가상 지역 광원을 이용한 카툰 쉐이딩

Cartoon Shading using virtual local light

정재민, Jaemin Chung*, 윤경현, Kyunghyun Yoon**
중앙대학교 컴퓨터 공학부

요약 본 논문에서는 객체의 인식성을 높이기 위해 가상의 지역 광원을 사용한 카툰 렌더링 기법을 제안한다. 지역 광원은 각 메쉬의 기하 정보를 분석하여 배치되며 객체의 지역적인 음영 대비를 증가시켜 객체의 모양과 특징이 눈에 잘 띄도록 한다. 하지만 지역 광원을 사용한 쉐이딩 기법은 객체의 일부 영역에서 갈라지고 불연속적인 음영을 만들어 이미지의 질적 하락을 초래한다. 이러한 현상을 막기 위하여 곡률과 샐리언시의 개념을 사용하여 영역의 특성에 따라 차등적으로 지역 광원을 객체에 적용하였다. 곡률은 해당 영역의 기하적 특성을 구분하여 지역 광원에 의한 음영 대비 증감을 조정하고, 샐리언시는 영역의 중요도를 판별하여 곡률이 쉐이딩에 미치는 가중치를 조절한다.

핵심어: *Cartoon Rendering, Cartoon Shading, Local Light, Exaggerated Shading, Saliency*

본 논문은 서울시 산학연 협력사업 (No.10787) 지원으로 수행되었음
*주저자 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 석사과정 정재민 e-mail: it2prince@icglab.cse.cau.ac.kr
**공동저자 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수 윤경현 e-mail: khyoon@cau.ac..kr

1. 서론

카툰 렌더링은 컴퓨터 그래픽스의 한 갈래인 비사실적 렌더링에 속하는 기술로, 주어진 3D 객체를 셀 애니메이션과 같은 이미지로 그려내는 기술이다. 하지만, 컴퓨터에 의한 카툰 렌더링 이미지는 인공적인 느낌이 강하다. 이런 원인은 대부분의 카툰 렌더링 알고리즘이[1,2] 사람이 만든 만화 영상과 달리 빛과 객체의 물리적 관계에만 의존하여 정확한 음영만을 표현하기 때문이다.

이런 문제점을 해결하기 위해서는 카툰 렌더링에 물리적 계산이 아닌 아티스트들의 쉐이딩 기법을 적용해야한다. 아티스트들의 기법 역시 전반적인 빛의 위치를 상정하고 음영을 입히지만 그것이 절대적 음영의 기준이 되는 것은 아니다. 아티스트들은 주관적으로 세밀하게 표현할 필요가 있는 영역을 선정하고 이런 영역에 음영 대비를 강조시켜 두드러지게 보이도록 표현한다. 비록 빛의 물리적인 작용에는 위반되더라도, 인간의 심층부 시각 시스템은 전역 광원으로 인한 음영이 지역별로 일관성을 유지하는지 인지하지 못하기 때문에 객체에 나타난 음영의 물리적 작용 위반 여부에는 상관없이 지역적인 세밀함이 잘 나타난 영상을 더 좋은 이미지로 인식한다.

본 논문은 아티스트들이 사용하는 기법의 장점을 카툰 렌더링 엔진에도 적용할 수 있는 방법을 제안한다. 빛과 객체의 물리적 정보로 계산한 음영이 표현된 이미지와 실제 물리 정보와는 상관없이 객체에 대한 인식을 높일 수 있게 표현된 이미지를 합쳐 최종 이미지를 만든다. 또한 각 영역의 기하적 특성에 맞추어 두 이미지를 차등적으로 합치는 근거 지표를 제시하여 객체의 형태에 상관없이 인식성이 높고 사람이 그린 이미지에 가까운 결과영상을 만들 수 있도록 하였다.

2. 관련 연구

Philippe Decaudin[1]는 3D 객체를 사용하여 만화 같은 영상을 만들어내는 렌더링 기법을 소개하였다. 이미지 버퍼를 이용하여 외곽선을 추출하고, 여기에 그림자 및 객체 내부의 음영을 계산하여 최종적으로 카툰 이미지를 만들었다. Johan Claes[2]는 기존 카툰 렌더링을 실시간으로 렌더링 할 수 있도록 향상된 알고리즘을 제시했고, 더불어 쉐이딩 과정에서 발생하는 계단 현상을 완화하여 자연스러운 만화 이미지를 만들 수 있도록 하였다.

Szymon[3]은 과장된 쉐이딩 기법을 제안하였다. 테크니컬 일러스트레이션이나 지형도와 같이 이미지는 표면의 모양과 세밀함을 잘 표현해야 하는 이미지들을 렌더링하기 위하여 이 논문에서는 기존의 전역 광원에 추가적으로 지역 광원을 정의해 이를 통하여 계산된 음영 이미지를 전역 광원을 이용한 음영 이미지에 더해주어 오히려 단순한 물리적 계산에 의한 쉐이딩보다 인식성이 높은 쉐이딩 이미지를 만들어내었다.

하지만 Szymon에 의한 방법은 음영의 대비를 조정할 수 있는 기준을 제시하지 않는다. 본 논문은 음영 대비를 조정할 수 있는 기준을 결정하기 위하여 샐리언시의 개념을 가져와 적용하였다. 샐리언시는 인간의 심층적 시각 시스템을 기반으로 하여 객체의 각 메쉬의 중요도를 측정하는 척도이다. 샐리언시를 사용하면 객체의 영역을 기하적 특성에 따라 분리할 수 있다. Lee[4]는 메쉬의 가우시안 평균 곡률(Gaussian average mean curvature)을 계산하여 각 메쉬의 샐리언시를 계산하였다. 또한, 해당 샐리언시를 이용한 결과가 뛰어나다는 것을 증명하기 위해 메쉬 단순화 및 객체의 특징을 가장 잘 표현하고 있는 시점을 선택하는 기법에 대하여 설명하였다.

3. 가상 지역 광원을 이용한 카툰 쉐이딩

전통적인 방식의 카툰 렌더링에서 사용하는 코사인 쉐이딩(cosine shading)은 객체를 표현함에 있어서 인식성을 떨어뜨린다. 이러한 이유는 음영이 2~3단계 정도로 단순화되기 때문에 음영이 표현되는 부분이 적어 입체감이 떨어지고 객체의 형태를 인식하기 어렵기 때문이다. 또한, 물리적 계산에 의해 만들어진 정확한 음영은 오히려 인위적인 느낌을 주어 사용자들의 영상에 대한 만족감을 떨어뜨린다. 이를 극복하기 위하여 본 논문은 전역 광원 외에 가상의 지역 광원을 각 정점마다 배치하여 이를 이용한 음영을 계산하고, 전역 광원을 이용하여 계산한 음영과 합쳐 최종 이미지를 만들어낸다. 단, 영역에 따라 음영 대비를 조절할 필요가 있기 때문에 이를 조정할 수 있는 가중치로 곡률과 샐리언시를 사용한다. 이에 대한 전체 알고리즘은 그림 1에 보여진다.

본 논문은 쉐이딩 효과를 위한 기반 기술로 1D 툰 텍스쳐를 사용하였다. 1D 툰 텍스쳐는 몇 단계로 나누어진 음영 값을 포함하고 있고, 이를 메쉬에 매핑하여 음영을 나타낸다. 1D 툰 텍스쳐를 이용한 툰 쉐이딩은 다음과 (1)과 같이 결정된다 :

$$U(v) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(\hat{n} \cdot \hat{l}) \qquad (1)$$

여기서 $U(v)$는 각 정점 v에 맵핑될 1D 텍스쳐의 좌표를 의미하고, $\hat{n}$과 $\hat{l}$은 각각 단위 법선 벡터 벡터와 전역 광원의 방향 벡터를 의미한다. 결국, $U(v)$는 텍스쳐에 나타난 음영의 단계를 결정하는 기준이 된다.

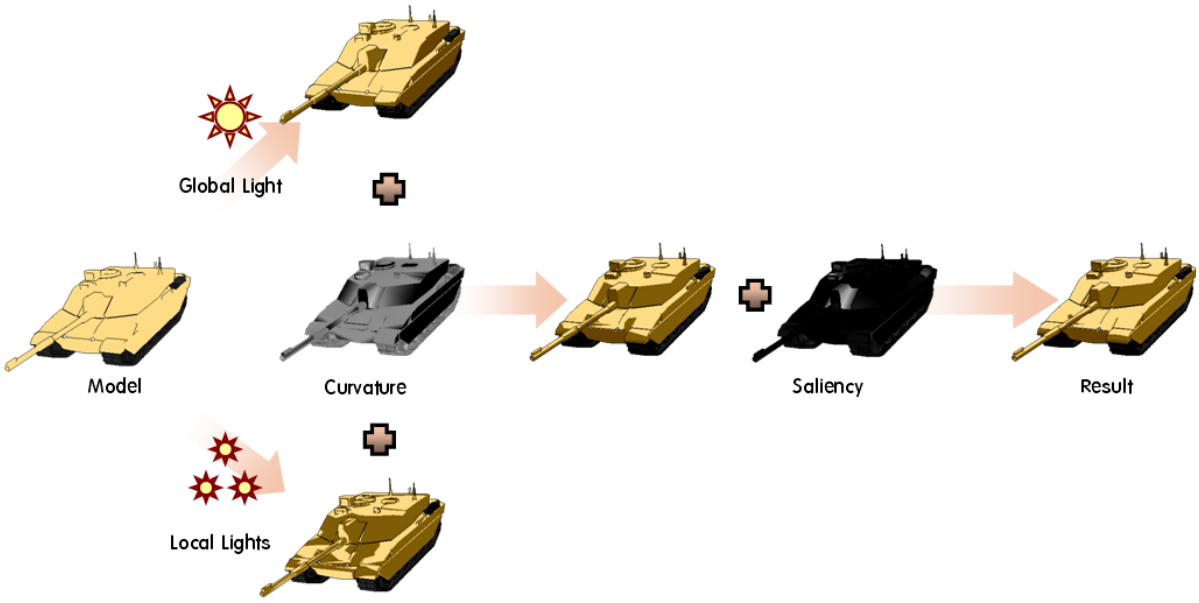

그림 1 가상 지역 광원을 사용하여 카툰 이미지를 만들어가는 과정. 전역 광원과 지역 광원을 각각 사용하여 카툰 이미지를 만든 뒤, 곡률과 샐리언시를 이용하여 두 카툰 이미지를 합친다.

3.1 가상 지역 광원

본 논문은 Szymon[3]의 과장된 쉐이딩 기법을 사용한다. 이 기법의 핵심은 지역 광원의 사용하는 것이다. 지역 광원을 배치하기 위해서 두 가지 과정을 거친다. 먼저 평균 법선 벡터를 계산한다. 그 다음, 평균 법선 벡터와 전역 광원의 방향에 맞추어 각 정점 마다 지역 광원을 배치한다. 이러한 지역 광원의 사용은 음영 대비를 증가시켜 객체의 형태를 쉽게 인식할 수 있다. 그림 2는 가상의 지역 광원을 배치하고 음영을 계산되는 과정을 보여준다.

3.1.1 평균 법선 벡터 계산

지역 광원을 배치하기 위해, 평균 법선 벡터를 계산한다. 정점의 법선 벡터 대신 평균 법선 벡터를 사용하는 이유는 단순히 해당 메쉬 뿐 아니라 주변 지역의 형태까지 고려하여 렌더링하기 위해서이다. 본 논문에서는 평균 법선 벡터를 계산하기 위해 가우시안 가중치를 갖는 평균 계산법을 사용하였다. 정점 v의 이웃노드를 $N(v,\sigma)$ 라고 정의할 때, $N(v,\sigma)=\{x|\,\|x-v\|<\sigma\}$과 같이 계산된다. 각 정점의 주변 노드로 포함되는 정점과의 거리는 유클리드(Euclidean) 거리를 사용하여 계산한다. 그 후, (2)와 같이 가우시안 평균 법선 벡터 $G_n(v,\sigma)$을 계산한다 :

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

평균 계산에 포함될 범위를 한정하기 위한 가우시안 필터의 임계치를 2σ로 결정하였다. σ는 객체를 둘러싼 바운딩 박스의 사선의 0.3% 값으로 했는데, 이는 Lee[4]의 논문에서

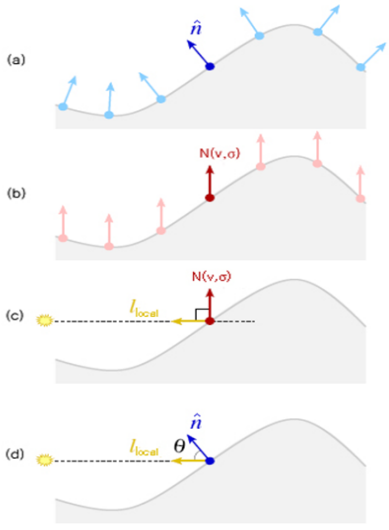

그림 2 (a) 법선 벡터 (b) 평균 법선 벡터 (c) 지역 광원 배치 (d) 지역 광원을 이용한 쉐이딩

그림 3 일반 코사인 쉐이딩(좌)와 지역 광원과 전역 광원을 1:1 로 합친 이미지(우). 객체의 특징은 더 잘 나타나 있지만, 불연속적인 음영과 음영의 갈라짐이 나타난다(붉은 원).

적용된 값을 참조하였다.

3.1.2 지역 광원 배치

주변 영역의 법선 벡터를 이용해 각 정점의 평균 법선 벡터를 계산하였다면, 이를 이용하여 지역 광원의 위치를 계산한다. 해당 메쉬의 특징을 잘 나타낼 수 있도록 평균 법선 벡터와 수직한 위치에 지역 광원을 위치시키며 지역 광원이 기존의 전역 광원의 방향에서 크게 벗어나지 않도록 전역 광원의 위치 l_{global}을 반영하여 지역 광원의 최종 위치를 계산한다. (3)은 이에 대한 수식을 나타낸다.

$$l_{local} = l_{global} - G_n(v,\sigma)(G_n(v,\sigma)\cdot l_{global}) \quad (3)$$

l_{local}은 지역 광원이 배치될 위치를 나타낸다. 이렇게 구한 지역 광원을 전역 광원과 함께 사용할 때 메쉬의 음영을 결정하는 1D 툰 텍스쳐의 맵핑 좌표 $U(v)$는 아래와 같이 결정된다 :

$$I(v) = (l_{global}\cdot\hat{n}(v) + l_{local}\cdot\hat{n}(v)) \quad (4)$$

$$U(v) = \frac{1}{2} + \frac{1}{4}I(v) \quad (5)$$

(4)의 수식에서 $I(v)$는 지역 광원과 전역 광원을 이용하여 구한 음영 값을 합한 최종 음영 값이고, 이것을 1D 툰 텍스쳐의 맵핑 좌표로 쓰기 위해 $0 \le U(v) \le 1$가 되도록 범위를 조정한다. 전역 광원을 통해 계산된 음영과 지역 광원을 통한 음영은 여기에서 1:1로 합쳐져 최종 이미지에 반영된다. 이러한 방법을 적용한 그림 결과는 그림 3에서 나타난다.

3.2 음영 대비의 조정

그림 3에서 지역 광원을 적용한 이미지는 객체의 형태를 잘 표현한 것처럼 보이지만, 이를 확대해보면 일부 영역에서는 이런 음영 대비의 과장으로 인해 음영이 갈라지거나 불연속적으로 나타나는 부분이 발생한다. 이런 현상은 평면 영역에서 더욱 두드러지게 나타는데, 이러한 이유는 평면 영역은 음영의 과장이 없어도 코사인 쉐이딩에 의해 해당 영역의 특징을 충분히 표현할 수 있음에도 불구하고 지역 광원을 통한 음영 대비의 증가에 의해 많은 음영이 일관성 없이 나타나게 되어 불연속적이며 조잡한 음영이 나타나기 때문이다. 특히 카툰 렌더링에서는 영역의 음영 단계별 차이가 크기 때문에 갈라진 영역이 명확히 드러나 이미지의 질적 저하를 초래한다. 따라서 좋은 이미지를 얻기 위해서는 이런 영역을 따로 구분하여 음영 대비를 낮추어야만 한다.

본 논문은 이런 문제를 해결하기 위하여 곡률과 샐리언시를 렌더링 시스템에 적용하였다. 곡률이 높고 변화가 심한 부분은 지역 광원을 이용하여 음영 대비를 높여 입체감 증가를 통해 인식성을 높이고, 평면 영역에서는 지역 광원에 의해 나타나는 음영의 가중치를 줄여 일괄적인 음영이 연속적으로 표현될 수 있도록 하였다. 곡률을 계산하기 위한 방법은 여러 가지가 있으나[5,6], 여기에서 곡률의 계산은 Taubin의 방법[5]을 사용한 곡률(mean curvature)을 사용하였다. 곡률을 적용하여 지역 음영대비를 달리한 쉐이딩은 복잡한 영역과 평평한 영역을 잘 나누어서 음영의 대비를 다르게 적용한다. 곡률 $c(v)$를 가중치로 적용하기 위해, 수식 (4)에서의 $I(v)$는 계산할 때 아래와 같이 계산된다 :

$$I(v) = \{c(v)(l_{global}\cdot\hat{n}(v)) + (1-c(v))(l_{local}\cdot\hat{n}(v))\} \quad (5)$$

즉, $c(v)$가 커질수록 지역 광원에 의해 나타나는 음영의 가중치가 커져 음영 대비가 증가한다. 이렇게 곡률을 사용한 카툰 렌더링 이미지는 그림 4에 나타난다. 단순히 전역 광원에 의한 음영과 지역 광원에 의한 음영을 1:1로 합쳤을 때에 비하여 곡률을 사용한 결과는 갈라지는 영역이 없이 연속적인 음영이 나타난다. 하지만, 단순히 곡률만 가중치로 사용한 방법은 평면에서의 문제점만 해결했을 뿐이고 구와 같은 영역에서의 음영의 쪼개짐 현상은 해결하지 못한다. 그림 5를 보면 이런 곡률에 의해 만들어진 이미지의 음영의 갈라짐 현상이 잘 나타나 있다. 곡률의 변화가 심하게 나타나고 평면과 곡면이 확연이 갈라지는 모델에서는 곡률만 적용해도 좋은 이미지를 만들지만, 전반적으로 높은 곡률을 갖는 객체는 음영의 갈라짐 현상이 자주 발생하여 좋은 결과를 만들지 못한다. 이는, 단순히 곡률의 높고 낮음으로 음영 대비를 증가시키는 것으로는 좋은 이미지를 만들 수 없다는 것을 의미한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 우리는

그림 4 곡률을 가중치로 사용하여 음영 대비를 증가시킨 카툰렌더링.

그림 5 일반 코사인 쉐이딩(좌)와 곡률을 가중치로 갖는 지역 광원을 사용한 이미지(우).

'샐리언시(saliency)' 라는 개념을 적용하였다. 샐리언시는, 인간의 심층부 시각 시스템을 기반으로 해당 영역에 얼마나 많은 시선이 가는지, 눈에 띄는 영역으로 인식하는지를 측정하는 척도이다. 구와 같이 변화가 적고 단순한 영역에서의 샐리언시는 높은 곡률에도 불구하고 낮게 나타난다.

[4]에서는 이 샐리언시를 계산하는 방법을 제시한다. 곡률을 기반으로 하되, 주변의 법선 벡터를 고려해 각 정점의 주변 곡률과의 평균 곡률(average mean curvature)을 구하고 이에 대한 변화를 측정하여 샐리언시를 계산한다. 3.1.1 단락 에서 평균 법선 벡터를 구한 것과 마찬가지로, 평균 곡률을 계산하기 위해서 가우시안 가중치를 갖는 평균 계산법을 이용한다. 샐리언시 $S(v)$를 구했다면, 상대적으로 중요하지 않은 영역들의 음영 대비를 낮추기 위하여 $I(v)$를 새롭게 정의한다. 곡률에 의한 가중치는 해당 영역의 샐리언시 값에 따라 다시금 조정된다. 이는 아래의 식과 같다 :

$$I(v) = \{r(v)(l_{global} \cdot \hat{n}(v)) + (1 - r(v))(l_{local} \cdot \hat{n}(v))\} \quad (6)$$

$$r(v)\begin{cases} c(v) & S(v) > S_{average} \cdot w_r \\ \dfrac{c(v)}{2-(S(v))^2} & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

(6)의 수식을 보면, $I(v)$는 가중치 $r(v)$에 의해 조절된다. $r(v)$의 정의는 수식(7)에 나타나있다. $S_{average}$는 객체의 평균 샐리언시 값이고, w_r은 사용자 정의 하는 변수로 가중치 $r(v)$를 샐리언시를 이용해 계산할것인지의 여부를 결정하는 임계치이다. 만약 샐리언시가 (7)의 조건을 만족한다면 $r(v)$는 곡률 $c(v)$를 그대로 가중치로 사용하지만 그렇지 않을 경우는 $r(v)$는 샐리언시에 의해 낮아져 음영 대비 증가가 억제된다.

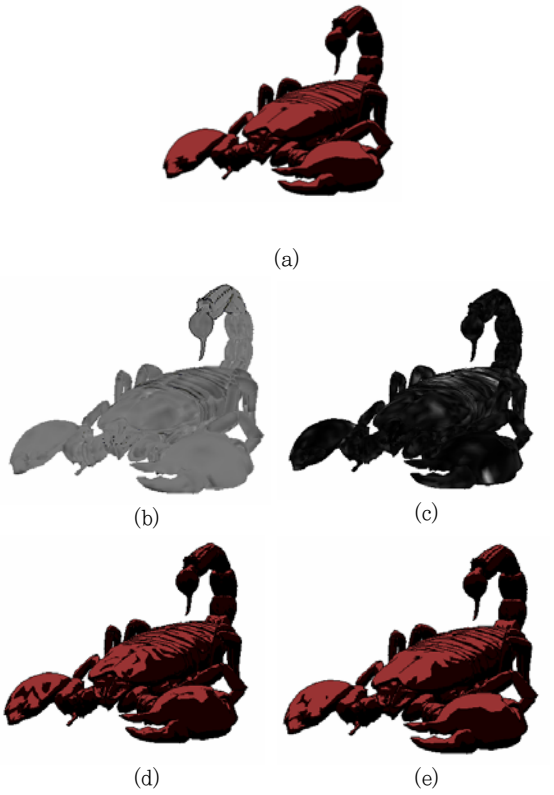

그림 6 (a)코사인 쉐이딩 이미지 (b)곡률 (c)샐리언시 (d)곡률만 사용한 이미지 (e)샐리언시를 함께 사용한 이미지.

4. 결과 분석

그림 6은 곡률을 사용한 이미지와 곡률에 추가적으로 샐리언시를 적용한 이미지를 비교하고 있다. 이 객체는 곡률이 전반적으로 높고 일정하기 때문에, 곡률만 적용했을 경우 (a)와 같이 전반적으로 갈라진 음영이 많이 나타난다. 하지만 샐리언시를 적용한 기법은 중요하지 않은 지역의 음영 갈라짐 현상을 둔화시켜 더 안정적이고 좋은 결과를 만든다. 샐리언시를 사용한 결과는 안정적이고 일관성있는 음영을 나타냄과 동시에 객체의 특징도 잘 표현하고 있다.

그림 7은 본 논문의 알고리즘을 사용한 결과들을 나타낸다. (a)의 탱크 이미지에서 포대 부분은 빛을 직접적으로 받아 밝은 영역만 나타나 코사인 쉐이딩에서는 객체의 형태가 잘 드러나지 않지만, 가상 지역 광원을 적용한 쉐이딩의 결과 이미지는 음영 대비의 증가를 통해 객체의 형태가 잘 나타나있다. (b)는 전반적으로 곡률이 큰 모델에서의 코사인 쉐이딩과 본 논문의 알고리즘을 적용한 이미지 영상을 비교한 결과로, 객체의 높은 곡률에도 불구하고 음영의 갈라짐이 적고 사람이 그린 만화 영상과 비슷한 결과를 이미지를 보인다. (c)와 (d)의 결과 영상 역시 코사인 쉐이딩에 비해 더욱 사람이 그린 것 같은 이미지를 만들어낸다. (c)의 헤드라

이트와 (d)의 앞 유리 영역은 이런 효과가 두드러지게 나타난다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 물리적 연산에 의존하는 기존의 방식에서 탈피하여 사람이 제작한 셀 애니메이션에 더 가깝고 인식성이 높은 영상을 제작하기 위하여 인간의 시각시스템의 원리에 착안한 기법들을 카툰 렌더링에 적용하였다. 이 과정에서 사용된 가상의 지역 광원은, 음영 대비를 증가시켜 어두운 영역과 밝은 영역이 뚜렷하게 나타나도록 하여 영역의 형태와 특징이 잘 나타날 수 있도록 한다. 더불어, 음영 대비를 각 영역의 돌출도 또는 중요성에 맞춰 조정하기 위해 객체의 기하 정보를 표현하는 곡률과 인간의 심층적 시각 시스템에 기반하는 샐리언시라는 개념을 가중치로 적용하여 직관적으로 이미지의 질적 상승을 느낄 수 있도록 하였다.

하지만, 현재의 지역 광원을 적용하여 쉐이딩을 하는 과정이 GPU의 파이프라인과 달라 기존의 GPU를 이용하는데 어려움이 있다. 향후 연구에서는 GPU 파이프라인을 사용하기 위해 쉐이더를 이용하여 알고리즘을 재정립해 렌더링 속도를 더욱 향상시킬 수 있도록 연구할 것이다. 또한, 셀프 쉐도우를 계산하여 최종 이미지에 합쳐 이미지 내부에 표현되는 음영을 전부 나타낼 수 있도록 하여 더욱 자연스러운 이미지 영상을 만들 수 있게 할 것이다.

참고문헌

[1] Philippe Decaudin. "Cartoon-Looking Rendering of 3D Scenes", Published in Research Report INRIA #2919, 1996.

[2] Johan Clases "Fast Cartoon Rendering with Improved Quality by Exploiting Graphics Hardware" Proc. Image and Vision Computing New Zealand pp. 13~18, 2001.

[3] Szymon Rusinkiewicz, Michael Burns, and Doug DeCarlo."Exaggerated Shading for Depicting Shape and Detail" Comm. ACM, Vol. 25 No. 3, pp1199~1205, 2006.

[4] C. H. Lee, A. Varshney, and David Jacobs. "Mesh Saliency", Comm. ACM Vol. 25 No. 3 pp 659~ 666, 2005.

[5] G. Taubin., "Estimating the tensor of curvature of a surface from a polyhedral approximation". Proc. the International Conference on Computer Vision, pp 902~907, 1995.

[6] Meyer, M., Desbrun, M., Schroder, P., AND Barr, A. H. "Discrete Differential-Geometry Operators for Triangulated 2-Manifolds". Proc. VisMath2002, pp35~54, 2002.

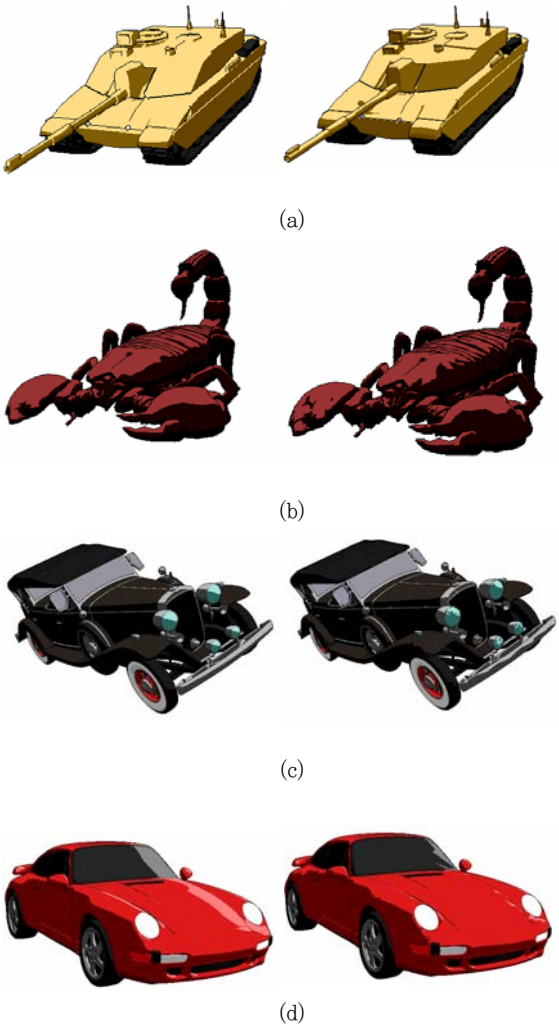

그림 7 기존의 카툰 렌더링 알고리즘에서 사용하는 코사인 쉐이딩(좌)와 본 논문의 알고리즘을 적용한 결과(우).