

3차원 텍스처를 이용한 카툰 렌더링의 만화적 스타일 다양화

Extended Cartoon Rendering using 3D Texture

변혜원, 정혜문
성신여자대학교 IT학부

Hae-Won Byun(hyewon@sungshin.ac.kr), Hye-Moon Jung(haemoon@sungshin.ac.kr)

요약

본 논문에서는 3차원 물체를 카툰 스타일로 렌더링하는 톤 셰이딩에 3차원 텍스처를 활용하는 새로운 방법론을 제안한다. 1차원 텍스처를 사용하는 기존의 톤 셰이딩에서는 주어진 조명 벡터와 물체 곡면의 법선 벡터 간의 상대적인 위치와 방향에 따라 셰이딩 톤을 표현하고 있다. 1차원 텍스처만으로는 시점에 따른 톤의 변화를 표현하는데 한계가 있으므로 Barla 등은 2차원 텍스처로 확장하여 원근감, 안개효과 등 시점에 따라 변화하는 효과를 1차원 추가하였다. 본 논문에서는 3차원 텍스처로 확장하여 곡률, 세일리언시, 좌표 등 물체의 기하정보를 또 다른 1차원으로 추가함으로써 만화적 스타일 다양화를 위한 2가지 확장을 시도한다. 첫 번째는 기하정보에 따라 실루엣이나 하이라이트를 강조하는 형태 과장 효과를 추가하는 것이고 두 번째는 스크린 톤이나 아웃포커싱 등 만화에서 자주 등장하는 만화 고유의 효과를 추가하는 것이다. 이 접근방식의 유효성은 여러 가지 3D 물체를 기존에 표현하지 못하는 다양한 만화적 스타일로 렌더링한 예를 보임으로써 증명한다.

■ 중심어 : 비사실적 렌더링 | 카툰 렌더링 | 곡률 | 셰이딩 | 톤 셰이딩 | 세일리언시 | 하이라이트 | 스크린톤 | 아웃포커싱

Abstract

In this paper, we propose a new method for toon shading using 3D texture which renders 3d objects in a cartoon style. The conventional toon shading using 1D texture displays shading tone by computing the relative position and orientation between a light vector and surface normal. The 1D texture alone has limits to express the various tone change according to any viewing condition. Therefore Barla et. al. replaces a 1D texture with a 2D texture whose the second dimension corresponds to the view-dependent effects such as level-of-abstraction, depth-of-field. The proposed scheme extends 2D texture to 3D texture by adding one dimension with the geometric information of 3D objects such as curvature, saliency, and coordinates. This approach supports two kinds of extensions for cartoon style diversification. First, we support "shape exaggeration effect" to emphasize silhouette or highlight according to the geometric information of 3D objects. Second, we further incorporate "cartoon specific effect", which is examples of screen tone and out focusing frequently appeared in cartoons. We demonstrate the effectiveness of our approach through examples that include a number of 3d objects rendered in various cartoon style.

■ keyword : Non-Photorealistic Rendering | Cartoon Rendering | Curvature | Shading | Toon Shading | Saliency | Highlight | Screen Tone | Outfocusing |

* 본 연구는 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행되었습니다.(No.2011-0003679)

접수번호 : #110615-001

심사완료일 : 2011년 07월 20일

접수일자 : 2011년 06월 15일

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

I. 서론

카툰 렌더링은 만화적인 스타일을 표현하기 위하여 3차원 물체의 음영을 단순화시키는 렌더링 기법으로서 비현실적 렌더링(NPR : Non-Photorealistic Rendering)의 대표적인 연구 분야이다[1]. 최근에는 친근감있고 색다른 표현력 때문에 비디오 게임, 영화, CF 등에 빈번하게 활용되고 있다. 카툰 렌더링의 기본원리는 램버티안(Lambertian) 셰이딩 모델을 확장한 것으로서 물체 표면의 한 점에서의 법선 벡터와 조명 벡터 간의 각도에 따라 색상을 표현하는 방식이다. 두 벡터간의 각도가 클수록 밝게 표현하며 작을수록 어둡게 표현함으로써 음영을 나타내며 이때, 만화적 스타일을 표현하기 위하여 1차원 텍스처를 사용하여 음영 단계를 단순화시킨다. 1차원 텍스처는 2개 또는 3개 정도의 동일한 색상을 단계별로 배치해 놓은 것이다. 일반적으로 디자이너가 1차원 텍스처를 제작하게 되는데 이때 어떤 색상을 사용하고 각 색상 단계를 어떻게 구성하느냐에 따라 만화적 느낌을 제어할 수 있다.

Barla[2] 등은 1차원 텍스처를 2차원 텍스처로 확장하여 기존의 카툰 셰이딩에서 표현할 수 없었던 원근감, 안개효과, 후광효과(backlighting), 하이라이트 등과 같이 시점(view)에 의한 다양한 효과를 표현하는 알고리즘을 제안하였다. 2차원 텍스처의 수평축에는 빛의 방향과 물체의 법선벡터 간의 각도를 적용하는 기존의 방법론을 적용하고, 수직축에는 시점의 위치 및 방향을 음영 결정요소로 적용하여 시점에 의한 다양한 효과를 표현할 수 있도록 하였다.

그런데 실제 만화가들은 카툰 렌더링 이론과 같이 조명의 위치, 법선 방향 및 시점 등을 고려하여 밝고 어두운 정도를 물리적으로 정확하게 결정하는 것이 아니라 캐릭터의 형태적 특성을 강조하거나 독특한 스타일로 장면을 연출하는데 초점을 맞추어 물체의 음영을 표현한다. 예를 들어, 눈이 움푹 들어간 캐릭터의 형태를 과장하기 위하여 [그림 1]과 같이 눈 밑에 음영을 강조하여 표현하거나 이마가 튀어나온 형태를 강조하기 위하여 이마 주위에 하이라이트를 과도하게 표현한다. 이러한 현상은 눈이 움푹 들어가거나 이마가 튀어나온 물체

의 기하정보를 분석하여 특정 부분의 하이라이트를 강조하거나 실루엣을 강조하는 형태과장 효과로 표현할 수 있다.

또한 만화에서는 스크린톤(screen tone)이나 그라데이션, 아웃포커싱 등 만화 특유의 스타일이 자주 등장한다. 이러한 음영효과는 물리적으로 정확한 것은 아니지만 독자나 관객이 물체의 형태를 인지하거나 장면의 분위기를 파악하는데 효과적이어서 만화가들이 자주 사용한다. 따라서 단순히 조명벡터 및 법선벡터 만을 가지고 음영을 표현하는 기존의 카툰 렌더링 방법론을 향상시키는 연구가 필요하다.



그림 1. 다양한 카툰 스타일의 예

본 논문에서는 기존의 카툰 셰이딩 방법론에서 표현하기 어려운 형태 과장과 스크린톤 등 만화 고유의 효과를 표현하기 위하여 2차원 텍스처를 3차원 텍스처로 확장하는 새로운 카툰 셰이딩 방법론을 제안한다. 곡률, 세일리언시, 물체 좌표 등 물체의 기하정보를 또 다른 1차원으로 추가하여 3차원 텍스처를 생성하고 이를 통해 만화적 스타일의 다양화를 위한 2가지 확장을 시도한다. 첫 번째는 물체의 기하정보에 따라 실루엣이나 하이라이트를 강조하는 형태과장 효과를 추가하는 것이고 두 번째는 스크린 톤이나 아웃포커싱 등 만화에서 자주 등장하는 만화 고유의 스타일을 추가하는 것이다. 3차원 텍스처의 1차원 축에는 빛의 방향과 물체의 법선 벡터 간의 각도를 기존의 방법론대로 적용하고, 2차원 축에는 시점의 위치 및 방향을 적용하여 시점에 의한 다양한 효과를 얻을 수 있도록 하며 3차원 축에는 곡률, 세일리언시, 좌표 등의 기하정보를 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구에 관하여 서술하고 3장에서는 다양한 원화를 수집하여 실제 만화가들이 원화에서 음영을 표현하는 방법론을

분석한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 카툰 렌더링 스타일화 알고리즘을 설명한다. 그리고 5장에서는 구현 및 실험결과에 관하여 서술하고 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구에 관하여 언급한다.

II. 관련연구

비현실적 렌더링(NPR) 분야는 초기에 기계도안 등의 분야에서 물체의 윤곽선을 뚜렷하게 표현하여 형태적 특성을 명확하게 하는 Gooch[3] 등의 기술적 일러스트레이션(technical illustration) 연구에서 시작되었다. 이후에 유화, 수채화, 카툰, 펜화, 수묵화 등 실제 미술 작품과 같은 다양한 스타일로 물체의 음영을 표현하는 연구가 진행되어 왔다. 본 논문은 카툰 렌더링 연구의 한 분야로서 3D 물체 형태의 중요도를 나타내는 세일리언시를 도입하여 만화적 스타일을 다양화하는 시도를 한다.

카툰 렌더링은 Harris[4] 등에 의해 최초로 제안되었는데 여기에서는 1차원 텍스처를 이용하여 물체를 카툰 스타일로 표현하는 방법론을 제안하고 있다. 그 이후 Harris 방법론을 응용하여 실제 만화가의 스타일을 반영하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. Barla[2] 등은 기존의 1차원 텍스처를 2차원으로 확장하고 깊이 및 물체의 외곽선과의 거리 등 다양한 요소들을 적용하여 원근감과 후광효과 등을 카툰 스타일로 표현하였다. Spindler[5] 등은 만화 "Sin City"와 "Spawn"의 독특한 만화 표현 방식을 셰이딩하는 기술을 제안하였다. "씬 시티"의 음영 표현처럼 그림자를 만화적으로 스타일화하기 위하여 스텐실 버퍼(stencil buffer) 기반의 그림자 볼륨(shadow volume)을 제시하였으며 팽창 필터(dilation filter)를 이용하여 외곽선의 두께를 팽창시켜 이중 외곽선(double contour lines) 효과를 표현하였다. 또한 Harris의 1차원 텍스처를 다양하게 변형시켜 음영의 경계를 부드럽게 렌더링하는 소프트 셀 셰이딩(Soft Cel Shading), 음영의 경계를 나누는 슈도 에지(Pseudo Edges) 등의 스타일로 3D 물체를 "스편"의 스타일로 표현하였다. DeCoro[6] 등은 실제 만화가들이 그림자를 여러 가지 스타일로 추상화시킨다는 점을 관찰하고 이

에 착안하여 그림자의 크기, 명도, 추상화 정도를 결정하는 파라미터들을 통하여 그림자를 만화적인 다양한 스타일로 표현하였다.

세일리언시 관련 연구로서 Rusinkiewicz[7] 등은 3차원 물체의 기하학적 특징을 기반으로 음영을 표현하는 방법론을 제시하였다. 3차원 물체 주변에 지역 조명을 조밀하게 배치하여 음영대비를 발생시킴으로써 사물의 형태를 보다 세밀하게 표현하는 알고리즘을 제안하였다. 또한, Lee[8][9] 등은 평균 곡률의 가우시안 평균의 변화량을 이용하여 세일리언시를 계산하는 알고리즘을 제안하고 중요도가 높은 영역의 형태적 특징을 유지하는 메쉬 단순화 알고리즘을 제시하였다. Vergne[10] 등은 곡률을 이용하여 3차원 물체의 기하학적인 중요도를 정의하고 중요도를 기반으로 렌더링하는 알고리즘을 제시하였다.

본 논문에서는 카툰 렌더링에 세일리언시를 도입하여 만화적 스타일을 다양화하는 시도를 한다.

III. 만화가의 음영표현 분석

1. 다양한 원화의 수집

실제 원화에서 캐릭터의 음영을 어떻게 표현하는지 분석하기 위하여 셀 채색 기법으로 표현된 원화 500여 장을 수집하였다. 그림 2는 셀 채색 기법으로 표현된 다양한 원화 중에서 애니메이션 캐릭터 그룹을 보여주고 있다.

2. 음영표현 분석 결과

수집한 원화를 관찰해 보면, 원화의 음영은 기본적으로 빛과 물체 간의 상대적인 위치에 의하여 표현되는 음영이 대부분이긴 하지만 다른 여러 가지 요소를 고려하여 물체를 다양하게 표현한다는 사실을 확인할 수 있다. 예를 들면 만화가들은 캐릭터 얼굴의 입체감을 살리기 위해서 물리적으로 정확하지 않은 위치에 음영을 표현하거나 캐릭터의 감정표현을 극대화하기 위해서 또는 장면의 분위기를 효과적으로 묘사하기 위해서 음영을 과장하거나 자제한다.



그림 2. 만화 캐릭터 표정

표 1. 원화에 나타나는 음영의 종류

음영의 종류	특징
빛에 의한 음영	○ 물체의 대부분을 차지하는 기본적인 음영
형태의 강조를 위한 음영	○ 복잡한 영역의 형태를 효과적으로 묘사 (예) 캐릭터의 코 등 이목구비 등을 강조
표정의 강조를 위한 음영	○ 캐릭터 표정으로 인한 주름의 과장 ○ 감정에 따른 상황별 음영 표현

[그림 2]의 (a)와 (c)는 음영을 사용하여 코의 형태를 효과적으로 표현하고 있다. (g)는 캐릭터의 놀라는 표정을 강조하기 위하여 광원의 위치를 얼굴 아래에 배치한 것처럼 표현하여 캐릭터의 감정을 효과적으로 묘사하고 있으며, (b), (d), (e), (f), (h)는 캐릭터의 화난 표정을 강조하기 위하여 광원의 위치와 관계없이 음영을 표현하고 있다.

[표 1]은 원화의 음영을 관찰한 결과를 토대로 원화에 나타나는 다양한 음영 표현을 크게 세 가지, 즉, 빛에 의한 음영, 형태의 강조를 위한 음영, 표정의 강조를 위한 음영으로 분류하여 정리한 결과이다. 본 논문에서는 이러한 관찰 결과를 토대로 하여 3D 물체의 형태적인 특징을 강조하는 카툰 렌더링 기법을 제안하며 이를 위하여 3D 물체의 기하정보를 분석하는 세일리언시를 활용한다.

IV. 카툰 렌더링 스타일화 알고리즘

1. 기본 아이디어

카툰 렌더링의 기본적인 원리는 램버티안 음영 모델(Lambertian shading model)을 사용하며 2~3단계의 불

연속적인 음영 단계로 구성된 1차원 텍스처를 참조하여 3D 물체의 각 정점의 밝고 어두운 정도를 결정하는 방식이다. [그림 3]은 1차원 텍스처를 이용하는 카툰 렌더링의 기본원리를 설명하고 있다. 각 정점에서 광원벡터(light vector)와 정점의 법선벡터(vertex normal vector)의 내적 값을 계산하고 이를 이용해서 물체의 음영을 결정한다. [그림 3]에서 보는 것처럼 내적 값이 클수록 정점이 광원을 향하고 있는 것을 의미하므로 밝게 표현되며, 그 반대의 경우에는 어둡게 표현된다.

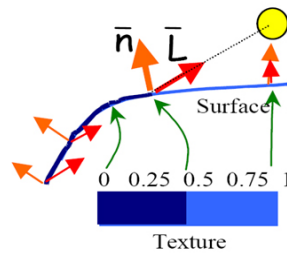


그림 3. 카툰 렌더링의 기본 원리

Barla는 기존의 카툰 렌더링 방법론으로는 표현이 어려웠던 시점에 의한 효과를 카툰 렌더링으로 표현하기 위하여 1차원 텍스처를 [그림 4]와 같이 2차원 텍스처로 확장시켰다. 2차원 텍스처의 수평축에는 기존의 카툰 렌더링 방법론에서 사용하는 램버티안 수식 $n \cdot l$ 을 그대로 적용한다. 여기에서 n 은 단위 곡면 법선벡터이고 l 은 단위 조명 벡터이다. 수직축의 D 에는 [표 2]와 같이 카메라의 위치, 카메라의 방향, 반사벡터 방향과 같은 음영 결정 요소들을 적용하여 음영을 결정한다. 이를 통해 깊이 정보를 이용한 LOD 효과, 외곽선과의 거리정보를 이용한 실루엣 효과, 반사 벡터를 이용하여 플라스틱 및 금속 등의 재질을 표현하는 하이라이트 효과 등 다양한 스타일로 물체를 표현할 수 있다.

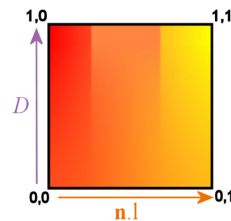


그림 4. 2차원 텍스처

표 2. 2차원 텍스처 음영결정요소

음영결정요소	설명
카메라의 위치	○ 정점과 카메라의 위치의 거리 ○ 최소거리와 최대거리를 기준으로 정규화
카메라의 방향	○ 법선 벡터와 카메라 방향벡터의 내적값
반사벡터 방향	○ 카메라 방향 벡터와 반사 벡터의 내적값

본 논문에서는 Barla의 2차원 텍스처에 또 다른 1차원으로 곡률, 세일리언시, 좌표 등 물체의 기하정보를 추가하여 3차원 텍스처로 확장한다. 이를 이용하여 기존 카툰 렌더링 방식에 형태 과장 효과와 만화 고유의 효과의 2가지 확장을 시도한다. [그림 5]에서 볼 수 있듯이, 3차원 텍스처의 수평축과 수직축, 그리고 세 번째 축에는 각기 다른 요소를 적용한다. 첫 번째 축과 두 번째 축에는 Barla와 같은 방법으로 적용하고 추가된 세 번째 축은 [표 3]과 같이 곡률, 세일리언시, 좌표 등 물체의 기하정보를 적용한다. 이러한 요소들을 조합하여 표 4와 같이 세일리언시 기반 하이라이트, 곡률 기반 실루엣 효과, 스크린 톤, 아웃포커싱 등의 다양한 스타일로 물체를 표현할 수 있다.

디자이너는 기존의 페인팅 툴이나 이미지 프로세싱 툴을 사용하여 3차원 텍스처를 자유롭게 만들 수 있다.

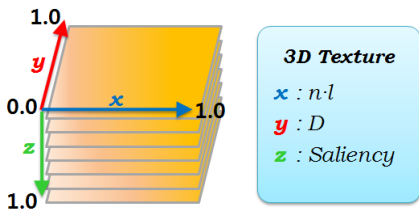


그림 5. 3차원 텍스처

표 3. 3차원 텍스처 음영결정요소

음영결정요소	설명
곡률	○ 3차원 물체의 곡률 ○ 0~1사이로 정규화한 결과를 이용
세일리언시	○ 3차원 물체의 기하학적 복잡도 및 중요도를 나타내는 척도
좌표	○ 3차원 공간의 월드좌표 및 스크린좌표 ○ 최대/최소 좌표를 기준으로 정규화

표 4. 셰이딩 스타일에 따른 음영결정요소

이름	음영 결정방법 (2차원 텍스처의 각 축에 적용된 요소)
세일리언시 기반 하이라이트	○ x축: $n \cdot l$ ○ y축: Reflection vector ○ z축: Saliency
곡률 기반 실루엣 효과	○ x축: $n \cdot l$ ○ y축: View Direction ○ z축: Curvature
스크린 톤	○ x축: $n \cdot l$ ○ y축: Screen Coordinate ○ z축: Highlight
아웃 포커싱	○ x축: $n \cdot l$ ○ y축: View Position ○ z축: View Direction

2. 시스템 개요

3D 텍스처를 이용하는 카툰 렌더링 스타일화 시스템은 그림 6과 같이 3D 텍스처를 생성하는 전처리 과정과 물체의 음영요소를 결정하고 만화적 스타일을 다양화하는 실시간 수행 과정으로 구성된다. 전처리 과정에서는 3D 모델을 로드하여 메쉬의 곡률, 메쉬 세일리언시 등의 기하정보를 계산하고 3차원 텍스처를 구성한다. 실시간 수행 과정에서는 3차원 텍스처를 참조하여 음영 결정 요소를 조합하고 이를 이용하여 텍스처를 지정하며 텍스처 좌표를 계산하는 물체의 음영 결정 기능을

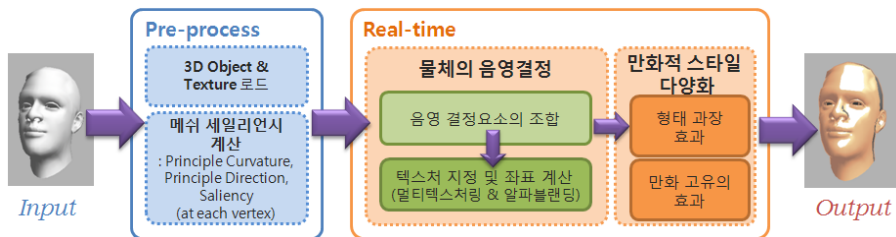


그림 6. 시스템 개요

수행한다. 이를 통해 형태 과장 효과와 만화 고유의 효과를 추가하여 다양화된 만화적 스타일로 3D 물체를 렌더링한다.

3. 메쉬 세일리언스 계산

3D 물체의 세일리언스를 계산하기 위해서 본 논문에서는 Lee[9]의 세일리언스 계산 알고리즘을 사용한다. 세일리언스란 인간의 시지각적 주의 집중에 관한 계산 모형으로서 Lee는 평균 곡률의 가우시안 평균(Gaussian weighted Average of Mean Curvature)의 변화량을 이용해 3D 물체의 지역적인 중요도를 정의하였다.

세일리언스를 계산하기 위하여 식 (1)과 같이 가우시안 평균 곡률을 계산한다. $G(m(v), \sigma)$ 는 정점 v 에서의 가우시안 평균 곡률이고 $N(v, \sigma)$ 는 정점 v 의 이웃 노드의 집합이다. $m(v)$ 는 평균 곡률(mean curvature)을 의미한다. σ 는 중심 정점으로부터 평균을 구하고자 하는 면적의 넓이를 결정하며 가우시안 필터의 표준편차로 정의되기도 하고 객체를 둘러싸는 경계 상자(Bounding Box)의 사선 길이의 0.3%으로 계산되어 사용되기도 한다.

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

각 정점에서 가우시안 평균을 계산한 후, 해당 정점에서의 세일리언스 $S(v)$ 는 식 (2)와 같이 계산한다. 이 식은 정점 v 로부터의 거리가 σ 이내에 있는 정점들의 평균 곡률의 가우시안 평균과 2σ 이내에 있는 정점들의 평균 곡률의 가우시안 평균의 차이의 절대값을 의미하며, 정점 v 를 중심으로 평균 곡률의 변화량을 의미한다.

$$S(v) = |G(m(v), \sigma) - G(m(v), 2\sigma)| \quad (2)$$

스케일에 상관없이 좋은 결과를 얻기 위해서 멀티 스케일의 세일리언스를 구해야 한다. 스케일 i 에서 곡률

의 평균을 $\sigma_i \in \{\sigma, 2\sigma, 3\sigma, 4\sigma, 5\sigma, \dots\}$ 를 이용하여 구한다. 따라서 스케일 i 에서의 세일리언스 $S(v, i)$ 는 식 (3)과 같이 계산한다.

$$S(v, i) = |G(m(v), \sigma_i) - G(m(v), 2\sigma_i)| \quad (3)$$

각 스케일에서 구한 $S(v, i)$ 는 최종적으로 비선형 정규화에 의해 합쳐져(Nonlinear Normalized Sum) 최종 세일리언스 S_v 로 계산된다.

세일리언스를 계산하기 위해서는 각 정점에서 평균 곡률을 계산해야 하는데, Lee는 Taubin[11]의 곡률 계산 알고리즘을 사용하였다. 그러나 Taubin의 알고리즘은 정점의 분포가 균일한 모델의 경우에만 정확한 결과를 얻기 때문에, 본 논문에서는 어떠한 정점 분포에서도 비교적 정확한 계산이 가능한 Rusinkiewicz[12]의 곡률 계산 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘은 곡률 계산 속도가 빠르고 효율적이며 에러율 또한 낮다.

4. 다양한 스타일의 카툰 셰이딩 방법

세일리언스, 곡률, 좌표 등의 기하 정보를 적용하여 기존의 카툰 셰이딩 방법으로 표현할 수 없었던 세일리언스 기반 하이라이트, 곡률 기반 실루엣, 스크린톤 효과, 아웃포커싱 효과 등의 다양한 스타일을 표현한다.

4.1 세일리언스 기반 하이라이트 (Saliency Highlight)

만화가의 음영 특성을 분석한 결과에서 볼 수 있듯이, 만화가들은 형태를 강조하고자 할 때 비교적 기하학적 중요도가 높은 영역에 하이라이트를 표현하는 특성이 있다. 세일리언스 기반 하이라이트는 물체의 일부분에서 상대적으로 세일리언스가 높은 영역에 하이라이트를 표현하는 음영 효과이다. 반사벡터를 이용한 하이라이트 수식에 세일리언스를 식 (4)와 같이 가중치(Ws)로 적용함으로써 3차원 텍스처의 z축 좌표값 $F(v)$ 를 구한다. 세일리언스는 0과 1사이로 정규화한 후 수식에 적용된다.

$$F(v) = W_s * (Reflection \cdot Light)$$

$$W_s = Saliency \quad (4)$$

세일리언시가 클수록, 즉, 영역의 중요도가 높을수록 3차원 텍스처의 z축 좌표 값이 1에 근접하므로 세일리언시가 높은 영역에 추가적으로 하이라이트가 표현된다.

4.2 곡률 기반 실루엣 (Curvature Silhouette)

일반적으로 만화가들은 실루엣 효과를 이용하여 장면을 연출하고자 할 때, 후광효과를 자주 사용한다. 곡률 기반 실루엣은 이러한 스타일로 물체를 표현하기 위한 음영 효과로서 카메라 시점의 방향벡터(view direction)를 이용한 실루엣 수식에 곡률값(Ws)로 적용함으로써 3차원 텍스처의 z축 좌표값 F(v)를 구한다. 곡률은 0과 1사이로 정규화한 후 수식에 적용된다.

$$F(v) = W_c * (Normal \cdot View Direction)$$

$$W_c = Curvature \quad (5)$$

곡률이 클수록 3차원 텍스처의 z축 값이 1에 근접하며 이는곡률이 큰 영역에 실루엣 효과가 추가되는 것을 의미한다. Rusinkiewicz[12]의 방법론을 이용하여 곡률을 계산하므로 속도가 빠르고 효율적이며 에러율 또한 낮다.

4.3 스크린 톤 (Screen Tone)

스크린 톤은 투명한 필름에 다양한 패턴을 인쇄해 접착제를 도포한 무늬 시트로서 디자인이나 판의 원본을 만들 때에 쓰이며 [그림 7]과 같이 만화에서 널리 쓰이는 방법이다.



그림 7. 만화에 자주 등장하는 스크린톤 효과 & 그래픽션 효과

카툰 렌더링에서의 스크린 톤 효과는 스크린 좌표나 월드 좌표를 정규화하여 수식에 적용한다.

$$F_x(v) = Screen Coordinate.x \quad (6)$$

$$F_y(v) = Screen Coordinate.y$$

스크린 톤 효과는 2차원 텍스처의 수평축 Fx와 수직축 Fy에 각각 스크린 좌표 (x, y)를 대입시켜 표현하며 이러한 방법으로 3차원 물체를 2차원적인 패턴으로 스크린 톤을 부착한 듯한 효과를 얻을 수 있다.

4.4 아웃 포커싱 (Out Focusing)

아웃 포커싱은 초점이 맞는 범위 또는 거리를 의미하는 피사계심도를 이용하여 장면을 연출하는 기법으로서 피사계심도를 알게 하여서 멀리 있는 물체를 흐릿하게 표현하여 공간의 깊이를 효과적으로 나타내는 원리이다. 아웃포커싱 효과를 얻기 위해서 깊이에 따라 다른 물체의 투명도를 저장하는 알파맵을 이용하여 물체의 가장자리를 흐릿하게 표현한다. [그림 8]에서 보는 것처럼 깊이가 깊을수록 알파맵이 적용되는 범위를 넓혀 카메라의 위치로부터 멀어질수록 실루엣의 투명 영역이 두꺼워지도록 한다. 구현은 알파 블렌딩(alpha blending)과 멀티 텍스처(multi texture) 기술을 이용한다.

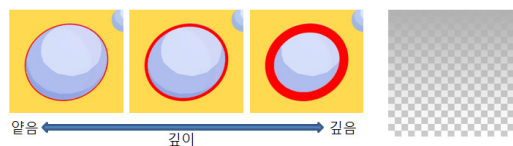


그림 8. 깊이에 따른 알파맵 적용 범위 및 알파맵

카메라 위치를 이용한 깊이 계산 수식과 카메라의 방향벡터를 이용한 실루엣 수식을 결합하여 3차원 텍스처의 z축 좌표값 F(v)를 식 (7)과 같이 계산한다.

$$F(v) = ((Normal \cdot View Direction)/D) + D$$

$$D = (View_Pos - Vertex_Pos) / Z_{max} \quad (7)$$

먼저 1차적으로 깊이에 의한 텍스처를 적용한다. 깊이 D는 카메라의 위치(View_Pos)로부터 각 정점의 위

치(Vertex_Pos)의 차이, 즉 거리를 이용하여 계산한다. Zmax는 카메라와 물체 정점 간의 거리의 최대값으로서 깊이값 D를 0과 1로 정규화하기 위한 것이다. 결과적으로 식 (7)을 이용하여 계산한 깊이를 실루엣 수식에 적용하여 깊이가 깊어질수록 물체의 가장자리인 실루엣 영역의 투명한 영역이 두꺼워 지도록 표현하여 장면에 깊이감을 반영할 수 있도록 한다.

V. 실험결과

제안된 알고리즘은 Visual C++ 기반의 OpenGL 그래픽 라이브러리를 이용하여 구현되었으며 실험에 사용된 3D 모델은 [표 5]와 같이 얼굴, 비너스, 사슴, 댄서, 경찰차, 소 등 6개이다.

세일리언시 기반 하이라이트 효과를 위하여 각 3D 모델의 세일리언시를 계산하였으며 [그림 9]는 비너스 모델에 대하여 세일리언시를 계산하고 그 결과를 색상 스펙트럼으로 가시화한 것을 보여준다. 카툰 셰이딩의 전체 성능이 크게 저하되지 않는다는 것을 보이기 위하여 각 모델의 곡률과 세일리언시를 계산하는 시간을 측정하였다. 이 계산은 전처리 과정에서 수행된다. [표 5]에서 보면, 가장 단순한 얼굴 모델의 세일리언시를 계산하는데 대략 0.48초가 걸렸으며, 가장 복잡한 댄서 모델의 세일리언시를 계산하는데 대략 6.58초가 소요되었다.

표 5. 각 모델의 세일리언시

Model	Triangle Strip	Curvature (sec)	Saliency (sec)
얼굴	690	0.066	0.4818
비너스	665	0.068	0.1656
사슴	1463	0.118	0.8881
댄서	6498	0.481	6.5857
경찰차	1750	0.116	1.0534
소	923	0.060	0.1903

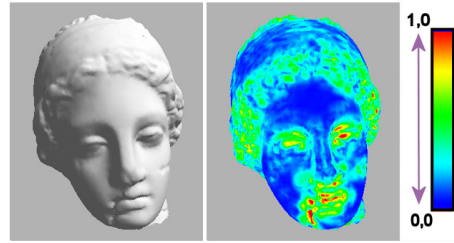


그림 9. 세일리언시 계산 결과의 가시화

[그림 10]은 세일리언시 기반 하이라이트 효과를 보여준다. (a)는 자동차의 세일리언시 계산 결과를 가시화한 것이고 (b)는 일반적인 하이라이트 결과를 보여주며 (c)는 세일리언시 기반으로 자동차 모델의 하이라이트를 렌더링한 결과를 보여준다. (b)와 비교하여 (c)에서는 자동차의 엔진과 창문 등의 부분에서 형태가 효과적으로 표현되고 있다는 것을 확인할 수 있다. (d)는 카툰 셰이딩에 사용된 3차원 텍스처를 보여주고 있다.

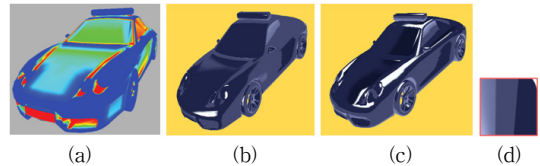


그림 10. 세일리언시 기반 하이라이트
(a) 세일리언시 (b) 일반적인 하이라이트 효과
(c) 세일리언시 기반 하이라이트 효과
(d) 사용한 텍스처

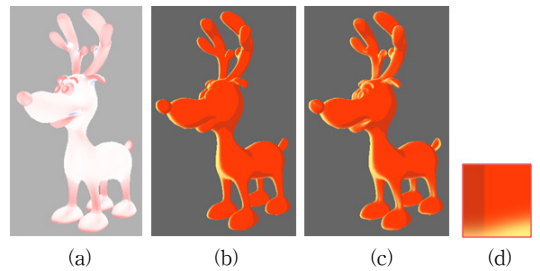


그림 11. 곡률 기반 실루엣
(a) 곡률 (b) 일반적인 실루엣 렌더링
(c) 곡률 기반 실루엣 효과 (d) 사용한 텍스처

[그림 11]은 곡률 기반 실루엣 효과를 보여 준다. (a)는 사슴의 곡률 계산 결과를 가시화한 것이고 (b)는 일

반적인 실루엣 렌더링 결과를 보여주며 (c)는 곡률을 이용하여 사슴 모델의 실루엣을 강조하여 렌더링한 결과를 보여준다. (b)와 비교하여 (c)에서 사슴의 눈, 코, 입과 뿔 등의 실루엣 부분에서 형태가 강조된 실루엣 효과를 확인할 수 있다. (d)는 사용한 3차원 텍스처를 보여주고 있다.

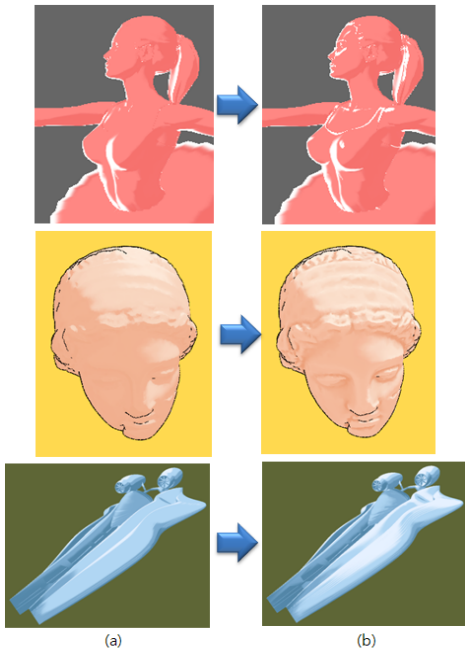


그림 12. 곡률기반 실루엣 결과 비교
(a) 일반적인 실루엣 렌더링
(b) 곡률기반 실루엣 효과

[그림 12]는 사슴 이외에도 다른 여러 가지 모델에 대하여 곡률 기반 실루엣 효과를 실험한 결과이다. 일반 렌더링 방법과 비교하여 곡률기반 실루엣 효과에서 형태가 강조되는 것을 확인할 수 있다. 예를 들면, 발레리나 모델의 경우, 입고 있는 발레복 상의의 실루엣 부분이 (a)와 비교하여 (b)에서 강조되고 있다는 것을 관찰할 수 있다.

[그림 13]은 소, 사슴, 비너스 모델에 적용된 스크린톤 효과를 보여준다. 3차원 텍스처의 수평축과 수직축에 각각 스크린 좌표 (x, y)를 대입시키는 방식으로 구현되었으며 그 결과 3차원 물체를 2차원적인 패턴으로

표현하기 위해 스크린 톤을 부착한 듯한 효과를 확인할 수 있다. [그림 14]는 스크린 톤과 유사한 그라데이션 효과로서 패턴을 부착하는 대신에 그라데이션 이미지를 부착하는 방식으로 생성한 결과이다.

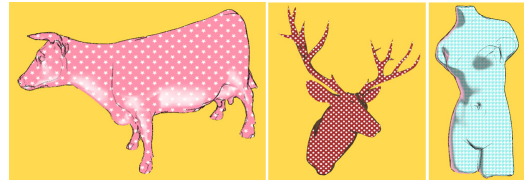


그림 13. 스크린톤 효과



그림 14. 그라데이션 효과

[그림 15]에서는 소 모델에 적용된 아웃포커싱 효과를 확인할 수 있으며 이에 사용된 깊이 텍스처와 알파맵을 보여주고 있다. [그림 16]은 다른 모델에 적용된 아웃포커싱 효과를 보여준다.

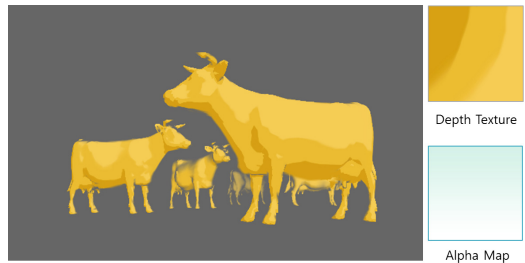


그림 15. 아웃포커싱 효과와 깊이 텍스처 & 알파맵

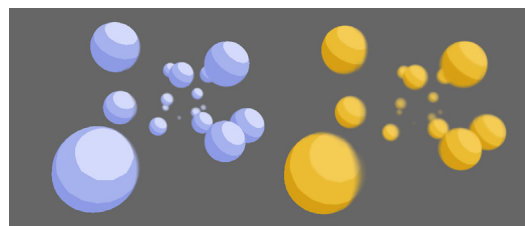


그림 16. 아웃포커싱 효과

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 3차원 물체를 카툰 스타일로 렌더링하는 톤 셰이딩에 3차원 텍스처를 도입하는 새로운 방법을 제안하였다. 3차원 텍스처에 추가된 세 번째 축에 곡률, 하이라이트, 좌표 등의 기하 정보가 매핑되었으며 그 결과 기존의 카툰 렌더링 방법으로 표현할 수 없었던 세일리언시 기반 하이라이트, 곡률 기반 실루엣, 스크린 톤, 그라데이션 톤, 아웃 포커싱 등의 다양한 카툰 스타일로 물체를 표현할 수 있었다.

세일리언시 기반 하이라이트와 곡률 기반 실루엣은 만화에서 사용되는 형태과장 효과의 의미로 제안되었다. 세일리언시 기반 하이라이트 효과에서는 만화가들이 주로 물체의 형태를 보고 중요한 부분에 하이라이트를 추가하는 현상을 그대로 반영하고 있다는 것을 관찰할 수 있었다. 곡률 기반 실루엣 효과에서는 만화가들이 자신의 의도대로 실루엣 부분을 주로 강조하는데 이러한 현상을 그대로 반영하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 스크린 톤, 그라데이션 톤, 아웃 포커싱은 실제 만화에서 자주 등장하는 만화적 스타일을 모방하는 의미로 제시되었다. 실험결과에서 실제 만화와 매우 유사하게 다양한 스타일을 표현할 수 있다는 것을 확인하였다.

기존의 카툰 렌더링 방식에 비해 곡률이나 세일리언시의 계산 속도를 측정할 결과 전체 카툰 셰이딩 속도를 크게 저하시키지 않는 것으로 확인되어 실시간 카툰 셰이딩 응용 분야에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 만화가의 음영표현 스타일을 분석하고 음영표현을 결정하는 요소를 추가하여 더욱 다양한 스타일을 얻을 수 있도록 할 것이며 음영뿐만 아니라 카툰 스타일의 외곽선에 관한 연구도 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Yuehu Liu, Yuanqi Su, Yu Shao, and Daitao Jia, "A Parameterized Representation for the Cartoon Sample Space," *Advances in Multimedia Modeling, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5916/2010, pp.767-772, 2010.
- [2] P. Barla, J. Thollot, and Lee Markosian, "X-Toon: an Extended Toon Shader," In *Proceedings of the 4th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR'06)*, pp.127-132, 2006.
- [3] Amy Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirley, and Elaine Cohen, "A Non-Photorealistic Lighting Model For Automatic Technical Illustration," In *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'98)*, pp.447-452, 1998.
- [4] M. Harris and M. Blackstein, "Stylized Rendering Techniques For Scalable Real-Time 3D Animation," In *Proceedings of the 1st International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering(NPAR'00)*, pp.13-20, 2000.
- [5] M. Spindler, N. Rober, R. Dohring, and M. Masuch, "Enhanced Cartoon and Comic Rendering," In *Proceedings of Eurographics Short Papers*, pp.141-144, 2006.
- [6] C. DeCoro, F. Cole, A. Finkelstein, and S. Rusinkiewicz, "Stylized Shadows," In *Proceedings of the 1st International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR'07)*, pp.77-83, 2007.
- [7] S. Rusinkiewicz, M.I Burns, and D. DeCarlo, "Exaggerated Shading for Depicting Shape and Detail," *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH'06)*, Vol.25, No.3, pp.1199 -1205, 2006.
- [8] C. H. Lee, Y. M. Kim, and A. Varshney, "Saliency-Guided Lighting," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E92-D, No.2, pp.369-373, 2009.

[1] Yuehu Liu, Yuanqi Su, Yu Shao, and Daitao Jia, "A Parameterized Representation for the

[9] C. H. Lee, A. Varshney, and D. W. Jacobs, "Mesh Saliency," ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH'05), Vol.24, No.3, pp.659-666, 2005.

[10] R. Vergne, R. Pacanowski, P.I Barla, X. Granier, and C. Schlick, "Light Warping for Enhanced Surface Depiction," ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH'09), Vol.28, No.3, pp.1-8, 2009.

[11] G. Taubin, "Estimating the Tensor of Curvature of a Surface from a Polyhedral Approximation," In Fifth International Conference on Computer Vision (ICCV'95), pp.902-907, 1995.

[12] S. Rusinkiewicz, "Estimating Curvatures and Their Derivatives on Triangle Meshes," In Second International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission (3DPVT'04), pp.486-493, 2004.

정혜문(Hye-Moon Jung)

정희원



- 2008년 2월 : 성신여자대학교 미디어정보학부(이학사)
- 2010년 8월 : 성신여자대학교 전산학과 (이학석사)

<관심분야> : Computer Graphics, Non Photorealistic Rendering, Game, HCI

저자 소개

변혜원(Hae-Won Byun)

정희원



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

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