

곡면을 포함하는 형상의 영상을 이용한 모델링

(Image-Based Approach for Modeling 3D Shapes with Curved Surfaces)

이 만 희 ^{*} 박 인 규 ^{**}
(Man Hee Lee) (In Kyu Park)

요약 본 논문에서는 NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)로 표현된 3차원 곡면을 복원하기 위한 영상 기반 곡면 모델링 기법을 제안한다. 카메라 보정이 수행된 복수의 영상으로부터 사용자가 대응 곡선을 지정하면 카메라의 정보를 이용하여 대응 곡선의 3차원 복원을 수행한다. 사용자 인터페이스에 의해 각 영상에서 곡선을 지정하기 위하여 본 논문에서는 NURBS 곡선을 이용하였으며 bilinear surface, ruled surface, generalized cylinder, surface of revolution 등의 기본 곡면뿐 아니라 skinned surface, swept surface, boundary patch 등의 고급 곡면 생성을 지원하여 다양한 모양의 곡면 물체를 모델링 할 수 있다. 또한 영상을 기반으로 view-dependent 텍스처 생성방법을 지원하여 좀더 사실적인 곡면의 복원을 수행한다. 생성된 3차원 곡선 또는 곡면은 VRML과 같은 표준 형식으로 출력하여 재사용할 수 있다.

키워드 : NURBS, 3차원 곡면 모델링, 대응 곡선, 사용자 인터페이스, view-dependent 텍스처, VRML

Abstract In this paper, we propose an image-based method for modeling 3D objects with curved surfaces based on the NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) representation. Starting from a few calibrated images, the user specifies the corresponding curves by means of an interactive user interface. Then, the 3D curves are reconstructed using stereo reconstruction. In order to fit the curves easily using the interactive user interface, NURBS curves and surfaces are employed. The proposed surface modeling techniques include surface building methods such as bilinear surfaces, ruled surfaces, generalized cylinders, and surfaces of revolution. In addition to these methods, we also propose various advanced surface modeling techniques, including skinned surfaces, swept surfaces, and boundary patches. Based on these surface modeling techniques, it is possible to build various types of 3D shape models with textured curved surfaces without much effort. Also, it is possible to reconstruct more realistic surfaces by using proposed view-dependent texture acquisition algorithm. Constructed 3D shape model with curves and curved surfaces can be exported in VRML format, making it possible to be used in different 3D graphics softwares.

Key words : NURBS, 3D surface modeling, corresponding curve, user interface, view-dependent texture, VRML

1. 서론

최근 동영상 및 음성 등으로 구성되던 기존의 멀티미디어 콘텐츠가 3차원 그래픽 기술이 융합된 새로운 모습으로 진화되고 3차원 그래픽에 의한 콘텐츠의 비중이 점점 높아감에 따라, 3차원 그래픽 콘텐츠를 보다 쉽게,

그리고 적은 비용으로 생성하고 처리할 수 있는 기술의 필요성이 크게 대두되고 있다.

멀티미디어 콘텐츠는 일반적으로 저작(authoring) - 저장(storage) - 전송(transmission) - 재생(playing)의 4 단계를 거쳐 제작자로부터 일반 소비자에게 전달된다. 3차원 그래픽으로 표현된 디지털 콘텐츠의 경우에도 마찬가지로 이와 같은 과정을 거치게 되는데, 이를 위하여 각 단계별로 활발한 연구가 수행되었으며 많은 기술이 개발되어왔다. 효율적인 저장과 전송을 위한 데이터 압축(compression) 기법 및 네트워크 스트리밍(streaming) 기법, 그리고 전역적 조명(global illumination) 기법을 이용한 렌더링(rendering), 하드웨어 가속기를

* 본 연구는 한국전자통신연구원(ETRI)에 지원에 의하여 수행되었음

^{*} 학생회원 : 인하대학교 대학원 정보통신공학과
maninara@hotmail.com

^{**} 종신회원 : 인하대학교 정보통신공학부 교수
pik@inha.ac.kr

논문접수 : 2006년 3월 22일

심사완료 : 2006년 10월 11일

이용한 실시간 렌더링 및 영상 또는 비디오 기반 렌더링[1-3]을 통한 콘텐츠의 재생 등은 대표적인 예라고 할 수 있다.

그러나, 이와 같은 콘텐츠 유통 단계 중에서 3차원 그래픽 콘텐츠의 생성을 위한 저작 단계는 나머지 3단계에 비하여 가장 많은 기술의 한계를 보이고 있다. 현재는 고가의 그래픽 저작 도구를 이용하여 전문 디자이너가 많은 노력과 시간을 들여 저작을 하는 수동적인 방법을 이용하고 있는 실정이며 일반인들이 빠른 시간에 쉽게 콘텐츠를 제작할 수 있는 기법이나 상용 프로그램은 아직은 미미한 상황이다. 이러한 이유로 시장의 수요에도 불구하고 3차원 그래픽 콘텐츠는 그 유통량에 있어서 충분한 공급이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 향후 일반인들도 다양한 그래픽 콘텐츠를 쉽고 빠르게 생성할 수 있는 저작 기술의 개발이 시급하다고 할 수 있다.

이러한 어려움을 극복하면서 동시에 다양한 콘텐츠 저작이라는 사용자의 욕구를 만족시키기 위해 최근에는 디자이너의 상상력에 의해 3차원 모델을 생성하였던 기존의 접근 방법과 달리, 실사 영상 기반으로 실제 세계에 존재하는 물체를 그래픽 모델화 하는 연구가 각광을 받고 있다[4-6]. 즉, 쉽고 빠르게 그래픽 콘텐츠를 제작하기 위하여 영상 기반 모델링 기술을 이용한 3차원 형상 복원 기법이 부각되고 있고, 3차원 컴퓨터 비전 기술을 이용한 영상 기반 모델링 기법[7,8]이 차세대 콘텐츠 자동 저작 기법으로서 각광받고 있다. 또한 주로 기존의 다면체(polyhedron) 물체에 국한되었던 모델링 대상을 자유 곡면으로 구성된 임의의 물체에 적용시키기 위한 시도가 진행 중이다. 그러나 현재까지는 모델링이 가능한 형상에 제한이 있고 여러 단계의 사용자 인터페이스를 필요로 하기 때문에 일반 사용자가 쉽게 사용하기에는 제약이 따른다.

본 논문에서는 기존의 영상 기반 모델링 도구가 생성할 수 있는 3차원 형상의 범위를 다면체 모델에서 임의의 곡면 모델로 확장하기 위한 핵심 요소 기술을 제안한다. 또한 간단하고 직관적인 사용자 인터페이스를 이용하여 사용자가 좀더 쉽게 원하는 물체를 3차원으로 복원할 수 있는 방법을 제안한다. 개발된 곡면 모델링 기법을 기반으로 컴퓨터 비전 알고리즘을 적용하여 현재 사용자 인터페이스의 자동화가 수반된다면 영상 기반 모델링 기법의 효용은 더욱 증가할 것이며 차세대 핵심 기술로서 이용될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장과 제3장에서는 영상 기반 모델링에 대한 기존의 연구 및 본 논문에서 제안하는 영상 기반 곡면 모델링 기법을 소개한다. 제4장에서는 본 논문에서 제안하는 영상 기반 곡선 및

다양한 곡면 모델링 기법을 소개한다. 제5장에서는 실험 결과를 제시 및 분석하고, 제6장에서 결론을 제시한다.

2. 기존 연구

복수의 2차원의 영상으로부터 3차원 형상 정보를 복원하는 연구는 컴퓨터 비전 및 사진 기하학 분야에서 전통적으로 삼각법을 이용하여 이루어져 왔다. 삼각법은 2개 이상의 영상에서 특징점을 추출하고 정합한 후 카메라의 보정 정보를 이용하여 특징점까지의 깊이를 추출한다. 이러한 방법으로 영상에서 사용자가 특징점을 지정하고 그 상관관계를 유추하여 3차원 기하모델을 추출하는 연구가 수행되었다[7]. 또한 물체를 360° 회전하여 얻은 복수의 영상에서 취득된 외곽선 정보로부터 물체의 형상을 복원하거나[9], 3차원 복셀 모델의 각 복셀이 기준 영상에 투영되었을 때의 색상의 일치성(photo consistency)을 이용하여 물체의 형상을 복원하는 연구도 수행되었다[10,11]. 기존의 연속된 영상에서 영상 사이의 특징점을 사용자가 지정해 주었던 반면, 스테레오 영상을 이용한 형상 복원은 영상간의 정합 관계를 자동으로 계산하여 3차원 형상을 구성한다. 이러한 스테레오 영상을 이용한 형상 복원으로 사용자가 미리 정한 기하요소를 영상 위에 올려놓고 영상과의 경계선을 맞추으로써 3차원 정보를 복원하는 연구도 수행되었다[12]. 이러한 방법은 인위적인 건축물과 같이 직선적이고 대칭적인 물체에 적용되고 있고, 현재 상용화 되어 나오는 제품들에서 기본 기술로 사용된다[6]. 또한 연속된 영상들 사이에서 추적된 복수의 특징점을 이용하여 카메라 투영 행렬을 구하고 self-calibration과 계층적 블록 매칭을 통하여 3차원 모델을 복원하는 연구도 수행되었고[13], 이를 응용하여 역사적 유적지에서의 3차원 형상을 복원하는 연구도 진행되었다[14]. 그러나, 이러한 shape-from-motion 기법은 화소 단위로 3차원 정보를 취득하게 되어 그래픽 모델로 변환하기 위하여 후처리를 수행하여야 하고, 특징점의 정합 및 추적 오류로 인해 상대적으로 많은 잡음을 포함하게 된다.

이러한 기술을 적용한 대부분의 상용제품은 점, 선, 평면 등을 이용하여 모델을 복원하게 된다. EOS Systems의 PhotoModeler[4]는 입력영상에서 사용자가 특징점을 입력하고 이러한 특징점들을 연결하여 직선이나 모서리를 생성한 뒤 특징점간의 정합관계를 계산하여 3차원 모델을 생성한다. Realviz의 Image Modeler[5]는 입력영상에서 사용자가 몇 개의 점을 입력하면 정합 알고리즘에 의해서 전체 영상의 정합점을 자동으로 찾아내는 도구를 포함하고 있다. 그리고 면, 육면체, cylinder, 구, disk의 기본적인 3차원 기하요소를 제공하고 이러한

기하요소를 변형시켜 대상 물체를 복원한다. 또한 point cloud를 삼각형 메쉬로 변환하는 기능을 포함하여 대칭적이거나 직선을 포함하는 기하학적인 모델뿐만 아니라 인물과 같은 비정형체에 대해서도 어느 정도의 3차원 모델 생성이 가능하다. Metacreations의 Canoma[6]는 사진뿐만 아니라 인쇄물이나 손으로 그린 스케치 영상에서 미리 정해진 3차원 기하요소를 사용하여 영상 위에 적절히 배치함으로써 3차원 모델을 생성하도록 하였다.

그러나 이러한 제품들은 평면들의 집합이나 미리 정해진 기하요소를 이용하여 모델을 복원하기 때문에 비정형적인 곡면을 포함하는 물체를 3차원으로 복원하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 메쉬 또는 점 모델을 복원하는 기법과는 달리, 실사 영상으로부터 수학적인 NURBS 곡면을 직접 복원하여 3차원 그래픽 콘텐츠를 효율적으로 저작할 수 있는 기법을 제안한다.

3. 제안하는 영상 기반 곡면 모델링 기법의 개요

본 논문에서 제안하는 영상 기반 곡면 모델링 기법은 카메라 보정이 수행된 복수의 영상에 존재하는 곡선 또는 곡면의 3차원 형상 복원을 수행할 수 있다. 간단한 사용자 인터페이스에 의해 대응 곡선이 지정되면 스테레오 복원에 의해 대응 곡선의 3차원 복원이 수행된다. 임의의 곡선을 표현하기 위하여 본 논문에서는 NURBS [15] 곡선을 이용하였으며 보간(interpolation)을 위한 데이터 포인트의 추가, 삭제, 이동이 가능하여 대화형으로 곡선을 변형하면서 대응 곡선을 쉽게 지정할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 영상 기반 곡면 모델링 기법은 bilinear surface, ruled surface, generalized cylinder, surface of revolution 등의 기본 곡면뿐 아니라, skinned surface, swept surface, boundary patch 등의 고급 곡면 생성을 지원하여 다양한 모양의 곡면 물체를 모델링 할 수 있다. 또한 disk와 1차 NURBS 곡선을 이용하여 다면체를 표현할 수 있고, convex가 아닌 concave 영역에 대하여 곡면 생성 기법을 제안한다.

생성된 3차원 곡선 또는 곡면은 프로젝트 워크스페이스로 저장하여 재사용할 수 있으며 VRML(virtual reality modeling language)과 같은 표준 3차원 그래픽 파일 형식으로 출력이 가능하여 다른 외부 소프트웨어에서 모델링 결과물을 재사용할 수 있다. 또한, 입력된 영상을 기반으로 view-dependent 텍스처 생성 방법을 지원하여 좀더 사실적인 곡면 텍스처의 복원을 수행한다.

제안하는 영상 기반 모델링 기법은 프로젝트 워크스페이스 파일 또는 카메라 보정이 수행된 영상 파일을 입력으로 하여 기존의 등록된 영상을 이용하거나 새로

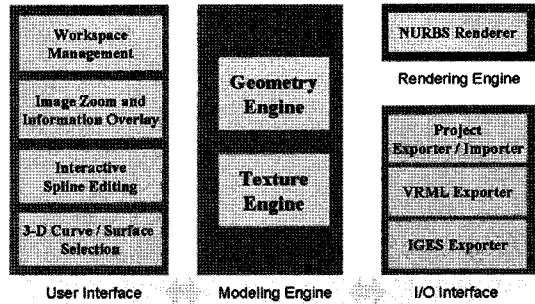


그림 1 제안하는 영상 기반 곡면 모델링 시스템의 기본 구조

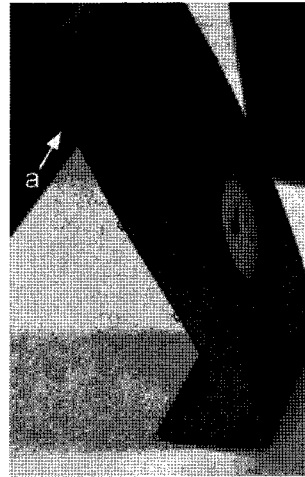


그림 2 모델을 복원하기 위한 입력 영상에서의 2차원 곡선 근사

운 영상을 추가하여 곡선, 곡면 모델링을 수행한다. 전체적인 영상 기반 모델링 시스템은 통합 환경 인터페이스, 곡선 지정 사용자 인터페이스, NURBS 곡선 생성부, NURBS 곡면 생성부, 영상 렌더링부, 3차원 그래픽 렌더링부 등으로 구분이 된다. 그림 1에 제안하는 영상 기반 모델링 시스템의 구조를 도시하였다.

4. NURBS 곡면을 이용한 3차원 곡면의 영상 기반 복원

본 장에서는 영상에서의 대응 곡선의 지정과 이를 이용하여 취득된 3차원 곡선을 이용하여 다양한 NURBS 곡면을 생성하는 기법 및 텍스처 취득 기법을 기술한다.

4.1 카메라 보정

입력 영상에 대한 카메라 보정을 위하여 우선적으로 각각의 영상에 대한 카메라 인자들이 구해져야만 한다. 본 논문에서는 입력 영상의 EXIF(Exchangeable Image

File Format) 정보를 이용하여 카메라 내부 인자를 추출한다. 최근의 디지털 카메라들은 각각의 영상 파일에 EXIF 정보를 포함시키는 기능을 제공하기 때문에 이러한 추출이 가능하다. 또한 5-point 알고리즘[16]을 이용하여 외부 카메라 인자를 추출하고, 이러한 카메라 내부 매개 변수와 외부 매개 변수를 이용하여 입력 영상에 대한 카메라 보정이 완성된다.

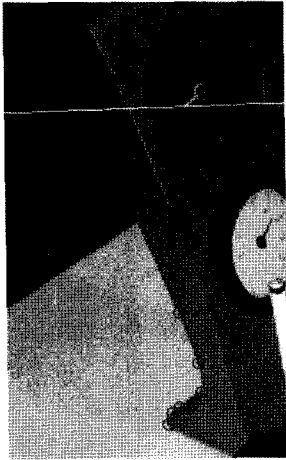


그림 3 그림 2의 점 a에 대한 epipolar 직선

4.2 NURBS 곡선을 이용한 2차원 곡선의 지정

제한하는 모델링 기법은 실제 물체를 모델링 하는 데 필요한 복잡한 사용자에 의한 모델링 과정을 실사 영상 기반의 모델링 과정으로 단순화하여 쉽고 빠르게 실사의 3차원 곡면 모델을 생성할 수 있는 데 그 장점이 있다. 이미 카메라 보정이 수행되어 카메라 매개 변수가 추출된 복수의 영상에 공통적으로 존재하는 곡면 형상을 특징짓는 곡선에 대해, 사용자는 곡선의 데이터 점을 연속적으로 추가하여 NURBS 곡선 근사를 수행한다. 두 개 이상의 영상에 공통적으로 존재하는 곡선에 대해 곡선 근사를 수행하게 되면, 카메라 보정 정보를 이용하여 3차원 곡선을 생성하거나, 복수의 3차원 곡선 혹은 직선을 생성하여 3차원 곡면을 생성할 수 있다.

본 논문에서는 임의의 곡선을 표현하기 위하여 NURBS 곡선을 이용하였다. 제어점(control point) P_i 와 가중치 w_i , 그리고 p 차 기저함수(basis function) $N_{i,p}(u)$ 로 만들어지는 NURBS 곡선은 매개변수 u 에 대해 식 (1)과 같이 정의된다[15].

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i} \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (1)$$

이 때, p 차 NURBS 곡선의 기저함수는 매듭벡터의 집합 U 에 의해 정의되고, 집합 U 는 식 (2)와 같은 형태를 지닌다.

$$U = \{ \underbrace{0, \dots, 0}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, \underbrace{1, \dots, 1}_{p+1} \} \quad (2)$$

본 논문에서는 사용자가 입력하는 데이터 점들을 이용하여 NURBS 곡선을 생성하기 위하여 지역적인 3차 곡선 보간(local bicubic curve interpolation)[15]을 수행하여 그림 2와 같이 입력 영상에서 사용자의 입력(곡선 위의 동그란 점)을 이용하여 모델을 복원하는 데에 필요한 곡선을 지정한다.

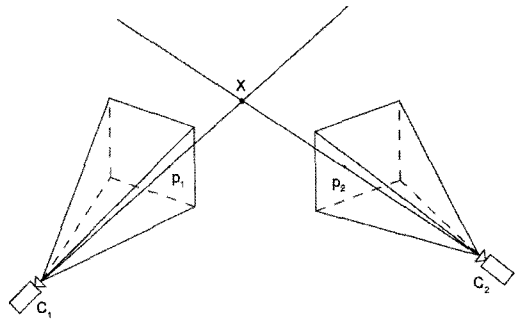


그림 4 스테레오 복원을 이용한 제어점의 3차원 복원

4.3 다중 영상을 이용한 3차원 곡선의 복원

위치가 다른 두 대의 카메라가 있을 때, 하나의 카메라에 투영된 영상에서의 한 점은 3차원 공간에서 카메라의 중심을 지나는 직선을 의미한다. 이와 같은 직선이 다른 카메라에 투영되었을 경우 생성되는 직선을 epipolar 직선[17]이라 한다. Epipolar 직선은 카메라 보정이 수행된 영상간의 fundamental 행렬을 이용하여 구할 수 있고, 본 논문에서는 한 영상에서 근사한 곡선과 대응하는 epipolar 직선을 이용하여 시점이 다른 기타 영상에서의 대응점을 쉽게 구할 수 있다. 그림3은 그림 2의 점 a에 대한 epipolar 직선을 보여주고, 이러한 epipolar 직선을 이용하여 점 a의 위치를 추측함으로써 시점이 다른 영상에서 대응곡선을 지정할 수 있다.

이러한 방법으로 얻어진 두 개의 곡선에 대하여 곡선을 이루는 데이터 점의 개수가 같기 때문에 두 곡선에 대한 데이터 점들의 쌍을 생각할 수 있다. 한 쌍의 데이터 점에 대하여 생각해보면, 각각의 점을 각각의 영상에 대한 투영행렬을 이용하여 3차원으로 복원하면 3차원 공간상의 두 개의 직선이 생성된다. 삼각법에 의해 두 직선으로부터의 거리가 최소인 지점을 3차원 데이터 점의 좌표로 저장하고, 이와 같이 생성된 3차원 데이터 점들을 지역적인 3차 곡선 보간을 이용하여 3차원

NURBS 곡선을 생성한다. 그림 4는 두 개의 카메라 C_1 과 C_2 에서 동일한 데이터 점을 의미하는 점 p_1, p_2 가 3 차원 좌표 X 로 복원되는 과정을 보여주고 있다.

4.4 NURBS 곡면의 표현기법

u 방향으로의 차수 p 와 v 방향으로의 차수 q 를 갖는 NURBS 곡면은 식 (3)과 같이 정의된다.

$$S(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)w_{i,j}P_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u)N_{j,q}(v)w_{i,j}} \quad (3)$$

여기서 $P_{i,j}$ 와 $w_{i,j}$ 는 각각 제어점 망(control net)과 가중치를 의미하고, $N_{i,p}(u)$ 와 $N_{j,q}(v)$ 는 매듭벡터 U 와 V 에 의하여 정의되는 NURBS 기저함수를 의미한다. 매듭벡터 U 와 V 는 식 (4)와 식 (5)와 같다.

$$U = \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{r-p-1}, \underbrace{1, \dots, 1}_{p+1} \right\} \quad (4)$$

$$V = \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{q+1}, v_{q+1}, \dots, v_{s-q-1}, \underbrace{1, \dots, 1}_{q+1} \right\} \quad (5)$$

4.5 영상 기반 NURBS 곡면 생성기법

본 논문에서는 7가지 방식으로 3차원 곡면을 생성하여 NURBS 곡면으로 표현 한다. 표 1에 본 논문에서 제안하여 구현된 곡면 생성 기법을 나열하였다. 우선 3 차원 공간에서 네 개의 점이 주어졌을 때, 각 점을 잇는 네 개의 선분을 이용하여 쌍 일차(bilinear) 보간(interpolation)을 수행한 NURBS 면을 bilinear surface라 한다. 그림5는 bilinear surface의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 5(a)에서 두 직선의 양 끝점을 이용하여 곡면을 생성하면 그림 5(b)와 같은 bilinear surface가 생성된다.

다음으로, 3차원 공간상에 두 개의 곡선이 주어 졌을 때 두 곡선 사이의 선형 보간을 수행한 곡면을 ruled surface라 한다. 그림 6은 ruled surface의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 6(a)의 두 곡선을 이용하여 ruled surface를 수행하면 그림 6(b)와 같은 곡면이 생성된다.

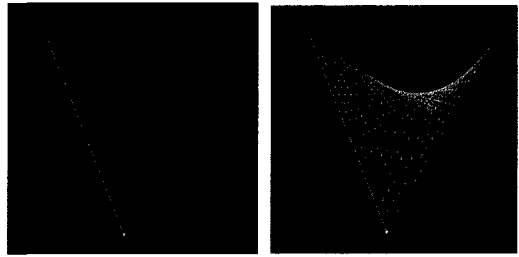


그림 5 Bilinear surface의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 네 개의 입력 점. (b) 곡면 생성 결과

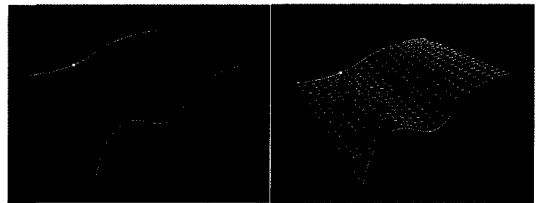


그림 6 Ruled surface 의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과

다음으로, 단위 길이의 벡터 W 와 곡선 $C(u)$ 를 이용하여 곡선을 벡터 방향으로 반복시킴으로써 구해진 원통 모양의 곡면을 generalized cylinder라 한다. 그림 7 은 generalized cylinder의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 7(a)에서 원 모양의 2차 NURBS 곡선을 벡터방향으로 연속하여 generalized cylinder를 생성하면 그림 7(b)와 같은 곡면이 생성 된다.

다음으로, v 방향으로 차수가 q 인 모선(generator) 곡선 $C(v)$ 를 임의의 축을 중심으로 회전시켜 얻어지는 곡면을 surface of revolution 이라 한다. 그림 8은 surface of revolution의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 8(a)에서 모선 곡선을 특정 축을 중심으로 회전을 하면 그림 8(b)와 같은 surface of revolution이 생성 된다.

표 1 NURBS 곡면 생성 기법

곡면 생성 기법	곡면 생성을 위한 입력 정보	곡면 생성 결과
Bilinear Surface	네 개의 점	네 개의 점을 보간하는 곡면
Ruled Surface	두 개의 곡선	두 개의 곡선을 경계선으로 하여 보간하는 곡면
Generalized Cylinder	한 개의 곡선과 직선	곡선을 직선 방향으로 연속하여 얻어지는 곡면
Surface of Revolution	한 개의 곡선과 직선	직선을 축으로 하여 곡선을 회전시킴으로써 나타나는 곡면
Skinned Surface	두 개 이상의 곡선	여러 개의 곡선을 모두 보간하는 곡면
Swept Surface	두 개의 곡선	하나의 곡선이 다른 곡선을 따라 연속하여 얻어지는 곡면
Boundary Patch	네 개의 곡선	네 개의 곡선을 경계로 이루어지는 곡면

다음으로, 단면 곡선 (section curve)이라 불리는 곡선의 집합 $\{C_i(u)\}$ 를 v 방향으로 근사한 곡면을 skinned surface라 한다. 그림 9는 skinned surface의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 9(a)에서 네 개의 곡선을 이용하여 곡면을 생성하면 그림 9(b)와 같은 skinned surface가 생성 된다.

다음으로, 단면 곡선 $C(u)$ 가 궤도 곡선(trjectory curve) $T(v)$ 를 따라 휩쓸고 지나가는 곡면을 swept surface라 한다. 그림 10은 swept surface의 생성 과정

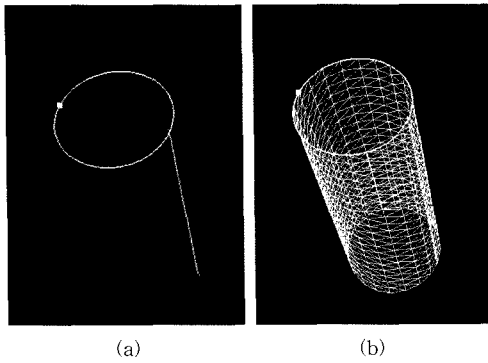


그림 7 Generalized cylinder의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과

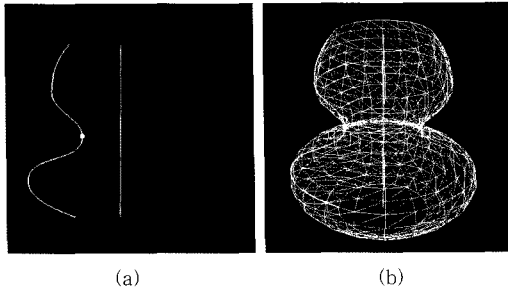


그림 8 Surface of revolution의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과

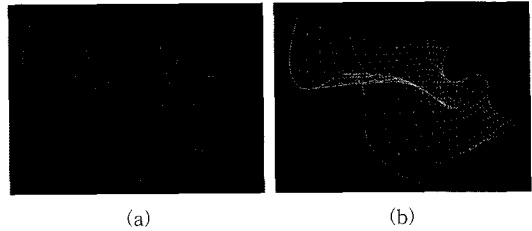


그림 9 Skinned surface의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과

을 보여주고 있다. 그림 10(a)에서 단면 곡선과 궤도 곡선을 이용하여 swept surface를 생성하면 그림 10(b)와 같은 곡면이 생성 된다.

마지막으로, 양 끝점이 만나는 네 개의 곡선을 경계로 이루어지는 곡면을 boundary patch라 한다. 그림 11은 boundary patch의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 11(a)에서 네 곡선의 끝점이 일치하는 곡선들을 이용하여 곡면을 생성하면 그림 11(b)와 같은 boundary patch가 생성 된다.

그밖에 위와 같은 7가지의 NURBS 곡면 생성 방식으로 표현할 수 없는 곡면을 표현하기 위하여 세 가지의 부가적인 곡면생성 방법을 제안한다. 우선 3차원에서 완벽한 원을 표현하기 위하여 disk를 구현하였다. 또한 disk의 일반화된 형태인 concave 영역을 표현하기 위하

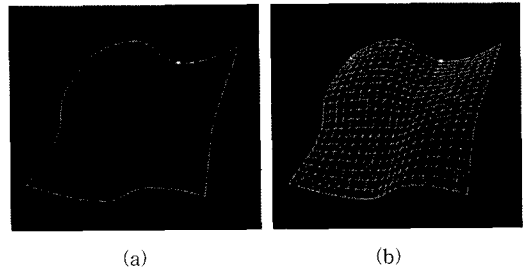


그림 11 Boundary patch의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과

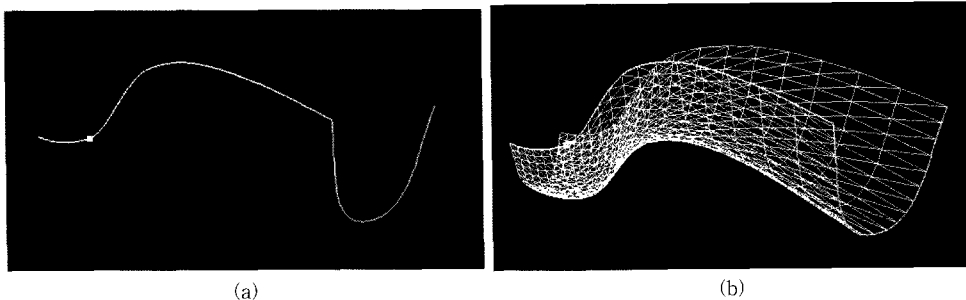


그림 10 Swept surface의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과

여, 단일 곡선으로 이루어진 경계곡선을 들로 나누어 ruled surface를 수행함으로써 곡면 주위에 있는 다른 NURBS 곡면과의 경계가 수학적으로 정확하게 일치하는 곡면 모델링 기법을 제안한다.

또한 곡면뿐 아니라 평면적인 다각형으로 구성된 다면체를 복원하기 위하여, 본 논문에서는 1차 NURBS 곡선을 이용하여 분절적 직선(piecewise polyline)을 생성하고 이에 대해 이미 기술한 generalized cylinder와 같은 곡면 모델링 기법을 제안한다. 그림 12~14는 각각

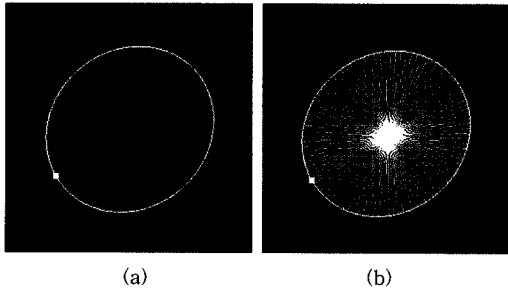


그림 12 Disk의 생성 과정. (a) disk 생성을 위한 3차원 곡선. (b) disk 생성 결과

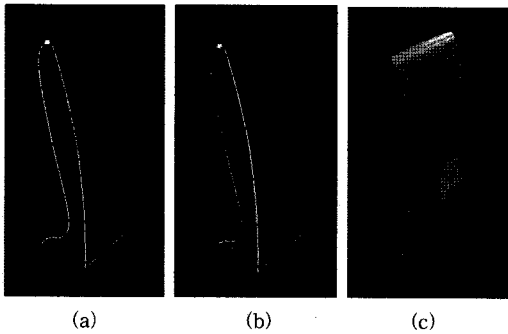


그림 13 Concave 영역의 생성 과정. (a) 곡면 생성을 위한 3차원 곡선. (b) 곡면 생성 결과. (c) 인접한 곡면과의 일치를 보여주는 예제

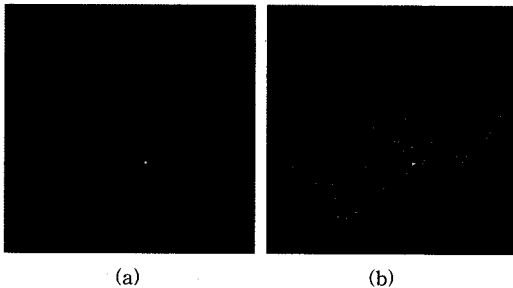


그림 14 다면체의 생성 과정. (a) 다면체의 생성을 위한 1차 NURBS 곡선. (b) 다면체 생성 결과

disk, concave 영역, 다면체의 생성 과정을 보여주고 있다. 그림 13(c)에서 보는 바와 같이 시계 모델을 모델링 하기 위하여 concave 영역을 복원하기 위하여 이용되는 곡선과 시계의 앞면을 복원할 때 사용하는 곡선이 동일하기 때문에 두 개 곡면의 연결 부분이 수학적으로 일치하는 것을 확인할 수 있다.

4.6 NURBS 곡면의 view-dependent 텍스처의 생성

본 논문에서는 복원된 곡면의 텍스처를 생성하기 위하여 view-dependent 텍스처 생성 기법을 제안한다. 이를 기술하면 다음과 같다. 우선, i 번째 입력 영상의 시선벡터를 C_i 라 하고 텍스처 좌표 u, v 에 해당하는 곡면의 법선 벡터를 $N_{u,v}$ 라 하면 각 영상에 대한 가중치 w_i 는 식 (6)과 같이 두 벡터의 내적으로 정의하여 곡면의 법선 벡터와 시선 벡터 방향의 일치성을 반영한다.

$$w_i = C_i \cdot N_{u,v} \tag{6}$$

제안하는 view-dependent 텍스처 생성 기법은, i 번째 영상의 화소값 P_i 를 w_i 를 이용하여 가중치평균을 구함으로써 텍스처의 화소 값 $TC_{u,v}$ 를 결정한다. 이 과정을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$TC_{u,v} = \frac{\sum s_i P_i w_i}{\sum s_i w_i}, \quad s_i = \begin{cases} 1, & \text{if is selected} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{7}$$

또한 식 (7)에서 텍스처를 생성하는데 사용되는 영상을 사용자가 선택할 수 있도록 변수 s_i 를 추가하여 모델링을 하고자 하는 물체가 다른 물체에 가려진 영상이 존재하는 경우, 이러한 영상이 텍스처 생성에 포함되는 것을 배제함으로써 보다 원본 물체와 유사한 텍스처를 얻을 수 있도록 한다.

4.7 NURBS 곡면의 메쉬 모델로의 재구성

제안하는 영상 기반 모델링 시스템은 복원된 곡면을 외부 소프트웨어에서 재사용하기 위하여 VRML로의 출력을 지원한다. 각각의 곡면에서 $0 \leq u \leq 1$ 과 $0 \leq v \leq 1$ 인 u, v 를 임의의 수로 나누어 각각의 3차원 각각의 곡면을 삼각형 분할(tessellation)함으로써 삼각형 메쉬 모델을 얻고, VRML의 IndexedFaceSet 노드를 이용하여 모델을 출력한다. 또한 텍스처는 JPEG 형식으로 동시에 출력한다.

5. 실험결과

본 실험은 nVidia GeForce 6800 GPU와 2G 바이트의 메모리를 장착한 2.0GHz Athlon64 CPU 상에서 수행되었다. Windows XP에서 Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였고 OpenGL[18]을 이용하여 렌더링하였다.

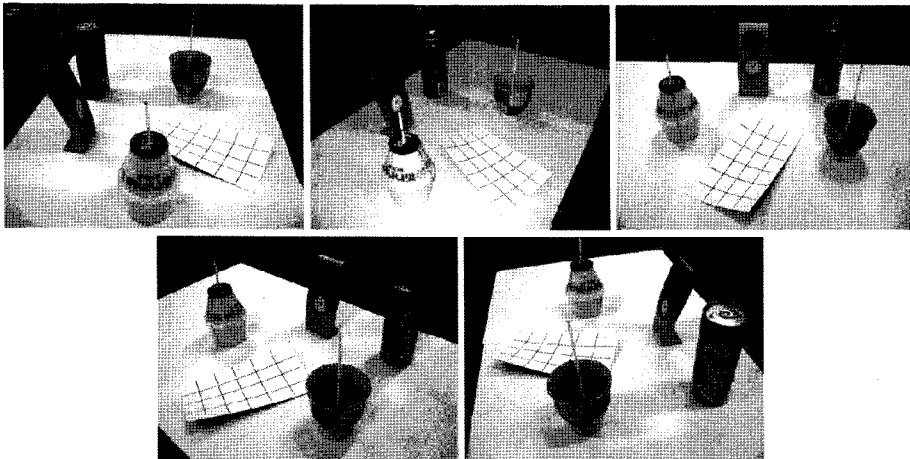


그림 15 하나의 장면을 다섯 가지의 방향에서 취득한 예제 영상

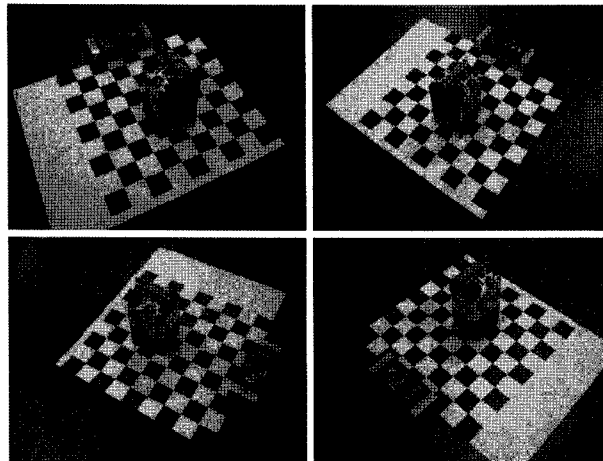


그림 16 하나의 장면을 네 방향에서 취득한 예제 영상

본 논문에서 구현한 곡면들이 실제 영상에 대해 올바르게 생성되는지 확인하기 위하여 그림 15 및 그림 16에서와 같이 여러 가지 다양한 형상의 물체를 포함한 두 개의 장면을 설정하였다. 이에 대해 각각 다섯 개와 네 개의 영상을 1600×1200 해상도로 획득하였고, 제안하는 기법을 적용하여 3차원 곡면의 복원을 수행하였다.

그림 17은 이러한 방법으로 생성된 두 개의 영상에 존재하는 두 개의 곡선에서 투영행렬과 삼각법을 이용하여 곡선을 3차원으로 복원한 결과를 보여준다. 그림 18에서는 카메라 보정이 수행된 다섯 개의 영상으로부터 3차원 곡면을 복원하는 과정을 보여주고 있다. 그림 18에서 generalized cylinder를 이용하여 음료수 캔과 탁상시계를 복원하였고, skinned surface를 이용하여 가운데의 격자무늬의 휘어진 종이를 복원하였다. 그리고 surface of revolution 기법을 이용하여 우유통과 컵을

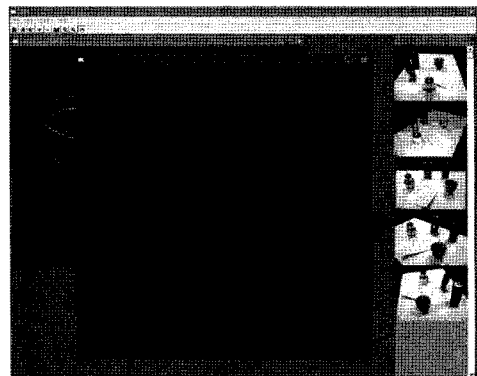


그림 17 3차원으로 복원된 곡선

복원하였으며, disk를 이용하여 음료수 캔과 우유통의 윗면을 복원하였다. 또한 concave 영역으로 시계의 옆

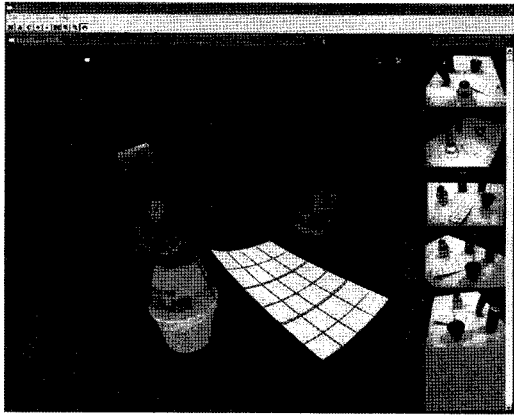


그림 18 그림 15의 영상을 3차원의 곡면으로 복원



그림 19 1차 NURBS 곡선을 이용한 곡면의 복원

면을 복원함으로써 카메라로 취득된 장면이 3차원의 곡면으로 효과적으로 복원된 것을 확인할 수 있다.

그림 19에서는 다면체 물체의 복원을 수행하기 위해 카메라 보정이 수행된 그림 16과 같은 네 개의 영상으로부터 1차 NURBS 곡선을 기반으로 하는 generalized cylinder와 swept surface를 이용하여 우유팩을 복원한 결과를 보여줌으로써 일반적인 다면체 형상도 잘 복원되는 것을 확인할 수 있다.

3차원 형상이 복원된 결과의 정밀도를 수학적으로 검증하기 위하여 그림 18의 결과를 그림 20과 같이 각각의 카메라로 재 투영시켜 원본 영상과의 PSNR과 오차 비율을 측정하여 상호 교차 검증(cross-checking)을 수행하였다. 실험 결과, 원본 영상과 재 투영하여 얻은 영상과의 영역 중복성의 평균 오차는 6.79%로 나타났다. 표 2에서 텍스처의 해상도에 따른 PSNR을 보여주고,

표 3에서 기준 영상을 사용자가 선택하였을 경우와 입력된 모든 영상을 사용하였을 때의 PSNR을 보여주고 있다.

표 2 텍스처의 해상도에 따른 PSNR 결과

Resolution	PSNR
256×256	19.14dB
512×512	19.19dB
1024×1024	18.44dB

표 3 텍스처의 생성에 사용된 영상의 종류에 따른 PSNR 결과

기준 영상	PSNR
All images	19.19dB
Selected images	18.28dB

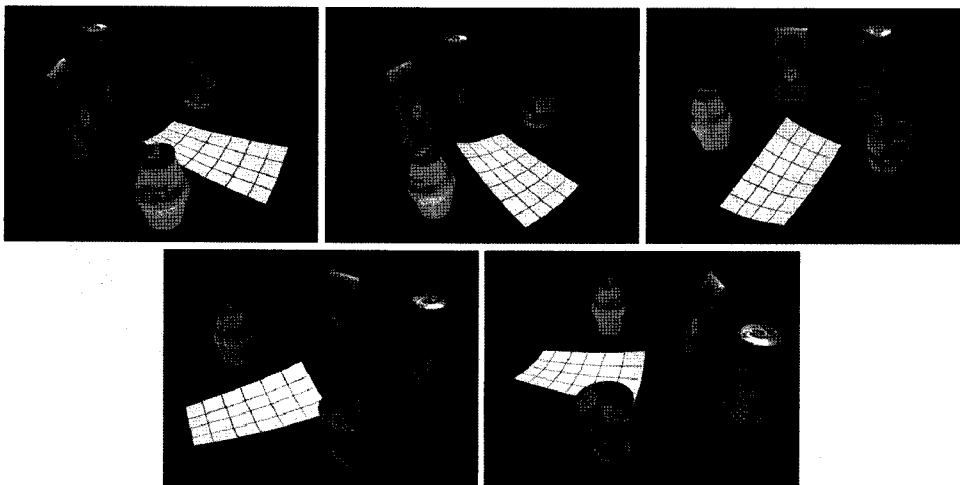


그림 20 그림 18의 모델을 각각의 카메라로 재 투영한 결과

표 2에서 보여주는 바와 같이 텍스처의 해상도를 입력 영상에서 모델이 차지하는 부분의 화소수와 비슷하게 하였을 경우의 PSNR이 원본 영상과 가장 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 표 3에서는 텍스처의 생성에 사용된 영상에 따라 PSNR의 값이 조금씩 변하는 것을 확인할 수 있다. 그림 21은 view-dependent 텍스처와 nearest 텍스처의 비교를 보여준다. 그림 21(b)와 같이 nearest 텍스처에서는 영상마다 조명의 영향에 따라 생기는 color값의 차이로 인해 눈으로 확인할 수 있을 정도로 영상 사이의 경계가 나타나는 것을 알 수 있다. 그에 반해 view-dependent 텍스처에서는 여러 영상에서 color값의 평균으로 텍스처의 화소 값이 결정되기 때문에 그림 21(a)에서와 같이 정합 과정에서 생기는 오차에 의해 곡면의 글씨가 흐려지지만 전체적으로 색의 분포가 고르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 22는 그림 18에서 복원된 곡면에 대한 텍스처를 보여주고, 그림 23에서는 ParallelGraphics사의 Cortona VRML 뷰어를 이용한 VRML 파일의 렌더링을 보여준다.

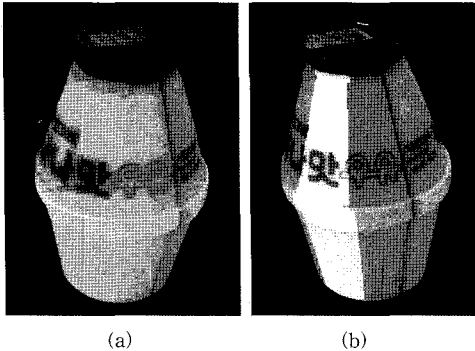


그림 21 View-dependent 텍스처와 nearest 텍스처의 비교
(a) view-dependent 텍스처. (b) nearest 텍스처



그림 22 VRML 출력기로 생성된 텍스처

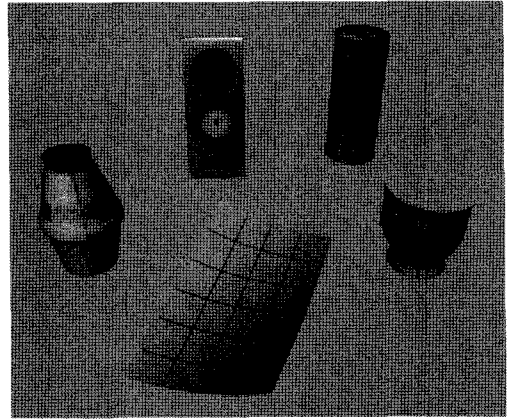


그림 23 생성된 3차원 모델을 VRML 뷰어에서 렌더링 한 모습

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서 개발된 대응 곡선을 이용한 영상 기반 곡면 모델링 기술은 3차원 그래픽스 콘텐츠 저작 도구 또는 3차원 CAD 도구, 증강현실 저작 도구 등의 3차원 모델링 소프트웨어에 적용이 가능하다. 영상 기반 곡면 모델링 기술은 실 세계에 존재하는 대부분의 물체에 대해 적용될 수 있으며 특히 대상 물체가 자연물이 아닌 인간 생성 물체(man-made object)라면 활용도가 더욱 높아질 것이다. 이는 기존의 다각형 기반 모델이 표현할 수 있는 3차원 모델의 범주를 임의의 곡면을 대상으로 넓히는 것으로서, 보다 정교한 3차원 모델의 생성을 가능하게 할 것이다.

본 논문에서 개발된 NURBS 기반의 자유 곡선 지정 도구는 다양한 대상의 3차원 모델링 및 영상에서의 특징 추출에 이용될 수 있는 기반 기술이다. 즉, 1차, 2차, 3차의 NURBS 곡선을 지정할 수 있으므로, 다각형, 원, 타원 등의 기본 곡선을 정확하게 표현할 수 있으며, 또한 3차 곡선을 이용하여 임의의 형태의 곡선을 사용하기 쉬운 대화형으로 효율적인 표현이 가능하다. 향후 확장 연구를 통하여 active shape model(ASM)이나 active appearance model(AAM)등과 같은 컴퓨터 비전 알고리즘을 적용하여 현재 사용자가 지정해야 하는 곡선 특징을 자동으로 추출할 수 있다면 사용자의 조작이 현저하게 줄어들어서 개발된 영상 기반 모델링 기법의 효용은 더욱 증가할 것이며 이것이 본 연구의 향후 발전 방향이다.

6. 감사의 글

한국전자통신연구원 디지털콘텐츠연구단의 구본기 박사, 추창우 선임 연구원, 김계철 연구원에게 연구 지원

에 대한 감사의 뜻을 전한다. 본 연구의 초기 결과는 Pacific Graphics 2006[19]에 발표되었다.

참 고 문 헌

- [1] L. McMillan and G. Bishop, "Plenoptic modeling: an image-based rendering system," *Proc. SIGGRAPH 95*, pp. 39-46, 1995.
- [2] W. Matusik et al, "Image-based visual hulls," *Proc. SIGGRAPH 2000*.
- [3] M. Magnor et al, *Video-based rendering*, SIGGRAPH 2005 Course #16.
- [4] <http://www.photomodeler.com/>
- [5] <http://www.realviz.com/products/im/>
- [6] <http://www.viewpoint.com/products/canoma/>
- [7] M. Pollefeys, *3D models from photos and videos*, SIGGRAPH 2003 Course #15, July 2003.
- [8] J. Kosecka et al, *Multiple-view geometry for image-based modeling*, SIGGRAPH 2004 Course #23.
- [9] W. Martin and J. Aggarwal, "Volumetric descriptions of objects from multiple views," *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5(2), pp. 150-158, 1983.
- [10] S. Seitz and C. Dyer, "Photorealistic scene reconstruction by voxel coloring," *International Journal of Computer Vision*, 35(2), 1999.
- [11] K. Kutulakos and S. Seitz, "A theory of shape by space carving," *International Journal of Computer Vision*, 38(3), pp. 199-218, 2000.
- [12] P. Debevec, *Modeling and Rendering Architecture from Photographs*, Ph.D. Dissertation, University of California at Berkeley, 1996.
- [13] M. Pollefeys, R. Koch, and L. Van Gool, "Self-calibration and metric reconstruction in spite of varying and unknown internal camera parameters," *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision '98*, pp. 90-95, Bombay, India, 1998.
- [14] M. Pollefeys, L. Van Gool, M. Vergauwen, K. Cornelis, F. verbist, and J. Tops, "Image-based 3D recording for archaeological field work," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 23(3), pp. 20-27, May/June 2003.
- [15] L. Piegl and W. Tiller, *The NURBS Book*, Springer, 1997.
- [16] D. Nister, "An efficient solution to the five-point relative pose problem," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(6), pp. 756-770, 2004.
- [17] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge university press, 2000.
- [18] D. Shreiner et al, *OpenGL Programming Guide*, Addison Wesley, 2004.
- [19] M. H. Lee and I. K. Park, "Image-based approach for modeling 3D shapes with curved surfaces,"

Proc. The 14th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, pp 70-75, Taipei, Taiwan, October 2006.



이 만 희

2006년 2월 인하대학교 컴퓨터공학과 공학사. 2006년~현재 인하대학교 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어 응용



박 인 규

1995년 2월 서울대학교 제어계측공학과 공학사. 1997년 2월 서울대학교 제어계측공학과 공학석사. 2001년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사. 2000년 1월~2000년 4월 미국 Univ. of Michigan, Ann Arbor 방문연구원. 전문연구원. 2007년 1월~2008년 1월 미국 Mitsubishi Electric Research Laboratories (MERL) 방문연구원. 2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학부 조교수. 관심분야는 컴퓨터 그래픽스 및 비전, 영상처리, 멀티미디어 응용분야