

명확한 형태 표현을 위한 셀 셰이딩

정재민[○]서상현⁺박영섭[○]윤경현[○]중앙대학교 컴퓨터공학과[○], 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과⁺

{t2prince, Shseo, cookie}@cglab.cau.ac.kr, khyoon@cau.ac.kr

Cel Shading for Apparent Shape

Jaemin Chung[○]Sanghyun Seo⁺Youngsup Park[○]Kyunghyun Yoon[○]Computer Science & Engineering of Chung-Ang University[○]Advanced Imaging Science & Multimedia & Film of Chung-Ang University⁺

요 약

본 논문에서는 지역 광원을 통해 음영 대비를 증가시켜 객체의 형태를 명확하게 나타낼 수 있는 셀 셰이딩 기법에 대하여 설명한다. 객체의 형태를 명확하게 나타내기 위하여, 본 논문은 가상의 지역 광원을 사용하여 입체감을 살리고 이를 통해 객체의 지역적 형태가 잘 나타나게 하였다. 또한 영역의 특성에 맞추어 형태를 자세히 묘사하기 위해 곡률과 세일리언시를 사용하여 영역의 복잡도와 중요도에 따라 음영 대비를 조절하였다. 이러한 기법은 광원의 위치와는 상관없이 객체의 전반적인 형태를 잘 표현할 수 있다.

Abstract

In this paper, we present new cel shading technique using local light that increases local contrast for apparent shape depiction. To convey detail and overall shape, we employ virtual local light to represent cubic effect and local shape. Moreover, we control increase of local contrast using curvature as complexity and curvature as importance to adapt depicted local shape to feature of each area. Our technique depicts shape well wherever global light is.

키워드: 카툰 렌더링, 셀 셰이딩, 명확한 형태 표현

Keywords : cartoon rendering, cel shading, apparent shape depiction

1. 서론

전통적인 카툰 렌더링[1,2]은 셀 셰이딩과 같은 방법을 이용하여 음영의 단계를 단순화시켜 색상을 표현한다. 이러한 방법은 쉽게 카툰 애니메이션과 같은 결과를 만들 수 있다. 하지만 그 결과는 수작업으로 제작된 이미지에 비해 인위적이고 부자연스럽다. 그 이유는 기존의 방법이 객체가 갖고 있는 기하학적 특성을 고려하지 않기 때문이다. 적은 수의 음영 단계를 사용하는 카툰 렌더링에서는 명암이 크게 차이가 나지 않는 이상, 같은 단계의 음영이 나타난다. 넓은 영역에 걸쳐 범선 벡터가 빈번하게 바뀌더라도 그 정도가 크지 않다면 음영 단계가

나누어지지 않고 평면처럼 영역 전체에 같은 색상이 입혀지게 되는 것이다. 이러한 방법은 실제 객체의 형태와 동떨어진 결과 이미지를 만든다.

이런 방법과는 대조적으로, 실제 작가들은 다른 기준을 두고 셰이딩 작업을 한다. 그 이유는 작가들이 셰이딩을 하는 목적이 빛을 표현하기 위해서가 아니라 캐릭터나 물체의 입체감을 살려 그 형태가 잘 나타내도록 하는 것이기 때문이다. 이 때 음영을 입히는 방법은 일정하지 않다. 기본적으로 빛과 객체의 위치를 고려하여 음영을 만들지만 장면에 따라 음영을 과장하기도 하며 음영의 세밀함과 넓이도 다르게 한다. 이 작업들은 단순히 명암을 기준으로 이루어지지 않고 해당 영역의 기하학적 특

징을 함께 고려하여 진행된다.

본 논문에서는 이러한 작가들의 기법[3,4]에 착안하여 객체의 형태를 잘 표현할 수 있는 셰이딩 기술을 연구하였다. 이를 위해서는 다음과 같은 조건들을 충족시켜야 한다.

- 단순한 음영 단계로도 객체의 전반적인 형태와 지역적 형태를 모두 잘 표현할 수 있어야 한다
- 영역의 특성을 정의할 수 있는 요소들을 찾아내야 한다. 작가들은 영역의 특징을 고려하여 음영을 입힌다.
- 영역별로 다르게 음영을 입혀야 한다. 모든 영역에 같은 기준을 적용하는 것은 조잡하거나 또는 단순한 결과를 만든다. 음영 대비의 증가 및 그 표현의 세밀함도 조정할 수 있어야 한다.

이러한 조건들을 충족시키기 위하여, 본 논문에서는 곡률 및 세일리언시를 추출하여 각 영역의 특성들을 정의하고 이 특성들에 따라 지역 광원을 배치하여 카툰 영상을 만들었다. 지역 광원은 전역 광원과 별개로 음영 대비를 증가시켜 지역적 형태를 잘 표현할 수 있다. 지역 광원에 의해 생성된 음영을 적용하는 비율은 곡률을 기준으로 결정된다. 곡률은 2D 언샵 마스크 기법에서의 주파수처럼 사용된다. 일반적인 언샵 마스크 기법에서 에지와 같은 고주파 영역의 대비를 늘려 선명한 이미지를 얻는 것처럼, 본 논문에서는 지역 광원을 사용하여 곡률이 높은 영역의 음영 대비를 증가시켰다. 이러한 방법은 변화가 심하고 복잡한 영역만 선택적으로 지역적 음영 대비를 늘려 형태가 잘 드러날 수 있도록 한다.

하지만, 단순히 음영 대비를 늘린 것만으로는 좋은 결과를 얻기 어렵다. 음영 대비의 증가를 조절하는 것은 각 지역적인 형태만 뚜렷하게 표현할 수 있을 뿐이다. 전역적인 형태까지 잘 표현하기 위해서는, 음영 대비의 밀도를 조정하여 세밀한 부분까지 표현할 수 있어야 한다. 하지만 모든 영역을 세밀하게 표현할 필요는 없다. 전 영역에 걸쳐 지나치게 세밀하게 나타내면 음영 대비 때와 마찬가지로 조잡한 이미지를 만든다. 본 논문은 셰이딩의 세밀함을 조절하기 위한 요소로 세일리언시를 사용하

였다. 세일리언시는 영역의 상대적 중요도를 결정하는 요소로, 세일리언시에 비례하게 세밀함을 조정하여 간결하면서도 형태가 잘 나타나 있는 셀 셰이딩 이미지를 생성하였다.

2. 관련 연구

기존의 카툰 렌더링[1,2]에서 사용한 셀 셰이딩 기법은 단순한 형태만 나타내었기 때문에 사용자들의 요구를 모두 만족시키기 어려웠다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 카툰 렌더링에 적용 가능한 다양한 효과들에 관한 연구가 계속 진행되어왔다. Martin Spindler[5]는 일반적인 셀 셰이딩을 확장하여 스타일화된 그림자, 이중 윤곽선, 소프트 셀 셰이딩 및 수도 에지(pseudo edge)를 표현하는 새로운 만화 스타일을 제안하였다. 기존의 기술들이 대부분 비슷한 효과를 만들었지만, Martin Spindler는 Miller의 만화 “Sin City”와 MacFarlane의 “Spawn”이라는 제목의 만화에서 보여진 독특한 스타일을 컴퓨터 그래픽스 기술을 통해 나타내었다. 또한, Pascal Barla[6]은 2D 툴 텍스처를 제안하였다. 2D 툴 텍스처는 음영 단계를 나타내는 수평축과 추가로 깊이 및 초점 외곽선과의 거리 등 다양한 요소들을 적용할 수 있는 수직축을 추가하여 원근감과 후광 효과(Halo effect) 등을 카툰에 적용시켰다. 또한 Anjyo[7]의 카툰 하이라이트 셰이더는 단순한 사용자의 조작을 통해 직접적으로 객체에 하이라이트를 만들고 변형시킬 수 있게 하였다. Hideki Todo[8]는 직관적으로 아티스트들이 음영을 조절할 수 있는 방법을 제시하였고 이 방법을 통해 변형된 음영이 애니메이션에서도 일관성을 유지하는 방법도 함께 제시하였다.

장면의 사실성과 인식성을 높이기 위한 연구도 본 연구의 접근 방향과 일치한다. 주로 광원의 위치를 어떻게 배치하였을 때 이미지의 사실성이 높아지고 세밀함이 잘 표현되는가에 대한 이전 연구가 있다. Rusinkiewicz[9]는 다양한 스케일에서 지역 광원을 통해 음영의 대비를 과장하여 사물의 형태가 세밀하게 나타날 수 있는 알고리즘을 제시하였다. Lee[10] 역시 기하 데이터 기반의

라이팅 기법을 통해 과학 영상을 사실적으로 렌더링 하는 방법을 보였다.

본 논문에서 제안한 기술은 위의 연구들에서 착안하여 이루어졌다. 이전 연구들을 바탕으로 카툰 셰이딩의 조정을 통해 렌더링의 스타일화를 이룸과 동시에 객체의 형태를 잘 표현할 수 있도록 연구하였지만, 카툰의 제약 사항 때문에 이를 그대로 적용하기는 어렵다. 카툰의 특성인 단순함을 유지하면서도 사용자 간섭을 최대한 줄일 수 있도록 개발된 이 알고리즘은 적은 수의 사용자 정의 변수를 조정하는 것만으로도 쉽게 원하는 이미지를 얻어 낼 수 있다. 3장에서는 이를 위한 세부 기술들에 대하여 자세히 설명한다.

3. 셰이딩 알고리즘

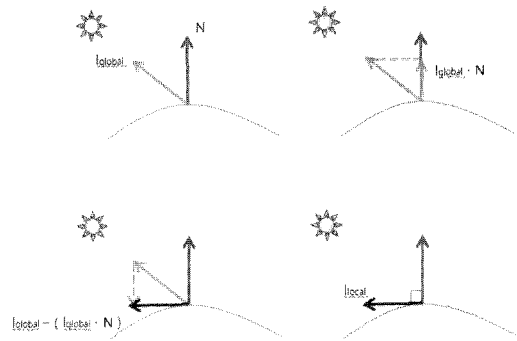
본 논문은 이전 연구들과 같이 광원의 조정을 통하여 객체의 형태를 명확히 표현하는 카툰 이미지를 만들어낸다. 광원의 위치는 음영의 위치, 방향, 강도를 조정하는 직접적인 척도이다. 여기서 사용된 광원의 종류는 전역 광원과 지역 광원의 두 가지이다. 전역 광원은 객체 전반에 영향을 미치는 광원을 의미하고, 지역 광원은 각 점점 별로 존재하는 가상의 광원을 말한다. 이 중 지역 광원은 본 논문에서 제안한 기법의 핵심 요소이다. 지역 광원은 각 영역의 기하적 특성에 맞추어 배치된다. 지역 광원의 배치 및 셰이딩 결과에 영향을 미치는 기하 요소들은 다음의 두 가지이다.

곡률(Curvature): 곡률은 영역의 변화가 심하고 복잡도가 높을수록 크게 나타난다. 곡률이 높은 영역의 형태를 표현하기 위해서는 법선 벡터가 변화하는 부분에서의 음영 대비를 늘려 명확한 입체감의 표현을 해야 한다. 하지만 기존 셀 셰이딩 기법에서 이런 영역의 형태를 나타내기 어렵다. 셀 셰이딩에서는 명암이 크게 차이 나야 다른 음영 단계로 나타나고 눈으로 확인할 수 있기 때문에 법선 벡터가 조금씩 자주 변화하는 영역은 평면과 같이 같은 색상이 입혀진 결과가 나온다. 따라서 전역 광원만 사용한 기존의 방법은 객체의 형태가 잘 나타난 영상을 얻기 어렵다. 본 논문에서는 곡률을 영역의 복잡도로 정

의하며, 곡률이 높을수록 음영 대비를 증가시켜 해당 영역의 형태적 특징이 잘 나타날 수 있도록 하였다. 본 논문에서 곡률은 평균 곡률(mean curvature)을 사용한다.

세일리언시(saliency): 해당 영역이 이 객체에서 얼마나 중요한가를 나타내는 척도이다. 본 논문의 세일리언시는 Lee[11]의 방법을 이용하여 계산하였다. 여기서는 평균 곡률의 변화가 심할수록 세일리언시를 높게 책정한다. 본 논문은 세일리언시를 기준으로 각 영역에서 나타나는 음영 대비의 세밀함을 조정하였다. 세일리언시가 높은 영역은 음영 대비를 세밀하게 표현하여 지역적인 형태가 더욱 잘 드러나도록 하였고, 반대의 경우는 기존처럼 간결한 음영의 표현이 나타나도록 하였다.

본 논문에서 제안한 기법의 핵심 아이디어는 앞에서 열거한 기하요소를 이용하여 전역 광원의 위치와 상관없이 지역 광원을 사용하여 지역적 음영 대비를 증가시키되 그 정도를 곡률을 이용해 조절하고, 또한 지역 광원에 의해 나타나는 음영의 세밀함을 조정하여 객체의 전반적인 특징과 지역적인 특징을 모두 나타나게 하는 것이다. 곡률에 의한 음영 대비 조정은 형태가 잘 드러나지 않는 복잡한 영역의 입체감을 증대시키며, 세일리언시에 의한 세밀함 조정은 영역의 특성에 맞추어 음영 대비의 세밀함을 조절하여 간결하면서도 형태가 잘 표현된 이미지를 만든다.



[그림 1] 지역 광원의 방향 벡터 계산 과정.

2.1 지역 광원의 조정

지역 광원을 사용하는 것은 각 영역의 형태적 특징을 나타내기 위한 가장 좋은 방법 중 하나이다. 지역 광원을 배치하기 위해서는 먼저 평균 법선 벡터를 계산해야 한다. 이는 단순히 해당 메쉬 뿐만 아니라 그 주변 영역의 형태까지 반영하기 위해서이다. 평균 법선 벡터는 가우시안 평균에 의해 계산된다. 이를 위한 정점 v 의 단위 법선 벡터를 $\hat{n}(v)$ 라 하고, v 의 이웃 노드의 집합을 P_{nb} 라 정의 할 때, P_{nb} 는 다음과 같이 결정된다: $P_{nb} = \{x \mid \|x - v\| < \sigma\}$. 여기서 σ 는 가우시안 필터의 분산이며, 객체를 둘러싼 바운딩 박스의 사선 길이의 0.3%로 정의하여 사용하였다. 가우시안 평균 법선 벡터 $N(v, \sigma)$ 를 구하기 위한 식은 다음과 같다:

$$N(v, \sigma) = \frac{\sum_{x \in P_{nb}} \hat{n}(x) \exp[-\|x - v\|^2 / (2\sigma)^2]}{\sum_{x \in P_{nb}} \exp[-\|x - v\|^2 / (2\sigma)^2]} \quad (1)$$

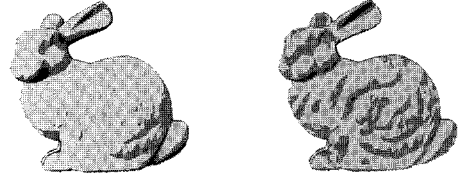
그 다음엔 각 정점마다 지역 광원을 배치한다. 지역 광원은 그 영역의 형태를 가장 잘 나타낼 수 있도록 평균 법선 벡터와 수직인 위치에 배치한다. 전역 광원의 위치를 l_{global} 라고 했을 때, 지역 광원 l_{local} 의 방향은 아래의 수식을 통해 결정된다:

$$l_{local} = l_{global} - N(v, \sigma)(N(v, \sigma) \cdot l_{global}) \quad (2)$$

지역 광원을 통한 음영은 정점의 평균 법선 벡터가 아닌 기존의 법선과 내적하여 계산한다. 지역 광원을 통한 음영은 지역적 형태를 세밀하게 나타낸다. 이 과정은 그림 1에 잘 나타나있다.

객체의 전반적인 입체감을 함께 나타내기 위하여 전역 광원을 통해 계산된 음영과 지역 광원을 사용하여 계산한 음영을 합친다. 각 정점의 음영을 결정하는 기준인 명암 $I(v)$ 는 다음과 같이 결정된다:

$$I(v) = \frac{1}{2}(l_{global} \cdot \hat{n}(v) + l_{local} \cdot \hat{n}(v)) \quad (3)$$



[그림 2] 전역 광원만 사용한 이미지(좌)와 지역 광원을 사용하여 음영 대비를 늘린 이미지(우).

$I(v)$ 는 1D 툰 텍스트처 맵핑을 위한 각 정점의 u 좌표로 사용된다. 이를 통해 음영은 단계가 나누어져 카툰과 같은 이미지로 나타난다.

2.2 기하 정보를 이용한 셰이딩의 확장

지역 광원을 사용한 이전 연구 [9]에서, 지역 광원을 배치하기 위하여 평균 법선 벡터에 반영되는 주변 영역의 범위는 객체 전반에 걸쳐 일괄적으로 같은 값을 사용하여 계산되었다. 이 방법은 객체 전반에 걸쳐 음영 대비를 증가시키며 지역적 특징 및 입체감을 증가시킨다. 그러나 카툰 셰이딩에서 이 방법을 그대로 사용하기는 어렵다.

일반 셰이딩 이미지는 연속적으로 음영이 변하기 때문에 그 변화가 크지 않아서 사람의 눈으로는 확인하기 어렵지만, 셀 셰이딩에서는 음영의 단계가 불연속적이기 때문에 음영의 차이를 쉽게 눈으로 확인할 수 있다. 따라서 이러한 방법은 많은 영역의 음영 대비가 갈라지듯 나타나며 조잡한 이미지를 만들게 된다. 그림 2를 보면, 음영 대비 증가로 인하여 많은 음영이 불규칙적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 오히려 사용자가 형태를 인식하기 어렵게 만든다.

이를 해결하기 위해서 두 가지 요건이 해결되어야 한다. 첫째로, 음영 대비를 증가시키는 영역을 따로 구별해야 한다. 영역의 형태가 복잡하지 않은 곳은 전역 광원을 통해서도 충분히 형태를 표현할 수 있다. 하지만 복잡한 영역은 입체감을 더욱 부각시키지 않으면 형태가 잘 나타나기 어렵다. 이를 위해서, 복잡도가 높을 수록 음영 대비를 크게 증가시켜 그 형태가 잘 나타날 수 있도록 하

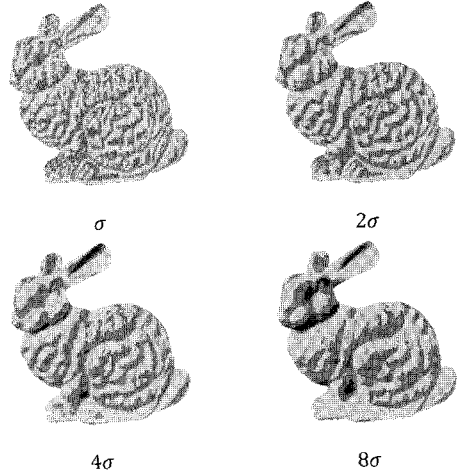
었다. 둘째로, 영역별로 음영의 세밀함을 조정해야 한다. 지역 광원을 통해 복잡한 영역의 음영 대비를 증가시키더라도 그것이 실제 형태를 표현하기에 적합하지 않을 수 있다. 때로는 음영 대비가 너무 세밀하게 나타나 형태를 인식하기 어려울 수 있고, 반대로 너무 세밀함이 떨어져 실제 형태와 나타내지 못할 수 있다. 그림 3은 각 평균 법선 벡터를 구할 때의 필터 크기에 따른 결과 이미지이다. 필터의 스케일에 따라 표현되는 형태적 특징이 다른 것을 확인할 수 있다. 필터의 크기가 작을 때에는 좁은 영역에서 조밀하게 음영의 대비가 나타나고, 반대로 필터가 커지면 넓은 영역에 걸쳐 음영 대비가 나타난다. 이에 따라, 각 필터 크기에 따라 부각되는 형태적 특징도 다르게 나타난다.

따라서, 지역적인 형태를 잘 표현하려면 지역 광원에 사용되는 평균 법선 벡터의 크기를 조절해 영역의 특성에 맞도록 음영의 세밀함을 조절해야 한다. 본 논문은 객체에 나타나는 음영의 세밀함을 조절하는 기준으로 세일리언시를 사용하였다. 세일리언시는 곡률에 기반한 영역의 중요도를 나타내는 척도이다. 세일리언시를 사용한 음영의 조절은 영역의 복잡도도 함께 고려할 수 있어 더 나은 셰이딩 결과를 만들 수 있다.

음영의 대비 조절 영역별로 다른 음영 기준을 적용하기 위하여, 본 논문에서는 곡률과 세일리언시를 사용하였다. 곡률을 적용한 수식은 다음과 같다:

$$I(v) = (1 - C_v)(I_{global} \cdot \hat{n}(v)) + C_v(I_{local} \cdot \hat{n}(v)) \quad (4)$$

C_v 는 각 정점의 곡률을 의미한다. 곡률은 0과 1사이로 정규화 되어 사용되며, 지역 광원에 의해 생성된 음영의 비중을 결정한다. 해당 영역의 곡률이 높을수록 지역 광원에 의해 음영 대비가 증가하여 입체감이 잘 나타나게 되며, 반대로 곡률이 낮다면 단순하게 전역 광원을 사용하여 일반적인 음영을 표현한다. 즉 곡률이 높고 복잡한 영역일수록 지역 광원을 통한 음영의 비중을 높여 영역의 입체감을 부각시키는 것이다.



[그림 3] 평균 법선 벡터를 구할 때 가우시안 필터의 크기에 따라 다르게 나타나는 지역 광원에 의한 카툰 셰이딩 결과.

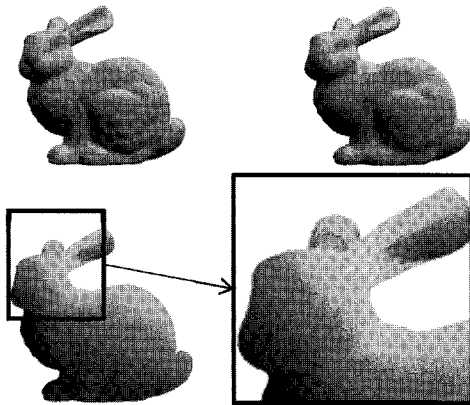
음영의 세밀함 조절 지역 광원을 배치할 때, 좁은 영역에서 평균 법선 벡터를 계산할수록 음영 대비가 세밀하게 나타나 작은 지역적 특징까지 표현되고, 반대의 경우 커다란 영역끼리의 대비만 부각된다. 이러한 결과는 그림 3에서 이미 확인하였다. 하지만 이러한 방법은 객체 전반적인 세밀함을 조절할 수는 있지만 지역의 특성에 맞추어 조절하기는 어렵다.

이런 점을 극복하기 위하여, 본 논문에서는 지역 광원의 위치를 결정하는 평균 법선 벡터를 구할 때 포함되는 영역의 범위를 세일리언시에 따라 조정한다. 즉, 세일리언시가 높은 영역일수록 영역의 범위를 좁게 잡아 세밀하게 나타낸다. 각 정점의 평균 법선 벡터에 포함되는 영역의 범위를 σ_v 라고 할 때, σ_v 는 다음과 같이 계산 된다:

$$\sigma_v = u\sigma(2 - S_v)^k \quad (3)$$

σ 는 평균 법선 벡터와 세일리언시를 구할 때 사용하였던 객체의 크기를 기준으로 정해지는 값이고, u 와 k 는 사용자 정의 변수이다. u 는 전반적인 범위의 넓이를 결정하는 요소이고, k 는 세일리언시의 가중치를 변화시키는 값으로 k 가 커질수록 세일리언시의 영향력이 커지게

된다. 이를 적용하여 계산한 평균 법선 벡터는 그림 4에 보여진다. 토끼의 얼굴과 같이 세일리언시가 큰 영역의 평균 법선 벡터는 세일리언시가 작은 영역에 비해 세밀한 특징까지 하며, 이 때 지역 광원은 더 조밀한 음영 대비를 만들어 그 영역의 형태를 자세하게 표현한다.

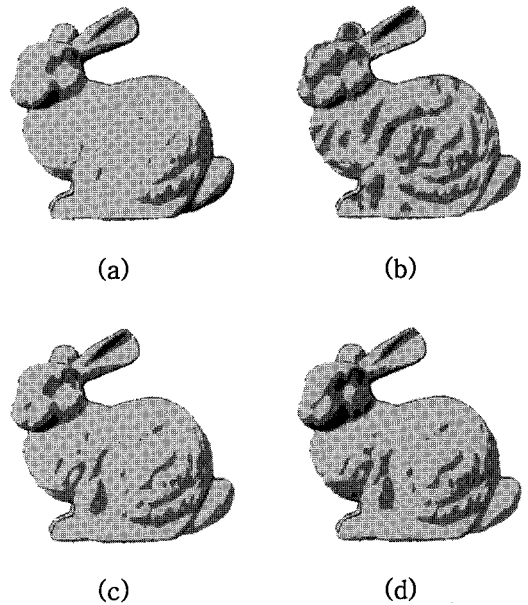


[그림 4] 객체의 법선 벡터 맵 (왼쪽), 평균 법선 벡터 맵 (오른쪽), 세일리언시를 가중치로 사용하여 계산한 평균 법선 벡터 맵과 그 확대 이미지 (아래).

4. 결과 분석

그림 5는 본 논문에서 설명한 알고리즘을 적용하여 렌더링한 토끼 모델의 결과이다. 이 결과물은 하나의 전역 광원이 존재한다고 가정하고, 지역 광원 역시 각 정점당 하나씩 배치하여 구현하였다. 기존의 연구에서 사용한 것과 같이 모든 정점에 걸쳐 전역 광원만 사용한 (a)에서는 객체의 세밀한 특징, 예를 들어 토끼의 얼굴과 다리의 털의 형태가 잘 나타나지 않는다. 또한 객체 전반에 걸쳐 단순한 결과를 만든다. 이에 비하여, (b)는 음영의 대비가 많이 나타나 지역적인 입체감이 나타나지만 음영 단계 변화가 심하고 갈라져 전반적으로 조잡한 이미지를 만든다. (c)는 위의 두 결과보다 나은 이미지를 만든다. (a)와 같이 단순하지도 않고 (b)와 같이 조잡하지도 않으며 필요한 부분에만 음영 대비를 통해

형태를 잘 나타내고 있다. 하지만 역시 토끼의 얼굴과 같이 세밀한 표현이 필요한 부분을 충분히 묘사하지 못한다. (d)는 세일리언시를 통해 세밀도 까지 조절한 결과이다. 3 단계의 음영으로도 얼굴과 같이 중요한 부분의 형태를 세밀하게 잘 표현했으며 객체의 전반적인 형태와 지역적인 형태 모두를 잘 표현하고 있다. 그림 6에서도, 전역 광원만 사용한 이미지에 비해 곡률과 세일리언시를 이용한 셀 셰이딩 이미지에서 다리의 패턴과 얼굴의 형태, 그리고 몸통의 근육과 같은 지역적 특징이 잘 표현되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7에 나타나는 객체들의 경우에도 전역 광원을 사용한 이미지는 단순하고 음영을 통한 형태의 표현을 잘 못하는데 비하여, 본 논문의 방법을 사용한 결과 이미지는 자연스럽게면서도 지역적 형태를 잘 표현하는 것을 볼 수 있다.



[그림 5] (a)전역 광원만 사용한 이미지 (b)전역 광원과 지역 광원을 함께 이용한 이미지 (c)곡률을 이용하여 음영 대비를 조정한 이미지 (d)세일리언시를 통해 음영의 세밀도를 조정한 이미지

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 기하 데이터를 기반으로 지역 광원을 배치하여 객체 전반에 걸쳐 형태를 잘 표현할 수 있는 셀 셰이딩 기법을 제안하였다. 영역적 특성을 고려하여 셰이딩한 이 기법은 단순한 단계의 음영으로도 객체의 지역적 특징들을 잘 나타내고 형태를 잘 표현하는 영상을 만들어낸다. 여기서 사용된 기법은 크게 두 가지이다. 첫째로, 곡률을 계산하고 이를 해당 영역의 복잡도로 정의하여 곡률이 높을수록 음영 대비를 크게 증가시켰다. 이는 복잡한 영역에서 입체감이 잘 나타나도록 해 그 형태가 잘 나타날 수 있도록 하였다. 둘째로, 세일리언시를 적용하여 영역의 특징에 따라 음영 대비의 밀도를 조정하여 형태적 특징이 잘 나타날 수 있도록 하였다.

하지만, 이 기법에서 사용된 복잡도는 완전하지 않다. 한 예로, 단순히 곡률만 사용한 복잡도는 원과 같이 높은 곡률을 가지며 계속 변화하는 객체에서는 복잡도로 사용할 수 없다. 또한, 곡률이 변하는 방향성도 함께 고려해야 더 정확한 결과를 얻을 수 있다. 따라서, 향후에는 향상된 복잡도 계산을 통해 더욱 좋은 결과 이미지를 만들 것이다. 또한, 객체를 인식하는데 있어 또 다른 중요한 특징인 외곽선이나 색상의 변화에 대한 고려가 필요하다. 이와 같은 요소를 함께 사용하여 음영의 대비와 세밀함, 그리고 방향을 조절한다면 더 좋은 이미지를 만들 수 있을 것이다.

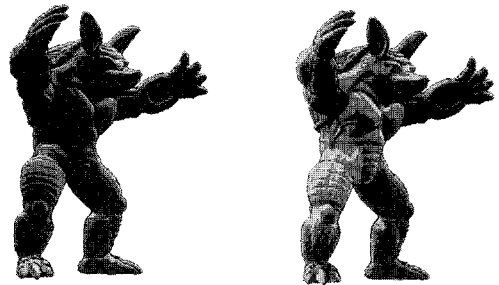
Acknowledgment 본 논문은 서울시 산학연 협력사업 (No.10557) 의 지원으로 수행되었음

참고 문헌

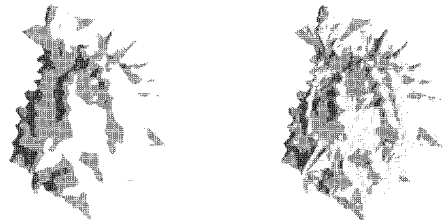
- [1] Gooch, B., and Gooch, A. Non-Photorealistic Rendering. A. K. Peters.
- [2] Philippe Decaudin. Cartoon-Looking Rendering of 3D Scans. Published in Research Report INRIA#2919, 1996.
- [3] 박무직, 박무직 무일푼 만화교실, 바다출판사, 2006.
- [4] 조성진, 기초 만화 일러스트레이션, 세진사, 2004.
- [5] Martin Spindeler, Niklas Röber, Robert Döhring and Maic

Masuch. Enhanced Cartoon and Comic Rendering. Proceedings of EUROGRAPHICS, 2006.

- [6] Barla, P., Thollot, J., AND Markosian, L. X-Toon : an extended toon shader. Proceedings of the 4th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, 127--132. 2006.
- [7] Anjyo, K., Wemler, S., AND Baxter, W. Tweakable light and shade for cartoon animation. Proceedings of the 4th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, 133--139. 2006.
- [8] Hideki Todo, Ken-ichi Anjyo, William Baxter, Takeo Igarashi. Locally Controllable Stylized Shading. Proceedings of ACM SIGGRAPH 2007.
- [9] Rusinkiewicz, S., Burns, M., AND Decarlo, D. 2006. Exaggerated shading for depicting shape and detail. Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006.
- [10] Lee, C. H., Hao, X., AND Varshney, A. 2006. Geometry dependent lighting. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 12, 2, 197--207.
- [11] Lee, C. H., A. Varshney, and David Jacobs. Mesh Saliency. Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005.



[그림 6] 전역 광원만 사용한 이미지(좌), 곡률과 세일리언시를 이용하여 형태를 나타낸 이미지(우).



[그림 7] 전역 광원만 사용한 이미지(좌)와 곡률과 세일리언시를 이용하여 형태를 나타낸 이미지(우).