

사진 측정에 의한 옷감의 질감 모델링 및 사실적 렌더링

김민수⁰ 김명준
 이화여자대학교 디지털미디어학부
 ms81@chol.com⁰ mjkim@ewha.ac.kr

A realistic modeling and rendering of cloth textures by photometry

Min-Soo Kim⁰ Myoung-Jun Kim
 Division of Digital Media, Ewha Womans University

요 약

본 논문에서는 옷감의 결이 보이는 정도의 자세함을 가지는 옷감의 표면 질감 모델을 제안한다. 촬영한 옷감 이미지에서 "Shape from Shading" 기법을 이용하여 표면의 노말맵과 반사 계수 맵을 추출하고, 이 맵을 짜깁기(tiling)하였을 때 연결자리(Seam)가 보이는 것을 방지하기 위하여 주파수 성분 분석에 의해 맵의 오류 성분을 제거한다. 이 방법을 통하여 다양한 종류의 옷감을 짧은 시간 안에 렌더링 할 수 있게 된다.

1. 서론

영상 산업 분야에서 영화, 애니메이션, 게임 등에 등장하는 캐릭터의 의상 및 직물은 영상에 사실감을 부여해주는 중요한 요소이다. 하드웨어의 발달에 따라 옷감의 움직임을 현실감 있게 시뮬레이션 하는 것이 가능하게 되었다[13]. 이러한 옷감의 물리적 움직임에 더하여, 사실적으로 옷감 질감을 표현하기 위한 방법들이 연구되어 왔다[1,2,3,4,5,6,7,8]. 옷감은 종류도 많을 뿐만 아니라 복잡한 직조로 되어 있어서 간단한 반사모델로 옷감의 사실적인 질감을 표현하기는 어렵다.

옷감이 사람의 눈에 전달되는 시각적 특성의 자세함(details)을 다음과 같이 macroscale, mesoscale, microscale로 구분하여 설명할 수 있다(그림 1).

macroscale: 멀리서(수 미터 이상) 옷감을 보았을 때 느껴지는 자세함의 정도. 전반적인 반사 특성에 의해 옷감의 질감이 느껴질 정도의 자세함. 이런 전반적인 재질감은 BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function, 양방향 반사도 분포함수)로 모델링 할 수 있다.

mesoscale: 육안에 옷감의 결이 보이는 자세함의 정도. 하나의 BRDF로 옷감 전체의 질감을 표현하는 것이 불가능하다. 옷감 결의 모양을 나타내는 기하정보가 필요하다.

microscale: 옷감을 이루는 실의 모양과 반사 특성이 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 옷감을 결이 보이는 정도의 자세함(mesoscale)에서, 옷감의 질감을 표현하는 반사 모델을 구현하려 한 이 연구는 이화여자대학교 교내연구과제지원에 의한 연구임.

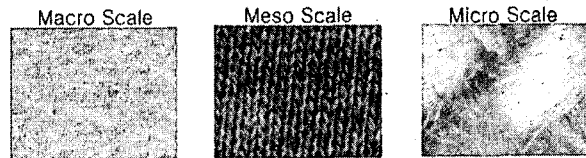


그림 1. 옷감 표면의 질감 표현의 자세함 정도

다. 옷감마다 다양한 직조패턴 및 결의 모양을 수작업으로 모델링 하기는 어렵기 때문에, 본 논문에서는 사진 측정에 의해 자동적으로 옷감의 질감 모델을 생성해내는 방법을 제시한다. Mesoscale에서 옷감의 결을 표현하기 위해서 옷감의 표면의 모양을 측정하여야 한다. 촬영한 이미지에서의 음영을 분석하여 표면의 노말맵을 구하고 이것으로 옷감의 표면 모양을 나타낸다.

표면의 반사특성은 옷감 전체적으로 동일하고, 또한 간단한 diffuse/specular 반사 모델로 렌더링이 가능하다고 가정한다. 이때 옷감의 색상 변화를 표현하기 위해서 각 픽셀 별로 노말과 함께 반사계수(albedo)를 측정한다.

2. 관련연구

2.1. 이론적인 옷감 모델링에 의한 질감 표현

옷감을 구성하는 실의 반사 특성 함수(BRDF)와 직조 패턴을 이론적으로 모델링하여 옷감의 재질감을 표현하는 연구가 수행되었다[1,2,3,4]. 패턴을 적절히 만들어 여러 종류의 느낌이 나는 옷감을 만드는 것이 가능하지만, 실제 존재하는 옷감과 일치하는 재질감을 가지도록 직조 패턴과 반사특성을 조절하는 것이 어렵고 시간이 많이 든다. 또한 microscale에서 계산하기 때문에 렌더링 시간이 오래 걸린다.

2.2. 측정을 통한 옷감 모델링

실제 옷감의 전반적인 반사특성함수(macro-scale BRDF)를 측정하여 옷감을 렌더링하는 방법이 연구되었다[5,6,7,8]. 조명 방향과 촬영 각도를 다양하게 변화시키면서 옷감을 촬영하여 얻어진 데이터로부터 옷감의 BRDF를 구한다. 이 방법은 옷감의 패턴을 바꿀 수 없고 한 종류의 옷감에서 촬영한 데이터가 많은 데도 불구하고 옷감의 결을 표현하지 못한다.

2.3. Shape from Shading

일반적으로 이미지의 음영을 통해 물체의 표면 모습을 유추하는 방법들을 "Shape from Shading" 이라 한다[14]. 고정된 카메라로 조명방향을 여러가지로 달리 하면서 물체를 촬영한 이미지 간의 음영 차이를 분석하여 물체표면의 노말을 구하는 방법들이 연구되었다[10,11,12]. 또한 이미 노말을 알고 있는 참조용 물체와 함께 촬영하여 두 물체를 서로 비교하여 물체의 표면 노말을 구하거나[11] 여러 대의 카메라로 촬영한 이미지를 서로 비교하여 물체 표면의 노말을 구하는 방법들이 있다[10,12].

3. 옷감 사진 촬영을 위한 장치

옷감의 surface normal map과 color map을 추출하기 위해 그림 2과 같은 사진 촬영 장치를 만들었다. 옷감을 정면으로 바라보는 카메라와 일정한 간격으로 놓인 6개의 조명을 설치했다.

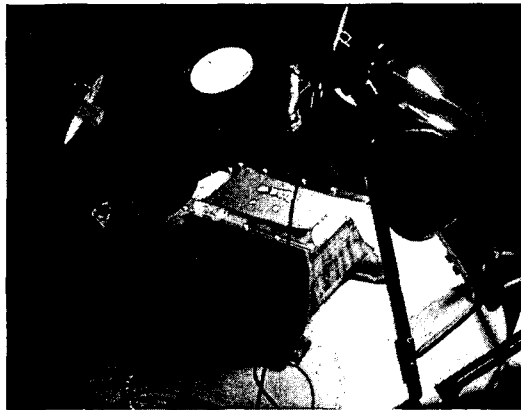


그림 2. 사진 촬영 장치

또한 옷감 옆에 구면 거울(금속 구슬)을 놓고 촬영하여, 구면에 비친 조명의 위치를 바탕으로 조명의 방향을 알 수 있도록 하였다(그림 3).



그림 3. 촬영된 옷감 이미지

암실 안에서 6개 중 하나의 조명만을 켜고 촬영을 수행한다. 즉, 하나의 옷감에 대해 각 조명마다 한 장씩, 6장의 사진(그림 3)을 촬영하였다.

4. 노말(normal)과 반사계수(albedo) 맵의 추출

본 논문에서는 옷감의 결이 보이는 정도(meso-scale)의 자세함을 가지는 옷감의 반사 모델을 제시하고자 한다. Micro-scale에서의 미세한 옷감 직조패턴과 반사특성을 알 수는 없지만, meso-scale에서의 옷감의 복잡한 반사면 모양을 알 수 있다면 간단한 표면 반사 모델로도 사실적인 표면 질감을 표현할 수 있다고 가정한다. 즉, diffuse/specular와 같은 간단한 표면 반사 모델과 픽셀당 계산된 노말맵을 사용하여 옷감의 질감을 표현하고자 한다. 또한, 옷감의 색상을 표현하기 위하여 각 픽셀마다 노말과 함께 반사계수를 측정하여 사용한다.

카메라 시선이 옷감이 놓인 면과 수직으로 고정되어 있고, 모든 조명의 광도가 같고, 옷감 표면이 meso-scale에서 관찰했을 때 Lambertian 반사모델을 가진다고 가정하면, i 번째 조명($i=1,2,\dots,n$)으로 찍은 이미지의 픽셀 $p=(x,y)$ 의 밝기(intensity) $b_{p,i}$ 는 다음과 같은 식으로 표현된다[12].

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

여기서, E_i 는 i 번째 조명의 광도, ρ_p 는 반사계수(albedo), \mathbf{N}_p 는 픽셀 p 의 surface 노말, \mathbf{L}_i 는 광원의 방향이다.

위에서, 모든 조명의 광도는 같다고 가정했기 때문에, 즉, $E_i = E$ ($i=1,\dots,n$)이므로 (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_p 이다. \mathbf{N}_p 는 3차원 벡터, E, ρ_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 행렬식으로 표현할 수 있다.

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

식 (3)은 아래와 같이 더 간단히 쓸 수 있다.

$$\mathbf{b}_p = \mathbf{A} \mathbf{x}_p \quad (4)$$

광원의 방향과 촬영된 옷감이미지 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 $\mathbf{A} \mathbf{x}_p = \mathbf{b}_p$ 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 제곱법에 의해 구해낸다.

\mathbf{x}_p 의 방향이 옷감표면의 노말벡터($\mathbf{N}_p = \hat{\mathbf{x}}_p$)가 된다. $|\mathbf{x}_p| = E \rho_p$ 로부터 반사계수 ρ_p 값을 알려면, 광량 E 의 측정이 필요하지만, E 는 상수이므로 $E \rho_p$ 를 상대적인 반사계수 값으로 사용할 수 있다.

5. 맵의 짜집기(Tiling)

촬영한 옷감의 이미지는 옷감의 한 조각이기 때문에 렌더링

을 할 때에는 위 방법으로 생성한 맵을 반복되게 연결하여 넓은 옷감을 표현하여야 한다. 그러나 맵을 반복시켰을 때 조각사이의 연결자리(Seam)가 두드러져 보이게 되는데 그 이유는 노말맵에 측정상의 오류가 있기 때문이다.

사람의 눈은 저주파(low frequency)성분의 차이에 민감하고, 고주파(high frequency)성분의 차이에 민감하지 않는 특성이 있어, 옷감의 미세한 결과 같은 고주파성분이 맵조각의 연결 자리에서 잘 눈에 띄지 않게 된다. 만약 옷감을 완전한 평면으로 하여 촬영을 했다면, 이론적으로 low frequency성분은 "0"이 되어 연결자리가 눈에 띄지 않아야 한다. 촬영시 옷감이 실제로는 완전한 평면이 아니었거나 조명들의 광도가 조금씩 달랐거나 하는 측정상의 오류가 있기 때문에 저주파성분의 에러가 생겨난 것이다. 측정오류를 없애기 위해 노말맵에서 losspass필터를 사용, 저주파성분을 추출하여 빼버린다. 그렇게 하면 노말맵은 직조 패턴(high frequency)만 남게 되어서 연결자리가 눈에 잘 띄지 않게 된다(그림4).

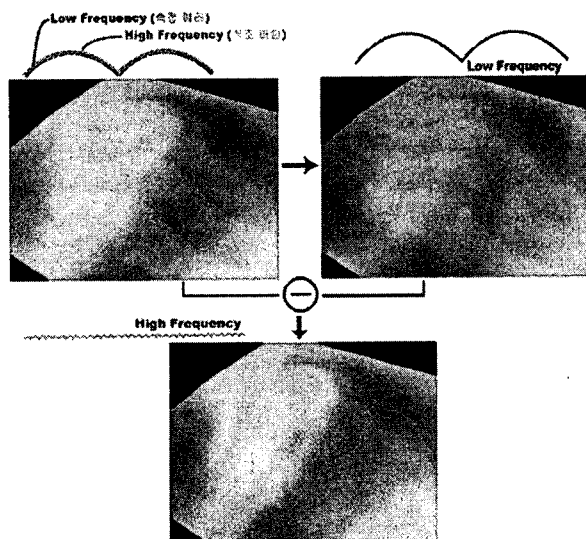


그림 4. 옷감 텍스처의 짜깁기에서 연결자리 제거하기

6. 실험결과

그림 5는 생성된 노말맵과 반사 계수 맵을 사용하여 옷감을 렌더링한 결과이다. 그림에서 좌측은 실제 옷감의 사진이고, 우측은 렌더링 결과이다. 노말 측정 시에는 Lambert 반사 모델만 가정했지만 렌더링 시에는 Phong, Blinn, Lambert 등 다양한 반사모델을 사용하여 렌더링한다. 예제의 렌더링에 Maya6.0과 MentalRay가 사용되었다.

7. 결론 및 향후 과제

본 논문은 옷감들을 촬영한 이미지에서의 노말맵과 반사 계수 맵을 추출하고, 이 맵을 짜깁기(tiling)하였을 때 경계가 두드러지게 하는 에러 성분을 제거하는 방법을 제안하였다. 이런 방법으로 짧은 시간 안에 여러 종류의 옷감을 쉽게 모델링 할 수 있었다.

더 나아가 사진 촬영으로 벨벳, 세무 등 털로 짜여진 옷감을 모델링 할 수 있는 연구가 되어져야 한다. 현재의 방법으로는 깊이(depth)가 없는 옷감만 모델링이 되기 때문에 새로운 표면 노말맵 추출이 연구되어야 한다.

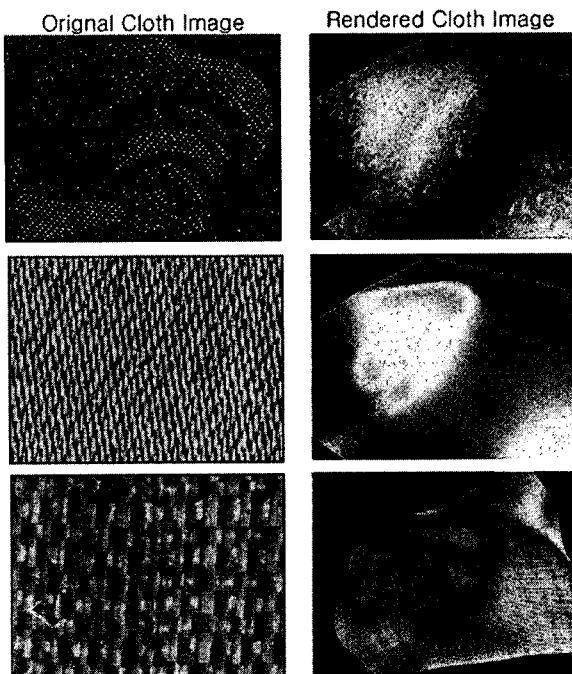


그림 5. 원본옷감의 사진(좌), 렌더링된 옷감(우)

참고문헌

- [1]K.Daubert,H.P.A.Lensh,W.Heidrich,and H.-P.Seidel,"Efficient Cloth Modeling and Rendering", EG Rendering Workshop 2001
- [2]K.Daubert and H.-P.Seidel. "Hardware-based volumetric knitwear.",EUROGRAPHICS, 2002.
- [3]V.L.Volevich,E.A.Kopylov,A.B.Khodulev,and O.A.Karpenko " An Approach to Cloth Synthesis and Visualization", International Conference on Computer Graphics and Visualization, 1997.
- [4]N.Adabala,N.Magnenat-Thalmann, and Guangzheng Fei, "Real-time Rendering of Woven Clothes", ACM VRST,2003
- [5]M.Sattler,R.Sarlette and R.Klein, "Efficient and Realistic Visualization of Cloth", Rendering Techniques, 2003
- [6]J.Meseth, G.Muller and R.Klein, "Preserving Realism in real-time Rendering of Bidirectional Texture Functions", OpenSG Symposium, 2003
- [7]Y.Takeda,S.Toyoda,Yu Matsuda,H.T.Tanaka "An Image-based Anisotropic Reflection Modeling of Textile Fabrics based on the Extended KES method", ICCV, 2003
- [8]G.Borshukov "Measured BRDF in Film Production - Realistic Cloth Appearance for The Matrix Reloaded, SIGGRAPH Sketches and Applications, 2003
- [9]S.H.Westin,J.R.Arvo and K.E.Torrance, "Predicting Reflectance Functions from Complex Surfaces",SIGGRAPH, 1992
- [10]H.Rushmeier and F.Bernardini,"Computing Consistent Normals and Colors from Photometric Data,IEEE 1999
- [11]A.Hertzmann and S.M.Seitz "Shape and Materials by Example: A Photometric Stereo Approach", IEEE CVPR,2003
- [12]O.Drbohlav, and R.Sara, "Specularities Reduce Ambiguity of Uncalibrated Photometric Stereo.",Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision, vol.2, pp.46-60, 2002.
- [13]P.Volino,N.Magnenat-Talmann, "Developing Simulation Techniques for an Interactive Clothing System",Proc.VSMM'97,1997
- [14]B.K.P.Horn and M.J.Brooks, "Shape from Shading" MIT Press,1989