

사용자 인지 실험 기반 셰이딩 알고리즘 평가

Shading Algorithm Evaluation based on User Perception

변혜원, 박윤영
성신여자대학교 IT학부

Hae Won Byun(hyewon@sungshin.ac.kr), Yun Young Park(yunyoung@sungshin.ac.kr)

요약

본 논문에서는 기존에 제시된 셰이딩 알고리즘들이 음영 표현을 통해 3차원 물체의 형태를 효과적으로 전달하는지 평가하고 검증한다. 8가지 스타일로 셰이딩된 10개의 3차원 물체 중의 한 개의 이미지를 사람들에게 보여주고 물체 표면의 여러 곳의 위치에서 곡면의 법선 벡터와 일치하도록 측정기(gauge)의 방향을 조정하도록 요청하는 스터디를 수행한다. 이 실험에서 수집한 법선 벡터 추정치가 사람들 간에 서로 일치하는지 비교하고 또한 실제 3차원 곡면 모델의 법선 벡터와 일치하는지도 비교한다. 본 논문의 실험을 통하여 물체의 음영을 표현하는 방법에 따라서 사람들이 물체의 형태를 다르게 해석한다는 사실을 보인다. 또한, 기존의 셰이딩 알고리즘들 중에서 음영 톤의 단계수가 많고 톤 단계가 전반적으로 균일하게 분포되어 있는 특성을 가지는 알고리즘이 물체의 형태를 보다 효과적으로 표현하는 것으로 나타났다. 본 논문에서 수집한 실험 데이터 및 분석 결과는 물체의 형태를 효과적으로 전달하는 것을 목적으로 하는 새로운 CG 셰이딩 알고리즘을 설계하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

■ **중심어** : | 미술가들의 음영 표현 | CG 셰이딩 알고리즘 | 사용자 인지 실험 | 톤 셰이딩 | 쿨투웜 모델 | 펜&잉크 렌더링 | 연필 렌더링 | BRDF | 폰그 셰이딩 | 측정기 |

Abstract

In this paper, we evaluate the effectiveness of previous shading algorithms in depicting shape of 3d objects. We perform a study in which people are shown an image of one of ten 3D objects shaded with one of eight styles and asked to orient a gauge to coincide with the surface normal at many positions on the object's surface. The normal estimates are compared with each other and with ground truth data provided by a registered 3D surface model to analyze accuracy and precision. Our experiments suggest that people interpret certain shape differently depending on shading of 3d object. This paper offers substantial evidence that current computer graphics shading algorithms can effectively depict shape of 3d objects where the algorithms have the properties of lots of tone steps and uniformly distributed tone steps. This type of analysis can guide the future development of new CG shading algorithms in computer graphics for the purpose of shape perception.

■ **keyword** : | Artists' Shading | CG Shading Algorithm | User Perception Experiment | Non Photorealistic Rendering | Toon Shading | Cool-to-Warm Model | Pen & Ink Rendering | Pencil Rendering | BRDF | Phong Shading | Gauge Placement Protocol |

* 본 연구는 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행되었습니다.(No.2010-0017246/2)

접수번호 : #110516-005

심사완료일 : 2011년 06월 10일

접수일자 : 2011년 05월 16일

교신저자 : 변혜원, e-mail : hyewon@sungshin.ac.kr

1. 서론

음영은 물체와 빛의 관계를 고려하여 물체의 밝고 어두운 부분을 나타내는 것으로써 렌더링에서 중요한 역할을 한다. 물체에 입체감을 부여함으로써 보다 정확하게 물체의 형태를 전달할 수 있도록 할 뿐만 아니라 음영을 통하여 라인만으로는 표현할 수 없는 빛의 방향, 재질, 그림자를 통한 깊이감 등을 표현할 수 있기 때문에 효과적인 형태 전달이 중요한 건축, 기술, 의료 분야에 적용 가능하다. 그런데 어떤 음영 표현이 형태를 보다 효과적으로 전달하는 것인지에 관한 과학적 조사나 고찰은 이루어지지 않고 있다. 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 3차원 물체의 음영 표현을 목적으로 하는 많은 웨이딩 알고리즘들이 제시되고 있지만, 이 알고리즘들이 얼마나 물체의 형태를 효과적으로 전달하는지를 평가하는 부분에 관한 연구는 수행되고 있지 않다.

형태를 전달하는 방법에 있어서 음영 표현보다 좀 더 기본적인 요소로서 라인 드로잉이 있을 수 있으며, 라인 드로잉이 물체의 형태를 효과적으로 전달하는지에 관한 과학적 근거는 최근에 Cole 등[1][2]에 의해서 제시된 바 있다. 이 연구에서는 사용자 인지 실험을 통하여 라인 드로잉 알고리즘들이 형태를 얼마나 효과적으로 전달하는지 평가하는 연구를 수행하였다. 음영 표현, 외곽선 표현, apparent ridge, geometric ridges and valleys, suggestive contours, 아티스트 라인 드로잉의 여섯 가지 라인 드로잉 스타일 중에서 음영 표현이 3차원 물체의 형태를 가장 효과적으로 전달한다는 사실을 보이고 있다.

본 논문에서는 어떤 CG 음영 알고리즘이 형태를 정확하게 전달하는지 사용자 인지 실험을 통해서 평가한다. 각각의 CG 음영 알고리즘들로 렌더링된 이미지는 서로 다른 음영 표현 결과를 보여 준다. 사용자는 이러한 결과를 관찰하고 자신이 인지한 형태대로 물체의 표면 위에 배치된 측정기(gauge)의 방향(orientation)을 물체 표면의 법선벡터 방향과 일치하도록 조정한다. 각각의 CG 음영 알고리즘에 대해 평가한 데이터를 실제 3차원 모델의 형태 정보와 비교하여 오차를 분석하고, 특히, 시선이 고정되는 영역에서 어떠한 음영 표현의

차이가 발생하는지 상세하게 비교한다. 형태 정보를 정확하게 전달하는 CG 음영 알고리즘에 대한 사용자 인지 기반의 실험을 수행함으로써 형태 정보 전달을 목적으로 하는 향후의 새로운 CG 음영 알고리즘 설계에 적용 가능한 유용한 데이터를 제공하고자 한다.

이 분야의 전체적인 연구 흐름에서 본 논문이 기여하는 바는 다음과 같이 몇 가지로 요약 정리할 수 있다.

- CG 웨이딩 알고리즘이 물체의 형태를 효과적으로 표현하고 있는지 정량적으로 평가하고 검증하는 측정기(gauge) 배치 기반 방법론 제시
- 8가지 스타일로 렌더링한 10개의 물체에 관한 측정기(gauge) 데이터 셋 수집
- 물체를 표현하는 음영의 위치나 정도에 따라서 사람들이 물체의 형태를 어떻게 인지하는지에 관한 정량적 실험결과로 제시
- 여러 가지 웨이딩 알고리즘들이 물체의 형태를 얼마나 효과적으로 전달하는지에 관한 정량적인 평가 결과 제시

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 음영 표현과 물체의 형태에 관한 이론, CG 웨이딩 알고리즘, 그리고 사용자 실험 및 평가에 관한 기존 연구들을 소개한다. 3장에서는 데이터 수집을 위한 실험 설계와 방법에 관하여 설명하고, 4장에서는 데이터의 분석 및 결과에 관해서 언급한다. 그리고 5장에서 결론 및 향후연구로 마무리한다.

II. 관련연구

1. 음영 표현과 물체의 형태

르네상스 시대 이후로 화가들은 명암법을 사용하였는데, 모든 사물의 형태가 빛과 그림자에 의해서 규정되기 때문에 음영을 표현함으로써 사물을 입체적이고 사실적으로 나타내고자 하였다[3]. 음영을 표현하는 방법은 하이라이트, 중간 색조, 반사광, 그림자의 중심, 그림자 광의 5가지 요소로 구분될 수 있으며, 음영을 표현

하기 위한 기본 도구로써 연필, 목탄, 펜과 잉크 등이 사용되어왔다[4]. 본 논문에서는 음영 표현이 물체의 형태를 해석하는데 어떠한 영향을 미치는지 평가하기 위하여 측정기(gauge) 배치 방법을 도입하였다[5][6]. 이는 정신물리학 분야에서 주로 사용하는 방법으로서 그림상의 여러 점들 위에 있는 곡면의 방향이 어디를 향하고 있는지를 측정한다. 이러한 방법론을 이용하여 O'Shea 등[7]은 빛(illumination)의 방향이 물체의 형태를 인지하는데 미치는 영향을 측정하였고, Fleming 등[8]은 정반사(specular reflection) 요소가 형태를 인지하는데 미치는 영향을 측정하였으며, Koenderink 등[9]은 라인 드로잉이 형태를 인지하는데 미치는 영향을 측정하였다.

2. CG 셰이딩 알고리즘

물체의 입체적인 표현에 관한 요구가 증가함에 따라 셰이딩 알고리즘의 연구가 활발하게 이루어져 왔다. BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)[10]는 빛이 표면에서 어떻게 반사되는지에 대해 정의하는 함수로서 HDR(High Dynamic Range)[11]과 함께 사실적인 표현을 목적으로 하고 있다. 비사실적인 표현을 목적으로 하는 알고리즘은 툰 셰이딩과 쿨투웜(Cool-to-Warm) 등이 있다. 툰 셰이딩은 카툰렌더링이라고도 하며 진한 외곽선과 적은 수의 툰 단계로 표현되기 때문에 만화와 같은 친근하고 매력적인 스타일을 제공한다[12][13]. 쿨투웜 모델은 기술적 일러스트레이션에서 주로 이용되는데, 빨강, 주황, 노랑과 같은 따뜻한 색과 파랑, 남색과 같은 차가운 색의 대비를 통하여 형태를 더욱 효과적으로 전달할 수 있다는 이점을 가진다[14]. 그 밖에도 펜과 잉크, 연필과 같은 재료에서 나타나는 표현 특성을 재현하고, 예술적인 결과물을 제공하는 연필 렌더링[15]과 펜&잉크 렌더링[16], 헤칭[17] 등의 알고리즘이 있다.

3. 사용자 실험을 통한 비사실적 렌더링 평가

컴퓨터 그래픽스와 사용자 인지를 결합한 연구에 관한 관심이 높아지면서 사용자 실험 및 평가에 관한 중요성이 대두되고 있는데, 사용자 실험을 통하여 사용자

들의 경험적인 데이터를 제시할 수 있기 때문이다. Cole 등은 미술가들의 라인 드로잉 데이터를 수집하여 3차원 물체에서 인지한 사물의 형태를 어떠한 라인 드로잉을 통하여 표현하는지에 대하여 연구하고, 기존의 라인 드로잉 알고리즘 결과와의 유사도를 비교하였다[1]. 또한, 후속 연구로서 다양한 라인 드로잉 결과에서 사람들이 형태를 어떻게 인지하는지 평가하기 위하여 측정기(gauge)를 배치하는 실험을 수행하였다[2].

Winnemöller[18] 등은 형태를 인지하는 데에 크게 영향을 미치는 요소들을 결정하기 위한 사용자 인지 실험을 수행하였는데, 역동적인 실험 환경을 가정하고 비사실적 렌더링에서 일반적으로 사용되는 음영, 텍스처, 외곽선, 모션과 같은 요소들을 평가하였다.

III. 사용자 실험 설계

본 논문에서 진행하는 사용자 실험은 사람들이 동일한 물체를 서로 다르게 셰이딩한 이미지를 보고 어떻게 해석하는지 그리고 그 해석이 얼마나 일관성 있는지를 분석한다. 이 실험을 통하여 음영 표현의 효율성에 관한 일반적인 결론을 도출하기 위하여 최대한 넓은 범위로 실험을 설계하고자 노력하였다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 어떤 음영 스타일을 다룰 것인지, 어떤 종류의 3차원 물체를 선정할 것인지, 참여자들에게 어떤 방식으로 보여줄 것인지에 관한 여러 가지 이슈들을 신중하게 결정해야만 한다.

1. 다양한 음영 표현 스타일

실험에서 사용하는 음영 스타일은 총 8개로서 2개는 아티스트가 직접 그린 것이고, 6개는 CG 알고리즘으로 렌더링된 것이다. 아티스트가 펜&잉크로 드로잉한 스타일과 연필로 드로잉한 스타일을 수집하였다. 그리고, 실험에서 사용하는 CG 음영 알고리즘은 BRDF, 톤 셰이딩, 쿨투웜, 툰 셰이딩, 펜&잉크 렌더링, 연필 렌더링의 6가지 방법을 이용하는데, 이들은 물체를 효과적으로 전달하기 위한 사실적/비사실적 음영 표현이라는 공통점을 가진다. 아래 [표 1]은 사용자 인지 실험에서 사

용될 음영 알고리즘을 정리한 것이다. 추가적으로 아티스트들이 물체의 형태의 전달하기 위한 목적을 가지고 펜&잉크와 연필을 이용해서 음영을 표현한 결과물에 대해서도 사용자 인지 실험을 수행한다. [그림 1]은 6가지의 서로 다른 음영 스타일로 렌더링된 범프 모델을 보여준다.

표 1. 효과적인 형태 전달을 목적으로 하는 다양한 사실적/비사실적 음영 알고리즘

	사실적	비사실적
BRDF	현실 세계의 조명 환경을 반영하여 사실적으로 표현	Cool-to-Warm 형태를 강조하기 위해 사용되는 비사실적 음영 표현 모델
Phong	물리적으로 존재할 수 없는 조명이지만 사실적으로 표현하는 목적 가장 일반적으로 사용되는 음영 표현 모델	Toon 생략, 요악 등을 통해서 대상의 복잡한 형태를 단순화시켜서 효과적인 정보 전달
		Line-Art (Pen-and-ink/Pencil) 라인아트를 이용한 음영 표현은 형태 및 재질을 효과적으로 전달

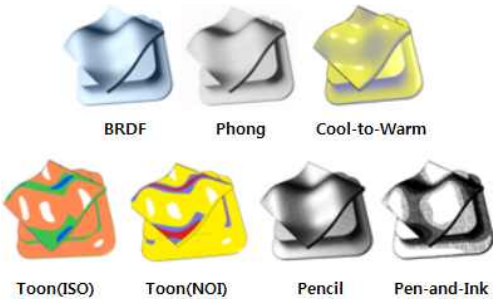


그림 1. 범프모델을 다양한 음영알고리즘에 따라 렌더링한 결과

BRDF 이미지는 전역 조명을 사용하여 빛이 표면에서 반사되는 현상을 사실적으로 렌더링되었으며[10], Phong 이미지는 기본 조명 모델인 폰 웨이딩을 사용하여 렌더링되었다. 쿨투웬 웨이딩은 빨강, 주황, 노랑과 같은 따뜻한 색과 파랑, 남색과 같은 차가운 색, 그리고 그 중간색들을 이용하여 물체를 표현하는 Gooch의 음영 알고리즘으로 구현되었다[14]. 툰 웨이딩은 Press 등[13]의 알고리즘으로 구현되어 진한 외곽선과 적은 수의 음영 톤 단계를 표현한다. 이때, 음영 정보에서 부수적으로 발생하는 텍스처 효과를 방지하기 위하여 툰 웨이딩에 사용하는 텍스처를 Toon(ISO)와 Toon(NOI)의 2가지 모드로 구분하였다. Toon(ISO)는 툰 웨이딩에 사용하는 텍스처가 등휘도(ISO-luminance) 성질을 가

지는 것을 의미하는데, 여기에서는 동일한 휘도(luminance)를 가지되 서로 다른 색상(chrominance)으로 텍스처를 구성한다. Toon(NOI)에서 NOI(Non-Isoluminance)는 ISO와 반대되는 개념으로서 사용하는 텍스처의 색상이 서로 다른 휘도를 가진다. 연필 렌더링 이미지는 Lee 등[15]이 제안하는 알고리즘으로 렌더링되었으며, 펜&잉크 렌더링 이미지는 Winkenbach 등[16]에 의해서 제안된 알고리즘으로 렌더링되었다.

2. 3차원 모델

사용자들의 형태 인지 실험에 사용되는 3차원 모델을 선정함에 있어서 물체의 형태를 쉽게 추론할 수 있으며 오목(concave)하거나 볼록(convex)하거나 평평한(flat) 형태적 특성이 다양하게 나타나는 모델을 이용함으로써 모델의 기하학적 정보에 따라 음영이 많이 표현될 수 있도록 한다. 또한, 평소에 자주 그리지 않는 모델을 제시함으로써 선입견을 배제시키고 학습된 음영 표현이 나타나는 것을 최소화한다. [그림 2]는 실험에 사용된 10개의 모델이며 이는 Aim@Shape, VAKHUM, Cyberware에서 무료로 제공된다.

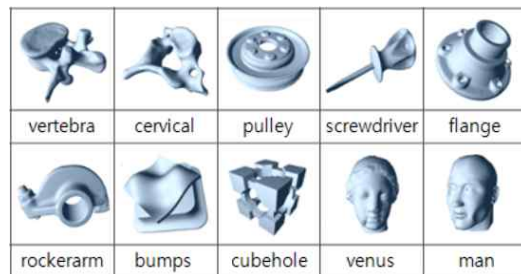


그림 2. 실험에 사용된 3차원 모델

3. 실험방법

다양한 음영 알고리즘으로 렌더링된 물체를 바라보는 사용자들이 어떻게 형태를 인지하는지 실험하기 위하여 측정기 배치 방법(gauge placement protocol)을 이용한다. 측정기 배치 방법은 사용자들이 물체 표면이 어떤 방향을 향하고 있는지 인지한대로 렌더링된 물체 위에 배치되어 있는 측정기 방향을 물체 표면의 법선 벡터 방향과 일치하도록 조절하는 방식이다. [그림 3]에

서 볼 수 있듯이, 측정기는 연두색으로 표시되어 있는 원판과 그 위에 수직 방향으로 향해있는 짧은 선분으로 구성된다. 사용자가 이 선분의 방향을 물체 곡면의 법선벡터 방향과 일치하도록 조정하게 함으로써 물체의 형태를 제대로 인지하는지 평가하는 원리이다. 평가 데이터를 바탕으로 사용자들이 인지한 형태의 측정값과 실제 3차원의 기하학적 형태 정보 간의 오차를 계산하여 사용자들의 형태 인지 정확도를 파악할 수 있다.

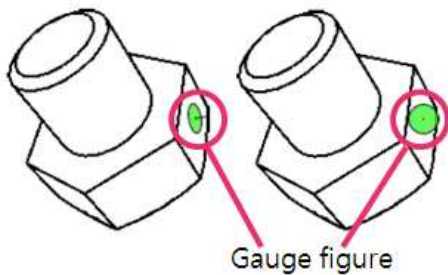


그림 3. 측정기 배치 방법의 예시

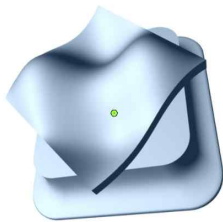


그림 4. 측정기 배치 실험 화면

다양한 음영 알고리즘으로 렌더링한 결과 이미지에 서 사용자들이 인지한 형태를 측정하는 실험을 수행하기 위하여 측정기 배치 실험 환경을 구축한다. 실험 화면에는 특정 음영 알고리즘으로 특정 3D 모델을 렌더링한 결과 이미지가 출력되고, 임의의 위치에 측정기가 배치된다. 사용자들은 마우스를 이용하여 물체의 형태를 인지한대로 측정기가 배치된 면과 측정기의 선이 수직이 되도록 조정한다. 하나의 측정기에 대한 조정이 끝나면 키보드의 스페이스바 키를 눌러 다음 측정기를 배치한다. 사용자들은 3D 모델별로 하나의 음영 알고리즘의 결과에만 측정기를 배치하게 되는데 이는 모델

의 형태에 대한 학습 효과를 배제하기 위한 것이다. 또한, 화면에 출력되는 3D 모델과 음영 알고리즘의 순서는 랜덤하게 결정하여 실험 조건의 순서에 대한 효과를 최소화시키고자 하였다. [그림 4]는 BRDF가 적용된 범프 모델에서 측정기를 배치하는 실험 화면으로 초록색의 작은 원판이 측정기이며, 사용자들은 하나의 이미지에 50개씩의 측정기를 배치한다.

4. 데이터 수집

본 연구는 성신여자대학교 미디어정보학부, 컴퓨터정보학부 학생들과 직장인들을 대상으로 수행되었으며, [표 2]에서 볼 수 있듯이 실험에 참여한 인원은 총 100명이다. 사용자 실험에서 수집한 자료의 신뢰도를 높이기 위하여 모든 실험 참여자들에게 측정기를 배치할 수 있는 충분한 시간을 제공할 뿐만 아니라 많은 수의 측정기를 배치하도록 한다. [그림 5]는 펜&잉크 렌더링을 이용한 범프 이미지와 쿨투움을 적용한 경추(cervical) 이미지 위에 배치된 측정기를 사용자가 마우스를 이용하여 조정한 결과 데이터의 일부이다.

표 2. 실험내용 요약

실험방법	실험내용
실험 참여자	성신여자대학교 미디어정보학부, 컴퓨터정보학부 학생들과 직장인
참여자 인원	100명
참여자 나이	19-35세
실험도구	물체 위에 배치되어 있는 측정기
실험대상	3차원 물체 10개
실험방법	측정기 방향을 물체 표면의 법선 벡터 방향과 일치하도록 조절
실험시간	평균 물체 1개당 평균 6분 30초

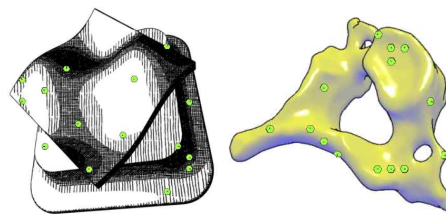


그림 5. 측정기를 배치한 일부 데이터

IV. 데이터 분석 및 결과

측정기 배치 실험을 통해 수집한 데이터를 분석하는데 있어서 사용자가 조정한 측정기의 방향과 3D 물체의 법선벡터 방향의 오차를 비교하여 사람들이 형태를 정확하게 인지하고 판단하는지, 다양한 CG 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태 정보는 얼마나 일치하는지에 초점을 맞춘다. 특히, CG 알고리즘에 따라 지역적인 오차가 발생하는지 조사하기 위하여 시각적 주의가 발생하는 부분에 대해 상세하게 분석할 수 있는 교차형 측정기(gauge-cross)를 배치하는 방법을 제안한다.

1. 사람들이 음영 표현을 유사하게 이해하는가?

사람들 간에 음영 표현을 서로 유사하게 이해하는지 관찰하기 위하여 사용자들이 배치한 각 측정기의 방향 데이터와 이들 평균의 표준편차를 비교한다. 아래 [그림 6]은 실제 3D 모델이 가지는 형태 정보와 사용자들의 측정 데이터 간에 발생하는 오차 분포도이며, [그림 7]은 사용자들의 측정 데이터 평균값과 측정 데이터 간에 발생하는 오차의 분포도이다. 그래프의 세로축은 오차각도를 나타내며 가로축은 오차각도가 발생하는 빈도수를 나타낸다. 100명이 10개의 모델에 대해서 50개씩의 측정기를 배치한 결과 수집한 50,000개의 샘플 데이터에 대해서 각각의 오차 각도와 빈도수를 그래프로 표시한 것이다.

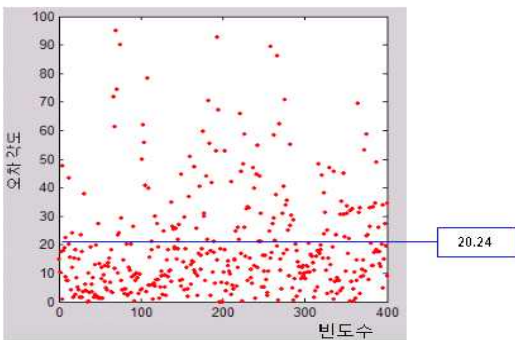


그림 6. 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자들의 형태 측정 데이터 간에 발생하는 오차 분포도

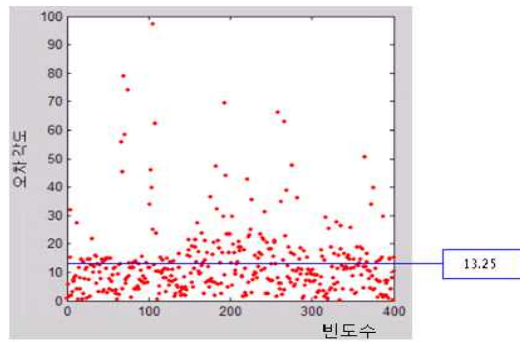


그림 7. 사용자들의 형태 측정 데이터 간에 발생하는 오차 분포도

그래프에서 파란색 실선은 평균을 나타내며 선의 오른쪽에 표기된 숫자가 평균값이다. 2개의 그래프를 통해서 사용자들 간의 오차가 실제 3D 모델과 비교한 오차보다 더 작게 나타나는 것을 확인할 수 있는데 이는 사용자들 간에는 음영을 비교적 유사하게 인지하고 있다는 것을 의미한다.

2. 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태는 얼마나 일치하는가?

사용자들이 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태가 얼마나 일치하는지 분석하기 위하여 사용자가 형태를 측정 한 데이터를 음영 알고리즘별로 정리하여 비교한다. [그림 8]은 각 음영 알고리즘에서 발생하는 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자의 측정값 간의 평균 오차를 나타내며, [그림 9]는 사용자들의 측정값 평균과 각 사용자의 측정값 간의 평균 오차를 나타내고 있다.

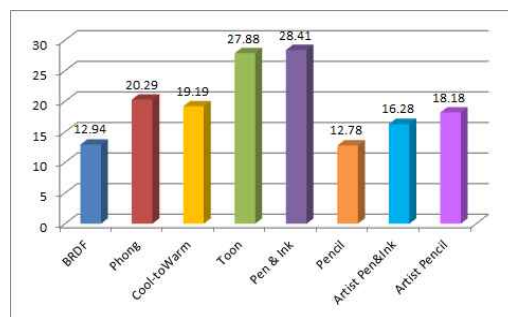


그림 8. 3D 모델의 형태정보와 사용자의 측정값 간의 평균 오차

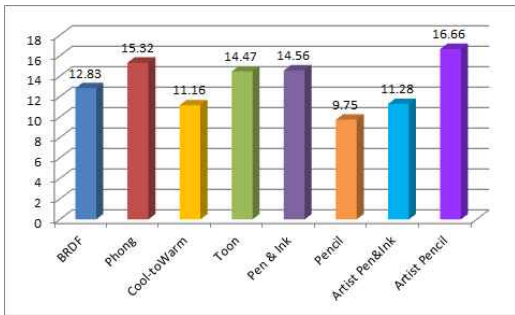


그림 9. 사용자들 평균측정값과 각 사용자의 측정값간의 평균 오차

[그림 8]의 결과를 보면 사용자들은 일반적으로 BRDF와 연필 렌더링에서 형태를 가장 정확하게 인지하는 것으로 나타났는데, 두 음영 알고리즘은 공통적으로 음영을 표현할 때 어두운 톤에서 밝은 톤까지 다양한 음영 단계를 이용한다는 특징을 가진다. 반면, 툰 셰이딩과 펜&잉크 렌더링에서 가장 오차가 크게 나타나는 것으로 보아 두 알고리즘에서 사용자들이 형태를 상대적으로 덜 정확하게 인지하는 것으로 평가된다. 툰 셰이딩과 펜&잉크 렌더링은 특정 음영 단계가 차지하는 비율이 50% 이상 나타난다는 공통점을 가진다. [그림 9]의 툰 셰이딩과 펜&잉크 렌더링의 결과에서 다른 음영 알고리즘과 큰 오차가 발생하지 않고 있는 것은 사용자들 간에는 음영을 유사하게 이해하기 때문인 것으로 해석된다.

쿨투웬은 다양한 톤 단계를 사용하지 않음에도 불구하고 비교적 효과적으로 형태를 전달하는 것으로 확인되었는데, 쿨투웬은 0~255까지의 전체 색상 범위를 기준으로 보았을 때 나타나는 음영 단계는 제한되어 있지만, 제한된 음영 단계 범위 내에서는 다양한 음영 톤을 가지기 때문에 형태를 전달하는데 효과적인 결과를 보이는 것으로 분석된다. 아래 [그림 10]은 쿨투웬의 음영 단계를 세분화시켜서 나타낸 것이다.

이 실험의 결과를 통해서 사용자들은 형태를 인지할 때 음영 단계라는 단서를 이용한다는 사실을 알 수 있다. 따라서 툰 셰이딩과 같이 톤 단계 수가 적은 CG 음영 알고리즘보다 BRDF나 쿨투웬, 연필 렌더링과 같이 톤 단계 수가 많고 세부적인 음영 단계를 표현할 수 있

는 음영 알고리즘에서 물체의 형태를 보다 정확하게 인지하는 것으로 나타났다.

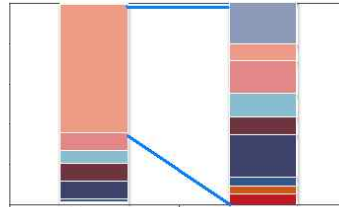


그림 10. Cool-to-Warm의 세분화된 음영 단계

3. 시각적 주의 영역에서 지역적인 오차가 발생하는가?

CG 셰이딩 알고리즘에 따라 지역적인 오차가 발생하는지 알아내기 위한 방법으로 교차형 측정기(gauge-cross)를 제안한다. 이는 Cole 등의 측정기 스트링(gauge string)을 확장한 것으로 기존의 방법보다 넓은 범위의 형태를 판단할 수 있다. [그림 11]은 기존의 측정기 스트링과 본 연구에서 제안하는 교차형 측정기의 형태를 나타내는 그림이다. 교차형 측정기의 방향을 조절하는 방법은 일반 측정기를 조절했던 방식과 동일하게 마우스를 이용하는데 한 번에 하나의 측정기만 활성화되어 조절할 수 있도록 한다.

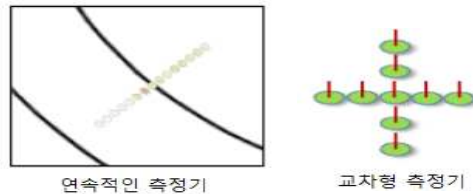
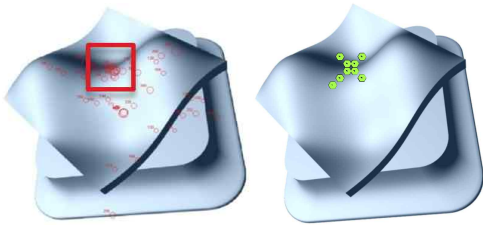


그림 11. 기존 연구에서 사용된 연속적인 측정기와 본 연구에서 제안하는 교차형 측정기

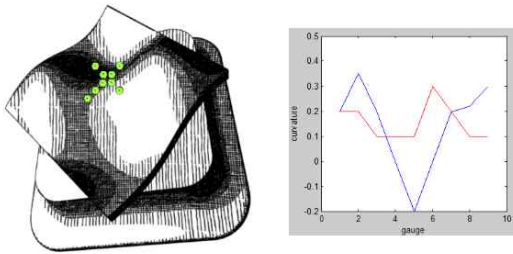
교차형 측정기는 사람들이 주로 시선을 집중하는 시각적 주의 데이터를 기반으로 배치하는데, 형태를 인지할 때 시선이 집중되는 영역을 사용자들이 어떻게 이해하고 있는지 상세하게 분석하기 위한 것이다. [그림 12]는 범프 모델에서 시각적 주의가 나타나는 부분에 교차형 측정기를 배치하는 실험 환경의 예이다.



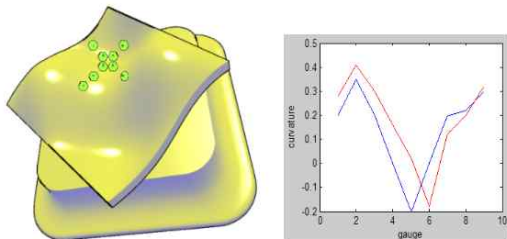
(왼쪽) 시각적 주위가 발생하는 영역
(오른쪽) 교차형 측정기를 배치한 모습

그림 12. 범프 모델에서의 시각적 주의와 교차형 측정기를 배치하는 실험 환경

아래 [그림 13]의 왼쪽은 범프 모델에 펜&잉크 렌더링을 적용한 결과와 쿨투웬을 적용한 결과에 교차형 측정기를 배치한 실험 데이터이며, 오른쪽은 교차형 측정기가 위치한 좌표 상의 실제 3D 물체의 곡률(파란색 실선)과 사용자가 조정한 측정기의 곡률(빨간색 실선)을 나타낸다. x축은 가로 5개, 세로 4개의 각각의 측정기를 의미하며, y축은 곡률 데이터를 의미하며, 음수인 경우는 오목한 형태, 양수인 경우는 볼록한 형태, 그리고 0인 경우는 평평한 형태를 나타낸다.



Pen-and-ink 렌더링을 적용한 Bumps 모델에서의 교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프



Cool-to-Warm을 적용한 Bumps 모델에서의 교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프

그림 13. Bumps 모델에 다른 음영 알고리즘을 적용했을 때의 교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프

이 그래프에서 알 수 있듯이 사용자들은 쿨투웬이 적

용된 결과에서 오목하고 볼록한 3D 모델의 입체적인 형태를 정확하게 인지하고 있는 반면, 펜&잉크 렌더링이 적용된 결과에서는 평평한 형태로 잘못 인지하고 있다. 교차형 측정기는 사용자들이 3D 모델의 형태를 인지할 때 나타나는 시각적 주의 데이터를 기반으로 배치한 것이므로, 실제 3D 모델의 곡률과 사용자들이 교차형 측정기를 배치한 결과에서 큰 오차를 보인다는 것은 해당 음영 알고리즘이 형태를 인지하는데 효과적인 단서를 제공하지 못한다는 것으로 이해할 수 있다. 즉, 쿨투웬이 펜&잉크 렌더링보다 효과적인 형태 전달이 가능하다는 것을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 3D 물체를 표현하는 음영과 사용자 인지 간의 상관관계에 관하여 연구하였다. 기존의 CG 음영 알고리즘들이 형태를 효과적으로 전달하는지 평가하기 위하여 측정기 배치 방법을 이용하여 사용자 인지 실험을 수행하였다. BRDF, 푹 셰이딩, 쿨투웬, 툰 셰이딩, 펜&잉크 렌더링, 연필 렌더링, 아티스트 펜&잉크 셰이딩, 아티스트 연필 셰이딩의 8가지 스타일로 렌더링된 10개의 물체를 관찰하면서 물체의 형태를 인지한 대로 측정기를 배치하도록 사용자에게 요구하고 그 결과 수집한 데이터를 정량적으로 분석하였다.

사용자들이 배치한 각 측정기의 방향 데이터와 이들 평균의 표준편차를 비교한 결과, 사람들 간에는 음영을 비교적 유사하게 인지하고 있다는 것을 관찰하였다. 또한, 각 CG 음영 알고리즘에서 발생하는 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자 측정값 간의 평균 오차를 비교하고 시각적 주의가 나타나는 영역에서 집중적으로 지역적 오차를 측정하는 실험을 통해 각 CG 알고리즘들을 정량적으로 분석하였다.

사용자들은 BRDF나 푹 셰이딩, 연필 렌더링과 같이 툰 단계 수가 많고 툰 단계가 전반적으로 균일하게 분포되어 있는 음영 알고리즘에서 물체의 형태를 효과적으로 인지하는 것으로 나타났다. 쿨투웬은 다양한 툰 단계를 사용하는 것은 아니지만 물체의 형태를 효과적

으로 전달하는 것으로 평가되었는데, 이는 적은 수의 톤 범위 내에서 여러 단계의 톤이 연속적으로 연결되는 특성을 가지기 때문이다.

반면에 톤 셰이딩과 펜&잉크 렌더링과 같이 톤 단계 수가 적어서 음영 표현을 단순화시킨 경우에는 정확한 형태를 전달하지 못하는 것으로 평가되었다. 즉, BRDF, 톤 셰이딩, 쿨투힘, 연필 렌더링은 물체의 형태를 전달하기 위한 목적으로 사용 가능하지만, 톤 셰이딩과 펜&잉크 렌더링은 물체의 형태 전달 목적보다는 예술적인 측면의 목적으로 이용되는 것이 보다 더 적합하다고 할 수 있다. 본 연구 결과를 통해서 사용자들은 음영의 톤 단계를 근거로 하여 사물의 형태를 인지하는 것을 알 수 있으며, 이는 음영을 통해서 물체의 형태를 표현할 때 톤 단계가 가장 중요하다는 설문조사 결과와도 일치한다.

본 논문은 음영과 사용자 인지 간의 상관관계를 분석하고자 다양한 인지 실험을 수행하고 이를 정량적으로 분석하는 방법론을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 또한, 사용자 인지 실험을 통하여 사용자들이 음영을 통해서 물체의 형태를 인지할 때 음영의 톤 단계를 가장 중요한 단서로 활용하고 있음을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 기존의 CG 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하고 있는지 평가함으로써 애플리케이션의 목적에 따라 어떤 음영 알고리즘을 적용하는 것이 적합한지에 대한 실험적인 데이터를 제공하였다. 본 연구에서 수집한 실험 데이터는 형태 전달을 목적으로 하는 새로운 CG 음영 알고리즘을 설계하는데 활용 가능하다.

그러나 본 실험에서는 한 사람이 한 개의 3D 모델에 대해서 50개 정도의 측정기를 조작해야 하므로 이 과정에서 피로감이 쌓여 초기에 조작한 측정기와 나중에 조작한 측정기 사이에 오차의 격차가 크게 발생할 수 있다. 사람의 피로감으로 인한 오차는 현재 실험 방식의 한계이고 향후에는 이러한 오차에 관한 분석이 필요하며 이와 같은 오차를 최소화할 수 있는 새로운 방법론에 관한 제시도 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] F. Cole, A. Golovinskiy, A. Limpaecher, H. S. Barros, A. Finkelstein, T. Funkhouser, and S. Rusinkiewicz, "Where Do People Draw Lines?," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.27, No.3, 2008.
- [2] F. Cole, K. Sanik, D. Decarlo, A. Finkelstein, T. Funkhouser, S. Rusinkiewicz, and M. Singh, "How Well Do Line Drawing Depict Shape?," *ACM Transaction on Graphics*, Vol.28, No.3, 2009.
- [3] J. D. Hillberry, "*Drawing Realistic Textures in Pencil*," North Light Books; 1st edition, pp.20-21, 1999.
- [4] E. W. Watson and A. A. Watson, "*The Watson Drawing Book*," Bell Publishing Co., pp.45-48, 1962.
- [5] J. J. Koenderink, A. Van Doorn, and A. Kappers, "Surface Perception in Pictures," *Perception and Psychophysics*, Vol.52, pp.287-296, 1992.
- [6] J. J. Koenderink, A. J. Van Doorn, A. M. Kappers, and J. T. Todd, "Ambiguity and the 'Mental Eye' in Pictorial Relief," *Perception*, Vol.30, pp.431-448, 2001.
- [7] J. P. O'Shea, M. S. Banks, and M. Agrawala, "The Assumed Light Direction for Perceiving Shape from Shading," *ACM Applied Perception in Graphics and Visualization(APGV)*, pp.135-142, 2008.
- [8] R. W. Fleming, A. Torralba, and E. H. Andlson, "Specular Reflections and the Perception of Shape," *Journal of Vision*, Vol.4, No.9, pp.798-820, 2004.
- [9] J. J. Koenderink, Van Doorn, A. C. Christou, and J. Lappin, "Shape Constancy in Pictorial Relief," *Perception*, Vol.25, pp.155-164, 1996.
- [10] Murat Kurt, László Szirmay-Kalos, and

Jaroslav Křivánek, "An Anisotropic BRDF Model for Fitting and Monte Carlo Rendering," ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Vol.44, No.1, 2010.

[11] A. El-Mahdy and H. El-Shishiny, "High-quality HDR Rendering Technologies for Emerging Applications," IBM Journal of Research and Development, Vol.54, No.6, pp.8:1-8:15, 2010.

[12] Aaron Hertzmann, "Non-Photorealistic Rendering and the Science of Art," NPAR '10 proceedings of the 8th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering, 2010.

[13] Micahel Press and Jihad El-Sana, "Multiresolution Hierarchy for Real-Time Cartoon-Style Rendering," Geometric Modeling and Imaging, pp.63-68, 2006.

[14] A. Gooch, B. Gooch, P. Shirley, and E. Cohen, "A Non-Photorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration," Proceedings of the 1998 Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.447-452, 1998.

[15] H. Lee, S. Kwon, and S. Lee, "Real-Time Pencil Rendering," Proceedings of the 2006 International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp.37-45, 2006.

[16] G. Winkenbach and D. H. Salesin, "Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration," Proceedings of the 1994 Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.91-100, 1994.

[17] S. Y. Kim, Ross Maciejewski, Tobias Isenberg, William M. Andrews, Wei Chen Mario Costa Sousa, and David S. Ebert, "Stippling by Example," Proceedings of the 7th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp.41-46, 2009.

[18] H. Winnemoller, D. Feng, B. Gooch, and S. Suzuki, "Using NPR to Evaluate Perceptual Shape Cues in Dynamic Environments," NPAR '07 Proceedings of the 5th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering, 2007.

저 자 소 개

변 해 원(Hae Won Byun)

정회원



- 1990년 2월 : 연세대학교 전산과 학과(공학사)
- 1992년 2월 : KAIST 전산학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : KAIST 전산학과 (공학박사)

- 2004년 3월 : KAIST 방송기술연구소 선임연구원
 - 2006년 3월 ~ 현재 : 성신여자대학교 IT학부 교수
- <관심분야> : Computer Graphics, Game, HCI

박 윤 영(Yun Young Park)

정회원



- 2006년 2월 : 성신여자대학교 미디어정보학부(이학사)
- 2006년 2월 : (주)TGCORP 기술개발팀 사원
- 2010년 2월 : 성신여자대학교 전산학과 (이학석사)

- 현재 : (주)엔씨소프트
- <관심분야> Computer Graphics, Game, HCI