사진 측정에 의한 옷감의 질감 모델링 및 사실적 렌더링

(A Realistic Modeling and Rendering of Cloth Textures by Photometry)

김 민 수 † 김 대 현 †† 김 명 준 †††
(Min-Soo Kim) (Dae-Hyun Kim) (Myoung-Jun Kim)

요 약 영상 산업 분야에서 옷감의 질감 모델링과 렌더링은 영상에 사실감을 부여해주는 중요한 요소로 여겨진다. 지금까지는 옷감이나 실의 반사모델을 이론적인 방법으로 계산하거나 계측장비를 통하여 옷감의 전반적인 반사 모델을 구하여 옷감의 재질감을 표현하였다. 이론적인 방법으로는 다양한 옷감의 특성을 재현하기가 어렵고, 옷감 패턴을 견사 레벨에서 자세히 모델링해야 하므로 엄청난 계산 시간을 요한다. 기존의 계측장비를 사용할 경우, 획득된 반사모델 데이타가 너무 크고 한 점에서 측정된 반사모델을 옷감 전체의 반사모델로 사용해야 하므로 옷감의 패턴이나 결의 모양을 제대로 표현할 수 없다. 본 논문에서는 손쉽게 제작할 수 있는 측정장치를 사용하여 실제 옷감을 촬영하고 분석하여 옷감의 직조패턴까지 재현하는 사실적인 질감 모델링 및 렌더링 방법을 제안한다.

키워드 : 질감 렌더링, 질감 모델링, 반사모델, 측정장치, 직조패턴

Abstract Modeling and rendering of cloth texture have been regarded as one of the most important factors to enhance reality of the contents in the digital contents industry. So far, however, two major approaches to realistically describe the cloth texture were developed: building analytical reflectance model for target cloth and sometimes thread itself and obtaining overall reflectance model using optical equipments. However, yielding a plausible analytic reflection model satisfying many subtle characteristics of a cloth is not an easy task; moreover, fine-detailed modeling of the cloth pattern across the target clothes should also be accompanied by huge amount of computation. The method to obtain overall reflectance model needs expensive measurement equipments and data size becomes huge. Since it applies in the end the reflectance model obtained at one point of a cloth to across whole the visible area of the target clothes, it cannot properly reproduce the pattern of the clothes nor the texture. To address the aforementioned problems, this paper proposes a simple low cost camera rig and a novel method for realistic modeling and rendering of the cloth texture by analyzing photos taken by the proposed camera rig, which can reproduce even the texture pattern applied to the whole clothes, overcoming the one-point reflectance model.

Key words : Rendering, Cloth texture, BRDF

· 이 연구는 이화여자대학교 교내연구과제지원에 의한 연구임

† 학생회원 : 이화여자대학교 디지털미디어학부
ms81@chol.com
†† 정 회 원 : 이화여자대학교 디지털미디어학부
cregeo@fxcode.com
††† 정 회 원 : 이화여자대학교 디지털미디어학부 교수
mjkim@ewha.ac.kr
(Corresponding authro임)

논문접수 : 2007년 8월 2일
심사완료 : 2008년 1월 8일

Copyright@2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회논문지: 시스템 및 이론 제35권 제2호(2008.2)

1. 서 론

게임, 영화, 애니메이션, 인테리어 디자인, 패션, 디자인 등에서의 사실적인 옷감표현은 해당 컨텐츠에 사실감을 부여하는 중요한 요소이다. 물리기반 시뮬레이션 기법과 하드웨어의 발달에 따라 옷감의 움직임을 현실감 있게 시뮬레이션 하는 것이 가능하게 되었다. 하지만, 사실적인 옷감 표현을 얻기 위해서는 물리적인 움직임뿐만 아니라 옷감의 표면색깔, 재질등과 같은 질감을 사실적으로 표현해야 한다.

현재까지 사실적으로 옷감 질감을 표현하기 위한 방

법들이 많이 연구되어 왔다. 이론적인 방법으로 실의 반사 모델을 계산하여 옷감을 렌더링 하거나 옷감을 사진으로 측정하여 옷감의 전반적인 반사 모델을 알아내 렌더링 하는 연구들이 진행되어 왔다[1-11]. 실의 반사모델을 고가의 실험 장치를 이용하여 장시간에 걸쳐 측정해 알아낸다고 하더라도 최종 렌더링 결과를 얻기 위해서는 실제 옷감을 만드는 공정과 같이 기하학적으로 실을weaving하여 옷감 모델을 생성해야 한다. 이후에 얻어진 반사모델과 기하모델을 이용하여 렌더링을 수행하게 된다[5-7]. 이는 엄청난 양의 계산시간(예:7~12시간)과 데이타를 필요로 한다.

이런 정밀한 접근방법과 달리 옷감을 사진 측정하여 옷감 전체에 걸쳐 획일적으로 적용되는 반사모델(Bidirectional Reflectance Distribution Function-BRDF)을 구해 사용하기도 한다. 이런 방법들의 공통점은 최종적으로 사람의 눈에 비추어 지는 옷감의 재질감에 직조패턴이 보이지 않는다는 가정에서 출발한다는 것이다. 따라서, 옷감의 각 점에서의 반사함수는 동일하게 표현되므로 직조 패턴을 느낄 수 없게 된다.

옷감이 사람의 눈에 전달되는 시각적 특성의 자세함을 다음과 같이 macroscale, mesoscale, microscale로 구분하여 설명할 수 있다.

- macroscale: 멀리서 (수 미터 이상) 옷감을 보았을 때 느껴지는 자세함의 정도. 전반적인 반사특성에 의해 옷감의 질감이 느껴질 정도의 자세함. 이런 전반적인 재질감은 한가지의 BRDF로 모델링 할 수 있다.
- mesoscale: 육안에 옷감의 결이 보이는 자세함의 정도. 한가지의 BRDF로 옷감 전체의 질감을 표현하는 것이 불가능하다. 옷감 결의 모양을 나타내는 기하정보가 별도로 필요하다.
- microscale: 옷감을 이루는 실의 모양과 반사특성이 관찰되는 정도의 자세함. 옷감을 현미경으로 보았다고 생각하면 된다. 실의 반사 특성을 알고 있고, 실이 짜여진 기하적인 모양을 알 수 있다면, 과학적인 계산을 통해 옷감의 질감을 시각적으로 표현하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 직조패턴을 직접 모델링 할 필요 없이 간단한 사진 측정 방법을 사용하여 노말맵(normal map)형태로 직조패턴을 얻어내 옷감을 모델링하고 렌더링하는 수행 방법을 개발하였다. 이를 통하여 옷감의 결이 보이는 정도의 세밀하고 사실적인 렌더링 결과를 얻을 수 있었다.

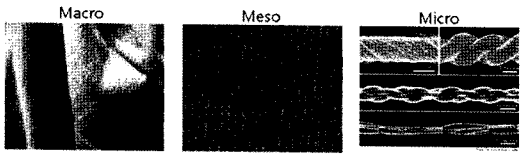


그림 1 옷감 표면의 질감 표현의 자세함

2절에서는 본 논문에 관련된 연구들을 서술한다. 옷감 모델링과 관련된 기존의 연구들을 이론적인 옷감 모델링에 의한 질감 표현 연구 방법과 측정에 의한 통한 옷감 모델링 연구 방법으로 나누어 소개하고, 이미지에서 볼체표면을 추출할 수 있는 "Shape-from-shading"방법의 기존 연구들을 살펴본다.

옷감마다 다양한 직조패턴 및 결의 모양을 수작업으로 모델링 하기는 어렵기 때문에 본 논문에서는 사진 측정에 의해 자동적으로 옷감의 질감 모델을 생성해내는 방법을 제시한다. 옷감의 결을 표현하기 위해서 옷감의 표면의 모양을 측정하여야 한다. 촬영한 이미지에서의 음영변화를 분석하여 표면의 노말맵(normal map)을 구하고 이것으로 옷감의 표면 모양을 나타낸다. 옷감에서 표면의 반사특성이 옷감 전체적으로 동일하며, 간단한 반사 모델로 렌더링이 가능하다고 가정하고, 옷감의 색상 변화를 표현하기 위해서 각 픽셀 별로 노말(normal)과 함께 반사 계수(albedo)를 측정하여 노말맵과 반사계수 맵(albedo map)을 만들어 옷감을 렌더링을 하고자 한다.

3절에서는 본 논문의 연구 방법을 서술한다. 옷감을 측정하기 위해 고안한 장치와 "Shape-from-shading" 방법을 이용하여 원본 옷감사진 이미지에서 광원의 방향과 이미지만을 이용하여 노말맵과 반사계수 맵을 추출하는 방법을 제안하였다. 이 방법으로 구한 맵들을 커다란 하나의 맵으로 만들기 위해 타일링하였을 때, 연결선이 두드러져서 보이는 문제의 해결방법을 제안한다. 노말맵에서는 측정상의 오류인 저주파성분을 추출하여 노말맵에서 제거하는 방법과 반사계수 맵에서는 타일링 시 조각사이간의 옷감 패턴 불연속성을 연속적인 패턴으로 매칭하는 방법에 대해 설명한다.

4절에서는 본 논문을 구현한 환경과 옷감을 사실적으로 렌더링 하기 위해 구현한 MentalRay Shader에 대해 기술한다. 그리고 앞장에서 제안한 방법으로 추출한 데이타들을 이용하여 Maya를 이용하여 만든 사실적인 옷감질감표현 렌더링 결과를 보여준다. 마지막으로 5절에서는 이 논문의 결론을 서술하면서 이 논문을 마친다.

2. 관련연구

2.1 이론적인 옷감 모델링에 의한 질감 표현에 대한 연구

옷감을 구성하는 실의 구조를 이론적으로 구하고, 사용자가 직조패턴을 만들어 주는 방식으로 옷감을 모델링하여 옷감의 재질감을 표현하는 연구들이 수행되었다. 옷감의 짜여진 방법에 따라 편성물과 직물로 나뉘는데

이론적인 옷감 모델링에 의한 질감 표현에 대한 연구들도 편성물과 직물에 따라 방법이 달라진다.

직물에 관한 연구들을 보면 Volevich는 원거리(far view)에서도 옷감이 정확하게 볼 수 있게micro level에서 실제 옷감의 3차원 구조를 고려하면서 lighting simulation을 통하여 렌더링을 하였다[1]. Adababa는 weaving의 구조를 보여주는 Weaving information File(WIF)을 이용하여 옷감을 모델링을 하였다. WIF에서 얻어진 기본 섬유표현과 섬유BRDF, horizon map을 혼합하여 사용자가 만든 weave패턴을 적용시켜 여러 종류의 패턴을 가진 옷감 렌더링 결과를 얻을 수 있지만 사실적이지는 않다[4].

편성물에 관한 연구들을 보면 Daubert는 실들 간의 꼬임들을 볼륨 렌더링을 표현하였다. 다룰 수 있는 패턴과 그림자효과를 이용하여 옷감을 microscale에서 렌더링을 하였다. Wang은 실의 고리들(loops)의 외형구조(geometry)와 조명모델(lighting model)을 만들어, 서로 간의 고리의 연속성을 유지하면서 옷감의 땀(stitch) 패턴과 고리들의 위치를 결정하였고, 볼륨 렌더링을 이용하여 옷감을 렌더링을 하여 사실적인 옷감 질감을 표현할 수 있지만, microscale에서 계산하기 때문에 렌더링 시간이 길다[5].

직물과 편성물의 속성을 같이 연구한 연구들도 있었다. Daubert는 옷감은 평면이 아니기 때문에, occlusion과 self-shadowing 효과가 중요하다고 생각했다. 반복되는 weaving 또는 knitting패턴을 기초로 옷감의 매쇼드를 만들어서, 하나의 땀(stitch)의 기하학적인 모델을 사용할 때, 간접적인 조명과 그림자를 포함한 조명을 이용하여 계산한다. 또 텍스처의 픽셀당 노말과 재질(material)속성과 함께 시각의존적인 텍스처(view dependent texture)를 산출하여 plane내의 땀들을 샘플링을 하여 옷감을 렌더링을 하였지만 사실적인 옷감이라 하기엔 부족함이 많다[3].

이 연구 방법들은 패턴을 적절히 만들어 여러 패턴의 옷감을 만드는 것이 가능하지만, 실제 존재하는 옷감과 일치하는 재질감을 가지도록 직조 패턴과 반사 특성을 조절하는 것이 어렵고, 여러 종류의 실의 반사 특성 모델을 일일이 구하기 어렵다. 또한 microscale에서 모델링 되었기 때문에 렌더링 시간이 오래 걸린다. 실시간으로 렌더링이 되는 연구들도 있었지만, 그 연구들은 옷감의 결을 잘 표현하지 못했다[4].

2.2 측정을 통한 옷감 모델링

실제 옷감의 반사특성을 추출하여 옷감을 모델링을 하는 연구들이 진행되었다. 이 방법은 이론적인 모델링 방법보다 실제 물체와 더 가까운 느낌을 주는 렌더링 결과를 볼 수 있다. 옷감뿐만 아니라 머리카락[12], 나무판[12]등 여러 가지 물체의 반사특성을 알아내는데 많이 이용되었다.

실제 옷감들의 반사특성을 추출하기 위해 장치들을 만들어 측정하였다. 대부분의 장치들은 옷감을 중앙에 고정시키고, 조명과 카메라를 설치하였다. 조명과 카메라는 방향을 바꿀 수 있게 만들고, 그것들의 위치를 알 수 있는 장치로 구성되어 있다. 이러한 장치를 이용하여 조명방향과 촬영 각도를 다양하게 변화시키면서 옷감을 macroscale에서 촬영하여 얻어진 데이타로부터 옷감의 BRDF를 구하여 옷감을 렌더링 하였다[8-11].

이 방법은 고가의 사진측정장치를 사용하여 비용도 많이 들며 실제 옷감을 촬영했기 때문에 실제 옷감의 패턴외의 패턴으로는 바꿀 수 없고, 한 종류의 옷감에서 조명방향과 촬영각도가 다양하기 때문에 촬영한 데이타가 많은 데도 불구하고, macroscale에서 촬영하였기 때문에 본 논문에서 원하는 정도의 옷감의 결의 자세함 정도를 잘 표현하지 못한다.

2.3 Shape from Shading(SFS)

컴퓨터 그래픽스에서 실제 물체들을 가상 물체로 만드는 방법들은 중요한 이슈이고, 아직도 많은 연구들이 진행 중이다. 실체 물체에서 가상 물체로 만들 수 있는 정보를 추출할 수 있는 단서는 shading, contour, texture, motion등이 있는데, 그 중 음영(shading)은 표면의 방향과 밀접한 관계가 있다. 음영(shading)은 이미지의 밝기의 변동이고, 이런 밝기의 변동은 표면의 방향과 광원의 방향에 따라 다르다.

이미지의 음영 정보를 통해서 물체의 표면 모습을 유추하는 방법들을 "Shape from Shading"이라 한다. Shape-from-Shading(SFS) 방법은 1970년도 Horn을 시작으로 많은 연구가 진행되었다[13]. SFS는 이미지 공간에서 픽셀의 gray-level 변화가 광원의 강도와 입사광(incident light)의 방향에 따라 비례한다는 사실을 기초로 만들어졌다.

SFS는 컴퓨터 그래픽스나 컴퓨터 비전등 많은 방면으로 발전이 되었고, SFS을 응용한 많은 연구들이 진행되었다. SFS는 달의 표면의 모습을 구하거나[14], 조각상의 표면의 모습을 구하는 데 많이 사용되었다. 기본적인 SFS는 데이타를 추출할 물체가 Lambert 반사모델을 가지며, 조명 방향을 알 수 있다고 가정하고, 조명방향을 여러 가지로 달리 하면서 고정된 카메라로 물체를 촬영한 이미지 간의 음영차이를 분석하여 물체표면의 형태나 노말(normal)을 구하는 방법이다.

Hertzmann는 이미 노말을 알고 있는 참조용 물체(구)와 대상(target)물체를 함께 촬영하여 두 물체를 서로 비교하여 대상 물체의 표면 노말을 구했는데, 이 연구는 참조용 물체와 대상 물체가 같은 BRDF, 조명은

방향성을 가지고, 카메라는 물체들을 바로 바라보고, 그림자와 투명성, 반사광(intereflections)이 없다고 가정을 한다. 같은 촬영각도에서 다양한 조명방향에 대해 한 방향당 한 장씩 사진을 촬영한다. 대상 물체의 한 픽셀에서 참조용 물체에 대응되는 픽셀을 찾아 그 픽셀에 해당하는 노말값을 대상 물체의 노말값으로 지정하여 대상 물체의 노말을 구하여 렌더링을 할 수 있다[15].

Rushmeier, Nehab는 여러 대의 카메라로 촬영하여 물체의 노말값을 구했고, 한 대의 카메라로 촬영한 데이타보다 물체의 노말값과 깊이 값(depth)을 더 정확히 구했다[16,17].

3. 실제옷감에서 가상 데이타 추출

3.1 옷감 사진 촬영을 위한 장치

옷감의 표면노말맵(surface normal map)과 color map을 추출하기 위해 그림 2와 같이 사진 촬영 장치를 만들었다. 옷감을 정면으로 바라보는 카메라와 측정할 옷감을 중심으로 둘레에 일정한 간격으로 6개의 조명을 설치했다.

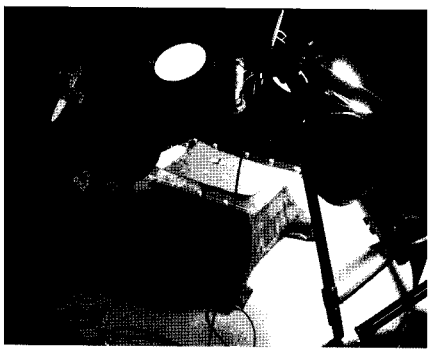


그림 2 사진 촬영 장치

또한 그림 3과 같이 옷감 옆에 구면 거울(금속 구슬)을 놓고 촬영하여, 구면에 비친 조명의 위치를 바탕으로 조명의 방향을 역산할 수 있도록 하였다. 암실 안에서 6개중 하나의 조명만을 켜고 촬영을 수행한다. 즉, 하나의 옷감에 대해 각 조명마다 한 장씩, 6장의 사진을 촬영하였다.

3.2 노말맵과 반사계수 맵의 추출

본 논문에서는 옷감의 결이 보이는 정도(mesoscale)의 자세함을 가지는 옷감의 반사 모델을 제시하고자 한다. microscale수준의 미세한 옷감 직조패턴과 반사특성을 알 수 없지만, 앞 절에서 언급한 것 같이 mesoscale에서의 옷감의 복잡한 반사면 모양을 알 수 있다면 간단한 표면 반사 모델로도 사실적인 표면 질감을 표현할 수 있다.

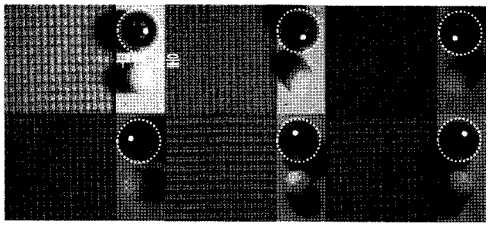


그림 3 촬영된 옷감 이미지

즉, Lambert, Phong, Blinn과 같은 간단한 표면 반사 모델과 픽셀당 계산된 노말맵을 사용하여 옷감의 질감을 표현하고, 또한, 옷감의 색상을 표현하기 위하여 각 픽셀마다 노말과 함께 반사계수를 측정하여 사용하고자 한다.

본 논문에서 제안하고 있는 알고리즘은 다음과 같은 세 개의 가정으로부터 출발한다.

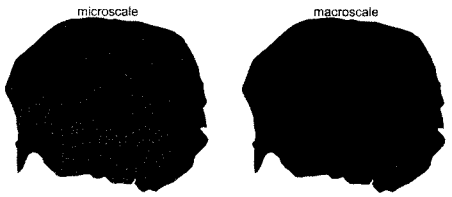
① 카메라 시선이 옷감이 놓인 면과 수직으로 고정되어 있다.

② 모든 조명의 광도는 같다.

③ 옷감표면이 mesoscale에서 관찰했을 때 Lambert반사모델을 가진다.

본 논문에서 사용하는 고해상도 디지털 카메라(Canon D350)는 원근투영(perspective projection)을 가지므로 가정 ①은 문제가 될 수 있다. 좀더 상세하게는 설명하자면, 이 가정으로부터 비롯되는 문제는 촬영한 옷감 샘플을 연결하여 하나의 완전한 옷으로 만드는 작업인 타일링(tiling)후에 연결선(seam)이 보일 수 있다는 것이다. 이런 촬영상의 에러를 제거하는 방법을 제3절에서 제시한다.

그림 4는 옷감의 견사에 플라스틱 느낌의 반사모델을 주어서 렌더링 한 결과를 보여준다. 그림 4(a)는 직조모양의 패턴수가 적을 때, 즉, microscale에서 렌더링한 결과를 보여준다. 옷감 느낌이 아닌 플라스틱을 엮은 느낌이 난다. 하지만, 직조모양의 패턴 수를 점점 늘어나면, 즉, microscale에서 macroscale로 갈수록 그림 4(b)와 같이 플라스틱 느낌이 아닌 옷감의 느낌이 난다. 이를 통해 옷감 렌더링에서 견사의 반사 모델 즉 microscale에서의 반사모델은 그다지 중요하지 않고 Lambert 반사모델



(a) (b)

그림 4 플라스틱 느낌의 반사모델을 가진 옷감

과 같이 간단히 모델링 할 수 있다고 가정할 수 있다.

i 번째 조명 $(i=1,2,\cdots,n)$으로 찍은 이미지의 픽셀 $p=(x,y)$의 밝기(intensity) $b_{p,i}$는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$b_{p,i}=E_i\rho_p\cos\theta_{p,i}=E_i\rho_p(\mathbf{N}_p\cdot\mathbf{L}_i) \quad (1)$$

여기서, E_i는 i번째 조명의 광도, ρ_p는 반사계수(albedo), $\mathbf{N_p}$는 픽셀 p의 surface 노말, $\mathbf{L}_i$는 광원의 방향이다. 위에서, 모든 조명의 광도는 같다고 가정했기 때문에, 즉, $E_i=E(i=1,2,\cdots,n)$ 이므로 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$b_{p,i}=(E\rho_p\mathbf{N}_p)\cdot\mathbf{L}_i \quad (2)$$

위의 식에서, 우리가 알고 싶은 값(unknown)은 $\mathbf{N}_p$와 E,ρ_p이다. $\mathbf{N}_p$는 3차원 벡터, $E\rho_p$는 스칼라 값이므로 이들은 하나의 벡터 $\mathbf{x}=E\rho_p\mathbf{N}_p$로 표현할 수 있다. 따라서 식 (2)는 다음과 같이 간략하게 행렬을 이용한 식으로 표현할 수 있다.

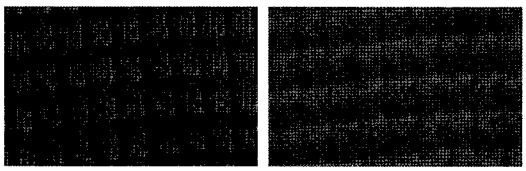
$$\begin{bmatrix}b_{p,1}\\ \vdots\\ b_{p,6}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\mathbf{L}_1^{\mathbf{T}}\\ \vdots\\ \mathbf{L}_6^{\mathbf{T}}\end{bmatrix}\mathbf{x} \quad (3)$$

식 (3)은 아래와 같이 더 간단히 쓸 수 있다.

$$b_p=\mathbf{A}\mathbf{x}_\rho \quad (4)$$

광원의 방향과 촬영된 옷감이미지의 밝기로부터 $\mathbf{A}$,$\mathbf{b}_p$가 결정된다. 식 (4)의 $\mathbf{x}_p$는 3차원 벡터이므로 방정식 미지수는 3개이다. 식의 개수(조명의 개수)가 미지수보다 많으므로 $\mathbf{A}\mathbf{x}_p=b_p$인 해가 존재하지 않을 수 있다. 이것은 광원의 밝기가 일정하지 않는 등의 오류에 기인한 것이다. 대신, $\mathbf{A}\mathbf{x}_p$와 $\mathbf{b}_p$의 거리가 최소화가 되는 값을 최소 제곱법(least squares solution)에 의해 구해낸다.

위에서 구해진 $\mathbf{x}_p$가 mesoscale에서 관찰했을 때의 옷감 표면의 노말벡터$(\mathbf{N}_p=\widehat{\mathbf{x}_p})$가 된다. $|\mathbf{x}_p|=E\rho_p$로부터 반사계수ρ_p값을 알려면, 광량 E의 측정이 필요하지만, E는 상수이므로 $E\rho_p$를 상대적인 반사계수 값으로 사용하여 반사 계수맵을 구할 수 있다. 위 방법으로 구한 노말벡터를 RGB값에 대응시켜 노말맵을 그림 5(b)와 같이 만들고, 반사계수 값도 그림 5(a)와 같이 맵으로 만든다.



(a) (b)

그림 5 반사계수 맵(a)와 노말맵(b)

3.3 타일링(Tiling)

촬영한 옷감 이미지에서 추출한 노말맵과 반사계수맵을 이용하여 옷감 렌더링을 하고자 한다. 촬영한 옷감의 이미지는 옷감의 한 조각이기 때문에 렌더링을 할 때에는 노말맵과 반사계수맵을 반복되게 연결하여 넓은 하나의 옷감으로 표현하여야 한다. 그러나 맵을 반복시켜 옷감을 렌더링을 할 때 그림 6과 같이 옷감 조각 사이의 연결선(seam)이 두드러져 보이게 되는 것을 볼 수 있다. 이렇게 연결선이 보이는 이유는 노말맵에서 측정상의 오류가 있어서이기도 하고, 옷감이 가지고 있는 패턴이 불연속성을 가지고 있기 때문이기도 하다.

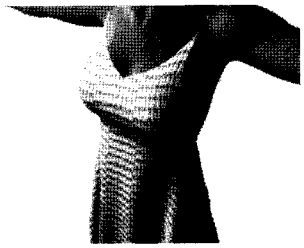


그림 6 연결선이 보이는 렌더링 결과

3.3.1 저주파(Low Frequency)성분의 제거

사람의 눈은 저주파(Low frequency)성분의 차이에 민감하고, 고주파(high frequency)성분의 차이에 민감하지 않는 특성이 있어, 옷감의 미세한 결과 같은 고주파 성분은 잘 눈에 띄지 않게 된다. 만약 옷감을 완전한 평면으로 하여 촬영을 하고, 모든 광원의 광도가 같으면, 이론적으로 노말맵의 저주파(low frequency)성분은 평면이 되어 연결선이 눈에 띄지 않아야 한다. 하지만 연결했을 때 연결선이 보였다는 것은 촬영 시에 옷감이 실제로는 완전한 평면이 아니었거나 조명들의 광도가 조금씩 달랐거나 하는 측정상의 오류가 있기 때문에 저주파성분의 차이가 생겨나서 연결선이 두드러져 보이게 된 것이다. 이러한 측정상의 오류를 없애기 위해서 노말맵에서 Gaussian blur같은 low-pass필터를 사용하여 노말맵에서 저주파 성분만을 구해낸다. 이 저주파 성분이 평면이 되도록 노말벡터를 회전시킨다. 이렇게 회전을 시킨 노말맵에는 고주파(high frequency)성분만 남

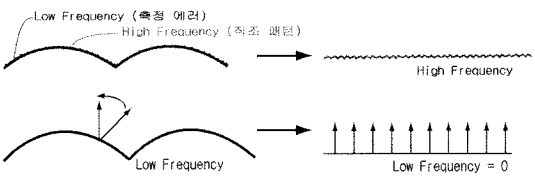
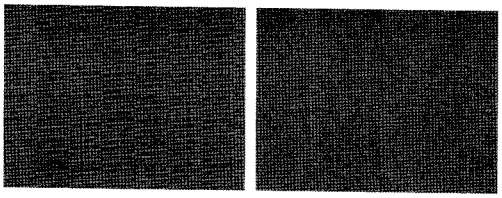


그림 7 저주파(Low Frequency)성분 제거



(a) (b)

그림 8 노말맵 오류 수정 전(a), 오류 수정 후(b)

게 되어 노말맵의 연결선이 그림 8(b)와 같이 더 이상 눈에 보이지 않게 된다.

3.3.2 패턴 매칭

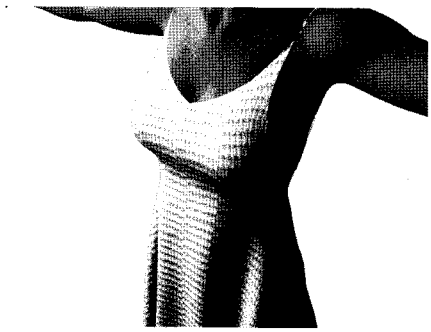
옷감은 꽈배기모양이나 중간 중간 모양을 준 직조 패턴을 가지고 있는데, 타일링시에 이런 패턴이 불연속적이게 연결이 되었기 때문에 반사계수 맵의 연결선이 두드러져 보이게 되는 것이다. 그러므로 불연속적이게 연결된 조각들을 연속적이게 연결한다면 반사계수맵의 연결선이 보이지 않게 될 것이다. 그림 9(a)를 한 종류의 타일(tile)이라 가정하면, 이 타일의 색(color)값을 $T(u,v)$, $0 \le u \le 1, 0 \le v \le 1$으로 표현할 수 있다. 이음선이 보이지 않게 타일링하기 위해서는 좌우의 경계선과 상하의 경계선의 패턴이 각기 일치 하여야 하므로 다음의 조건을 동시에 만족하여야 한다.

$$\mathbf{T}(u,0) = \mathbf{T}(u,1) \quad (5)$$

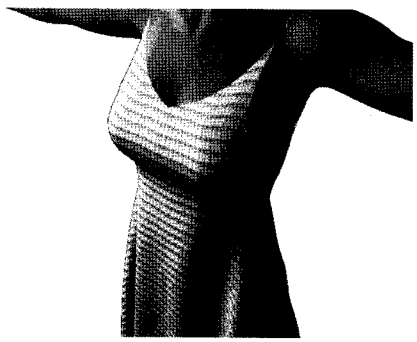
$$\mathbf{T}(0,v) = \mathbf{T}(1,v) \quad (6)$$

식 (5)는 타일 상하 경계의 이음선, 식 (6)은 좌우의 경계의 이음선을 일치시키기 위한 조건이다. 그림 9(b)와 같이 세로 방향으로 타일링을 해보면 일반적으로 식 (5)를 만족하지 않는다. 따라서 아래쪽 타일을 이동하여 그림 9(c)와 같이 상하 이음선 사이에서 패턴이 일치하도록 한다. 이때 위쪽 타일에서 평행사변형 (a,b,c,d)를 그림 9(d)와 같이 잘라내고, 그림 9(e)와 같이 사각형 모양으로 와핑(warping)을 하면 세로 방향으로 이음새 없이 연결 가능한 새로운 타일 조각이 된다. 같은 방법을 가로 방향으로도 적용하면 가로 방향으로도 이음새 없이 타일링되는 맵을 구할 수 있게 된다.

위 두 방법으로 수정한 노말맵과 반사계수 맵으로 옷



(a)



(b)

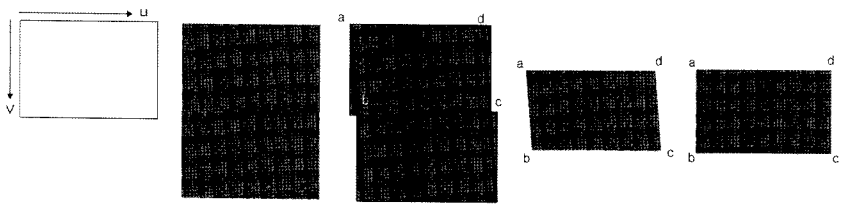
그림 10 오류 수정 전(a)과 오류 수정 후(b) 렌더링 결과

감 렌더링을 하게 되면 그림 10(b)와 같이 연결선이 안 보이는 결과를 얻을 수 있다

4. System 구성과 실험결과

4.1 구현 환경

프로그램구현과 렌더링에 사용한 컴퓨터 사양은 Pentium 4 2.0GHz, Geforce 5400, RAM 1G이다. 맵 생성 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 구현하였으며, 옷감의 렌더링을 위해 3차원 의상을 쉽게 만들 수 있는 도구를 제공하는 Maya를 사용하였다. 옷감을 사실감 있게 렌더링하기 위해서는 본 논문에서 생성한 맵을 사용하는 쉐이더(shader)를 구현해야 한다.



(a) (b) (c) (d) (e)

그림 9 반사계수 맵 매칭

이를 위해 Maya에 포함된 MentalRay Shader기능을 이용하여 cloth shader를 구현하였다.

옷감을 촬영한 원본 사진의 1장당 크기는 17.2MB (3008×2000)이고, 노말맵과 반사계수맵으로 추출한 이미지의 크기는 평균 2.63MB(1200×820)이다. 노말맵을 구하는 시간은 평균18초이며, 640×480크기로 렌더링하는 시간은 평균 40초이다.

4.2 실험 결과

Maya Cloth툴로 만든 옷에 앞 절에서 만든 재질을 적용시켜 렌더링을 하였다. 그림 11~그림 15에서 좌측 옷감 이미지는 실제 옷감 사진이고, 우측은 Maya를 이용하여 렌더링한 결과이미지이다. 노말 측정 시에는 옷감이 Lambert 모델이라고 가정하였지만, 렌더링 시에는 Phong, Blinn등 간단한 반사모델을 사용하여 렌더링을 한다.

렌더링 결과 그림에 대해 설명하면, 그림 11과 그림 15는 편성물의 종류인 옷감을 렌더링을 한 결과이다. 편성물은 한 가닥의 실 또는 그 이상의 실로 수평 방향으로 고리(loop)형태를 만들어 고리들을 차례대로 연결하여 짜여진 조직을 말한다. 이런 편성물(니트류)의 옷감들은 직물(면,마등)의 옷감들에 비해서 볼륨감을 가진다. 그림 11, 그림 15 결과 이미지를 보면, 다른 직물의 옷감 렌더링 결과보다 볼륨감을 가지는 것을 볼 수 있다.

그림 12는 삼베를 렌더링한 결과 이미지이다. 이와 같이 옷감에 구멍이 뚫린 마 종류의 옷감들은 구멍이 없는 다른 옷감들과 실험방법이 다른데, 그 방법은 마 종류의 옷감 뒤에 두 가지의 다른 색을 가진 배경을 놓아서 촬영하는 것이다. 다른 배경으로 촬영한 두 이미지들 간의 차이 값을 투명값(alpha)으로 저장시킨 이미지를 사용하여 렌더링을 수행하면 그림 12와 같이 구멍 뚫린 옷감 렌더링 결과를 얻을 수 있다.

그림 13은 실크를 렌더링한 결과 이미지이다. 실크의 특징은 빛의 방향에 따라 같은 위치에서 다르게 옷감이 보이는 것인데, 즉, 실크의 반사모델이 비등방성(anisotropy)의 성질을 가지는 것이다.

그림 14는 두 가지의 다른 실로 짜여진 옷감의 렌더

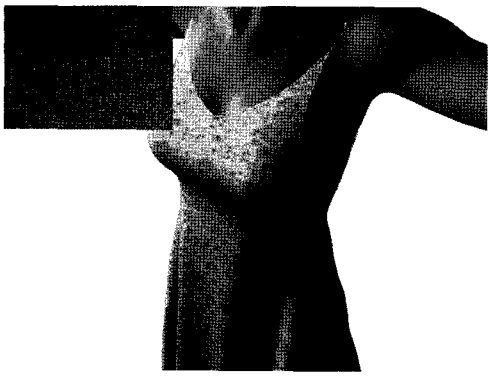


그림 11 볼륨감을 가지는 편성물의 실제 옷감(좌)과 렌더링 결과(우)

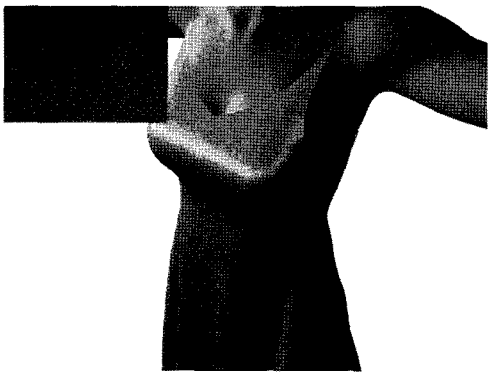


그림 13 반사모델이 비등방성을 가지는 실크의 실제 옷감(좌)과 렌더링 결과(우)

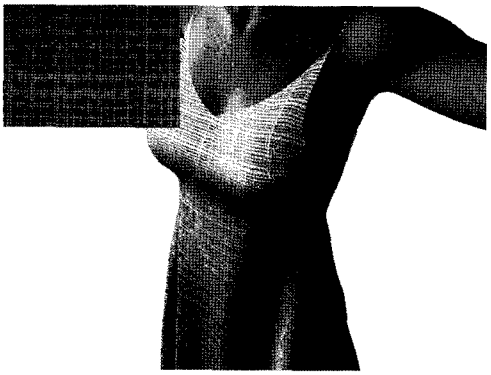


그림 12 구멍이 뚫린 삼베의 실제 옷감(좌)과 렌더링 결과(우)

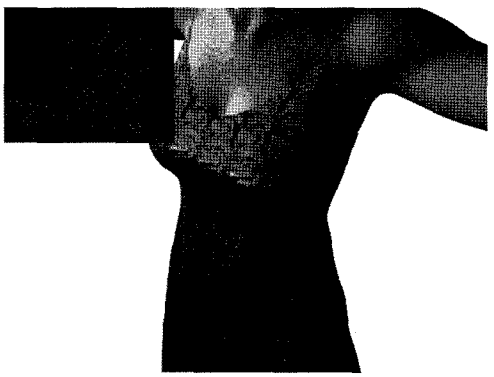


그림 14 두 가지의 다른 반사모델을 가진 실로 짜여진 옷감의 실제 옷감(좌)과 렌더링 결과(우)

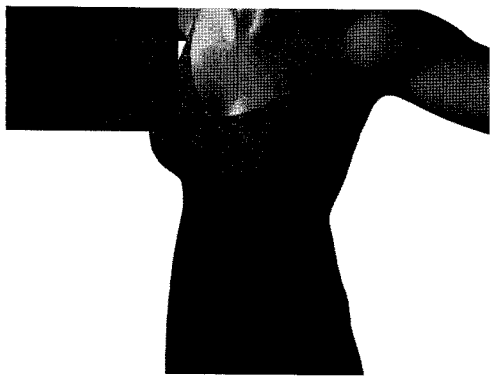


그림 15 볼륨감을 가지는 편성물의 실제 옷감(좌)과 렌더링 결과(우)

링한 결과이다. 이 두 가지 실은 반사모델이 서로 다른데도 불구하고, 렌더링이 된 이미지를 보면 원래 옷감의 느낌을 잘 살려내는 것을 볼 수 있다.

기존의 연구들은 고가의 장치를 필요로 하거나, 옷감을 구성하는 실의 구조를 이론적으로 계산하여 모델링한다. 같은 옷감에 대하여 기존 연구의 방법으로 모델링하고 렌더링하여 본 논문의 결과와 비교하는 것은 어려운 일이나, 기존에 연구에서 사용된 옷감과 유사한 옷감에 대해 본 논문의 방법으로 렌더링하고 기존의 렌더링 결과와 비교하였다. 아래의 그림 16은 편성물과 실크에 대한 렌더링 결과를 다른 연구 방법들과 비교한 것이다.

그림 16을 보면 기존 연구들의 결과들이 사실적으로 재질감을 구현하였다고 할 수 있으나, 본 연구의 방식이 더 간단한 방법으로 비슷한 효과를 낼 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 간단한 사진 측정장치를 사용하여 여러 종류의 옷감에 대해 짧은 시간 안에 옷감의 질감을 미세한 질감이 느껴질 정도로 사실적으로 모델링하고 렌더링을 하는 방법을 연구하였다.

옷감의 패턴을 직접 모델링을 하는 대신 세밀한 노말맵으로 옷감의 결을 모델링하고, 렌더링을 하는 방법을 제시하였다. 옷감의 세밀한 결을 수작업으로 모델링을 하는 것이 불가능하고, 옷감의 종류가 다양하기 때문에 옷감의 사진을 촬영하고, 촬영된 이미지간의 음영으로부터 옷감표면의 세밀한 노말맵과 반사계수 맵을 구하는 방법을 제시하였다. 이 맵들은 옷감의 한 부분인 조각이기 때문에 타일링하여 큰 옷감으로 만들어야 하는데 타일링시 조각 맵 사이의 연결선이 두드러져 보이는 문제가 생기기 때문에 그대로 사용할 수 없어 연결선 제거 방법을 제안했다.

향후 연구로는 벨벳(velvet),새미(chamois)등 털이 있거나 털로 짜여진 옷감의 모델링 및 렌더링을 들 수 있다. 현재의 방법으로는 털이 없는 옷감만 모델링되기 때문에 새로운 노말맵 추출 방법이 연구가 수행되어야한다.

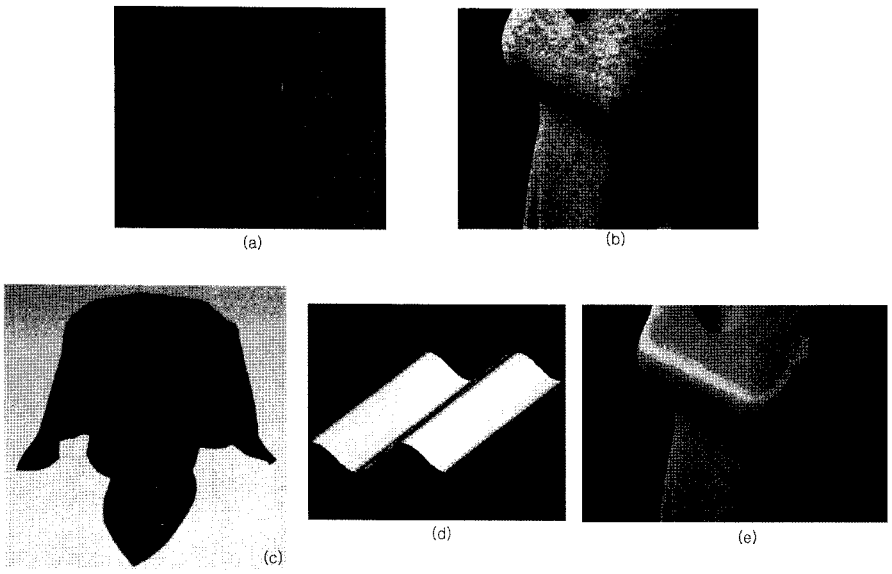


그림 16 (a) Sattler[11]의 결과물(편성물), 측정을 통한 연구방법, (b) 본 연구의 결과물(편성물), (c) Ashikhmin[18]의 결과물(실크), 이론적 모델링을 통한 연구방법, (d) Mukaigawa[19]의 결과물(실크), 측정을 통한 연구방법 (e) 본 연구의 결과물(실크)

참 고 문 헌

[1] V.L. Volevich, Edward A. Kopylov, Andrei B. Khodulev, Olga A. Karpenko, An Approach to Cloth Synthesis and Visualization, International Conference on Computer Graphics and Visualization, pp. 45-49, 1997.

[2] N.Adabala, Nadia Magnenat-Tahlmann, Guangzheng Fei,Visualization of Woven cloth, Eurographics Symposium on Rendering, pp. 178-185, 2003.

[3] K.Daubert, Hendrik P.A.Lensh,Wolfgang Heidrich, Hans-Peter Seidel, Efficient Cloth Modeling and Rendering, EG Rendering Workshop, pp. 63-70, 2001.

[4] N.Adabala,Nadia Magnenat-Tahlmann, Guangzheng Fei, Real-time Rendering of Woven Clothes, ACM VRST, pp. 41-47, 2003.

[5] Y.Wang, Photo-realistic Rendering of Towels using Layered Modeling Method, CSEE, UMBC

[6] K.Daubert, Hans-Peter Seidel, Hardware-based Volumetric Knit-Wear, Eurographics Symposium on Rendering, Vol.21, pp. 575-583, 2002.

[7] Y.Chen, Stephen Lin, Hua Zhong, Realistic Rendering and Animation of Knitwear. IEEE Trans. Vis. Comput. Graph, pp. 43-55, 2003.

[8] G.Borshukov, Measured BRDF in Film Production - Realistic Cloth Appearance for "The Matrix Reloaded," SIGGRAPH Sketches and Applications, 2003.

[9] Y.Takeda, Shinsaku Toyoda, Yu Matsuda, Hiromi T.Tanaka, An Image-based Anisotropic Reflection Modeling of Textile Fabrics based on the Extended KES method, ICCV, 2003.

[10] J.Meseth, Gero Muller,Reinhard Klein, Preserving Realism in real-time rendering of Bidirectional Texture Functions, OpenSG Symposium, pp. 89-96, 2003.

[11] M.Sattler, Ralf Sarlette,Reinhard Klein, Efficient and Realistic Visualization of Cloth, Rendering Techniques, pp. 167-177, 2003.

[12] Yichen Wei, Eyal Ofek, Long Quan, Heung-Yeung Shum, Modeling Hair from multiple Views, SIGGRAPH, Vol.24., pp. 816-820, 2005.

[13] B.K.P.Horn, Shape from Shading : A Method for Obtaining the Shape of Smooth Opaque Object from One View, MIT Press, 1970.

[14] Berthold K.P.Horn, Height and Gradient from shading, International Journal of Computer Vision, Vol.5, pp. 37-75, 1990.

[15] A,Hertzmann, Steven M.Seitz, Shape and materials by Example : A photometric Stereo Approach, IEEE CVPR, Vol1. pp. 533-540, 2003.

[16] H.Rushmeier, F.Bernardini, Computing Consistent Normals and Colors from Photometric Data, IEEE, pp. 99-108, 1999.

[17] D.Nehab, Szymon Rusinkiewicz, James Davis, Ravi Ramamoorthi, Efficiently Combining Positions and Normals for Precise 3D Geometry, Siggraph, pp. 536-543, 2005.

[18] Michael Ashikhmin, Simon Premoze, Peter Shirley, A microfacet-based BRDF generator, SIGGRAPH, pp. 65-74, 2000.

[19] Y.Mukaigawa, K.Sumino, Y.Yagi, High-Speed Measurement of BRDF using an Ellipsoidal Mirror and a Projector,Proc. IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS2007), 2007.

[20] Tomas Akenine-Moller, Eric Haines. Real-Time Rendering, AK Peters, 2002.

[21] Donald H. House and David E. Breen, Cloth Modeling and Animation, AK Peters, 2000.

[22] S.R.Marschner, Stephen H.Westin, Adam Arbree, Jonathan T. Moon, Measuring and Modeling the Appearance of Finished Wood, SIGGRAPH, pp. 727-734, 2005.

[23] S.H.Westin, James R.Arvo, Kenneth E.Torrance, Predicting Reflectance Functions from Complex Surfaces, SIGGRAPH, pp. 255-264, 1992.

[24] Nicodemus, JC Richmond, JJ Hsia, IW Ginsberg, T. Limperis, Geometric Considerations and Nomenclature for Reflectance, National Bureau of Standards, pp. 194-196, 1977.

[25] L.Clauster,Yannick Boucher, Mathias Paulin, Spectral BRDF modeling using wavelets, SPIE, Vol.4738, pp. 33-43, 2002.

[26] Andrew S. Glassner, Principles of digital image synthesis Vol.2, Morgan Kaufmann, 1995.

[27] R.Zhang, Ping-Sing Tsai,James Edwin Cryer, Mubarak Shah, Shape from Shading : A Survey, IEEE Trans, Vol.PAMI-21, No.8, Aug., pp. 690-706, 1999.

[28] O.Drbohlav, Radim Sara, Specularities Reduce Ambiguity of Uncalibrated Photometric Stereo, Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, Vol.2, pp. 46 - 60, 2002.

[29] S.Rusinkiewicz, A Survey of BRDF Representation for Computer Graphics, Stanford University, 1997.

김 민 수

2004년 호서대학교 게임공학과 학사. 2006년 이화여자대학교 디지털미디어학부 석사. 관심분야는 컴퓨터그래픽스, 게임 프로그래밍

김 대 현

1994년 국립서울산업대학교 전산과 학사 1995년 고려대학교 컴퓨터학과 대학원 석사. 2004년 독일 Bremen 대학교 공학 박사. 1991년~1999년 한국전자통신연구원 연구원. 2004년~2006년 (재)그래픽스 연구원 선임연구원. 2006년~현재 이화여자대학교 연구원. 관심분야는 컴퓨터그래픽스

김 명 준

1989년 한국과학기술대학 전산학과 학사 1991년 한국과학기술원 전산학과 석사 1996년 한국과학기술원 전산학과 박사 1996년~1997년 University of Washington 연구원. 1997년~1998년 시스템 공학연구소 선임연구원. 1998년~2000년 한국전자통신연구원 선임연구원. 2000년~2001년 (주)엔룩스 연구소장. 2001년~현재 이화여자대학교 디지털미디어학부 부교수. 관심분야는 컴퓨터그래픽스, 물리기반 애니메이션, 게임 프로그래밍