyun Kim, Chan Mo Park
Dept of Computer science and engineering, POSTECH

요 약

본 논문에서는 컴퓨터 비전의 사진측량학적 방법과 대상물의 기하학적 정보를 결합하여, 사진으로부터 건축물의 정확한 값을 복원해 내는 새로운 모델링 시스템을 소개한다. 사용자의 간단한 프로토타입핑으로 얻은 대략의 모델 정보를 시스템이 사진 이미지와의 오차를 최소화하는 방법으로 자동적으로 모델 정보를 복원해 내며, 사진에서 최선의 텍스처 맵을 생성해 내므로, 세밀한 모델링 없이도 사진 수준의 사실적인(photo-realistic) 모델을 얻을 수 있다. 빠르고 간단한 방법으로 실제 대상의 효과적인 모델을 얻을 수 있는 이 연구의 결과는 가상현실 분야의 모델링 작업에서 추후하는 바와 일치하므로, 가상현실 분야에서 유용하게 사용될 것으로 보이며, 알맞은 대상에 적용을 통해 실질적인 응용이 기대되어진다.

1 서 론

가상현실분야에서의 모델링의 지향점은 충분한 현실감을 제공하면서도, 빠르고 간단히 이루어지는 것이다. 최근 그래픽스의 분야에서 활발히 연구되고 있는 이미지 기반 렌더링(image-based rendering) 기법을 이용한 몇몇 시스템들이 이러한 요구에 어느 정도 부합되긴 하였으나, 모델의 기하학적 정보를 구하지 않는 이미지 합성만으로는 근접 네비게이션 등의 사용자 편의를 제공할 수 없었다. 이미지 기반 모델링(image-based modeling)은 2차원의 이미지로부터 모델의 3차원 공간 정보를 찾아내는 목적으로, 컴퓨터 비전과 의학 분야에서 꾸준히 연구되어 왔다.

소개하고자하는 연구는 사진으로부터 대상이 되는 건축물의 기하학적 정보와 색 정보를 복원해 내는 일종의 모델링 및 렌더링 시스템으로 1996년 U.C.Berkeley의 Debevec 등에 의해 발표되었다. 그러나, 이 연구에서 대상으로 하는 건축물은 직각과, 직선으로 이루어진 다각형 건축물에 제한되었으므로, 본 논문에서는 구, 원기둥, 회전체, 혹은 곡선 등 건축물의 곡면 부분을 복원해 낼 수 있는 방법을 제안한다.

2 이전의 연구

Debevec 등은 컴퓨터 비전의 사진측량학적 지식에, 대상물의 구조를 기하학적 관점에서 분석하여, 실재하는 건축물의 몇 장의 사진으로부터 모델을 효과적으로 모델링 및 렌더링 하는 방법을 제시하였다.

사진측량학적 모델링(photogrammetric modeling)과 시점-의존적 텍스처 매핑(view-dependent text-mapping)으로 명칭된 두 작업의 세부적인 내용을 소개하도록 하겠다.

2.1 사진측량학적 모델링

2.1.1 모델 표현 과정

모델은 모델을 구성하는 기본 블록들(blocks)과 이들간의 관계(relations)로 이루어진다. 블록은 매개변수를 가진 다면체(parametric polyhedral primitive)로서 Debevec이 제시한 기본 블록은 직육면체(box)와 지붕형 다면체(wedge), 사각뿔(pyramid)의 세 가지였으며, 모두 너비, 높이, 길이의 세 가지 매개변수를 갖는다. 관계는 기본 블록들간의 공간적인 관계성을 정의하는 것으로, 일반적으로 이동과, 회전에 대한 정보이다. 단 한 블록의 이동과 회전 정보는 세계좌표에 대한 절대

적인 값이 아니라, 상위 블록에 대한 제약적인 값으로 정의되므로, 관계는 이동과 회전이라는 제약조건을 가진 블록들의 계층구조(hierarchical constrained blocks)가 된다.

2.1.2 모델 복원 과정

모델의 복원이란 매개변수들로 표현된 건축물의 너비, 높이, 길이의 실제 값들을 구해내는 과정이다. 사용자로부터 2.1.1의 단계에서 얻어진 모델과 이미지상의 대응되는 모든 선분의 쌍이 명세 되면, 시스템은 이미지 평면에 2차원으로 투사된 모델과 사진 이미지간의 차이를 최소화하는 방향으로 매개변수 값을 조정하여, 최적의 해를 찾는다.

다면체 블록으로 구성된 건축물의 복원에서는 이미지와 모델간의 오차 측정의 최소 단위를 선분으로 보고, 이미지 상의 선분과 이에 대응되는 모델상의 선분의 오차를 그림1과 같이 정의한다. 모든 이미지에 대하여, 대응되는 이미지-모델 선분의 모든 쌍에 대해 오차의 누직합을 구한 뒤 이를 최소화 하는 모델의 매개변수 값들을 찾는다.

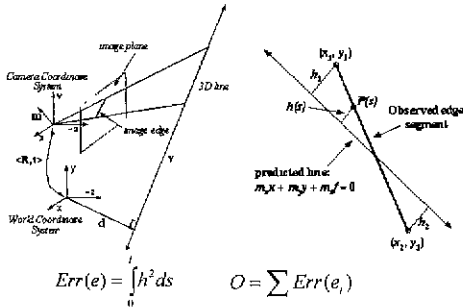


그림1. 이미지상 선분과 모델상의 선분간의 오차와 시스템 목적함수의 정의

이미지 평면상에서 대응되는 선분들을 비교하기 위해서는 현재 이미지의 카메라 정보를 비교적 근사하게 제시하는 초기 측정(initial estimation) 과정이 필요하다. 위 그림1에서 투사원점과 모델상의 선분이 이루는 평면의 법선 벡터 m 은 카메라의 위치정보 $\langle R, t \rangle$ 와 모델상의 선분 $\langle v, t \rangle$ 를 이용하여 다음과 같이 표현 가능한다,

$$m = R_j(v \times (d - t_j))$$

이로부터 유도된 목적함수 O_1 을 최소화하여 카메라 회전 정보의 근사 값을 결정할 수 있으며, 목적함수 O_2 을 최소화하여 카메라의 이동 정보와 모델 매개변수들의 초기 근사 값을 결정할 수 있다.

$$O_1 = \sum_i (m^T R_j v_i)^2, \quad v_i \in \{\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}\}$$

$$O_2 = \sum_i (m^T R_j (P_i(X) - t_j))^2 + (m^T R_j (Q_i(X) - t_j))^2$$

where $P_i(X)$ and $Q_i(X)$ are expressions for the vertices for an edge of the model

2.2 시점-의존적 텍스처 매핑

모델에 대한 텍스처 매핑은 현재 시점에 가장 적합한 사진 이미지를 선택하거나, 적절한 이미지 합성을 통해 구한 텍스처 이미지를 블록의 각 평면단위로 매핑한다. 이 과정에서 평

면의 모양에 맞게 이미지를 와핑(warping)하는 작업이 수행된다.

3 시스템 확장 : 곡면형 기본 블록들의 제안

본 장에서는 이긴의 연구에서 제시된 시스템의 확장을 위하여 곡면형 기본 블록들을 제안한다. 각 곡면형 기본 블록들의 매개변수들을 제시하고, 사용자가 이미지 상의 곡면형 기본 블록의 정보를 시스템에 전달하는 상호작용을 설명한다. 끝으로 곡면형 기본블록의 매개변수 값을 복원해 내기 위한 오차와 목적함수를 수식화 한다.

3.1 구형 기본 블록

구는 매개변수로 반지름을 가지며, 2차원 투사에 대해 형태가 변하지 않으므로 반지름을 복원하기 위해서는, 적당한 다면체 매개변수 하나를 이용하여, 상대적인 값을 복원해 내야 한다. 사용자는 각 이미지 상에서 구의 반지름과 기준이 되는 다면체 매개변수의 길이를 측정하여 시스템에 전달하며, 이 값들의 상대적인 비와, 이에 대응되는 모델상의 값의 차이로 오차로 정의한다 (그림 2)

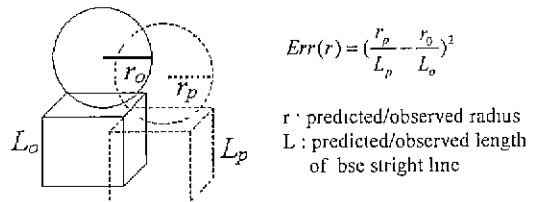


그림 2. 구형 기본 블록의 오차의 정의

3.2 반구형 기본 블록

반구는 반지름과 절단원의 반지름의 길이를 매개변수로 가지며, 반지름의 복원은 3.1에서 제시한 구의 경우와 같고, 절단원의 반지름 길이에 대한 오차를 구 반지름에 상대적인 값으로 정의한다.

3.3 원기둥형 기본 블록

원기둥은 반지름과 높이를 매개변수로 가지며, 반지름의 복원은 3.1에서 제시한 구의 경우와 같고, 3.2에서와 유사한 방법으로 높이에 대한 오차를 구 반지름에 상대적인 값으로 정의한다

3.4 곡선을 가진 기본 블록

건축물에서 나타나는 곡선은 타원형의 테라스나, 나선형의 계단, 한국의 전통 기와지붕의 처마선 등이다. 곡선 자체를 독립된 기본 블록으로 보지 않고, 곡선을 포함한 입체 도형을 기본 블록으로 보며, 이러한 블록들은 보다 상세한 기하학적 명세가 요구된다. 그림 3과 같이 한국 전통 기와지붕의 지붕형 기본 블록을 제시하여 처마선, 용마루 등의 곡선을 복원해 보도록 한다

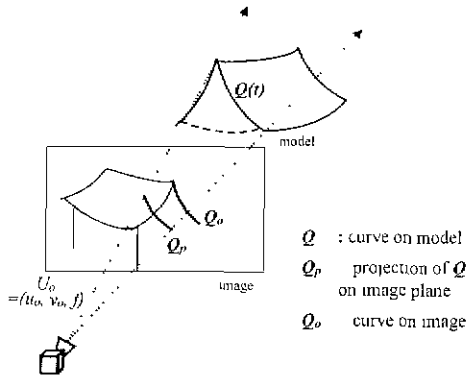


그림 3 곡선을 가진 기본 블록의 이미지 상의 곡선과 2차원 투사된 모델상의 곡선

곡선의 표현을 3차 Bezier 곡선(3-order Bezier curve)로 하였을 때, 모델상의 곡선 $Q(t)$ 는 네 개의 제어점 P_1, P_2, P_3, P_4 를 통해

$$Q(t) = (1-t)^3 P_1 + 3t(1-t)^2 P_2 + 3t^2(1-t) P_3 + t^3 P_4$$

로 표현되고, $Q(t)$ 를 이미지 평면상에 투사한 곡선 $Q_p(t)$ 는 다음과 같이 표현된다

$$Q_p(t) = (1-t)^3 P'_1 + 3t(1-t)^2 P'_2 + 3t^2(1-t) P'_3 + t^3 P'_4$$

$$P'_i = \frac{P - U_0}{f}$$

사진 이미지상의 곡선을 3차 Bezier 곡선으로 근사한 곡선의 식을 $Q_o(t)$ 라고 했을 때, 오차는

$$Err(Q) = \int_{t=0}^1 \{Q_p(t) - Q_o(t)\}^2$$

로 정의되며, 목적함수는

$$O = \sum_{image_i} Err(Q_i)$$

로 정의된다. 목적함수 O 를 최소화하는 곡선의 제어점 P_1, P_2, P_3, P_4 를 구하여, 3차원 모델상의 곡선을 복원할 수 있다

3.5 회전체 기본 블록

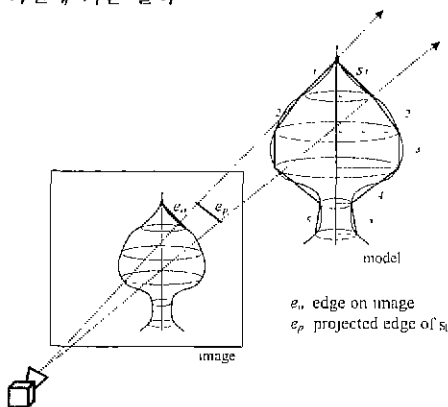


그림 4. 회전체의 윤곽선을 이루는 세그먼트들과 2차원 투사

회전체는 회전축의 방향과 길이, 회전면을 이루는 윤곽선(profile)으로 정의된다. 회전체는 두 단계의 복원 과정을 거치는데, 첫 단계에서는 선분 복원 방법(2.1.2)으로 회전축의 방향과 길이를 복원하며, 두번째 단계는 몇 개의 선분 세그먼트로 정의되는 회전체의 윤곽선을 복원해 내는 과정으로 회전체의 높이를 균등하게 나누는 절단면을 이용하여, 사용자는 각 이미지에 대해 윤곽선의 세그먼트를 표시할 수 있으며, 세그먼트들은 2.1.2에 기술한 선분 복원 알고리즘으로 복원된다. 그림 4에서 회전체의 윤곽선은 5개의 세그먼트 s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 로 이루어졌으며, 세그먼트 s_p 에 있어 s_i 가 이미지 평면에 투사된 선분을 e_p , 이에 대응되는 이미지상의 선분을 e_n 라고 할 때 선분 s_i 의 정보는 e_p 와 e_n 의 오차를 최소화하는 값으로 복원된다.

4 구현 및 결과

그림 5는 7장의 사진으로부터 복원된 포항공과대학교의 대강당과 조형물이다. 대강당 상단의 곡선과 조형물의 구와 원기둥 등의 요소가 복원되었다.

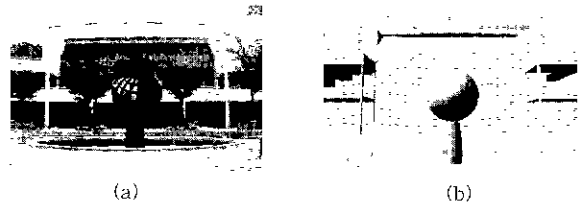


그림 5. (a) 포항공과대학교의 대강당과 조형물의 사진. (b) 사진(a)를 복원한 모델을 (a)의 시점에서 본 모습

5 결론 및 향후 연구 과제

본 논문은 기존의 사진영상-기반의 건축물의 모델링과 렌더링 방법의 단점을 보완하여, 다면체로 이루어진 건축물뿐만 아니라, 곡면을 가진 건축물을 복원해 내는 방법을 제시하였다. 구체적으로 복원해 내는 곡면은 구, 반구, 원기둥, 회전체, 곡선을 가진 기본 블록 등이다. 추후 과제로는 곡면형 기본 블록의 렌더링을 위한 비선형적 이미지 와핑(nonlinear image-warping)에 대한 연구가 요구되며, 가상 현실 분야의 내비게이션 시스템으로 확장할 경우에는 시점-의존적 텍스처 매핑이 실시간에 처리될 수 있어야 한다.

참고 문헌

[1] Paul E Debevec, Camillo J Taylor and Jitendra Malik, Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. In SIGGRAPH '96, 1996

[2] Camillo J Taylor and David J Kriegman, Structure and motion from line segments in multiple images. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 17(11), November 1995

[3] Ali Azarbaycani and Alex Pentland, Recursive estimation of motion, structure, and focal length. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., 17(6) 362-375, June 1995

[4] 장경호, 한국의 전통건축, 문예출판사, 1992