

# 컴퓨터 그래픽스 최신 연구 동향

숭실대학교 김동호\*

## 1. 서 론

컴퓨터 그래픽스는 컴퓨터를 이용하여 가상공간을 모델링하고 렌더링한 결과를 얻어내는 과정이다. 또한 객체의 움직임을 표현하는 애니메이션도 포함된다. 여기에는 우리가 일반적으로 워드프로세서나 프리젠테이션 소프트웨어에서도 사용하는 2차원 그래픽스도 포함되지만 많은 연구가 3차원 컴퓨터 그래픽스를 중심으로 이루어져 왔다.

전산학을 구성하는 여러 분야가 다 그러하겠지만 특히 컴퓨터 그래픽스는 다른 분야에 비해 산업계의 응용과 더욱 밀접하게 발전하고 있다. 즉, 연구 동향 역시 산업계의 트렌드와 분리하여 생각할 수 없다고 할 것이다. 특히 세계적으로나 우리나라에서나 그 규모가 급속도로 발전하고 있는 2차원 또는 3차원 애니메이션 분야와 게임 산업 분야는 컴퓨터 그래픽스 분야의 연구를 이끄는 동력이 되고 있다.

SIGGRAPH는 컴퓨터 그래픽스 분야의 연구를 이끄는 대표적인 학술대회이며, 여기에 발표되는 논문들이 그래픽스 분야의 연구 동향을 결정한다고 할 수 있다. 따라서 여기서는 주로 최근에 SIGGRAPH에 발표된 연구 성과들을 중심으로 연구동향을 소개하고자 한다.

컴퓨터 그래픽스 분야는 전산학뿐만 아니라 수학, 물리 등의 자연 과학, 기계공학 등의 다양한 학문과 밀접한 연관을 가지고 있는 복합학이다. 또한 전산학 측면에서도 하드웨어와 소프트웨어 측면이 공존하는 특성을 가지고 있어서 세부 연구 분야도 다양하게 분포되어 있다고 할 것이다. 그러므로 모든 그래픽스 연구 분야들을 일관된 흐름으로 분석하는 것은 거의 불가능한 일이고, 여기서는 최근에 많은 주목을 받는 몇 개의 흐름을 선택하여 소개하고자 한다.

## 2. 실시간 그래픽스

최근 수년간 PC용 그래픽스 하드웨어는 급격한 속도로 발전하여 왔는데, nVIDIA와 ATI사가 주도한 이러한 발전은 게임 분야를 비롯한 다양한 응용 분야의 시장 확대에 힘 입은 바 크다. 이로 인해, 실시간 그래픽스 분야를 중심으로 그래픽스 연구 내용들도 많은 영향을 받고 있다.

그래픽스 하드웨어를 이용한 실시간 렌더링 연구는 하드웨어 또는 GPU(Graphics Processing Unit)의 성능 발달도 중요한 요소가 되지만 GPU의 프로그래밍이 가능해졌다는 점이 더 핵심적인 요인이라 할 것이다. 즉, 기존에는 기하 변환과 광원 모델 적용 등, 고정된 기능만을 수행하던 그래픽스 하드웨어를 자유롭게 프로그래밍할 수 있게 되어 과거에는 실시간으로 구현이 불가능하였던 다양한 렌더링 알고리즘을 실시간으로 구현할 수 있게 되었다. 또한 렌더링뿐만 아니라 시뮬레이션이나 일반 연산에 그래픽스 하드웨어를 사용하는 용도로까지 연구 내용들이 발전하고 있다. 웨이더 프로그래밍을 사용하는 연구들은 몇 년 전만 하더라도 아주 특별한 방향의 연구라고 생각되었으나 요즘에는 다양한 분야의 연구에서 단순한 구현 언어 선택 정도의 의미로 사용되는 경우도 적지 않은 추세이다.

PRT(Precomputed Radiance Transfer) 분야의 연구는 고품질의 렌더링을 실시간으로 구현하기 위한 방향으로서 다양한 방향에 존재하는 가상 카메라와 광원으로부터의 영향을 미리 계산하여 데이터를 구축한 후 실시간으로 렌더링하는 연구결과를 내놓고 있다. 이를 통해, 기존에 실시간으로 구현이 불가능하였던 품질의 렌더링을 실시간으로 수행할 수 있어 게임이나 가상현실 등의 응용 분야에 많은 활용이 예상된다.

Ben-Artzi[1] 등은 복잡한 조명 아래에서 BRDF를 실시간으로 편집할 수 있는 시스템을 제안하고 있다. BRDF(Bi-directional Reflectance Distribution

\* 정회원

Function)는 임의의 빛 입사각과 임의의 반사각에 대해 물체 표면의 반사계수를 정하는 함수로 이를 사용한 고품질의 렌더링은 실시간으로 구현하기가 쉽지 않다. 이 논문은 PRT를 이용하여 사용자가 실시간 렌더링 결과를 바로 확인하면서 BRDF를 직관적으로 편집할 수 있는 환경을 제안한다.

Precomputed transfer는 수년간 많은 연구가 진행되었는데 초기의 연구는 부드럽게 변하는 조명, 즉 저주파수 광원 환경에서는 잘 동작하지만 고주파수 광원, 즉 또렷한 광원 경계면이나 진한 그림자가 있는 경우에는 전처리 과정의 계산량이나 데이터 크기가 너무 방대하여 효율적인 결과가 나오지 않았다. 최근의 연구 결과들[2,3]은 이러한 단점을 보완하여 다양한 종류의 광원에 대하여 PRT를 통한 고품질 실시간 렌더링을 구현하고자 하는 연구들이다.



그림 1 PRT를 이용한 실시간 렌더링 결과 (출처: Sun[2])

일반적으로 3차원 애니메이션 제작에서 사용하는 렌더링 기법은 게임이나 가상현실 분야와는 달리 하드웨어를 사용한 실시간 렌더링이 아니다. 따라서 3차원 애니메이션을 최종적으로 렌더링하는 데에는 많은 시간이 소요되는데, 애니메이션 제작과정에서 재질과 조명 정보를 선택할 때, 최종 렌더링 결과와 비슷한 품질을 빠른 속도에 제공하여 애니메이터들이 적합한 파라미터들을 손쉽게 선택할 수 있게 하는 과정이 중요하다. 픽사 애니메이션 스튜디오에서 제안한 시스템[4]은 이러한 목적에 알맞은 기능을 보여주고 있다. 즉,

다양한 방법의 전처리 과정을 통해 상당 부분의 데이터를 미리 계산해 놓은 상태에서 사용자가 지정하는 파라미터 변화에 따른 고품질 렌더링 결과를 실시간으로 보여주어 애니메이션 제작에서의 생산성 향상을 추구하고 있다.

그래픽스 하드웨어의 발달은 nVIDIA와 ATI와 같은 GPU 제조업체에 의해서 주도되고 있지만, OpenGL이나 DirectX와 같은 3차원 그래픽스 API와 분리해서 생각할 수는 없다. 특히, 그 변화가 느린 OpenGL보다 하드웨어의 발전에 따른 버전업을 수시로 진행하는 마이크로소프트의 DirectX는 게임 산업 뿐만 아니라 실시간 그래픽스 분야의 연구 방향에도 큰 영향을 주고 있다. 최근 발표되어 윈도우 비스타 운영체제에 본격적으로 탑재될 DirectX 버전 10[5]은 실시간 그래픽스의 처리 과정을 획기적으로 바꾸고 있기 때문에 향후 이 분야의 발전 방향을 크게 좌우할 것으로 예상된다.

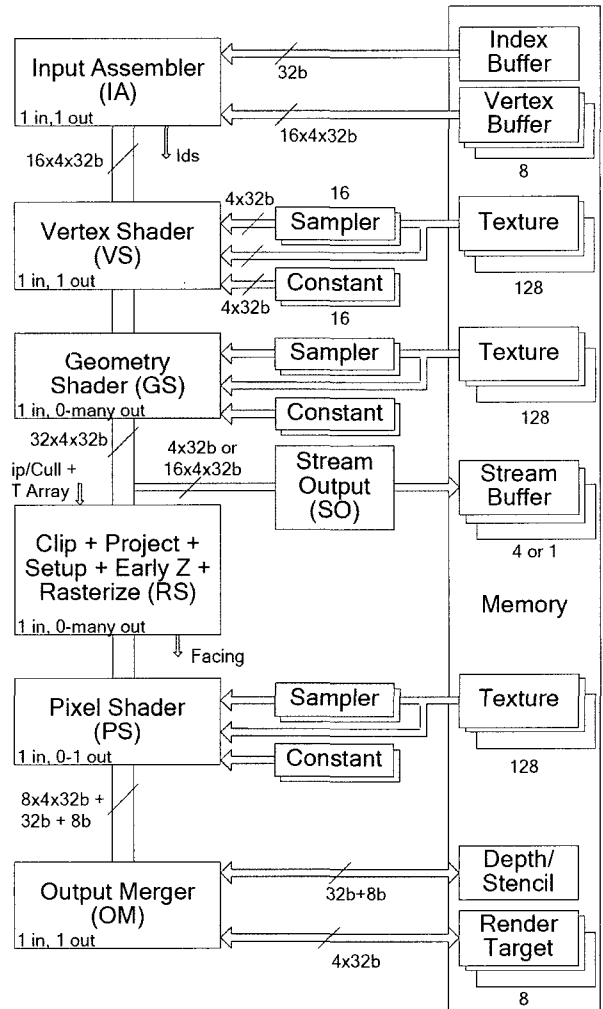


그림 2 DirectX 10 파이프라인, 하이라이트된 부분은 이번에 추가된 부분임 (출처: Bluth[5])

실시간 그래픽스 분야의 많은 연구는 게임이나 가상 현실 등의 응용 분야와 밀접하게 연관되어 있기 때문에 PC 환경뿐만 아니라 XBOX360, PS3, Wii 등의 경쟁이 치열할 것으로 예상되는 차세대 콘솔 게임기 분야의 발전과 PSP, 게임폰 등의 모바일 게임 환경의 발전에도 앞으로 많은 영향을 받을 것이다.

### 3. 2차원 그래픽스

컴퓨터 그래픽스 분야는 오랫동안 3차원 그래픽스를 중심으로 연구되어 왔으나 최근에는 다시 여러 응용분야에서의 2차원 그래픽스 연구가 활발해지고 있다. 이 분야에서의 연구는 주로 마이크로소프트를 중심으로 이루어지고 있는데 중국에 있는 Microsoft Research Asia에서 많은 연구 결과를 내놓고 있다. 이는 컴퓨터 그래픽스 분야의 고급 연구결과와 이들을 일반인들의 사진 편집 등에 실용적으로 활용하고자 하는 마이크로소프트의 정책이 맞아떨어지기 때문으로 생각된다.

#### 3.1 그래프 기반 영상 분할

사진 편집에서 중요한 작업 중의 하나는 전경 (foreground) 물체 또는 인물을 배경으로부터 분리하는 것인데 기존에는 주로 전경 물체의 가장자리를 따라가면서 사용자가 대략적으로 지정한 점들로부터 경계선을 추출하는 방법이 많이 사용되었다. 하지만 최근 연구 결과들에서는 보다 간편한 사용자 인터페이스를 통해 정확한 경계선을 추출하여 전경을 분리하는 기법들을 제시하고 있다.

최근 제안되는 많은 방법들은 스틸 영상을 구성하는 픽셀들을 노드로 하는 그래프를 구성하는 기법을 사용한다. 픽셀들은 그 색상 차에 따라 그룹으로 묶여지면서 영역을 형성하게 되는데, 영상을 분리하는 작업은 그래프 내에서 노드들을 연결하는 에지들을 절단하면서 노드들을 전경과 배경으로 분리하는 과정으로 수행된다. 이를 graph cut이라고 하며 최근 발표되는 많은 기법들의 기본 요소가 된다.

Lazy Snapping[6] 기법은 graph cut 기법을 활용하는 효과적인 사용자 인터페이스를 제공한다. 사용자는 분리하고자 하는 전경에 일부에 마우스의 왼쪽 버튼을 사용하여 스트로크를 그린다. 또한 배경에 해당하는 부분에 마우스 오른쪽 버튼을 이용하여 다른 색으로 스트로크를 그린다. Lazy Snapping 기법은 스트로크 정보들을 기반으로 하여 입력된 영상의 분석을 통해 생성한 그래프 에지들을 잘라내는 작업을 수행하게 된다. 분리된 결과가 사용자의 마음에 들지 않거나 오류가 있으면 사용자는 계속 전경 또는 배경에 해당

하는 스트로크를 추가로 지정하여 원하는 결과를 얻어 낼 수 있다.



그림 3 Lazy Snapping, 좌: 원본 영상, 우: 스트로크를 통한 전경과 배경의 지정 (출처: Li[6])

GrabCut[7] 기법은 비슷한 작업을 하기 위해 조금 다른 사용자 인터페이스를 제공한다. 즉, 전경을 포함하는 직사각형 모양의 영역을 지정하면 그 안에서 최적화 알고리즘을 통해 그래프의 에지를 잘라내는 위치를 구하여 전경 영역을 추출할 수 있다.

#### 3.2 매팅(Matting) 기법

매팅은 촬영된 스틸 영상이나 비디오 영상에서 원하는 전경만 추출하여 다른 영상에 합성하는 과정을 말한다. 일반적으로 매팅은 블루스크린을 통하여 구현된다. 즉, 청색이나 녹색의 대형 스크린 앞에서 전경 물체나 인물을 촬영한 후에 배경 스크린에 해당하는 부분을 제외하고 다른 영상에 합성하는 것이다. 이러한 방법은 TV 방송이나 영화에서 오랫동안 사용되어 왔다. 그러나 이러한 방법은 많은 비용을 들여 사전에 준비된 스튜디오에서만 사용할 수 있는 방법으로서 일반인들이 사용하기에는 힘들다. 최근에는 이러한 단점을 제거하여 특수한 스튜디오에서 촬영한 것이 아닌 일반 영상으로부터 전경 물체나 인물을 추출하는 기법들이 많이 연구되고 있다.

Chuang[8] 등은 비디오 영상으로부터 전경 인물을 추출하는 알고리즘을 제안하였다. 이들이 제안한 알파 매팅 기법은 머리카락이나 연기처럼 전경과 배경 사이에 중간 영역이 존재하는 경우에 이들을 효과적으로 제어할 수 있다. 즉, 이러한 영역에는 반투명도를 가지도록 설정하여 부드러운 합성이 이루어질 수 있게 하였다. Defocus Video Matting[9]은 시점을 공유하지만 포커스가 다르게 맞춰진 여러 개의 렌즈를 가지는 특수한 비디오 카메라를 사용한다. 물체까지의 거리에 따라 포커스가 맞춰진 정도가 달라지므로 이를 이용하여 전경을 비디오 영상으로부터 추출할 수 있는데 이 과정이 완전히 자동화될 수 있는 장점을 가지고 있다. Interactive Video Cutout[10] 기법은 비디오

영상을 3차원 볼륨 데이터로 간주한다. 즉, 시간 축을 스틸 영상의 x, y 축에 대응하는 z축으로 간주하여 비디오 영상을 3차원 볼륨 데이터로 설정하고 볼륨 데이터 내에서 추출하고자 하는 부분을 효과적으로 지정할 수 있는 사용자 인터페이스를 제시한다. 사용자가 전경에 해당하는 부분을 스트로크로 지정하면 이 기법은 이로부터 최적의 전경 비디오 영상을 추출한다.

Flash Matting[11]은 영상 매팅을 위한 간단하고도 효과적인 기법을 제안한다. 동일한 대상을 플래시를 사용하여 찍은 영상과 플래시를 사용하지 않은 영상을 비교하는데, 카메라에 가까이 있는 전경은 플래시를 터뜨릴 때 훨씬 밝게 촬영될 것이고, 멀리 있는 배경은 두 영상 사이에 큰 차이가 없게 된다. 두 영상을 비교하여 차이가 큰 부분을 추출하는 방법을 통해 전경을 분리할 수 있다. Joshi[12] 등은 수평으로 여러 대의 카메라를 배치한 카메라 어레이를 사용하여 비디오 영상으로부터 전경을 분리한다. 이 기법은 머리카락이나 물의 낙하, 수증기 등 미세한 제어가 필요한 부분에 대해서도 정밀한 전경 비디오 영상을 분리하는 결과를 보여준다.



그림 4 플래시 매팅 결과, 좌로부터 플래시 영상, 플래시 없는 영상, 추출된 전경 마스크, 합성 결과 (출처: Sun[11])

또 영상 합성 관련 분야로는 영상의 일부를 다른 영상으로 옮겨 붙였을 경우에 최적의 톤을 재생해 주는 연구들을 들 수 있다. Poisson Image Editing[13] 기법은 소스 영상의 지정된 부분을 타겟 영상에 붙여서 합성할 때, 부드럽게 연결될 수 있도록 영상의 톤을 조절해 준다. Jia[14] 등은 Poisson Image Editing 기법을 확장하여 합성할 때의 최적 경계선을 찾고 이

를 기반으로 하여 합성 이후의 부드러운 톤을 생성하는 기법을 최근에 발표하였다.

### 3.3 기타

카메라로 촬영된 스틸 영상을 처리하는 다른 분야로는 촬영시의 손 떨림이나 대상 물체의 빠른 움직임에 의한 번짐(blur) 현상을 보정하는 기법들이 있다. Fergus[15] 등은 촬영된 스틸 영상을 분석하여 촬영시의 카메라 흔들림을 추출하고 흔들림을 제거한 영상을 복원한다. Raskar[16] 등은 자동차처럼 아주 빠르게 움직이는 물체들로 인한 번짐을 제거하기 위해 특수하게 제작된 카메라를 사용한다. 이 카메라는 셔터를 랜덤하게 지속적으로 열고 닫으면서 영상을 획득한다. 이렇게 획득한 영상을 처리함으로써 번짐이 제거된 영상을 얻을 수 있다.

여러 사진들의 모음 영상을 만드는 기법도 연구되고 있는데 마이크로소프트의 AutoCollage[17] 기법은 여러 장의 사진으로부터 주요 부분만 잘라서 색상이나 내용 정보에 따라 최적화된 콜라주 영상을 만들어 낼 수 있다. 콜라주에 사용되는 부분과 배치되는 위치는 영상의 내용을 분석하여 결정되며 사진 영역들이 접합되는 부위 역시 부드럽게 이어지도록 처리된다. 그 결과 현재 상용으로 사용되는 구글의 Picassa 등에 비해서 월등히 나은 결과를 생성할 수 있다.



그림 5 여러 장의 사진으로부터 자동 합성된 Auto-Collage 결과 (출처: Rother[17])

입력되는 사진 영상을 인간의 인지 시스템을 고려하여 변환하는 연구들도 많이 시도되고 있다. Cohen-Or[18] 등은 색채학에서 제시하는 보색 원리를 사용하여 이 문제에 접근한다. 보색은 다양한 색상의 휴(hue)를 표현하는 색상환에서 서로 반대편에 있는 색상들끼리 대비가 잘 되어서 또렷하고 편안한 느낌의 영상을 만들어주는 색상 대비를 말한다. 색채학에

서 말하는 보색의 구성에는 다양한 종류가 있으며 이 연구결과에서는 다양한 타입의 보색 구성 방법을 선택할 수 있는 사용자 인터페이스를 제시한다. 입력 영상의 색상 분포는 색상환에 히스토그램 형태로 보여지며 사용자는 보색 원리에 맞는 색상 구성으로의 변환을 제어할 수 있다.

입력 사진 영상의 톤을 변환하는 연구들도 활발하다. 예를 들어, Bae[19] 등은 사진 영상을 다른 스타일로 변환하는 기법을 제시하고 있다. 즉, 특정 사진작가의 사진을 참조 영상으로 입력하면 그 스타일을 흉내내도록 입력 영상을 변환하는 기법을 제시한다.

#### 4. 모션 캡처 데이터의 활용

애니메이션은 인물이나 동물, 사물 등의 움직임을 표현하는 것으로서 컴퓨터 그래픽스에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 3차원 애니메이션을 효과적으로 생성하기 위한 많은 기법들이 연구되어 왔는데 그 중 널리 쓰이는 방법이 모션 캡처 데이터를 활용하는 것이다. 모션 캡처는 사람이나 동물 등의 실제 움직임을 컴퓨터로 입력받는 것으로서 광학식, 자기식, 기계식 등의 기기를 사용하여 캡처 대상에 부착한 마커의 움직임을 읽어들이는 방법이다.

모션 캡처 데이터 활용 분야의 가장 큰 이슈는 데이터의 재활용이다. 모션 캡처 데이터의 장점으로는 사실적인 움직임을 그대로 애니메이션 대상에 적용할 수 있다는 것이지만, 반면에 크기나 형태가 다른 캐릭터 또는 동물의 움직임 등에 그대로 적용하기 힘들다는 제약점이 있다. 따라서 모션 캡처로부터 획득된 데이터를 다른 형태의 캐릭터에 리타게팅하는 기법이나 축적된 모션 캡처 데이터베이스로부터 원하는 모션을 추출하여 애니메이션을 생성하는 기법들이 많이 연구되고 있다.

Gleicher[20]는 한 객체의 움직임을 크기와 형태가 다른 객체의 움직임으로 변환하는 모션 리타게팅이라는 분야를 새로 열었고, 이후 많은 후속 연구들이 이 분야에서 수행되어 왔다. Shin[21] 등은 다양한 가속화 방법들을 적용하여 실시간 모션 캡처 데이터를 리타게팅하는 기법을 제안한 바 있다.

Kovar[22] 등은 모션 그래프라는 데이터베이스 구조를 제안하였는데, 모션 그래프는 주어지는 수많은 모션 캡처 데이터들을 분석하여 서로간에 전이가 가능한 수많은 동작 노드들로 구성된 그래프를 말한다. 이를 통해, 입력 단계에서는 서로 다른 모션 캡처 데이터에 속해 있더라도 자연스럽게 연결 가능한 동작들은 그래프 상에서 서로 연결될 수 있다. 이렇게 생성된 모션

그래프를 이용하면, 노드 사이의 에지들을 따라 이동하는 것만으로 기존에는 없었던 다양하고 복잡한 애니메이션을 생성할 수 있다.

Park[23] 등은 사람의 동작에 있어서 피부 레벨의 움직임을 캡처하는 기법을 제안하였다. 기존의 모션 캡처 시스템은 관절별로 부착된 센서를 읽어들이기 때문에 뼈대의 움직임만을 획득할 수 있을 뿐이어서 근육 질 육체의 미세한 움직임 등은 캡처하기가 힘들었다. 이 논문에서는 인체에 약 350개의 마커를 부착한 상태에서 피부 단계의 정밀한 움직임을 측정하는 방법을 제안하고 있다.

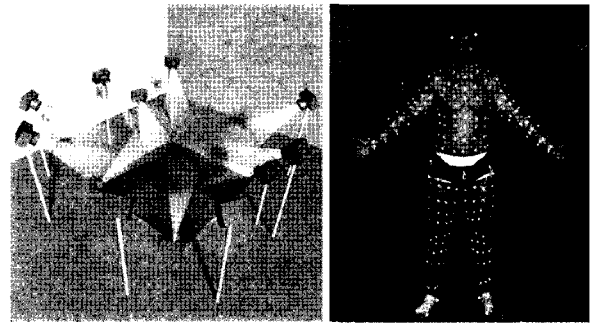


그림 6 피부 변형 캡처 시스템, 좌: 시스템 셋업, 우: 마커 부착 모습 (출처: Park[23])

모션 캡처 데이터는 주로 많은 자유도를 가진 인물이 시간에 따라 움직인 데이터를 저장하고 있어야 하기 때문에 그 데이터 크기가 방대한 편이다. 데이터 압축은 별도의 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔으나 모션 캡처 데이터에 본격적으로 적용한 사례는 별로 없었다. Arikian[24]은 모션 캡처 데이터의 압축에 적합한 알고리즘을 제안하고 이를 기존의 일반적인 데이터 압축 기법인 JPEG, Wavelet, PCA 등의 결과와 비교하고 있다.

모션 캡처 데이터의 재사용 부분에서 어려운 점 중 하나는 인물들의 개별적인 캡처 데이터로부터 동적인 대형 가상 환경을 생성하기 힘들다는 것이다. Lee[25] 등은 모션 패치라는 알고리즘을 제안하고 있는데, 모션 캡처로부터 획득된 동작들을 모션 패치라는 기본 요소로 정의하고 이들을 블록 형태로 조합하여 대형 가상공간을 구축하는 기법을 보여준다.

이를 통해 다양한 기본 동작들로 구성된 모션 데이터베이스로부터 이들이 다양한 형태로 결합되어 수많은 캐릭터들이 동시에 상호작용하면서 움직이는 가상공간을 구축할 수 있다.

#### 5. 3차원 형상의 모델링 및 조작

3차원 형상의 모델링은 컴퓨터 그래픽스의 한 축을

이루는 분야로서 오랫동안 연구되어 왔는데, 기존에는 매개변수 기반의 곡면 모델링 연구가 많이 이루어졌다. 즉, 수학적 표현을 통해서 부드러운 곡면을 모델링하는 기법이 많이 연구되었으며 Bezier 곡면이나 NURBS 등이 상용 모델링 소프트웨어에서 널리 사용되고 있다. 이러한 모델링 방법의 단점은 이들을 직접 렌더링하는 기법들이 그 구현이 복잡하거나 실행 시간이 많이 걸린다는 것이다. 최근에는 메쉬 기반의 모델링 연구가 활발히 이루어지고 있는데 이는 게임 등의 실시간 응용 분야에서의 활용성과 효과적인 조작 기법의 필요성에 기인한다. 그래서 모델링 단계에서 수학적 표현을 사용한다 하더라도 실제로 렌더링에서 활용할 때에는 삼각형 메쉬로 분할하여 사용하는 것이 일반적인 현상이 되고 있다.

메쉬 기반 모델링에서의 주요한 연구 과제로는 먼저 효과적인 메쉬화 기법들을 들 수 있다. 즉, 같은 물체를 모델링할 때 보다 삼각형의 형태가 최대한 정삼각형에 가깝게 한다든지 적은 수의 삼각형을 사용하면서도 동일한 모델링 품질을 획득하기 위한 기법들이 연구되고 있다. 또한 필요에 따라 그 정밀도가 다른 삼각형 메쉬를 선택적으로 사용하는 LOD(level of detail)를 간편하게 설정하고 조절하는 방법들도 많이 연구되고 있다.

최근의 연구 동향으로 특이할 만한 부분으로는 전통적인 모델링 방법의 제약점들을 탈피하여 일반인들이 원하는 모델을 손쉽게 만들 수 있는 기법에 대한 연구를 들 수 있다. 예를 들어, Karpenko[26] 등이 제안한 스케치 기반 모델링 기법은 일반인이 간단히 그린 2차원 외곽선 스케치 데이터로부터 적절한 3차원 형상

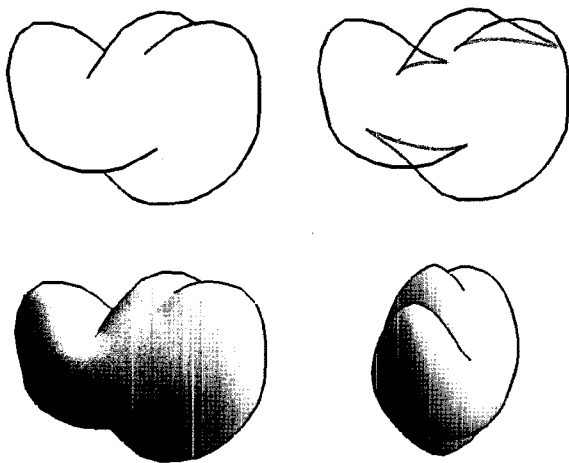


그림 7 스케치 기반 모델링, 좌로부터 원본 스케치, 숨겨진 외곽선 추정, 3D 렌더링 결과 (출처: Karpenko[26])

을 모델링할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 3차원 형상을 정의하기에는 2차원 스케치 데이터의 자유도가 충분하지 않기 때문에 사용자의 의도나 시스템에서 기본적으로 설정한 원칙들에 따라 직관적인 3차원 형상을 모델링할 수 있게 해 준다. 이 논문은 기존의 연구 [27]의 단점이었던 2차원 외곽선이 폐곡선이어야 한다는 제약을 뛰어넘고 있다.

## 6. 비사실적 렌더링

지금까지 수십 년간 컴퓨터 그래픽스는 사진과 같이 사실적인(photorealistic) 렌더링 결과를 생성하기 위한 연구를 수행해 왔는데, 그 결과 우리는 사실감이 아주 뛰어난 많은 3차원 애니메이션들을 접할 수 있게 되었다. 이러한 연구 결과들은 애니메이션이 아닌 실사 영화들에도 많이 적용되어 실사와 CG 사이의 분간을 거의 할 수 없을 정도로 발전한 컴퓨터 그래픽스 특수 효과들을 자주 볼 수 있다. 이러한 흐름은 역으로 반대 방향으로의 연구 분야도 만들어내었는데 비사실적 렌더링은 사실감에 그 의미를 두지 않고 만화나 회화 같은 스타일의 결과 영상을 생성하는 것을 그 목적으로 하고 있다. 비사실적 렌더링은 사진과 같은 2차원 영상을 입력으로 하여 일종의 영상처리 과정에 의해 결과를 생성하는 기법들과 주어진 3차원 모델을 비사실적으로 렌더링하는 기법들로 나눌 수 있다.

비사실적 렌더링은 기존의 만화나 2차원 애니메이션과 비슷한 결과를 생성하는 카툰 렌더링 또는 툰 셰이딩이라 불리는 렌더링 기법들로부터 출발하였다. 이후 고풍 스타일과 같은 유희 톤을 내는 방법들이 많이 연구되었고 최근에는 수채화 같은 느낌을 주는 렌더링 기법들도 많이 제안되고 있다. 특히 우리나라를 비롯한 동양권의 연구자들을 중심으로 동양화, 수묵 담채화 등의 스타일로 그래픽 렌더링을 수행하는 기법들 또한 많이 연구되고 있다. 최근에는 입력 비디오를 효과적으로 비사실적 스타일로 변형하는 연구들도 발표되고 있



그림 8 비디오 간략화를 통한 NPR, 좌로부터 원본 영상, 간략화 영상, 양자화 영상 (출처: Winnemoller[28])

는데, Winnemoller[28] 등은 입력 비디오를 실시간으로 간략화하고 색상값을 양자화해서 비사실적 렌더링으로 출력하는 방법을 보여주고 있다.

후백으로 되어 있는 만화에 자동으로 색상을 입히는 알고리즘도 연구되고 있다. Qu[29] 등은 많은 스트로크와 해칭, 해프톤 등을 포함하고 있는 만화 장면들에 사용자가 색상을 몇 개의 컬러 스트로크를 통해 손쉽게 지정하여 만화를 컬러화하는 기법을 제안하고 있다.

다른 그래픽 렌더링 기법들이 그러하듯이 비사실적 렌더링 기법들도 많은 시간을 필요로 하는 오프라인 렌더링 기법과 그래픽스 하드웨어를 활용하는 실시간 렌더링 기법으로 나눌 수 있는데, 실시간 렌더링 기법들도 많이 발전하여 최근에는 상용 게임들에서도 비사실적 렌더링 기법을 사용하는 경우가 늘어가는 등, 그 적용범위가 점차 늘어나고 있다.

## 7. HDR(High Dynamic Range) 영상

컴퓨터 그래픽스에서 컬러를 표현하는 가장 일반적인 방법은 픽셀별로 R, G, B 각각 8비트씩을 할당하여 24비트의 데이터를 이용하여  $2^{24}$ 가지의 컬러를 표현하는 것이다. 이 경우 R, G, B 각 채널에 대해 표현할 수 있는 색상의 강도는 0부터 255까지가 된다. 일반적인 색상을 모니터에 표현하고 프린터로 출력하는 데에는 이 정도의 정밀도면 충분하겠지만 물리적으로 의미 있는 광원의 세기 등을 표현하는 목적을 만족시키기는 힘들다. 태양광과 같은 아주 밝은 부분은 그림자 속의 어두운 부분에 비해 수만 배 이상 밝을 수 있고 이를 위해서는 정수가 아닌 실수를 사용하여 컬러를 표현하는 HDR 기법이 필요하게 된다.

Debevec[30] 등은 노출을 달리 하여 촬영한 여러 장의 사진을 합성하여 밝기 차이가 큰 픽셀들이 공존하는 영상을 표현하는 HDR에 관한 연구를 본격화시켰다. 그 후 HDR 영상은 광원을 표현하는 방법으로 많이 활용되었는데 단순한 점광원을 벗어나 HDR 영상으로 표현된 다양하고 복잡한 형태의 환경 광원을 그래픽 렌더링에 이용할 수 있다.

초기에는 소프트웨어적으로만 HDR 영상이 사용되었지만 그래픽스 하드웨어가 사용할 수 있는 텍스처 형식에 실수 타입이 추가되고 이를 활용할 수 있는 шей더 프로그래밍 기법의 사용이 본격화되면서 실시간 렌더링에도 HDR 영상이 많이 이용되고 있다.

최근에는 HDR 정지 영상의 효율적인 압축을 위한 알고리즘들[31,32]과 DVD 시스템의 확장에 활용될 수 있는 HDR MPEG 비디오의 형식과 압축에 관한 연구도 발표되었다[33].

## 8. 결 론

지금까지 컴퓨터 그래픽스 분야의 세계적 연구 동향을 간략하게 살펴보았다. 그래픽스 분야의 복합학적 특성상, 다양한 동향을 일관되게 설명할 수는 없었지만 최근에 많은 주목을 받는 분야들을 중심으로 연구 동향을 분석하였다.

실시간 그래픽스는 그래픽스 하드웨어를 이용한 렌더링과 그 응용에 관한 분야로서 게임 산업의 발전과 함께 많은 연구가 진행되고 있다. 최근에는 디지털 카메라의 보급과 그 활용도가 높아지면서 2차원 그래픽스 분야의 연구도 아주 활발해지고 있다. 또한 애니메이션과 게임에서 다양하게 활용되고 있는 모션 캡처 데이터의 효과적인 사용 방법들에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다.

컴퓨터 그래픽스의 세부 분야가 다양하게 때문에 여기에서 언급한 주요 연구 분야의 선정에는 필자의 주관적인 요소도 다소 포함되어 있음을 밝혀 두고자 한다.

## 참고문헌

- [1] Ben-Artzi, A., Overbeck, R., and Ramamoorthi, R., "Real-Time BRDF Editing in Complex Lighting.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 945-954, July 2006.
- [2] Sun, W. and Mukherjee, A., "Generalized Wavelet Product Integral for Rendering Dynamic Glossy Objects.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 955-966, July 2006.
- [3] Tsai, Y. and Shih, Z., "All-Frequency Precomputed Radiance Transfer using Spherical Radial Basis Functions and Clustered Tensor Approximation.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 967-976, July 2006.
- [4] Pellacini, F., Vidimce, K., Lefohn, A., Mohr, A., Leone, M., and Warren, J., "Lpics: A Hardware-Accelerated Relighting Engine for Computer Cinematography .", ACM Trans. on Graphics, Vol. 24, No. 3, pp. 464-470, July 2006.
- [5] Blythe, D., "The Direct3D 10 System .", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 724-734, July 2006.

- [6] Li, Y., Sun, J., Tang, C., and Shum, H., "Lazy Snapping.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 23, No. 3, pp. 303-308, August 2004.
- [7] Rother, C., Kolmogorov, V., and Blake, A., "GrabCut - Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts .", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 23, No. 3, pp. 309-314, August 2004.
- [8] Chuang, Y., Agarwala, A., Curless, B., Salesin, D. H., and Szeliski, R., "Video Matting of Complex Scenes.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 243-248, 2002.
- [9] McGuire, M., Matusik, W., Pfister, H., Hughes, J. F., and Durand, F., "Defocus Video Matting.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 567-576, July 2006.
- [10] Wang, J., Bhat, P., Colburn, A., Agrawala, M. and Cohen, M., "Interactive Video Cutout.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 585-594, July 2006.
- [11] Sun J., Li, Y., Kang S. B., and Shum, H., "Flash Matting.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 772-778, July 2006.
- [12] Joshi, N., Matusik, W., and Avidan, S., "Natural Video Matting using Camera Arrays.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 779-786, July 2006.
- [13] Perez, P., Gangnet, M., and Blake, A., "Poisson Image Editing", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 22, No. 3, pp. 313-318, 2003.
- [14] Jia, J., Sun, J., Tang, C., and Shum, H., "Drag-and-Drop Pasting.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 631-636, July 2006.
- [15] Fergus, R., Singh, B., Hertzmann, A., Roweis, S., and Freeman, W., "Removing Camera Shake From a Single Photograph.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 787-794, July 2006.
- [16] Raskar, R., Agrawal, A., and Tumblin, J., "Coded Exposure Photography: Motion Deblurring using Fluttered Shutter.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 795-804, July 2006.
- [17] Rother, C., Bordeaux, L., Hamadi, Y., and Blake, A., "AutoCollage.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 847-852, July 2006.
- [18] Cohen-Or, D., Sorkine, O., Gal, R., Leyvand, T., and Xu, Y. Q., "Color Harmonization.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 624-630, July 2006.
- [19] Bae, S., Paris, S., and Durand, F., "Two-scale Tone Management for Photographic Look.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 637-645, July 2006.
- [20] Michael, G., "Retargeting motion to new characters.", In *Proceedings Of ACM SIGGRAPH 98, Annual Conference Series*, ACM SIGGRAPH, pp 33-42, 1998.
- [21] Shin, H. J., Lee, J., Gleicher, M., and Shin, S. Y., "Computer Puppetry: An Importance-Based Approach.", *ACM Trans. On Graphics*, 20(2): 67-94, 2001.
- [22] Kovar, L., Gleicher, M., and Pighin, F., "Motion Graphs.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 473-482, July 2002.
- [23] Park, S. I. and Hodgins, J. K., "Capturing and Animating Skin Deformation in Human Motion.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 881-889, July 2006.
- [24] Arikian, O., "Compression of Motion Capture Databases.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 890-897, July 2006.
- [25] Lee, K. H., Choi, M. G., and Lee, J., "Motion Patches: Building Blocks for Virtual Environments Annotated With Motion Data.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 898-906, July 2006.
- [26] Karpenko, O. and Hughes, J. F., "SmoothSketch: 3D free-form shapes from complex sketches.", *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 589-598, July 2006.
- [27] Igarashi, T., Tanaka, H., and Matsuoka, S., "Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design.", In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 99, Annual Conference Series*,



- ACM SIGGRAPH 99, pp. 409-416, 1999.
- [28] Winnemoller, H., Olsen, S., and Gooch, B., "Real-Time Video Abstraction.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 1221-1226, July 2006.
- [29] Qu, Y., Wong, T., and Heng, P., "Manga Colorization.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 12141-1220, July 2006.
- [30] Paul, D. and Malik, J., "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs.", In Proceedings of ACM SIGGRAPH 97, pp. 369-378, August 1997.
- [31] Munkberg, J., Clarberg, P., Hasselgren, J., and Akenine-Moller, T., "High Dynamic Range Texture Compression for Graphics Hardware.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 698-706, July 2006.
- [32] Roimela, K., Aarnio, T., and Itaranta, J., "High-Dynamic-Range Texture Compression.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 707-712, July 2006.
- [33] Mantiuk, R., Efremov, A., Myszkowski, K., and Seidel, H., "Backward Compatible High-Dynamic-Range MPEG Video Compression.", ACM Trans. on Graphics, Vol. 25, No. 3, pp. 713-723, July 2006.

---

김 동 호



2003~현재 숭실대학교 미디어학부  
 조교수  
 1995~1997 (주)삼성전자 연구원  
 1993~1994 (주)큐닉스컴퓨터 연구원  
 2002 조지워싱턴대학교 전산학과 박사  
 1992 한국과학기술원 전기 및 전자공학과  
 석사  
 1990 서울대학교 전자공학과 학사  
 관심분야 : 실시간 렌더링, 게임공학,  
 애니메이션, 인터랙티브 아트  
 E-mail : dkim@ssu.ac.kr

---

• 한국소프트웨어공학 학술대회 •

- 일 자 : 2007년 2월 22~24일
- 장 소 : 용평리조트
- 내 용 : 논문발표 등
- 주 최 : 소프트웨어공학연구회
- 상세안내 : <http://selab.skku.ac.kr/~kcse07>