

구성 입체 기하 구조에 기반한 3차원 재구성

윤용인* · 김진태**

1. 서 론

최근에 멀티미디어와 컴퓨터 그래픽 기술은 반도체의 기술 발전에 따라 매우 빠르게 진보하고 있다. 가장 중요한 이유는 컴퓨터의 발전으로 발생된 개인 컴퓨터의 고속 처리가 가능하기 때문에 3차원(3D: 3-Dimension) 모델 표현이 쉽게 처리된다. 또한 인터넷 통신이 발전함에 따라 2차원(2D)의 영상 콘텐츠에서 3차원 영상 콘텐츠로 변하고 있기 때문에 3차원 영상의 요구가 날로 급증하고 있다. 따라서 3차원 모델의 표현은 컴퓨터의 발전과 병행해서 급속히 증가하고 있다. 그렇지만 현재 3차원 모델을 생성하기 위한 어려움과 장애 요소들이 수 없이 존재하기 때문에 상당히 진전되어 있지 않는 현상이다.

여러 가지 3차원 모델링 중에서 단순한 직사각형, 정육면체 등의 물체들을 재생하는 것은 쉽게 재구성할 수 있다. 그렇지만, 복잡한 모델 영상은 많은 노력과 장애 요소를 해결하는 것이 요구된다. 따라서 3차원 모델들은 현실 세계의 사진 영상과 같이 현실감 있게 재구성하여 표현하기 위한

연구가 계속 진행되고 있다[1-4].

3D의 재구성 모델링 중에 물체의 크기를 기본 입체(primitive)로 나누고 이들 집합에 의해 그 물체를 표현하는 기법이 있다. 이것을 구성 입체 기하구조(constructive solid geometry: CSG)라고 한다. 이 방법은 입체들로 구성되어 있기 때문에 입체들의 변수가 저장되어 있으면 언제든지 재구성이 가능하다. 여러 방법 중 한 장의 영상으로부터 재구성은 입체가 필요한 정보들을 보유하기 때문에 소실점의 성질이 반드시 입체로부터 찾을 수 있다. 2차원 영상으로부터 3차원 재구성을 얻어내는 것은 컴퓨터 비전 분야에서 기하학적인 정보를 이용한 방법으로 여러 해 동안에 연구 대상으로 계속 지속되었다[5-8]. 이 중에서 입체로 구성된 영상으로부터 입체의 크기를 계산하여 재구성하기 위한 기법이 있다. 재구성에 필요한 것은 입체의 실제 크기, 위치 및 카메라 교정이다. 본고에서 3D 재구성은 소실점을 이용하여 입체의 영상으로부터 구성 입체 기하구조에 기반한 재구성에 관한 연구에 대하여 소개한다. 이 기술은 2D 영상으로부터 영상 기반 모델링을 구현하는 시스템이다. 오늘날 이 기법은 애니메이션, 3차원 재구성, 가상 현실, 증강 현실, 3차원 모델링, 컴퓨터 그래픽스 등의 다양한 응용분야에서 핵심기술로 사용된다. 또한 그 기술은 지금까지 컴퓨터 비전 분야, 특히 3차원 모델링을 하기 위한 3차원 재구

* 교신저자(Corresponding Author) : 김진태, 주소 : 충남 서산시 해미면 대곡리 360(156-756), 전화 : 041)660-1364, FAX 041)660-1119, E-mail : jtkim@hanseo.ac.kr

* 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
(E-mail : yoonyi@imagelab.cau.ac.kr)

** 한서대학교 컴퓨터정보학과

성에서 이론과 기술들을 개발되고 있다[9].

2. 구성 입체 기하구조의 모델

3차원 모델 재구성 방법 중의 하나인 CSG(구성 입체 기하구조)에 대해 알아보기 위해 기본 모델을 설정하고, 그 모델의 개념을 도입하여 3차원 재구성으로 사용하였다. 이에 관련한 모델링이 어떻게 형성되는가를 알아보자. 이 방법들은 컴퓨터 그래픽스에서 접근하는 기법중의 하나이다[10]. 모델링 시스템은 크게 3가지의 종류들이 있다.

2.1 모델링 종류와 특징

2.1.1 그물구조 모델링 시스템

- ① 3차원 물체의 특징 선을 선으로 표현한다.
- ② 개발 및 사용이 간단하다.
- ③ 물체가 복잡한 경우 경계 및 내부/외부 판단이 어렵다.
- ④ 질량계산, 공구경로 계산, 유한 요소의 자동 생성 등 추후 작업이 곤란하다.

2.1.2 표면 모델링 시스템

- ① 물체의 각각의 면을 곡면의 방정식으로 표현하여 데이터베이스 내에 저장한다.
- ② 각 면들의 상호 연결 관계는 저장되지 않고, 면들의 목록(list)만 저장된다.
- ③ 인접면에 대한 정보가 없기 때문에 교차선 계산 등 추후 정보 산출시 많은 계산이 필요하다.

2.1.3 입체 모델링 시스템

- ① 3차원 물체의 형상에 대한 면들의 정보는 이들 면들 간의 상호연결 관계, 면들의 내부/외부 방향 등에 관한 정보도 함께 저장한다.
- ② 면 단위의 작업뿐만 아니라 체적 계산, 유한

요소의 자동생성 등 부피단위의 작업이 가능하다.

일반적으로, CSG는 기본 입체(primitive)로 시작하여 입체간의 부울 함수(Boolean function) 작업에 의해 모델링을 수행할 때, 그 모델링 과정을 CSG의 나무(CSG Tree)구조로 저장하는 방법을 의미한다. 그림 1은 CSG의 기본 샘플을 나타낸다. CSG는 그림 1(a)에서와 같이 점, 선과 면으로 구성된다. CSG는 하나의 입체를 이루어져 있는 모양을 나타낸다. 그림 1(b)에서는 그림 1(a)에서 기반한 것을 구성하여 만든 직사각형의 입체를 나타낸 것이다. 또한, 이를 기반한 다면입체를 구성하였다고 가정했을 때, 이를 각각의 입체로 분리하는 과정은 그림 2와 같다. 그림 2를 기반한 다면입체의 분리과정에 대한 샘플은 그림 3과 같다.

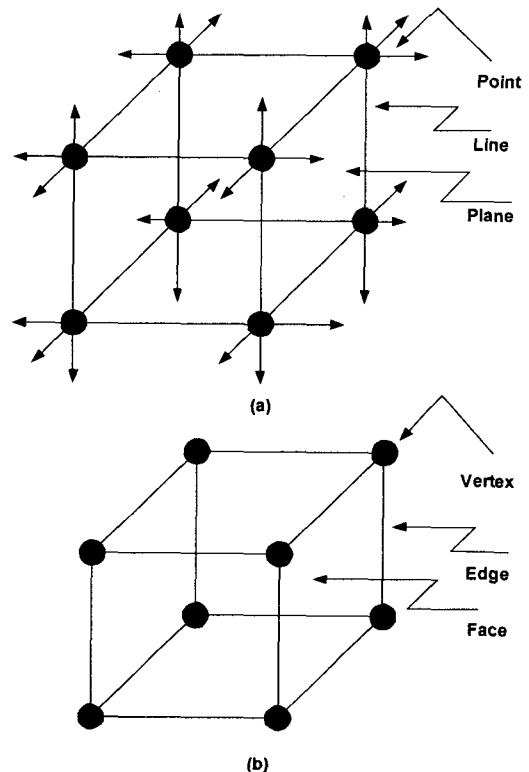


그림 1. CSG의 기본적인 샘플

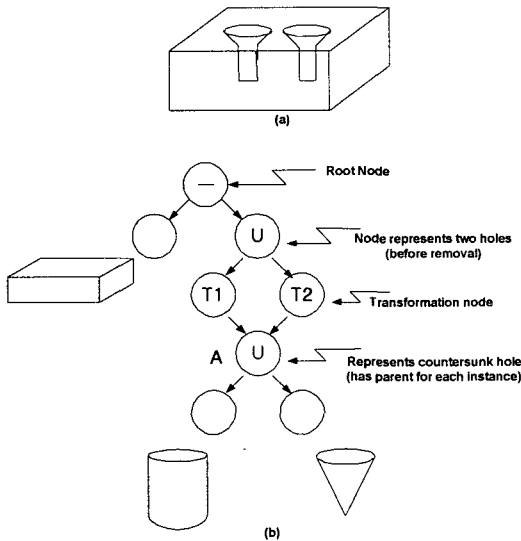


그림 2. 다면 입체의 분리과정

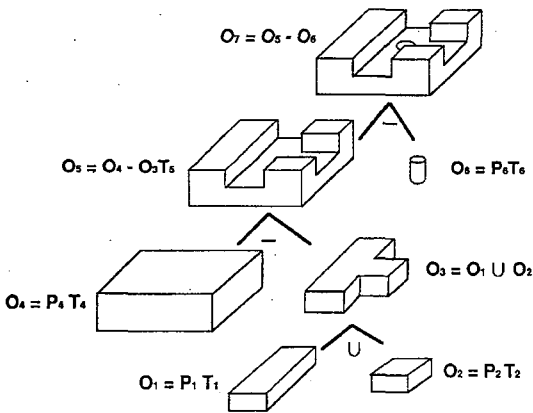


그림 3. 다면 입체의 분리과정에 대한 샘플

2.2 기본 입체(primitive)

기본 입체는 정육면체나 구와 같은 단순한 입체 형상을 가지고 있는 것이다. 대부분의 CSG 모델링 시스템들은 기본 입체의 국부 좌표계(local coordinate system)안에서 초기에 기본 입체의 위치와 방향을 정해주고, 표준 기본 입체 형상의 단위 크기(unit size)를 제공한다. 설계자는 대략적인 기본 입체를 선택한 후에, 크기, 위치를 정하고, 기본 입체들을 결합해서 복잡한 형상을 형

성한다. 기본 입체의 크기, 형상, 위치와 방향은 변수의 작은 집합에 대하여 값들을 분류되어서 조절된다. 예를 들어, 직각 입체나 블록들은 거의 항상 CSG 시스템에서 사용되는 입체들이다. 블록의 특별한 경우는 길이, 넓이, 높이와 공간 좌표계(world coordinate system)안에서 위치와 방향을 분류해서 생성된다.

몇 개의 모델링 시스템들에서 초기에 변형되지 않은 기본 입체는 단위 크기(unit dimensions)가 존재하며 이전에 위치 정보를 보존하여 기본 입체 자신의 국부 좌표계에서 결합된다. 몇 개의 CSG 기본 입체들은 다른 입체의 집합에 대한 부울 함수 결합을 통하여 구성된다. 예를 들어, 내부 필레트(fillet) 기본 입체는 적당한 크기와 위치의 원통 입체에서 직각 블록 입체를 감산함으로써 생성되는 경우가 존재한다.

블록과 원통의 기본 입체는 블록이나 육면체, 원통, 썸기 모양(wedge), 내부 필레트(fillet), 원통 조각, 4면체 등으로 구성된 기본 입체의 집합체로써 존재한다. 그림 4(a), (b), (c), (d), (e), (f), (g)는 블록, 육면체, 원통, 썸기 모양(wedge), 내부 필레트(fillet), 원통 조각, 4면체 등의 기본 입체를 나타낸다. 이 기본 입체들은 기본 입체인 블록과 원통에 기반한 것으로써 부울 함수의 가산, 감산과 상호 교차 등의 결합되어 생성된 기본 입체를 이루고 있다. 따라서 기본 입체는 블록과 원통이 기본 소자로 존재하지만 이 입체의 기반으로 다양한 기본 입체를 생성한 것을 알 수 있다.

2.3 입체의 논리 작용

CSG의 기본 입체들은 정육면체, 박스, 4면체, 2차원 피라미드와 같은 단순한 물체들이다. 복잡한 물체들은 논리 작용에 의한 입체의 집합으로 구성된다. 논리 작용에는 융합(union), 상호 교차

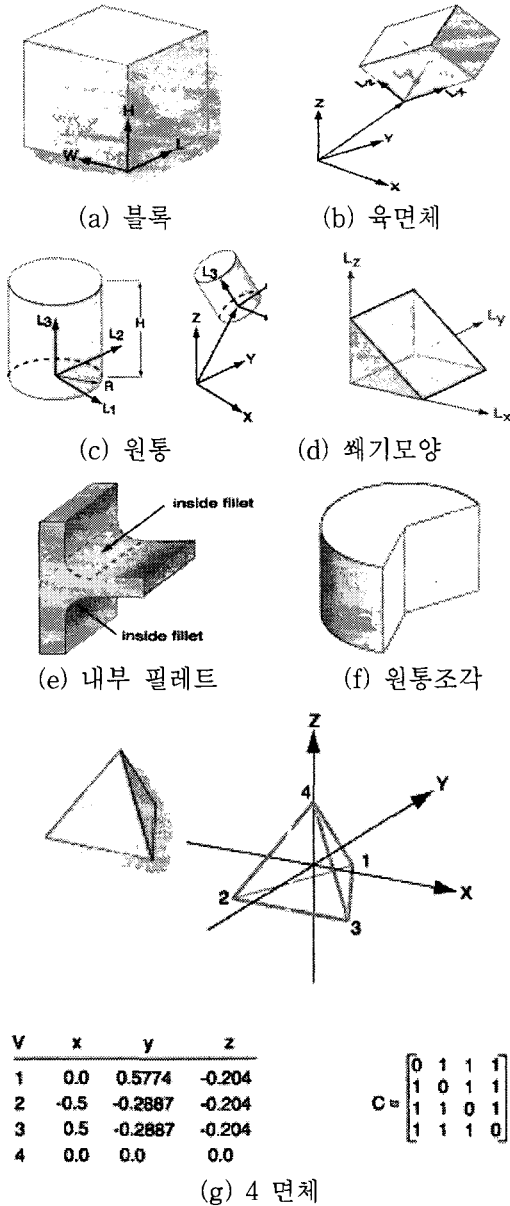


그림 4. 기본 입체들

(intersection), 감산(difference)등이 있다. 변수들의 최소 집합은 각각의 입체의 묘사에 선택할 수 있다. 따라서, 암시적으로 대칭적인 것들이 모델이 된다. 그래서, 인공적인 구조물의 모델링은 적절한 기법으로 CSG 모델링을 만든다.

융합 작용은 두 형상 A와 B를 합쳐서 새로운

형상 C를 형성한다. 이것은 부울 함수의 가산을 의미한다. 만약 A는 점들의 집합체이고, B가 점들의 다른 집합체이라면 $A \cup B = C$ 로 나타낸다. 단, C는 A와 B의 모든 점들을 포함한다. 감산 부울 함수는 한 물체의 형상에서 다른 물체의 형상을 감산하는 형태와 같다. 또한, 이것은 $A - B$ 가 $B - A$ 와 같지 않다. 교차 부울 함수는 두 개의 입체가 결합하여 공통된 입체 공간으로 정의된 새로운 입체를 생성하는 것이다. $A \cap B = C$ 라는 것을 나타낸다. C는 형상 A와 B에 의해 생성된 새로운 형상이다.

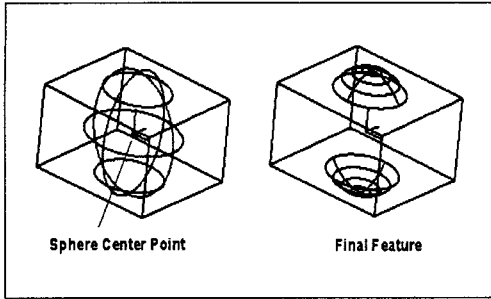
위 3가지의 연산에 대한 구체적인 물체로 보여주는 샘플은 그림 5(a), (b), (c)에 나타내었다.

이러한 기본 입체들은 부울 함수로 이용하여 다양한 형상의 물체로 재구성된다. 또한, 입체들은 재생되는 모델링의 표현이 가능하다. 따라서, 입체의 기본 소자들의 구성은 부울 함수를 통하여 여러 가지 입체의 형상을 구현한다. 기본 입체들은 보통 반형상(halfspaces)의 상호 교차로써 CSG 모델링 시스템으로 표현된다. 그림 6은 6개의 평면 반형상에 대한 상호 교차를 이용해서 육면입체를 생성하는 것을 보여준다. 또한, 원통 반형상과 두 평면 반형상의 상호 교차에 의해 원통 입체를 생성하는 것을 보여주고 있다.

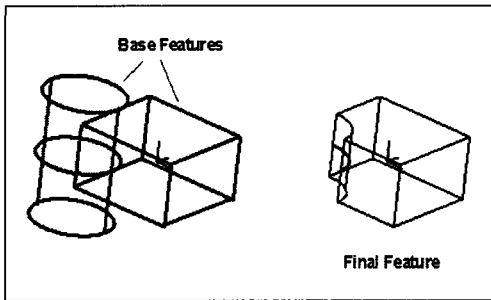
3. 구성 입체 기하 구조에 기반한 3D 재구성

3.1 모델 설정

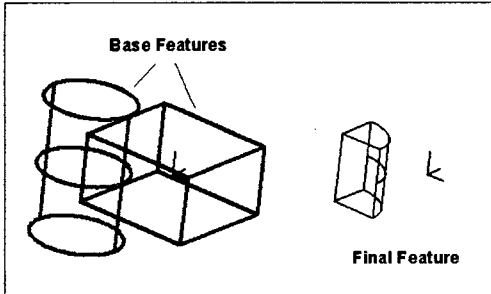
물체의 크기를 복구하기 위해, 필요한 모델의 크기 변수는 초기에 설정한다. 입체와 같은 대부분의 경우에, 그 물체들은 물체의 각각의 꼭지점에 대한 좌표 점들을 기준으로 크기(dimensions) 벡터의 선형 함수로 표현된다. 크기 벡터는 다각형의 함수로 이용하여 재구성된 모델링이 구성된다[1,11-12]. CSG의 이론에 의해 물체들은 각각



(a) 물체의 대한 가산의 샘플



(b) 물체의 대한 감산의 샘플



(c) 물체의 대한 교차의 샘플

그림 5. 물체의 논리 작용에 의한 결과 물체

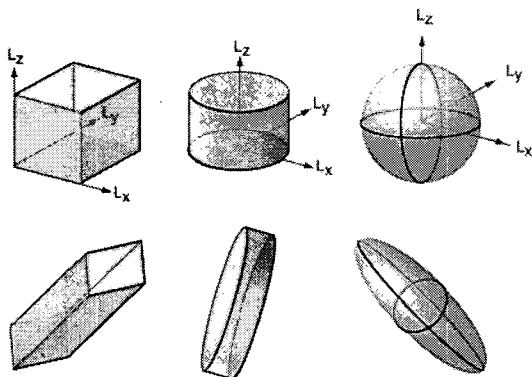


그림 6. 반 형상의 상호 교차에 의한 생성

의 꼭지점, 선, 면 등으로 표현된다. 따라서, 입체들은 그 입체의 모델에 대응하는 것을 찾아서, 입체 영상에 대한 각각의 꼭지점 좌표 값을 먼저 설정한다. 그 다음에 크기 벡터는 3차원 공간상에 연결하는 선분의 방정식을 계산하여 물체 크기 벡터의 단위 벡터를 계산한다. 그 단위 벡터는 물체의 꼭지점에 대한 좌표 점에서 연결된 물체 크기 벡터의 비율이다. 즉, 다시 말해서, 물체의 꼭지점에 대한 좌표 점에서 크기 벡터는 연결된 각 축의 물체 길이에 대한 비율이 계산된다. 실제적인 물체 크기의 길이 값은 비율을 일정하게 곱해서 계산한다.

물체를 복구하기 위해 실제 물체 크기 값이 사용된다. 입체 모델은 기본적으로 구성되어 있는 기본 입체의 한 종류로 존재한다. 일반적으로, 물체들은 모델 기반 비전을 통하여 카메라 내부 및 외부 변수를 계산을 먼저 계산한다. 그리고 그 물체와 기본 입체 모델에 비교하여 영상의 입체 형상을 복구하여 3차원 재구성의 과정을 수행한다. 입체의 단위 벡터 크기는 일정한 비율로 크기 벡터가 변하기 때문에 항상 그 입체가 구성된다. 3개의 소실점을 이용한 카메라 내부 변수는 다음 수행과정을 처리하여 재구성의 복구에 사용된다.

다음은 기본 입체 모델을 그림 7과 같이 고려해 보자. 이 모델은 CSG의 모델로 설정한다. 기본 입체 모델에 대한 꼭지점의 좌표 P_1, P_2, \dots, P_7 등의 좌표 값으로 가정해서 설정한다. 이 입체 크기 벡터의 선형 함수와 꼭지점의 각각의 좌표는 매개 변수 벡터의 선형 함수로 표현되어 질 수 있다.

물체의 크기는 길이로 나타내기 때문에 단위 벡터의 크기는 양의 수를 의미하는 크기만을 나타내므로 매개 변수의 크기 벡터는 크기를 음으로 나타낼 수가 없다. 그림 7과 같이 만약 꼭지점들의 위치의 좌표 점이 8개이면, 3개의 매개 변수만으로 그 좌표에 대한 특징이 만들어 진다. 따라서, 모든 입체의 대상물에 대하여 매개 변수는 결정된

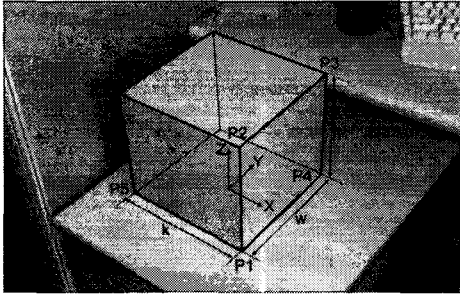


그림 7. 선형 다각형 모델의 단순한 예제

다. 그 조건은 대상 물체의 꼭지점의 개수를 찾아서 나타내는 것을 고려해서 계산된다. 여기서, 물체의 영상은 기본 입체로 구성되어 있기 때문에 한 영상으로부터 물체의 기본 모델 크기 벡터를 복구하는 것이 가능하다.

재구성을 하기 위한 입체 영상에 대한 입력은 2차원 영상에서 특징점인 물체의 꼭지점 좌표점과 기본 입체의 모델에서 특징점은 각각의 꼭지점 좌표점 사이 대응점의 집합으로 표현된다. 이와 같은 정보로부터 투사 사영의 영상을 디지털 카메라로 취득하여 카메라에 대한 위치와 물체의 크기 에 대한 근사적인 사영 모델이 결정된다. 이 매개 변수의 기본 입체 모델에 대하여 각각의 크기는 최적화 조건에 의해 계산된다. 따라서, 입체 영상의 물체에 대한 재구성의 최적화는 동일하게 매개 변수 공간을 샘플링에 의한 최적화기를 사용한다. 또한, 매개 변수는 표준 대수학의 조건부 최적화 기법을 사용하여 효과적으로 해결한다[13-14].

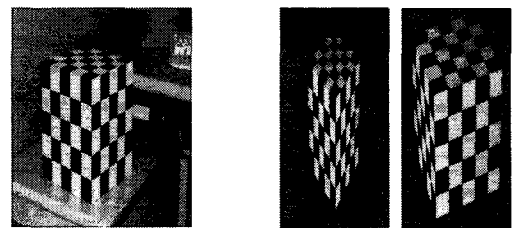
CSG를 사용한 재구성 기법은 교정된 카메라로 취득된 한 장 또는 여러 장의 영상으로부터 기본 입체의 모델을 기반으로 재구성한 방법이다. 이 방법은 영상에 대한 카메라 교정을 먼저 수행한 후에 재구성한 기법이다. 따라서, 카메라 교정이 선행되지 않은 경우에는 재구성이 불가능한 기법이다[1]. 최근의 방법으로는 비 교정된 한 장의 영상으로부터 정사 사영과 투사 사영에 대하여 입체의 물체

크기, 회전 행렬과 이동 행렬을 복구하는 효과적인 방법을 제안하였다. 여기서, 투사 영상의 경우에서 제안한 것은 소실점이 없는 경우, 한 점의 소실점을 가진 경우와 두 개의 소실점을 가진 경우에 대하여 구현한 기법을 서술하였다[11]. 그렇지만, 이 기법은 비 교정된 한 장의 영상으로부터 투사 사영 기본 입체 모델의 경우에 대하여 소실점을 이용한 카메라의 초점 거리, 회전 행렬 등을 계산하여 기본 입체 모델의 크기 벡터를 계산하였다.

CSG에 기반한 모델 기반 비전에서 영상의 복구는 물체 크기 매개 변수를 계산하고, 기본 입체의 모델과 입체의 영상을 대응해서 복구한다. 따라서, 입체의 크기 벡터를 복구한다는 것은 기본 입체의 모델에 대한 물체 크기를 복구하는 것과 같다.

3.2 구성 입체 기하구조에 기반한 3D 재구성의 예

구성 입체 기하구조에 기반하여 3차원 영상을 재구성한 결과를 그림 8에서 그림 10에 보인다.



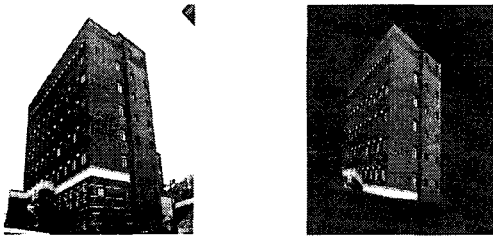
(a) 실제 영상 (b) 3차원 재구성된 영상

그림 8. 샘플 색채 영상



(a) 실제 영상 (b) 3차원 재구성된 영상

그림 9. 박스와 나무블록



(a) 실제 영상 (b) 3차원 재구성된 영상

그림 10. 아트 센터

4. 결 론

본 논문은 CSG의 모델에 의한 3차원 재구성은 기법이다. 이 기법은 비 교정된 한 장의 영상으로부터 얻은 기하학적 정보인 소실점을 이용하여 입체 물체의 크기, 위치 및 카메라 초점 거리를 복구하는 것이다. 물체의 크기 벡터를 복구하기 위하여는 카메라 모델의 수학적 모델, CSG(구성 입체 기하구조) 모델의 특성 및 형성과 기하학적 정보인 소실점의 기본적인 성질과 특성 등이 선행 연구 되어야 한다.

본 논문에서는 대상 영상을 입체 물체로 하는데 입체는 기하학적인 성질에 관하여 설명하였다. 이 입체를 이용한 CSG 모델이 분석되었고 개념과 응용에 대하여 서술하였다. 또한, 이를 기반으로 영상의 물체에 대하여 복구하기 위한 필요한 것은 카메라 모델 이론에 바탕을 두고 있다. 이 이론으로부터 3차원 재구성에 대한 복구가 가능하기 때문에, 본 논문에서는 카메라 모델의 해석을 통하여 이를 기반으로 CSG의 개념을 도입한 3차원 재구성의 복구를 위한 것에 기초가 되는 것을 서술하였다.

3차원 모델은 현재까지 우리의 생활을 충족하기 위해 많은 요구가 필요로 하는 것이 매우 고무적인 일이다. 이를 수행하기 위한 핵심기술은 카메라 교정 기술이다. 이 연구는 상당히 많은 연구

를 하여 왔다. 이 분야에서 어려운 문제점들은 많이 존재하기 때문에, 커다란 발전이 다른 분야의 발전에 비하여 상당히 답보 상태로 존재하고 있는 것이 사실이다. 접근 분야가 다양해지면서 영상을 기반한 렌더링에서 가상 현실 분야로 많은 컴퓨터 비전 관련자들이 연구를 하고 있다. 그렇지만, 이 분야들도 난제인 카메라 교정에 있어서 사용자들이 표현하는데 많은 문제점들이 도출되어 있다. 최근에는 증감 현실 분야에 많은 연구를 하고 있는 현상이다. 이와 같이 실 세계를 기반 한 가상 현실을 삽입하는 것은 실 세계에 있어서 매우 유용하게 사용되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. P. E. Debevec, C. J. Taylor, J. M. Jelinek, and D. J. Taylor, "Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry and Image-Based Approach," Proceedings of ACM SIGGRAPH 1996, pp. 11-21, 1996.
- [2] P. Beardsley, P. Torr, and A. Zisserman, "3D Model Acquisition from Extended Image Sequences," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1065, pp. 683-695, 1996.
- [3] R. Cipolla, D. Robertson, and E. Boyer, "PhotoBuilder - 3D Models of Architectural Scenes from Uncalibrated Images," IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Vol. 1, pp. 25-31, 1999.
- [4] R. Cipolla and E. Boyer, "3D Model Acquisition from Uncalibrated Images," IAPR Workshop on Machine Vision Applications, pp. 559-568, 1998.
- [5] Z. Zhang, "A Flexible: New Technique for Camera Calibration," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,

Vol. 22, No. 11, pp. 1-20, 1998.

[6] A. Fischler and A. Zisserman, "Automatic Camera Recovery for Closed of Open Image Sequences," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1406, pp. 311-326, 1998.

[7] M. Pollefeys, Self-Calibration and Metric 3D Reconstruction from Uncalibrated Image Sequences, Ph.D. Thesis, ESAT-PSI, K. U. Leuven, 1999.

[8] D. Leibowitz and A. Zisserman, "Combining Scene and Auto-Calibration Constraints," International Conference on Computer Vision, pp. 203-300, 1990.

[9] R. T. Azuma, Correcting for Dynamic Error, SIGGRAPH'97 Course Notes#30: Making Direct Manipulation Work in Virtual Reality, 1997.

[10] W. G. Kropatch and H. Bischof, Digital Image Analysis, Springer-Verlag, 2001.

[11] D. Jelinek and D. J. Taylor, "Reconstruction of Linearly Parameterized Models from Single Images with a Camera of Unknown Focal Length," IEEE PAMI, Vol. 23, No. 7, 2001.

[12] Y. I. Yoon, J. H. Im, D. H. Kim, J. S. Choi, and J. S. Oh, "Reconstruction of Linearly Parameterized Models from a Single Image Using the Vanishing Points," Lecture Notes in Computer Science, 2003.

[13] O. Faugeras, Three dimensional Computer Vision, MIT Press, 1992.

[14] T. K. Moon and W. C. Stirling, Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing, Prentice Hall, 2000.



윤 용 인

- 1986년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1988년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 8월 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 졸업 (공학박사)
- 1991년 7월~1993년 11월 국제전자주 연구원
- 1994년 1월~1999년 2월 대우고등기술연구원 주임연구원
- 2003년 9월~2006년 2월 중앙대학교 첨단영상대학원 박사후 연구원
- 2006년 3월~2006년 8월 중앙대학교 문화컨텐츠연구원 영상콘텐츠연구원
- 2006년 3월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 연구교수
- 관심 분야 : 컴퓨터 비전, 신호처리, 증강현실 등



김 진 태

- 1987년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1989년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1993년 8월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 1995년 3월~현재 한서대학교 컴퓨터정보학과 부교수
- 관심분야 : 영상처리, MPEG, 얼굴인식, 멀티미디어 등