

다면체 프리미티브를 이용한 영상기반 모델러 구현

구본기*, 김성예, 김해동, 최병태
한국전자통신연구원

Implementation of Image-based Modeler Using Polyhedral Primitives

B.K. Koo, S.Y. Kim, H.D. Kim, B.T. Choi
Electronics and Telecommunications Research Institute
E-mail : bkkoo@etri.re.kr, inside@etri.re.kr, hdkim@etri.re.kr, btchoi@etri.re.kr

요 약

사진으로부터 실물과 같은 3차원 모델을 추출하고 텍스처를 추출하는 영상 기반 모델링 및 렌더링에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 본 논문에서는 다중 입력 영상으로부터 다면체 프리미티브를 이용하여 3차원 모델을 생성하고 각 모델 면의 텍스처를 입력 영상으로부터 획득하는 영상 기반 모델러를 설계 및 구현 하였다.

1. 서론

사진(photograph)은 일상 생활에 한 부분으로 중요한 역할을 해왔다. 사진은 우리가 원하는 시각 정보를 저장하고 재 사용하는 것을 가능하게 하였다. 사진을 이용하여 3차원의 기하학 모델을 추출하고 새로운 이미지를 생성하는 사진 기하학(Photogrammetry)^{[1][2]}은 컴퓨터 그래픽스의 발달로 최근에는 영상 기반 모델링(image-based modeling)과 렌더링(rendering)이라는 용어로 알려지고 연구, 개발 되어 왔다. 영상 기반 모델링 및 렌더링 연구는 컴퓨터 그래픽스가 가지는 궁극적인 목적인 사진과 같은 사실적인 (photorealistic) 3차원 모델을 생성하고 렌더링 하는 문제를 해결하는 새로운 방향을 제시한다. 최근 미국의 Debevec이 제안한 사진에서부터 건축물의 3차원 모델을 복원하는 알고리즘^[3]과 함께 EOS 시스템의 PhotoModeler^[6], Metacreation

사의 Canoma^[7], Adobe사의 atmosphere^[8], Apollo 소프트웨어사의 Photo3D^[9], E & S사의 제품^[10]과 Realviz사의 ImageModeler^[11] 등과 같은 다양한 상용 제품이 개발 되었다. 이들은 직관적인 사용자 인터페이스와 다양한 알고리즘을 적용하여 사진을 이용한 실물의 3차원 복원에 관한 다양한 방법들을 제시하고 있다.

본 논문에서는 여러 장의 입력 사진으로부터 실물과 같은 3차원 모델을 생성하고 텍스처(texture)를 생성하는 영상 기반 모델러의 구현에 관하여 논한다. 개발된 모델러¹는 다면체의 프리미티브(polyhedral primitives)를 이용하여 3차원 복원 과정에서의 매개변수의 수를 감소 시켜 모델의 정확성을 높일 수 있었다. 또한, 물체를 이루는 프리미티브 간의 정확한

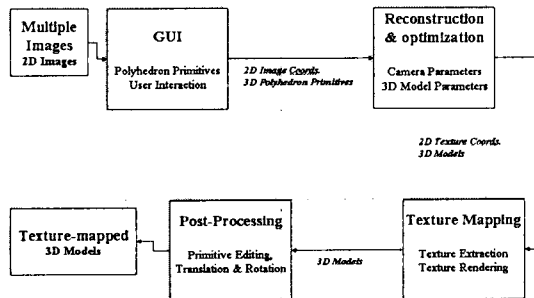
¹ 본 논문에서 제안한 영상 기반 모델러는 2000~2001년까지 정보통신부의 선도 기반 기술 개발 과제인 네트워크 가상현실 저작 도구 및 시스템 개발 과제의 일부입니다.

관계를 설정하기 위하여 프리미티브 에디터를 두었다.

본 논문은 2장에서 다면체 프리미티브를 이용한 영상 기반 모델링의 전체 흐름을 살펴보고, 3장에서는 개발된 영상 기반 모델링의 사용자 인터페이스를, 4장에서는 3차원 모델 복원과 최적화 문제를, 5장에서는 텍스처 맵핑, 6장에서는 프리미티브 에디터에 대해 알아보고 결론을 맺는다.

2. 영상 기반 모델러 설계

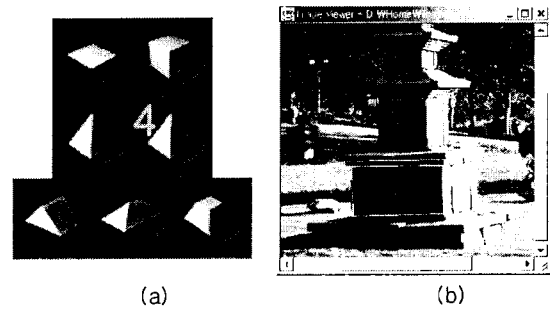
여러 장의 사진을 이용한 영상 기반 모델러의 구현을 위한 전체 구성은 [그림 1]과 같다. 사용자의 편리성과 효과적인 모델 복원을 위한 그래픽 사용자 인터페이스(graphic user interface) 부분은 입력된 여러 장의 사진 위에 다면체 구조의 3차원 프리미티브를 이용하여 쉽고 빠르게 모델을 구축 할 환경을 제공한다. 사용자는 3차원 프리미티브를 선택하여 주어진 영상과 적절하게 일치시켜 영상과 프리미티브 간의 관계를 결정한다. 3차원 모델 복원과 최적화 과정에서는 3차원 프리미티브의 위상(topology) 정보와 대응되는 영상 선분을 이용하여 3차원 선분을 추정한다. 매우 복잡한 수치적인 계산 절차가 요구되고 모델의 정확성에 중점을 둔다. 텍스처 맵핑 과정에서는 3D 모델의 각 면에 대한 텍스처를 생성한다. 시각적으로 가장 좋은 텍스처를 다중 영상으로부터 선택 및 편집한다. 후처리 부분인 프리미티브 에디터에서는 사용자의 입력으로 인해 발생하는 프리미티브 간의 부정확한 관계(relation)를 보정하는 방법을 제공한다.



[그림 1] 영상 기반 모델러의 전체 구성

3. 사용자 인터페이스

Debevec 등^{[3][4][5]}은 건축물이나 간단한 인공 물체인 경우에 영상 상에서 미리 정의된 3D primitive들을 사용하여 물체의 각 변(edge)에 대응되는 선분을 지정함으로써 3차원 물체에 대한 정보를 찾을 수 있는 방법을 제시하였다. 현재 지원되는 프리미티브는 [그림 2]의 (a)와 같다. 미리 정의된 프리미티브로부터 사용자가 선택한 primitive들의 선분에 해당하는 영상 선분들을 [그림 2]의 (b)와 같이 사용자의 수동 입력으로 얻는다.



[그림 2] 그래픽 사용자 인터페이스: (a) 3차원 프리미티브 (b)프리미티브를 이용한 사용자 입력 예

4. 3차원 모델 복원 및 최적화

여러 장의 입력 영상으로부터 3차원 모델을 복원하고 최적화하기 위하여 Taylor와 Kriegman^[4]는 다양한 회전 행렬을 임의로 생성하고 이들을 시도해 보는 방법을 사용하였다. Debevec 등^[3]은 건물 등의 구조물의 알려진 수직 및 수평 방향 직선을 이용하여 직선의 방향을 고정시킨 뒤에 회전 행렬만을 먼저 고려하였다. 본 논문에서는 Taylor의 선분을 이용한 3차원 복원 알고리즘을 이용하였다.

m 개의 영상이 있고 이들이 각각 n 개의 직선을 포함하고 있다고 하자. 영상을 위한 인덱스로 i ($1 \leq i \leq m$)를 사용하고, 직선을 위한 인덱스로 j ($1 \leq j \leq n$)를 사용하자. 영상의 생성 과정은 $F(\mathbf{p}_i, \mathbf{q}_j)$ 로 표현된다. 여기서 \mathbf{p}_i 는 3차원 직선 i 의 위치이고 \mathbf{q}_j 는 영상 i 의 카메라 위치와 방향이다. \mathbf{u}_{ij} 를 직선 j 를 영상 i 로 투사한 것의 측정치라고

하자. 목적 함수는 $F(\mathbf{p}_i, \mathbf{q}_j)$ 와 \mathbf{u}_{ij} 의 disparity의 합으로 둘 수 있다. 3차원 복원의 목표는 주어진 영상 측정치로부터 아래 식과 같은 목적 함수를 최소화하는 \mathbf{p}_i 와 \mathbf{q}_j 를 찾는 것이다.

$$O = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n Err(F(\mathbf{p}_i, \mathbf{q}_j), \mathbf{u}_{ij})$$

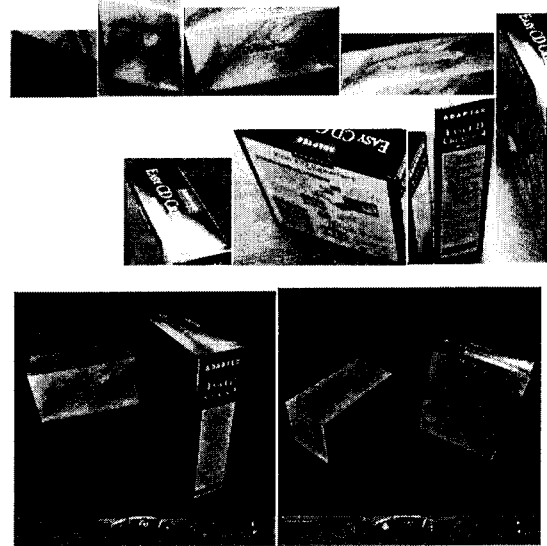
최종 오차 Err 는 각 물체의 크기, 위치, 방향, 그리고 각 카메라의 위치, 방향을 입력으로 하는 함수이다. 입력으로 사용되는 모든 매개 변수의 개수를 n 이라 하면, 사용자가 지정한 영상 좌표 값들로부터 3차원 물체를 재구성하는 문제는 이제 n 차원 상에서 최종 오차를 의미하는 함수 Err 를 최소화하는 최적화 문제가 된다. 물체의 위치와 방향이 다른 물체에 상대적으로 정의된 경우, 여러 단계의 변환 행렬을 계산하여야 하고 이 과정에서 편미분 함수들을 계산하기가 상당히 곤란하다. 그래서 비교적 안정적이고, 편미분을 계산할 필요가 없는 Downhill simplex method^[12]를 사용하였다

simplex method에서는 n 차원 상의 한 점에 대해, 최소화하고자 하는 함수의 값을 계산할 수 있으면, 그 함수의 최소값을 찾아낼 수 있다. 이 경우에 각각의 영상에 대한 카메라 설정 값들, 각각의 3D 물체에 대한 크기, 위치, 방향을 모두 찾아야 되므로, 이들 전체가 n 차원 공간을 형성하고, 찾고자 하는 근사 해는 이 n 차원 공간에서 $Error$ 함수의 값을 최소로 하는 점이 된다.

5. 텍스처 맵핑

3차원 모델이 구해지면 각 면에 대한 고품질 텍스처를 추출한다. 3차원 모델의 각 면에 해당하는 부분의 영상에서의 영역을 알고 있다. 다중 영상으로부터 중복되는 텍스처를 처리하기 위하여 주어진 텍스처에 대해서 얼마나 왜곡이 적고 넓게 모델의 면을 덮을 수 있는가의 기준으로서, 면의 2차원적 모양의 뒤틀림 정도에 반비례하고, 내부에 포함하는 화소수에 비례하게 텍스처를 선별하였다.

[그림 3]은 실제 적용한 예이다.

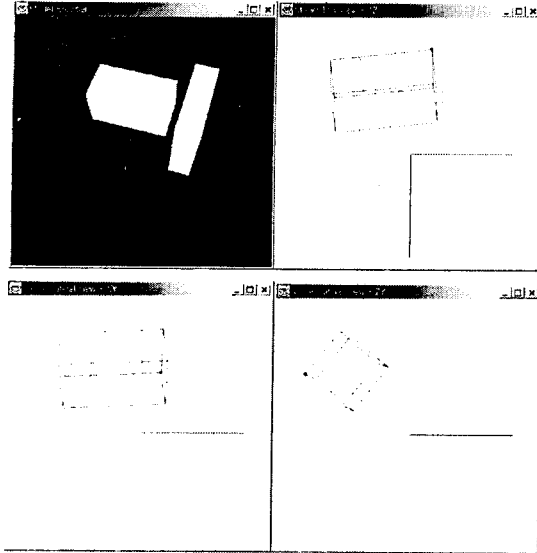


[그림 3] 텍스처 맵핑 결과

6. 프리미티브 에디터

3차원 복원을 위한 초기 입력 단계에서 프리미티브를 이용하여 사용자의 마우스 움직임으로 물체를 구성함에 따라 프리미티브 간의 연결이 떨어지는 문제점과 복원 과정에서 최적화 알고리즘에 의한 복원 오류가 발생할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 후처리 방법으로 [그림 4]와 같이 프리미티브 및 모델의 이동과 회전을 설정하고 기하적인 움직임을 보정하는 프리미티브 에디터를 제안하여 수동 입력 및 복원 과정에서 생길 수 있는 오류를 최소화 하였다. 프리미티브 에디터는 [그림 4]와 같이 3D model view, top view(x-z plane), lateral view(x-y plane), lateral view(z-y plane)의 4가지 창으로 구성된다. 이들 창을 통하여 적절하게 프리미티브들을 이동, 회전 시켜서 적절하게 배치함으로 더욱 정확한 모델을 구하게 된다.



[그림 4] 프리미티브 에디터

7. 결론 및 고찰

본 논문에서는 다면체의 프리미티브를 이용하여 3차원 모델을 구축하고 텍스처를 획득하는 영상 기반 모델러의 설계 및 구현에 관한 기술 적인 측면을 다루었다. [그림 5]는 2차원 사진으로부터 추출된 최종 3차원 모델이다.

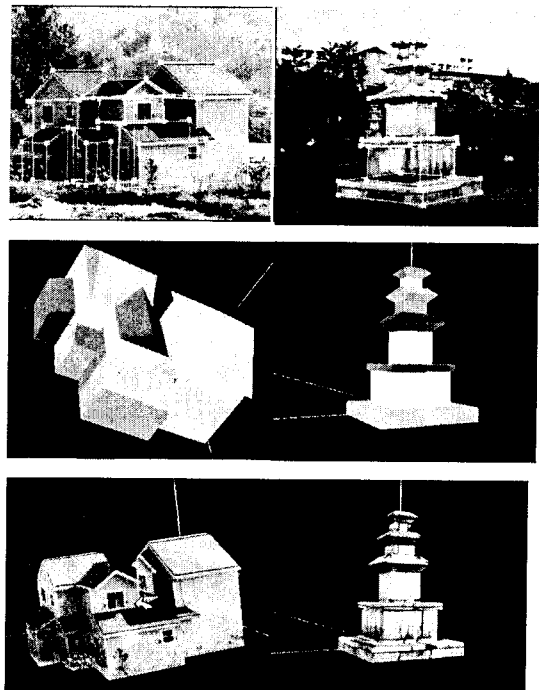
구현된 영상 기반 모델러는 제한된 프리미티브의 사용으로 일반적인 구조물의 3차원 복원에는 제약이 많다. 향후 연구 과제로는 실생활에 존재하는 구, 호(arc), 실린더와 같은 비 다면체 구조(non-Polyhedral structure)를 복원하기 위한 연구와 다중 텍스처의 적절한 선별을 위한 연구가 필요하다

[참고문헌]

- [1] Albota, M.G., "Short Chronological History of Photogrammetry," Proceedings of XIII Congress of the International Society for Photogrammetry, Commission VI, Helsinki, 20p., 1976.
- [2] <http://users.netone.com.net/~rburtch/sure340>
- [3] Paul Debevec's Ph.D. Thesis, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs," University of

California at Berkeley, Fall 1996

- [4] Camillo J. Taylor and David J. Kriegman, "Structure and Motion from Line Segments in Multiple Images," IEEE Trans. On PAMI, Vol. 17, No. 11, Nov. 1995, pp.1021-1032
- [5] P. Debevec, G. Borshukov, and Y. Yu, "Efficient view-dependent image-based rendering with projective texture-mapping," 9th Eurographics Rendering Workshop, 1998.
- [6] <http://www.photomodeler.com>
- [7] <http://www.metacreations.com/products/canoma/>
- [8] <http://www.adobe.com/products/atmosphere>
- [9] <http://www.photo3d.com>
- [10] <http://www.es.com>
- [11] <http://www.realviz.com>
- [12] S.Jacoby, J.Kowalik, and J.Pizzo, *Iterative Methods for Nonlinear Optimization Problem*, Prentice-Hall, 1972



[그림 5] 영상 기반 모델러를 이용한 3차원 모델