



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

변 혜 원 교수지도
석사학위 청구논문

원화의 스타일 캡처 기반
3D 캐릭터 모델의 카툰 렌더링

2010

성신여자대학교 대학원
컴퓨터학과
정 혜 문

원화의 스타일 캡처 기반
3D 캐릭터 모델의 카툰 렌더링

변 혜 원 교수지도

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2010년 5월

성신여자대학교 대학원

컴퓨터학과

정 혜 문

인 준 서

정혜문의 석사학위 논문으로 인준함.

심사위원 서 동 수 인

심사위원 김 호 성 인

심사위원 변 혜 원 인

성신여자대학교 대학원

논문개요

일반적으로 애니메이션에서 가장 중요한 요소인 캐릭터는 사전 제작 과정에서 기획되며, 이를 바탕으로 캐릭터 디자이너는 캐릭터의 색상 및 컨셉을 보여주는 다양한 원화를 제작한다. 그 후 제작 과정에서 애니메이터는 원화를 바탕으로 3D 캐릭터를 모델링하고 텍스처 맵핑 작업을 수행하며, 마지막으로 카툰 렌더링을 통해 결과 이미지를 얻는다.

텍스처 맵핑 과정에서, 애니메이터는 캐릭터의 원화에서 색상의 변화 및 비율을 정확히 분석해야 한다. 이는 원화의 음영 스타일과 유사하게 3D 캐릭터를 표현하기 위해 수행되는 매우 중요한 과정이지만, 2차원적인 정보에서 색상의 변화와 비율을 분석해내야 하므로 여러 번의 시행착오를 거쳐야 한다. 또한 카툰 렌더링 과정에서, 애니메이터는 원화의 음영 스타일로 3D 캐릭터를 표현하게 된다. 실제 캐릭터 디자이너들은 캐릭터의 얼굴 표정, 근육, 옷의 주름 등의 형태적인 특성을 강조하여 캐릭터를 표현하는 반면, 기존 렌더링 알고리즘은 3D 캐릭터의 형태적인 특성을 고려하지 않고 물체를 표현하기 때문에 캐릭터의 특징을 정확하게 표현하지 못한다.

본 논문에서는 위와 같은 3D 캐릭터 제작의 몇 가지 어려움을 해결하기 위한 방법론을 연구한다. 먼저 텍스처 맵핑 과정의 어려움을 해결하기 위해 원화에서 음영 모델을 캡처하는 방법론을 연구한다. 영역의 색상 분포와 비율을 분석하기 위해 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 영역의 색상을 명암 순으로 정렬시키고 이를 바탕으로 텍스처를 자동으로 생성한다. 또한 카툰 렌더링 과정에서 캐릭터의 형태적 특성을 강조할 수 있는 세일리언시 기반 카툰 렌더링 알고리즘을 제안하며, 음영을 지역적으로 편집하는 직관적인 스케치 인터페이스를 연구하여 사용자가 캐릭터의 음영을 자유롭게 편집할 수 있도록 한다. 마지막으로 사용자 평가를 통하여 제안하는 시스템의 편리성 및 사용성을 증명한다.

목 차

논문 개요

제 1장. 서론	1
1.1. 연구 배경 및 필요성	1
1.2. 연구 목표	3
1.3. 논문 구성	4
제 2장. 관련 연구	5
2.1. 카툰 렌더링의 스타일화 연구	7
2.2. 음영 모델의 캡처 연구	9
2.3. 3D 기하정보 기반 렌더링 연구	11
2.4. 카툰 렌더링의 음영편집 인터페이스 연구	14
제 3장. 연구개요	17
제 4장. 음영 모델의 캡처	21
4.1. 원화 이미지의 영역 분할	22
4.2. 빈도수 기반 RGB 정렬 알고리즘	22
4.3. 동적 임계치 기법	28
제 5장. 형태를 강조하는 카툰 렌더링	32
5.1. 카툰 렌더링 방법론	32
5.2. 실제 원화의 음영표현 분석	34
1) 다양한 원화의 수집	34
2) 원화의 음영표현 분석 결과	34
5.3. 세일리언시 기반 카툰 렌더링	35
1) 메쉬 세일리언시 (Mesh Saliency)	35
2) 세일리언시 기반 카툰 렌더링 알고리즘	39

제 6장. 지역적인 음영편집 인터페이스	41
6.1. 가중치 함수(Weight Function)	41
1) 가중치 함수를 이용한 음영 편집	42
2) 가중치의 누적	43
6.2. 음영편집 모드와 사용자 파라미터	45
제 7장. 시스템 구현 및 결과	47
7.1. 카툰 렌더링 인터페이스 구현	47
7.2. 음영 모델의 캡처 결과	49
7.3. 형태를 강조하는 카툰 렌더링 결과	56
7.4. 지역적인 음영 편집 결과	57
제 8장. 사용자 평가	58
8.1. 평가 방법	58
8.2. 평가 결과	59
제 9장. 결론 및 향후 연구	61

참 고 문 헌

ABSTRACT(영문 초록)

표 목차

<표 1> Kulla의 알고리즘의 제약점	25
<표 2> 영역별 분산(σ^2) 및 최적 임계치 (T_{op})	30
<표 3> 동적 임계치 계산 결과	31
<표 4> 2차원 텍스처의 수직축에 적용되는 음영 결정요소	33
<표 5> 원화에 나타나는 음영의 종류	35
<표 6> 3가지 음영 편집 모드	45
<표 7> NASA-TLX 주관적 작업부하 평정 척도	59
<표 8> 사용자 평가 결과	60

그림 목차

<그림 1> 3D 캐릭터의 제작과정	1
<그림 2> 사실적 렌더링과 비사실적 렌더링	5
<그림 3> 카툰 렌더링의 활용 예	6
<그림 4> 다양한 스타일의 카툰 렌더링 결과, Barla[Bar06]	7
<그림 5> 애니메이션 "Sin City"(좌)와 "Spawn"(우)의 스타일로 렌더링한 결과, Spindler[Spi06]	8
<그림 6> 그림자의 다양한 스타일화 연구, DeCoro[Dec07]	9
<그림 7> Lit Sphere의 캡처 및 적용, Sloan[Slo01]	10
<그림 8> PAM 구성 프로세스 및 적용 결과, Yan[Yan08]	11
<그림 9> 세일리언시 계산 결과, Lee[Lee05]	12
<그림 10> 곡률 기반 음영표현 프로세스, Vergne[Ver09]	12
<그림 11> 지역 조명을 이용한 3D 물체의 형태 강조, Rusinkewiz[Rus06]	13
<그림 12> 지역적인 음영편집 결과, Todo[Tod09]	14
<그림 13> 다양한 하이라이트 스타일, Anjyo[Anj03]	15
<그림 14> 하이라이트 디자인 인터페이스, Pacanowski[Pac08]	15
<그림 15> 그림자 오브젝트를 이용한 그림자 효과, Nakajima[Nak06]	16
<그림 16> 전체 시스템 프로세스	17
<그림 17> 음영 모델의 캡처 과정	21

<그림 18> 영상 분할 알고리즘의 결과, Felzenszwalb[Fel04]	22
<그림 19> 페인트 샘플에서 색상 변화 및 붓 터치 질감의 캡처, Kulla[Kul03]	23
<그림 20> RGB 정렬 알고리즘을 이용한 색상 정렬, Kulla[Kul03]	23
<그림 21> RGB 정렬 알고리즘의 결과	25
<그림 22> Kulla의 RGB 정렬 알고리즘 결과	26
<그림 23> 선택한 영역의 색상 빈도수 계산 결과	27
<그림 24> Kulla의 알고리즘과 빈도수 기반 알고리즘의 결과 비교	28
<그림 25> 동적 임계치 공식 그래프	29
<그림 26> 최적 임계치와 분산과의 관계	30
<그림 27> 카툰 렌더링의 기본 원리	32
<그림 28> 2차원 텍스처	33
<그림 29> 다양한 애니메이션 캐릭터의 얼굴 묘사	34
<그림 30> 정점 v 의 이웃 노드	36
<그림 31> 멀티 스케일 세일리언시, Lee[Lee05]	37
<그림 32> 세일리언시의 계산 과정, Lee[Lee05]	38
<그림 33> 세일리언시의 계산 결과	38
<그림 34> 기존 하이라이트와 세일리언시 기반 하이라이트의 비교	39
<그림 35> 기존 실루엣 효과와 세일리언시 기반 실루엣 효과의 비교	40
<그림 36> 지역적인 음영 편집 과정	44
<그림 37> 사용자 파라미터 조절 슬라이더	46

<그림 38> 브러시의 크기 조절	46
<그림 39> 텍스처 생성 대화창 (Texture Generator)	47
<그림 40> 음영 편집 창 (Shading Editor)	48
<그림 41> 캐릭터의 원화 및 캡처된 음영 모델 (피트)	49
<그림 42> 3D 캐릭터 모델에 캡처한 음영 모델을 적용한 모습 (피트)	50
<그림 43> 캐릭터의 원화 및 캡처된 음영 모델 (라라 크로프트)	51
<그림 44> 3D 캐릭터 모델에 캡처한 음영 모델을 적용한 모습 (라라 크로프트)	52
<그림 45> 다양한 캐릭터 원화의 음영 모델 캡처	53
<그림 46> 형태를 강조하는 카툰 렌더링의 결과	56
<그림 47> 지역적인 음영 편집 결과	57

제 1장. 서론

1. 연구 배경 및 필요성

일반적으로 3D 애니메이션은 사전 제작(pre-production), 제작(production), 사후 제작(post-production)의 크게 세 단계의 순서로 제작되며 모든 제작 과정은 상호보완적으로 연계되어 있다. 사전 제작 과정은 전체 애니메이션의 컨셉 및 시나리오를 기획하는 과정이며, 제작 과정은 사전 제작과정에서 수행된 기획을 바탕으로 실질적인 3D 이미지들을 제작하는 과정이다. 마지막 사후 제작 과정은 모든 결과 이미지를 통합하고 음향 및 사운드 효과를 추가하여 최종적인 영상을 제작하는 과정이다.

애니메이션에서 가장 중요한 요소인 캐릭터는 사전 제작 과정에서 기획되며, 캐릭터 디자이너는 이를 바탕으로 캐릭터의 색상 및 컨셉을 보여주는 다양한 원화를 제작한다. 그 후 실제 제작 과정에서 애니메이터는 원화를 바탕으로 3D 캐릭터를 모델링하고 텍스처 맵핑(texture mapping) 작업을 수행하며, 마지막으로 카툰 렌더링을 통해 만화 스타일의 결과 이미지를 얻는다. <그림 1>은 3D 애니메이션 캐릭터의 제작 과정을 보여주고 있다.

텍스처 맵핑 과정에서, 애니메이터는 원화의 음영 스타일로 3D 캐릭터를 표현하는 텍스처를 제작하기 위하여 원화에서 캐릭터의 신체 부위별로 색상의 변



<그림 1> 3D 캐릭터의 제작 과정

화 및 색상의 비율을 분석해야 하며 3D의 캐릭터 모델에 대한 면 분할의 흐름을 정확히 파악해야 한다. 이러한 과정은 같은 색상으로 구성된 음영 모델이라도 색상의 비율이 다를 경우 물체가 완전히 다른 스타일로 표현되기 때문에 매우 중요하며, 텍스처 제작에 앞서 많은 시간을 할애하여 실제 원화의 음영 스타일을 3D 캐릭터 모델에 적용할 수 있도록 한다. 그러나 이러한 방법은 2차원적인 정보인 원화에서 색상의 변화와 비율을 분석해내야 하기 때문에 매우 어렵고 직관적이지 못하며 여러 번의 시행착오를 거쳐야 한다는 한계를 가지고 있다.

3D 캐릭터 제작의 마지막 과정인 카툰 렌더링 과정에서, 애니메이터는 원화의 음영 스타일로 3D 캐릭터의 음영을 표현하는 것을 목표로 한다. 실제로 다양한 원화들의 음영 스타일을 분석해 보면, 캐릭터 디자이너들은 캐릭터의 얼굴 표정, 근육, 옷의 주름 등의 형태적인 특성을 강조하는 경향이 있다. 그러나 기존 카툰 렌더링 방법론은 3D 캐릭터의 형태적인 특성을 고려하지 않기 때문에 캐릭터의 특징을 효과적으로 표현하지 못한다. 또한 애니메이터는 렌더링 과정에서 3D 캐릭터의 형태적 특징을 효과적으로 표현할 수 있도록 캐릭터의 음영을 편집하게 되는데, 일반적으로 애니메이터는 3차원 공간의 조명 환경을 전역적으로 조작하는 간접적인 방법을 사용한다. 이러한 음영 편집 방법은 음영의 지역적인 추가 및 삭제가 매우 어렵다.

현재 이러한 3D 캐릭터 제작과정의 어려움에도 불구하고 이를 해결하기 위한 연구가 부족하다. 그러므로 원화로부터 카툰 음영 스타일의 텍스처를 쉽고 간단하게 획득하고 이를 이용하여 3D 캐릭터의 형태를 강조할 수 있는 카툰 렌더링 방법론의 연구가 필요하다.

2. 연구 목표

본 논문의 궁극적인 목표는 캐릭터의 원화의 음영 스타일을 모방하여 3D 캐릭터 모델을 표현하는 직관적인 방법론을 연구하는 것이며, 이를 통해 앞서 언급한 기존 3D 캐릭터 제작의 어려움을 해결하고자 한다. 이를 위하여, 본 논문에서는 두 가지 해결 방법론을 제안한다.

첫째, 텍스처 맵핑 과정의 어려움을 해결하기 위해 원화에서 음영 모델을 쉽고 간단하게 캡처하여 3D 캐릭터를 표현하는 직관적인 방법론을 연구한다. 먼저 사용자가 간단한 스케치 동작을 통하여 음영 모델을 캡처할 영역을 선택할 수 있도록 원화를 미리 분할하고, 사용자가 스케치한 영역의 색상 분포와 비율을 분석하고 음영 모델을 정의하며 이를 바탕으로 텍스처를 자동으로 생성한다. 이 때 본 논문에서 제안하는 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 선택된 영역의 색상을 명암을 기준으로 정렬시킨다. 제안하는 RGB 색상 정렬 알고리즘의 특징은 색상을 명암과 빈도수의 2가지 요소를 기준으로 정렬함으로써 음영의 색상 분포뿐 아니라 색상의 비율까지 캡처할 수 있다. 또한 동일한 임계값을 이용하여 정확도가 떨어지는 고정 임계치(static threshold) 기법의 문제점을 해결하기 위해, 동적 임계치(dynamic threshold) 기법을 이용하여 영역의 통계적 특성에 따라 빈도수가 높은 색상을 판별하는 임계치를 동적으로 설정한다.

둘째로, 카툰 렌더링 과정의 어려움을 해결하는 방법론에 관하여 연구한다. 실제 원화의 음영 표현과 같이 캐릭터의 형태를 강조하기 위하여, 기존 카툰 렌더링 알고리즘에 3D 물체의 기하학적 중요도를 의미하는 세일리언시(Saliency)를 결합한다. 또한 전역적인 음영 편집으로 표현하기 어려운 3D 캐릭터의 음영 표현을 위하여 음영을 지역적으로 편집하는 스케치 기반 음영 편집 인터페이스를 연구한다. 이를 통해 사용자는 캐릭터의 음영 표현을 자유롭게 제어할 수 있으며, 셀 애니메이션 제작과정처럼 간단한 스케치 동작을 통하여 3D 물체 위의

음영을 직접적으로 편집할 수 있다. 이러한 연구가 필요한 이유는 전역적인 음영편집 방법은 2D 애니메이션 제작과정에서의 스케치를 통한 음영 편집 방법과 대조적이며, 직관적이지 못하고 복잡할 뿐만 아니라 지역적인 음영의 추가 및 삭제가 매우 어렵기 때문이다. 그러므로 본 논문에서는, 셀 애니메이션 제작과정처럼 간단한 스케치 인터랙션을 통하여 3D 물체의 음영을 직접 편집할 수 있는 방법론을 연구한다. 제안하는 지역적인 음영편집 방법론을 통해 사용자에게 수정된 음영은 실제로 물리적으로 정확하지 않지만, 실제 원화의 음영 스타일을 직접적으로 반영한 결과라고 할 수 있다.

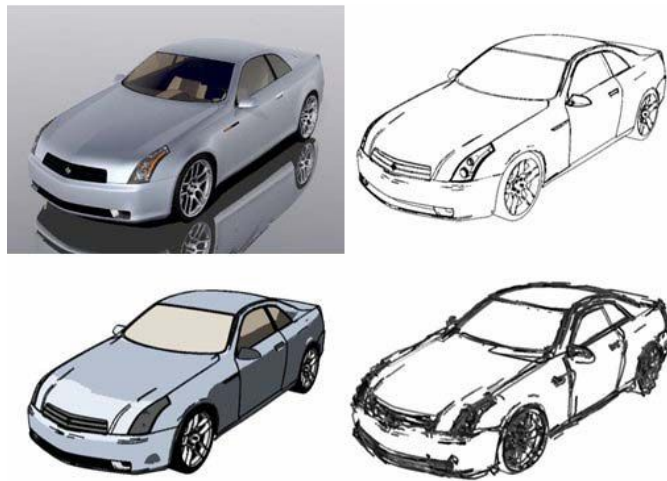
본 논문에서 제안하는 방법론을 통해 애니메이터는 3D 캐릭터의 제작과정에서 원화의 음영 스타일을 쉽고 간단하게 3D 캐릭터 모델에 적용할 수 있을 것이다. 이를 통해 3D 캐릭터의 제작 시간을 단축시킬 수 있을 것이며, 다양한 디지털 콘텐츠 분야에서 활용이 가능할 것이라고 예상된다.

3. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 관련 연구에 대하여 살펴본다. 3장에서는 본 논문의 개요에 관하여 언급하고, 4장에서는 원화에서 음영 모델을 캡처하는 방법에 관하여 설명한다. 5장에서는 캡처한 음영 모델을 이용하여 3D 캐릭터 모델에 적용하고 형태를 강조하여 렌더링하는 방법론에 관하여 설명하며, 6장에서는 스케치 인터랙션을 통해 3D 캐릭터 모델의 음영을 지역적으로 편집을 할 수 있는 직관적인 음영 편집 인터페이스에 관하여 설명한다. 7장에서는 시스템 구현 및 구현 결과에 대해 기술하고, 8장에서는 본 시스템의 사용성을 평가하기 위해 실시한 사용자 평가에 관하여 자세하게 설명한다. 마지막으로 9장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 관하여 논의한다.

제 2장. 관련연구

최근 TV, 영화, 게임, 애니메이션, 미디어 아트, 광고 등과 같은 디지털 콘텐츠 시장이 커짐에 따라 컴퓨터 그래픽스 기술이 빠르게 성장하고 있다. 초기 컴퓨터 그래픽스 기술은 사실감 있는 영상의 생성을 목적으로 하여 3차원 공간을 실제와 같은 느낌으로 만드는 사실적 렌더링(Photorealistic Rendering) 연구에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 다양한 디지털 콘텐츠의 홍수 속에서 제작자와 수요자는 새로운 영상 스타일의 구현을 끊임없이 추구하였으며, 그 결과 비사실적 렌더링(Non-Photorealistic Rendering, 이하 NPR) 연구가 활발히 진행되었다. 비사실적 렌더링은 사실감을 얻고자 하지 않는 영상을 생성하는 렌더링 방법을 의미하며 연필 스케치, 수채화, 유화, 수묵화 등의 전통적인 회화 스타일이나 카툰, 모자이크 등과 같은 독창적인 스타일로 3D 물체를 표현한다. 또한 다양한 스타일화에 대한 연구뿐만 아니라, 이미지 기반 음영 모델 캡처 연구, 3D 물체의 기하정보 기반의 물체의 형태강조 연구, 물체의 음영을 지역적으로 편집하기 위한 직관적인 인터페이스 연구 등 다양한 연구가 진행되어왔다. <그림



<그림 2> 사실적 렌더링과 비사실적 렌더링

4>는 사실적 렌더링과 비사실적 렌더링의 결과물들을 보여준다. 좌측 상단은 자동차를 사실적 렌더링으로 표현한 결과이며, 나머지는 각각 외곽선 추출 알고리즘을 통한 연필화 렌더링, 카툰 렌더링, 거친 표현의 펜화 렌더링의 결과이다.

카툰 렌더링은 셀 애니메이션과 같은 스타일로 3D 물체를 표현하는 것을 목적으로 한 렌더링 기술로서, NPR의 대표적인 연구 분야이다. 이 기술은 셀 애니메이션 제작과정에서 적절하게 활용됨으로써 영상의 모든 프레임을 손으로 직접 그리는 작업 과정에 대한 수고를 덜어주며, 사람이 직접 손으로 그린 듯한 느낌으로 3D 물체를 표현하기 때문에 인간의 아날로그적 감성에 호소하는 효과가 있어서 3D 애니메이션, 비디오 게임, 광고 등의 분야에서 활발하게 활용되고 있다. <그림 3>은 카툰 렌더링의 다양한 예를 보여주고 있다.



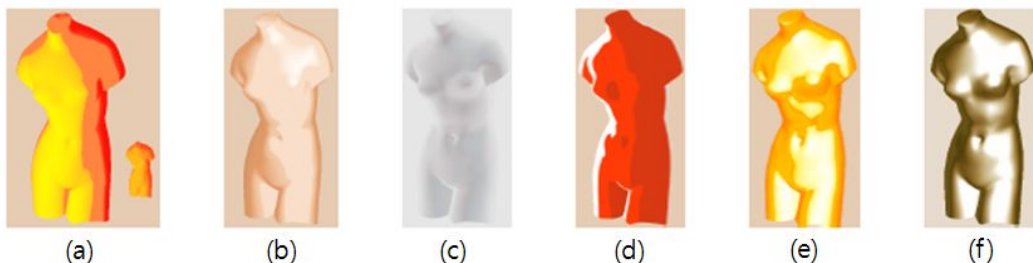
<그림 3> 카툰 렌더링의 활용 예

본 논문의 관련 연구는 카툰 렌더링의 스타일화 연구, 이미지에서의 음영 모델의 캡처 연구, 3D 기하정보를 기반으로 하여 물체의 형태를 강조하는 렌더링 연구, 카툰 렌더링의 지역적인 음영편집 인터페이스 연구로 크게 네 부분으로 구분된다. 본 장에서는 이러한 관련 연구를 살펴본다.

1. 카툰 렌더링의 스타일화 연구

최초로 카툰 렌더링 방법론을 제안한 Lake[Lak00] 등은 3D 물체를 카툰 스타일로 표현하는 방법론을 제안하였다. Lake는 1차원 텍스처를 이용한 카툰 렌더링 방법론을 통하여 물체의 음영을 2~3단계로 단순하게 표현하여 3D 물체를 셀 애니메이션 스타일로 표현하였다. 그 이후 Lake의 방법론을 응용한 카툰 렌더링의 스타일화 연구가 꾸준히 진행되어왔다.

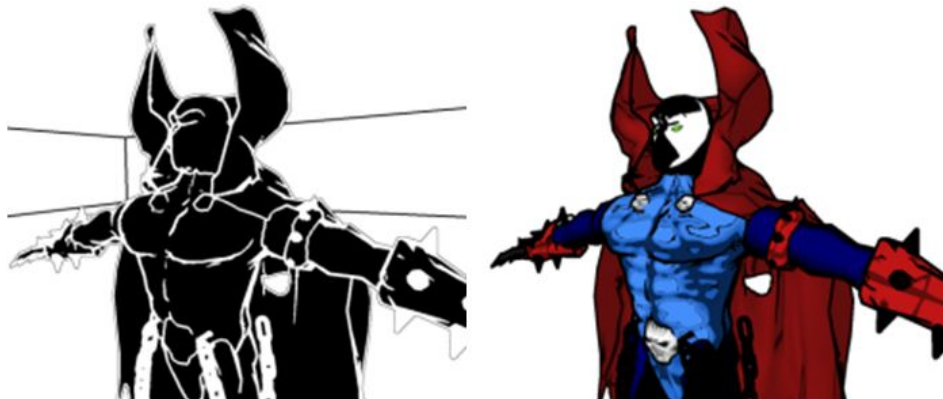
Barla[Bar06] 등은 기존의 카툰 렌더링 방법론으로는 표현이 어려웠던 LOD(Level of Detail) 효과, 실루엣(silhouette) 효과, 하이라이트(specular highlight)를 통한 플라스틱 및 금속 재질표현과 같은 뷰(view)에 의한 효과를 나타내기 위하여 Lake의 1차원 텍스처를 2차원으로 확장시켰다. 2차원 텍스처의 수평축, 수직축에는 각각 다른 요소를 적용하였다. 수평축에는 Lake의 방법론과 같은 수식을 적용하고, 수직축의 D 에는 깊이 정보(depth), 외곽선과의 거리 정보(near-silhouette), 반사 벡터(reflection vector) 등을 활용하였다. <그림 4>는 이러한 방법론을 통하여 표현된 LOD 효과(a, b), 실루엣 효과(c, d), 하이라이트를 통한 플라스틱 및 금속 재질표현(e, f)을 보여주고 있다.



<그림 4> 다양한 스타일의 카툰 렌더링 결과, Barla[Bar06]

실제 2차원 애니메이션의 독특한 음영표현 스타일로 3D 캐릭터 모델을 표현하는 카툰 렌더링 연구로 Spindler[Spi06]의 연구가 있다. Spindler는 애니메이션

“씬 시티(Sin City)”와 “스핀(Spawn)”의 음영표현 특징을 분석하였고, 분석 결과를 바탕으로 3D 물체를 표현하였다. “씬 시티”의 음영 표현처럼 그림자 내부를 스타일화하는 그림자(stylized shadow) 효과를 렌더링하기 위해 스텐실 버퍼(stencil buffer) 기반의 그림자 볼륨(shadow volume) 기술을 이용하였으며, 팽창 필터(dilation filter)를 통해 기존 알고리즘으로 표현된 외곽선의 두께를 팽창시켜 이중 외곽선(double contour lines) 효과로 3D 물체를 표현하였다. 또한 Lake의 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 “스핀”의 스타일로 표현하였으며, 이러한 방법론을 통하여 기존 카툰 렌더링 방법론으로 표현할 수 없었던 결과를 얻을 수 있었다. <그림 5>는 Spindler의 연구의 구현결과를 보여주고 있다.



<그림 5> 애니메이션 "Sin City"(좌)와 "Spawn"(우)의 스타일로 렌더링한 결과, Spindler[Spi06]

DeCoro[Dec07] 등은 실제 만화가들이 그림자를 단순하게 추상화시킨다는 점에서 아이디어를 얻어 3D 물체의 그림자를 다양한 스타일로 변형시키는 알고리즘을 연구하였다. L_p -averaged Distance Metric 알고리즘을 이용하여 그림자가 투영되는 물체의 모든 정점으로부터 그림자까지의 거리를 계산하여 거리 변환

(distance transform) 맵을 만들었고, 가우시안 필터(Gaussian filter)를 통해 거리 변환 맵을 변형시켜 그림자를 추상적으로 변형시킬 수 있도록 하였다. 사용자는 제안한 알고리즘을 통하여 그림자의 크기(inflation), 명도(brightness), 외곽선의 부드러움 정도(softness), 추상화 정도(abstraction)를 조절하는 사용자 파라미터를 통해 그림자를 다양한 스타일로 표현할 수 있다. <그림 6>은 다양한 스타일로 표현된 그림자를 보여주고 있다.



<그림 6> 그림자의 다양한 스타일화 연구, DeCoro[Dec07]

2. 이미지 기반 음영 모델의 캡처 연구

실제 미술작품의 스타일로 3D 물체를 표현하기 위하여, 미술작품에서 음영 모델을 캡처하는 다양한 방법론이 연구되어 왔다. Sloan[Slo01] 등은 실제 미술가들이 물체를 드로잉하기 전에 구형 물체에 미리 음영을 표현해 본 후 이를 참조하는 패러다임에서 아이디어를 얻었고, 미술작품에서 구형의 음영 모델(Lit Sphere)을 캡처하고 이를 참조하여 3D 물체를 표현하는 방법론을 제안하였다. <그림 7>은 원화를 기반으로 음영 모델을 구성한 후 이를 3D 물체에 적용한



이미지에서 Lit Sphere 추출

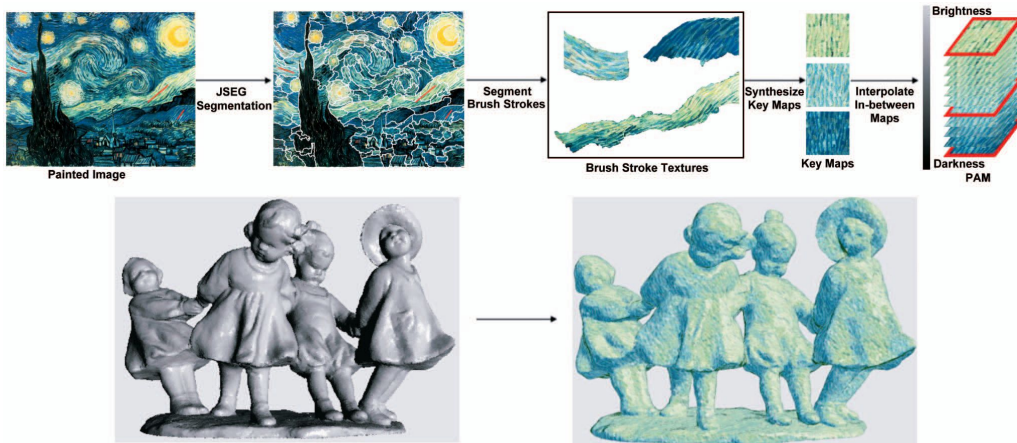
3차원 물체에 적용

<그림 7> Lit Sphere의 캡처 및 적용, Sloan[Slo01]

결과를 보여준다.

Kulla[Kul03] 등은 입력된 페인트 샘플과 같은 스타일로 3D 물체를 표현하기 위해서, 페인트 샘플 이미지로부터 색상 변화(color trajectory)와 붓 터치 질감(texture)을 캡처하여 3D 물체의 음영을 표현하는데 활용하였다. Kulla는 색상 변화를 캡처하기 위하여 RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안하였고, 색상 변화와 붓 터치의 질감을 분리하여 캡처함으로써 페인트 샘플의 질감을 재사용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 Kulla가 제안한 RGB 색상 정렬 알고리즘의 한계점을 분석하고 이를 개선시킨다.

Yan[Yan08] 등은 미술작품에서 나타나는 고유한 붓 터치의 느낌으로 3D 물체를 표현하기 위하여 PAM(Painterly Art Map)을 이용한 렌더링 방법론을 제안하였다. PAM은 3D 물체의 해칭(hatching) 표현을 위해 Praun[Pra01]이 제안한 TAM(Tonal Art Map)을 확장한 개념으로서, 명도에 따라서 톤(tone)의 단계를 미리 구성해 놓은 맵을 의미하며 이를 이용하여 3D 물체를 표현한다. <그림 8>은 미술작품에서 PAM을 구성하는 프로세스 및 PAM을 이용하여 3D 물체의 음영을 표현한 결과를 보여준다. 먼저 PAM을 구성하기 위한 영역을 부분적으로 선택할 수 있도록 이미지를 분할하였고, 스케치 인터랙션을 통해 선택된 영역을 기반으로 PAM을 구성하였다.



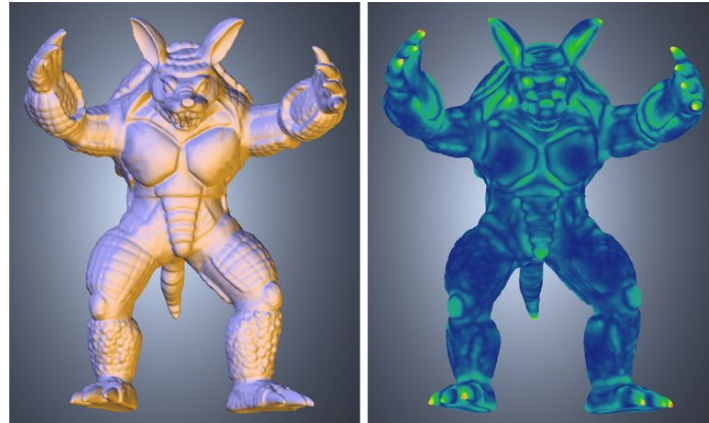
〈그림 8〉 PAM 구성 프로세스 및 적용 결과, Yan[Yan08]

3. 3D 기하정보 기반 렌더링 연구

최근 3D 물체의 기하학적인 중요도를 정의하기 위해 시지각적으로 집중이 되어 시각적 주의(visual attention)가 생기는 영역을 판단하고, 이를 다양한 분야에 활용하는 연구가 진행되어 왔다.

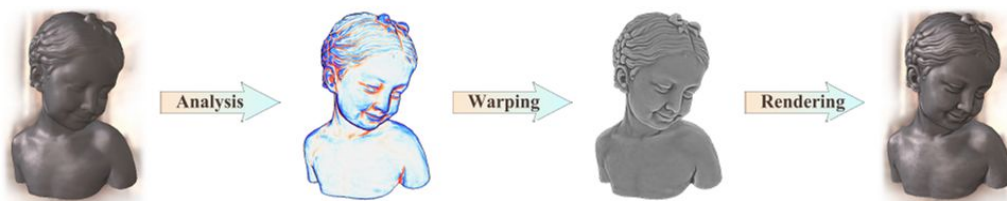
Lee[Lee05][Lee09] 등은 3D 물체의 기하학적 중요도를 정의하기 위하여 평균 곡률의 가우시안 평균(Gaussian-weighted Average of Mean Curvature)의 변화량을 이용하여 세일리언시(Saliency)를 계산하는 알고리즘을 제안하였다. 이러한 세일리언시 계산 알고리즘을 이용하여 기하학적으로 중요도가 높은 영역의 형태적 특징을 유지하는 메쉬(mesh)의 간략화 알고리즘(Salient Simplification Algorithm)과, 물체의 특징을 효과적으로 나타내는 뷰의 위치를 선택하는 알고리즘(Salient Viewpoint Selection Algorithm)을 제안하였다. 또한 기하학적인 중요도에 따라 3D 물체의 음영을 단계적으로 묘사하여 형태적 특징을 강조하는

세일리언시 기반 셰이딩 알고리즘(Saliency-Guided Lighting Algorithm)을 제안하였다. <그림 9>는 좌측의 3D 캐릭터 모델의 세일리언시의 계산 결과를 보여주며, 난색(暖色)일수록 세일리언시가 높은 영역을 의미한다.



<그림 9> 세일리언시 계산 결과, Lee[Lee05]

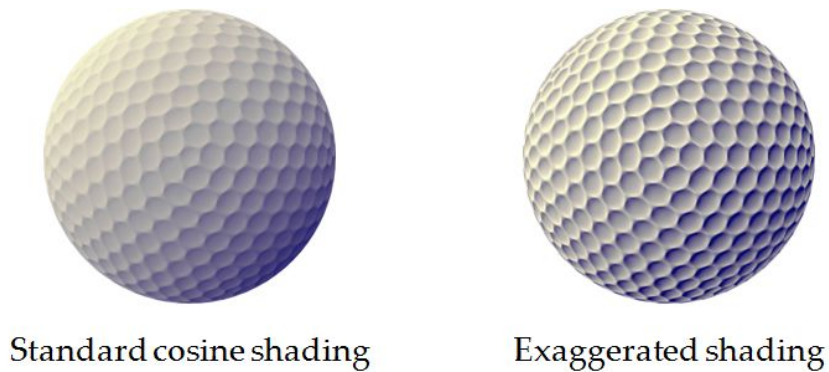
Vergne[Ver09] 등은 실제 미술가들이 물체의 음영을 표현할 때, 물체의 기하학적 특성을 강조하기 위하여 물체의 지역적인 중요도에 따라 음영 표현을 달리 한다는 점에서 착안하여, 곡률(curvature)을 기반으로 3D 물체의 음영을 표현하는 렌더링 알고리즘을 제안하였다. 곡률을 이용하여 3D 물체의 기하학적인 중요도를 정의하였으며, 곡률이 높을수록 음영을 세부적으로 묘사하여 물체의 형태를 강조하였다. <그림 10>은 곡률을 기반으로 물체의 음영을 표현하는 프로세스를 보여주고 있다. 먼저 기존의 렌더링 방법으로 물체를 렌더링한 후, 이



<그림 10> 곡률 기반 음영표현 프로세스, Vergne[Ver09]

를 기하학적인 중요도를 기반으로 렌더링한 결과와 합성하여 물체의 형태적 특성을 효과적으로 표현하였다.

Rusinkiewicz[Rus06] 등은 3D 물체의 형태를 세밀하게 표현하기 위하여 물체의 음영 대비를 과장하는 방법론을 연구하였다. Rusinkiewicz는 음영 대비를 과장하기 위해서 지역 조명(local light)을 3D 물체 주변에 배치하였으며, 이러한 방법으로 보다 효과적으로 3D 물체의 형태적 특성을 묘사할 수 있다. <그림 11>은 기존의 램버티안 음영 모델(standard cosine shading)로 렌더링한 결과(좌)와 Rusinkiewicz가 제안한 음영 대비의 과장 알고리즘(exaggerated shading)으로 렌더링한 결과(우)를 보여주며, 오른쪽의 결과물이 3D 물체의 형태적 특성을 더욱 효과적으로 묘사하고 있음을 알 수 있다.



<그림 11> 지역 조명을 이용한 3D 물체의 형태 강조, Rusinkiewicz[Rus06]

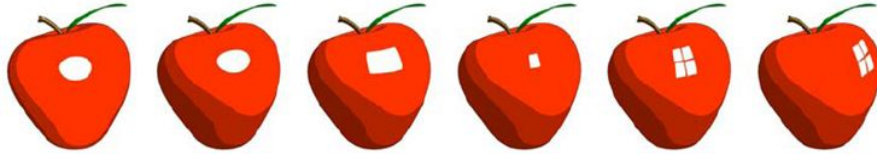
4. 카툰 렌더링의 음영편집 인터페이스 연구

최근 카툰 렌더링 기술을 활용한 애니메이션이 활발하게 제작됨에 따라 3D 물체의 음영 및 그림자를 쉽고 간단하게 편집할 수 있는 방법론에 대한 요구가 증가하고 있다. Todo[Tod07] 등은 사용자가 3D 물체 위에서 직접적으로 음영을 추가하거나 삭제할 수 있는 스케치 인터페이스를 연구함으로써, 조명의 재배치를 위한 파라미터의 조작 과정 없이 3D 물체의 음영을 자유롭게 편집할 수 있도록 하였다. <그림 12>의 (a)는 음영을 편집하기 전으로 기존 카툰 렌더링 방법으로 표현된 결과이며, (b)는 Todo가 제안한 스케치 인터페이스를 통하여 과도하게 표현된 캐릭터의 이마 위의 하이라이트를 부분적으로 제거하고, 어둡게 표현된 턱 영역을 부분적으로 밝게 수정함으로써 캐릭터 얼굴의 형태적 특성을 효과적으로 표현한 것이다.



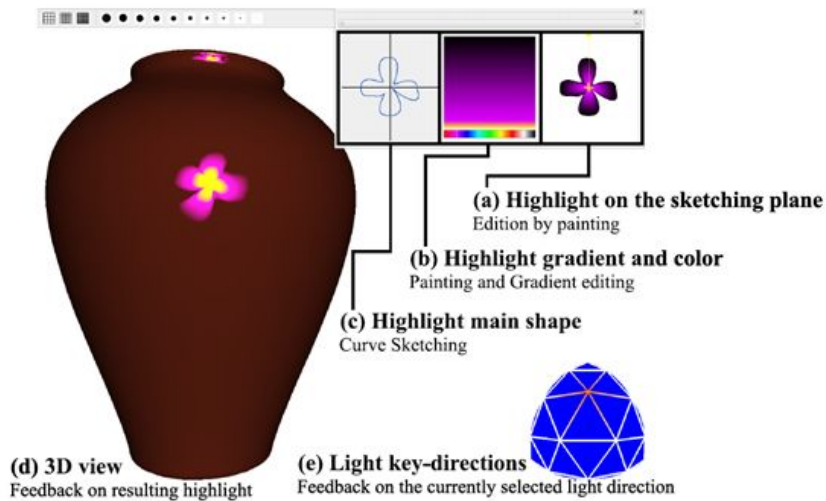
<그림 12> 지역적인 음영편집 결과, Todo[Tod09]

Anjyo[Anj03][Anj06] 등은 카툰 렌더링 기술을 이용해 실제 애니메이션에서 자주 사용되는 다양한 스타일의 하이라이트를 표현하기 위하여, 간단한 마우스 조작으로 하이라이트를 이동, 회전, 확대 및 축소시키는 알고리즘을 적용한 인터페이스를 연구하였다. <그림 13>은 다양한 하이라이트 스타일로 표현된 결과



<그림 13> 다양한 하이라이트 스타일, Anjyo[Anj03]

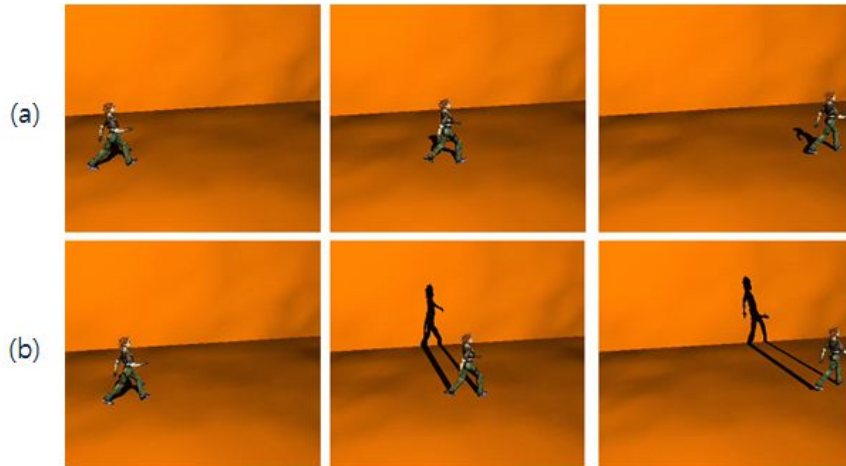
이미지를 보여준다. 또한 Pacanowski[Pac08] 등은 직관적인 하이라이트 디자인을 위한 인터페이스를 연구하였다. 이러한 인터페이스를 통하여 사용자가 하이라이트의 모양과 색상변화를 쉽고 간단하게 정의할 수 있다. <그림 14>는 Pacanowski가 제안한 하이라이트 디자인 인터페이스를 보여준다.



<그림 14> 하이라이트 디자인 인터페이스, Pacanowski[Pac08]

마지막으로, Nakajima[Nak06] 등은 3D 물체의 그림자를 자유롭게 편집할 수 있도록 그림자 오브젝트(shadow object)를 이용한 새로운 그림자 편집 방법론을 제안하였다. 그림자 오브젝트는 실제로 렌더링할 3D 물체와는 별도로 그림자를 표현만을 위하여 사용되며, 사용자가 그림자 오브젝트를 자유롭게 확대 및 축소하거나, 늘릴 수 있도록 하여 3D 물체의 그림자를 부분적으로 변형시킬 수 있

도록 하였다. <그림 15>는 그림자 오브젝트를 이용하여 그림자의 형태를 편집한 결과를 보여주고 있다. (a)는 그림자 편집 전의 모습이며, (b)는 그림자 오브젝트의 다리를 길게 늘여서 3D 캐릭터의 그림자가 벽면에 투영될 수 있도록 편집한 결과이다.



<그림 15> 그림자 오브젝트를 이용한 그림자 효과, Nakajima[Nak06]

제 3장. 연구개요

본 논문의 궁극적인 목표는 원화의 음영 스타일을 그대로 모방하여 3D 물체의 음영을 표현하는 것이다. 먼저 사용자가 원화에서 음영 모델을 캡처할 영역을 선택하면, 해당 영역을 분석하여 음영 모델을 자동으로 정의한다. 그 후 정의된 음영 모델을 기반으로 텍스처를 자동으로 생성하고, 이를 3D 물체에 적용한다. <그림 16>는 본 논문에서 제안하는 시스템의 전체 프로세스를 보여준다. 전처리(pre-process) 과정에서는 3D 물체의 기하정보인 곡률 맵(curvature map), 세일리언시 맵(saliency map), 법선 벡터 맵(normal map)을 미리 계산한다. 그 다음 실시간 처리(real-time process) 과정에서는 원화에서 음영 모델을 캡처하고 이를 3D 캐릭터 모델에 적용 시킨 후, 물체의 형태를 강조하여 카툰 렌더링한다. 그 다음 스케치 인터페이스를 통해 캐릭터의 음영을 자유롭게 편집하며, 본 논문에서는 이를 위해 가중치 함수(weight function)을 이용한다. 본 장에서는 시스템 프로세스의 세부적인 과정을 설명한다.



<그림 16> 전체 시스템 프로세스

1. 음영 모델의 캡처

먼저 사용자가 간단한 스케치 인터랙션을 통해 음영 모델을 캡처할 영역을 선택할 수 있도록 영상 분할 알고리즘(image segmentation algorithm)을 이용하여 원화를 미리 분할한다. 사용자가 스케치 동작을 통해 영역을 선택하면, 시스템은 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 영역의 색상을 분석한 후 자동으로 텍스처를 구성한다.

본 논문에서 제안하는 RGB 색상 정렬 알고리즘은 Kulla[Kul03]의 연구에서 착안하였으며, 수행 가능한 입력 이미지가 제한적이고 RGB 공간상에서 알고리즘의 시작점과 비교하여 거리가 있는 색상은 무시하여 색상의 비율을 캡처하지 못한다는 Kulla의 알고리즘의 한계점을 보완한 RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안한다. 제안하는 RGB 색상 정렬 알고리즘은 명도와 빈도수의 2가지 요소를 기준으로 색상을 정렬하여, 색상의 비율뿐 아니라 비율까지 캡처할 수 있다.

이때 빈도수가 높은 색상임을 판단하는 적절한 임계치의 결정이 매우 중요하다. 만약 영역에 관계없이 임계치가 항상 동일한 고정 임계치 기법을 이용한다면 각 영역마다의 고유한 특성을 고려하지 않기 때문에 정확도가 떨어지는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 고정 임계치 기법의 문제점을 해결하기 위해, 영역의 통계적 특성인 분산 분포에 따라 동적으로 임계치를 설정하는 동적 임계치 기법을 이용한다.

본 논문에서 제안하는 원화 기반 음영 모델의 캡처 및 텍스처의 생성 방법론은 4장에서 자세하게 설명한다.

2. 원화 기반 음영 모델의 카툰 렌더링

실제 원화의 음영 스타일을 그대로 반영할 수 있는 카툰 렌더링을 제안하기 위해, 다양한 원화들을 수집하여 관찰하고 실제 원화에서 어떻게 음영이 표현되었는지 분석하였다. 분석 결과, 원화에서 물체의 형태적 특성을 표현하기 위한 음영표현이 자주 사용된다는 점을 관찰하였고, 이러한 결과에 따라 3D 물체의 형태적 특성을 효과적으로 표현할 수 있는 카툰 렌더링 방법론을 제안한다. 제안하는 카툰 렌더링 방법론은 3D 물체의 기하학적 중요도를 정의하기 위해 세일리언스와 같은 3D 기하정보를 기반으로 음영을 표현하며, 세일리언스가 높은 영역일수록 음영 표현을 지역적으로 달리하는 방법을 이용하여 물체의 형태적인 특성을 강조한다.

본 논문에서 제안하는 형태를 강조하는 카툰 렌더링 방법론은 5장에서 자세하게 설명한다.

3. 스케치 기반의 지역적인 음영편집

원화에서 캡처한 음영 모델을 기반으로 만들어진 텍스처를 3D 물체에 적용한 후, 실제 원화의 스타일을 더욱 적극적으로 반영한 결과를 얻기 위해 지역적으로 음영을 편집할 수 있도록 한다. 음영편집은 스케치 인터페이스를 기반으로 구현하며, 사용자가 스케치한 영역에 가중치 함수를 계산하는 방식으로 수행된다. 또한 다양한 음영 편집 모드를 통해 사용자가 쉽고 간단하게 3D 물체의 음영을 수정할 수 있도록 하였고, 사용자에게 스케치 인터페이스의 브러시 세기 및 크기와 관련된 사용자 파라미터를 제공하여 편리하게 음영을 편집할 수 있도록 한다. 이러한 음영편집 인터페이스를 통하여 사용자는 조명 환경을 전체적

으로 변경하거나 조명에 관련된 파라미터를 조작하는 등의 복잡한 과정 없이도 3D 물체의 음영을 지역적으로 편집할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 스케치 기반의 지역적인 음영 편집 방법론은 6장에서 자세하게 설명한다.

제 4장. 음영 모델의 캡처

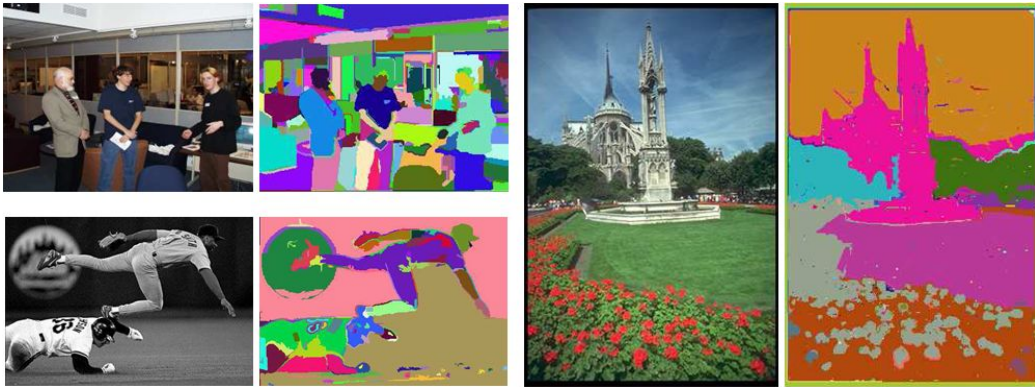
본 장에서는 원화 기반 음영 모델을 캡처하는 과정에 대해서 설명한다. 먼저 사용자가 단순한 스케치 인터랙션을 통하여 음영 모델을 캡처할 영역을 선택하도록 원화의 이미지를 색상을 기준으로 분할한다. 사용자가 영역을 선택한 후 시스템은 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 해당 영역의 색상들을 정렬시키고 자동으로 기본 텍스처(Base Coat)를 생성한다. 그 다음 하이라이트 효과나 실루엣 효과를 캡처하기 위하여 원화에서 효과를 캡처할 영역을 스케치하면 자동으로 효과 텍스처(Effect Texture)를 생성한다. 마지막으로 기본 텍스처와 효과 텍스처를 합성하여 결과 텍스처를 구성한다. <그림 17>는 음영 모델의 캡처 과정을 보여준다.



<그림 17> 음영 모델의 캡처 과정

1. 원화 이미지의 영역 분할

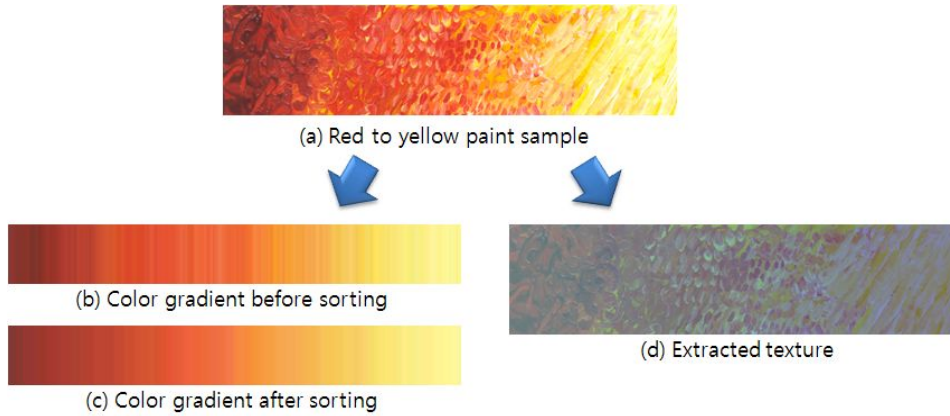
영상 분할 알고리즘이란 지역적인 색상 대비(color contrast) 및 에지(edge)에 따라 영상을 분할하는 방법론이다. <그림 18>과 같이 원화를 영상 분할 알고리즘으로 미리 나누어 놓음으로써, 사용자는 간단한 스케치 동작만으로 캡처할 영역을 선택할 수 있다. 본 논문에서 사용한 영상 분할 알고리즘은 Felzenszwalb [Fel04] 등의 연구를 이용하여 구현한다.



<그림 18> 영상 분할 알고리즘의 결과, Felzenszwalb[Fel04]

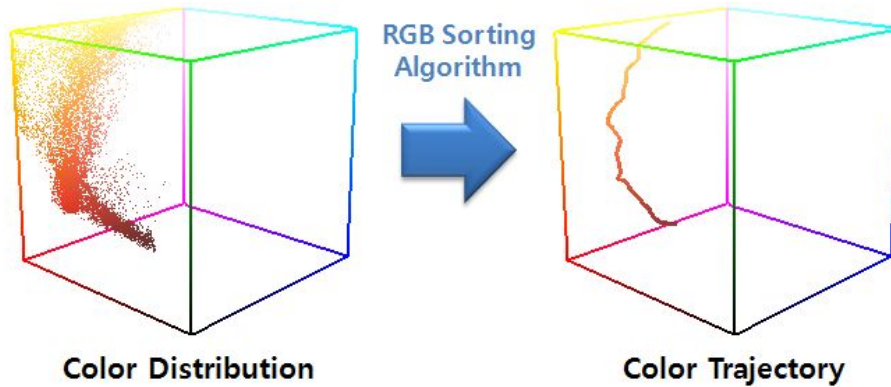
2. 빈도수 기반 RGB 색상 정렬 알고리즘

본 논문에서 제안하는 RGB 색상 정렬 알고리즘은 Kulla[Kul03] 등이 제안한 알고리즘에서 착안하였다. Kulla는 입력된 페인트 샘플에서 색상 변화(color gradient) 및 붓 터치 질감(texture)을 캡처하고 이를 3D 물체의 음영을 표현하는데 활용하는 연구를 하였다. <그림 19>는 페인트 샘플에서 캡처한 색상 변화와 붓 터치의 질감을 보여준다.



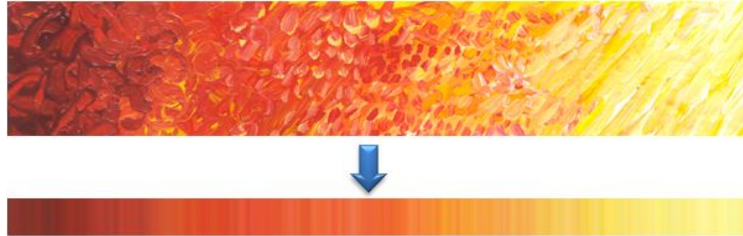
〈그림 19〉 페인트 샘플에서 색상 변화 및 붓 터치 질감의 캡처, Kulla[Kul03]

페인트 샘플에서 캡처한 색상은 <그림 20>의 색상 분포(color distribution)에서 볼 수 있듯이 정렬이 되지 않은 상태이다. 그러므로 Kulla는 이와 같은 색상 분포를 정렬시키기 위하여(color trajectory) RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서 사용되는 입력 이미지는 <그림 19>의 (a)와 같이 가로로 긴 이미지로서 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 밝아지거나 어두워지는 이미지여야 한다는 제약이 있다. 다음 장에서는 Kulla의 RGB 정렬 알고리즘을 설명한다.



〈그림 20〉 RGB 정렬 알고리즘을 이용한 색상 정렬, Kulla[Kul03]

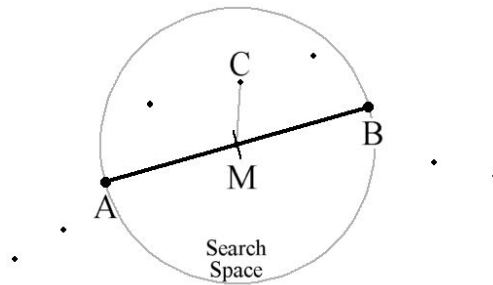
1. 먼저 주어진 페인트 샘플의 모든 열의 평균 색상을 계산하여 아래와 같은 1차원적인 색상 분포로 변환한다.



2. 정렬되지 않은 색상 분포의 양 끝점 A, B에서 알고리즘을 시작한다.
(A, B는 가장 밝은 점, 가장 어두운 점을 의미한다.)



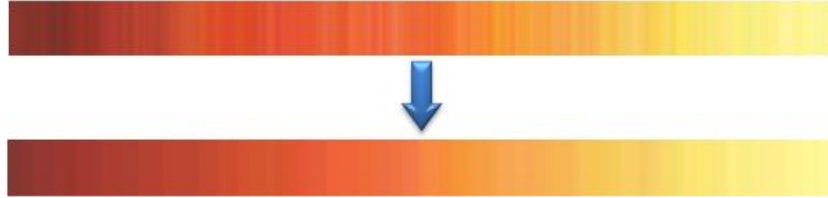
3. 주어진 A와 B의 색에서, 가운데 점인 M을 찾는다.



4. M과 가장 가까운 점 C를 찾는다.
(이때 C는 AB를 지름으로 한 구에 포함되어야 한다.)
5. 만약 점 C를 찾았다면, A-C와 C-B 구간에서 재귀적으로 알고리즘을 수행하고, 점 C를 찾지 못했다면, A-B를 이웃한 색상으로 간주하여 이를 결과 링크드 리스트(Linked List)에 추가한다.

<RGB 정렬 알고리즘, Kulla[Kul03]>

Kulla의 알고리즘을 통하여 <그림 19>의 색상 분포를 정렬한 결과는 <그림 21>과 같다.



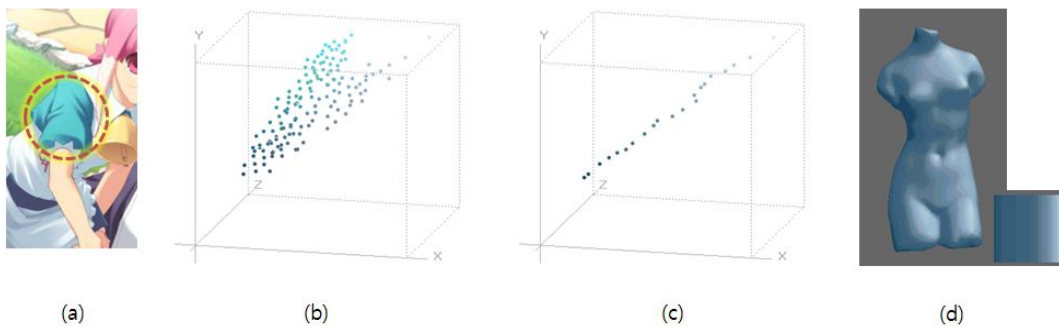
<그림 21> RGB 정렬 알고리즘의 결과

Kulla의 RGB 정렬 알고리즘은 두 가지 제약점이 존재한다. 첫째로 알고리즘이 정렬되지 않은 색상 정보의 양 끝에서 알고리즘을 시작하기 때문에, 입력의 가정에 맞게 왼쪽에서 오른쪽으로 밝아지도록 입력 이미지를 제작해야 한다. 이러한 가정을 따르지 않은 입력 이미지는 Kulla의 RGB 색상 정렬 알고리즘으로 색상을 정렬시킬 수 없다. <표 1>는 Kulla의 알고리즘에서 제시한 가정을 따르지 않은 입력 이미지의 잘못된 정렬 결과를 보여준다.

	입력 이미지	정렬 결과
결과가 옳게 나온 경우		
결과가 잘못 나온 경우		

<표 1> Kulla의 RGB 색상 정렬 알고리즘의 제약점

둘째로 Kulla의 RGB 정렬 알고리즘의 4번째 단계에서 볼 수 있듯이 A-B를 지름으로 한 구에 포함된 C를 찾는 방법을 이용하므로 알고리즘의 처음 시작점을 기준으로 선형에 가까운 결과를 나타낸다. 이러한 이유로 입력 이미지에서 많은 영역을 차지하는 색상이라도 RGB 공간상에서 거리가 멀리 떨어진 색상은 무시될 가능성이 크다. <표 4>에서 알고리즘의 결과가 잘못 나온 경우의 정렬 결과를 보면 입력 이미지의 시작과 끝점을 기준으로 RGB 공간상에서 떨어져 있는 색상이 무시되었음을 알 수 있다.



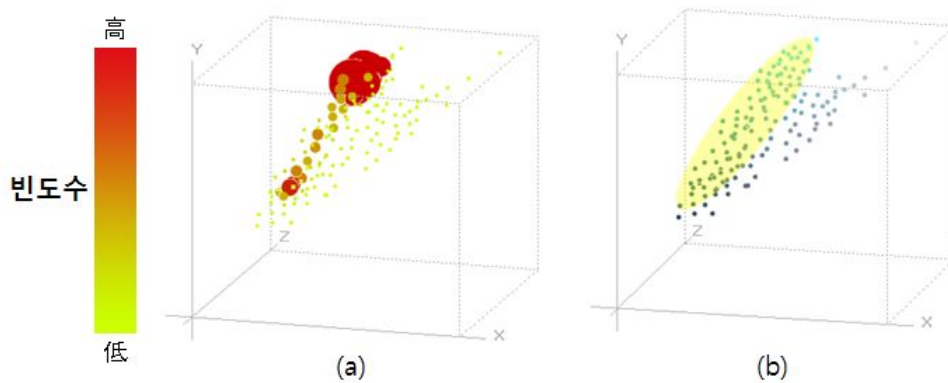
<그림 22> Kulla의 RGB 정렬 알고리즘 결과

본 논문의 음영 모델의 캡처 아이디어를 Kulla의 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 구현해보았다. <그림 22>의 원화(a)에서 붉은색 원에 해당하는 영역(청록색 소매 부분)의 색상 분포는 (b)이며, 이를 Kulla의 RGB 정렬 알고리즘을 이용하여 정렬한 결과가 (c)이다. 여기서는 Kulla의 알고리즘에서 사용할 수 있는 입력 이미지를 이용하지 않고 원화에서 직접 색상 분포를 캡처하였기 때문에, 알고리즘의 두 시작점을 검은색에 가장 가까운 색상과 흰색에 가장 가까운 색상을 임의로 선택하여 알고리즘을 수행하였다. (c)의 색상 정렬 결과를 적용한 텍스처를 3D 물체에 적용한 결과, 선택한 영역 (a)에서 청록색 색상이 대부분을 차지하고 있지만 결과(d)에서는 청록색이 무시되었음을 알 수 있다.

본 논문에서는 지금까지 언급한 Kulla의 RGB 정렬 알고리즘의 제약점을 보

완하기 위하여, 선택한 영역의 색상뿐만 아니라 입력 이미지에서 영역을 차지하는 정도를 의미하는 빈도수를 색상을 정렬하는 기준으로 활용하여 새로운 RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 빈도수가 임계치 이상으로 선택한 영역에서 높은 비율을 차지하는 색상이 무시되지 않도록 하며, Kulla의 알고리즘의 결과가 알고리즘의 시작점을 기준으로 선형의 형태를 띠는 것에 비해 비선형적인 색상 정렬 결과를 얻을 수 있다.

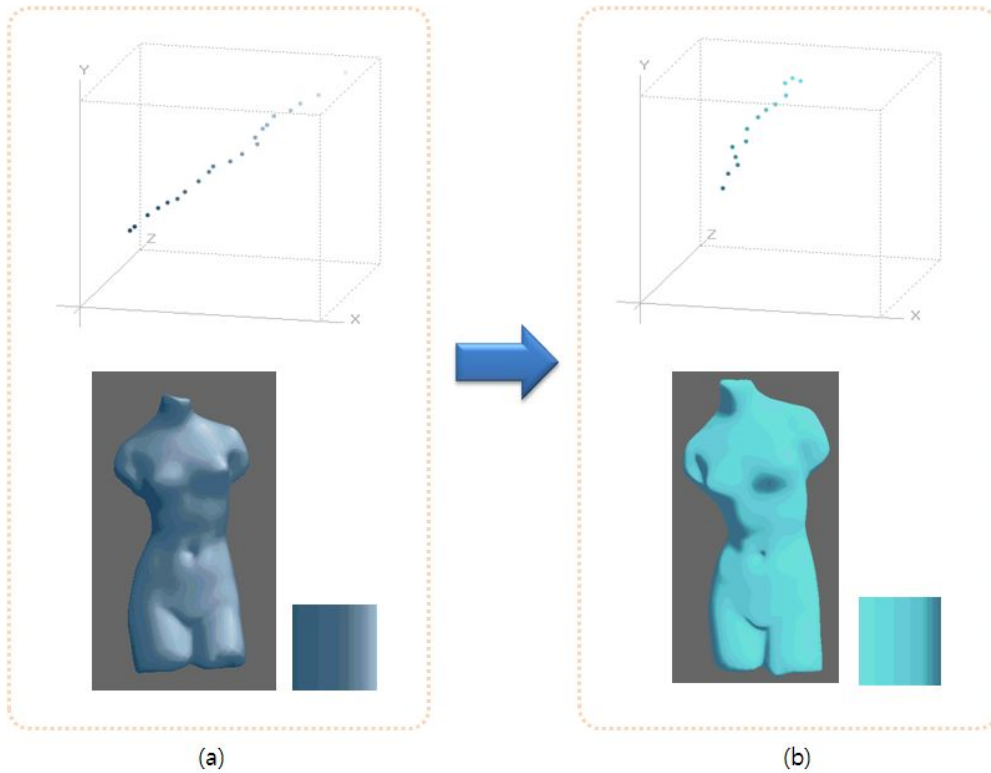
<그림 23>의 (a)는 <그림 22M>의 (a) 영역의 빈도수를 계산한 결과이다. 붉은색에 가까울수록 빈도수가 높은 색상이며, (b)에서의 노란색 영역에 해당하는 색상들을 의미한다.



<그림 23> 선택한 영역의 색상 빈도수 계산 결과

제안하는 빈도수 기반 RGB 색상 정렬 알고리즘은 먼저 빈도수가 높은 색상을 선별한 후 별도의 링크드 리스트에 저장하고, 이 색상들의 사이사이를 Kulla의 RGB 색상 정렬 알고리즘으로 색상을 정렬시켜 최종 결과를 얻는다. 이 알고리즘은 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 밝아지거나 어두워져야 하는 입력 이미지의 제약을 정확하게 지켜야 원하는 결과를 얻는다는 제약점과 가장 밝은 색상과 가장 어두운 색상에서 멀리 떨어져있는 색상은 정렬 결과에 포함될 확률이 적다는 제약점을 보완한 것이다. <그림 24>는 Kulla의 RGB 정렬 알고리즘의

결과(a)와 본 논문에서 제시한 빈도수 기반 RGB 정렬 알고리즘의 결과(b)를 비교한 것이다. (a)와 비교하였을 때 (b)는 선택한 영역(<그림 22-(a)>)의 색상을 잘 표현하고 있는 것을 알 수 있다.



<그림 24> Kulla의 알고리즘과 빈도수 기반 알고리즘의 결과 비교

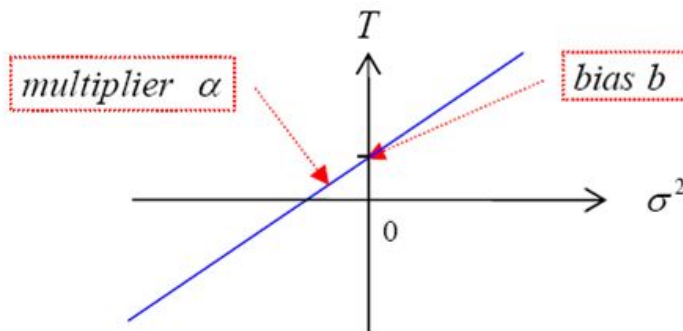
3. 동적 임계치 기법

빈도수가 높은 색상을 선별하기 위해서는 적절한 임계치 결정이 매우 중요하다. 만약 임계치가 원화에 관계없이 항상 동일한 고정 임계치 기법을 사용한다면, 각 영역마다의 고유한 특성을 고려하지 않기 때문에 정확도가 떨어지는 문

제점이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 고정 임계치 기법의 문제점을 해결하기 위해 영역의 통계적 특성인 분산 분포에 따라 동적으로 임계치를 설정하는 동적 임계치 기법[Im06]을 사용한다.

일반적으로 같은 평균이라고 가정할 때, 분산이 증가하면 임계치도 함께 증가한다고 할 수 있다. 그러므로 색상 빈도수의 분산에 의해 높은 빈도수의 색상을 선별하기 위한 임계치를 결정할 수 있다고 할 수 있다. 또한 평균값은 일반적으로 분산 값에 비해 매우 작은 값이므로 임계치를 계산할 때 평균값의 영향은 무시할 수 있다. 그러므로 분산 값이 임계치를 결정하는 가장 중요한 요소라고 생각할 수 있다. 결과적으로, 색상 빈도수의 분산 분포와 최적 임계치 간의 관계를 일차 선형 방정식으로 표현할 수 있다면, 색상 빈도수의 분산 분포로부터 동적인 임계치를 추정할 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다. 여기서 T 는 임계치, σ^2 는 분산, a 는 기울기, b 는 y절편을 의미한다. <그림 25>은 식 (1)을 1차 방정식의 그래프로 나타낸 결과이다.

$$T = a(\sigma^2) + b \quad (1)$$

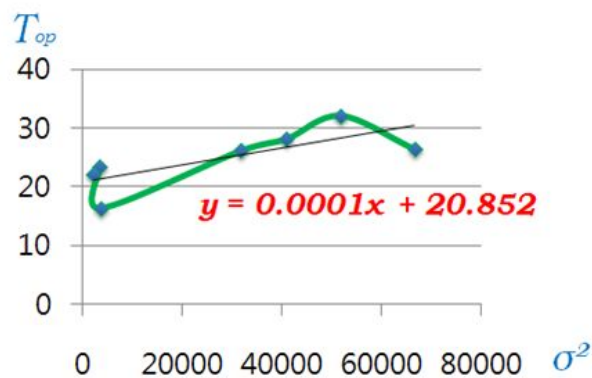


<그림 25> 동적 임계치 공식 그래프

식 (1)의 a 와 b 는 다양한 원화의 영역에서 실험적으로 구해진 최적 임계치 (optical threshold, T_{op})와 색상 빈도수의 분산(σ^2)을 이용해 2원 1차 방정식을 계산한 후 평균값 a_{avg} 과 b_{avg} 를 구하여 이를 적용하며, 본 논문에서는 총 40장의 원화를 사용하여 a_{avg} 과 b_{avg} 를 계산하였다. <표 2>는 원화의 영역별로 분산과 최적 임계치를 계산한 결과이며, Max는 해당 영역에서 색상 빈도수의 최대값이다. 이를 그래프로 나타내면 <그림 26>과 같다.

영역	분산(σ^2)	최적 임계값 (T_{op})	Max	T_{op}/Max (%)
	66750.4	530	2012	26.3
	51913.5	350	1091	32.1
	40941.6	410	1451	28.1
	31787.4	300	1147	26.1
	3555.8	60	366	16.3
	4902.2	120	509	23.5
	2148.4	60	270	22.2

<표 2> 영역별 분산(σ^2) 및 최적 임계치 (T_{op})



<그림 26> 최적 임계치와 분산과의 관계

실험을 통해 계산된 a_{avg} 과 b_{avg} 로부터 색상 빈도수의 분산 분포와 동적 임계치 사이의 관계를 일차 선형 방정식으로 결정할 수 있다. 식 (2)는 동적 임계치 (dynamic threshold, $T_{dynamic}$)의 계산 수식이다.

$$T_{dynamic} = 0.0001(\sigma^2) + 20.852 \quad (2)$$

식 (2)를 통하여 높은 빈도수의 색상을 선별하는데 사용되는 임계치를 동적으로 계산하여 통계적으로 최적의 임계치를 결정할 수 있다. <표 3>은 식 (2)를 이용하여 각 영역별로 동적 임계치를 계산한 결과를 보여주고 있다.

영역	분산(σ^2)	동적 임계값 ($T_{dynamic}$)
	66750.4	553.84
	51913.5	284.13
	40941.6	361.96
	31787.4	276.04
	3555.8	77.61
	4302.2	108.53
	2148.4	56.88

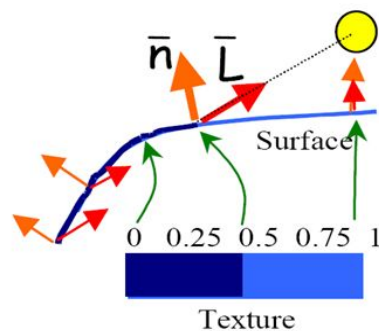
<표 3> 동적 임계치 계산 결과

제 5장. 형태를 강조하는 카툰 렌더링

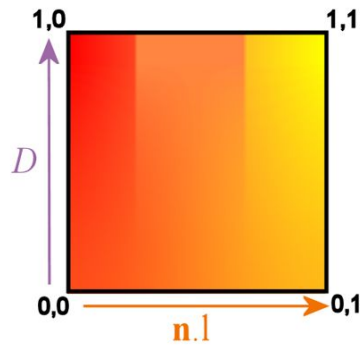
본 장에서는 앞 장에서 캡처한 음영 모델을 3D 물체에 적용한 후, 형태를 강조하여 카툰 렌더링하는 방법론에 관하여 설명한다. 먼저 카툰 렌더링의 방법에 대하여 설명하고, 다양한 원화를 수집하고 원화의 음영 표현을 분석한 결과를 바탕으로 실제 원화의 음영 스타일로 물체의 형태를 강조하는 카툰 렌더링 방법론을 제안한다.

1. 카툰 렌더링 방법론

카툰 렌더링의 기본적인 원리는 램버티안 음영 모델(Lambertian Shading Model)을 사용하며, 2~3단계의 불연속적인 음영을 정의한 1차원 텍스처를 참조하여 각 정점의 밝고 어두움의 정도를 결정한다. 각 정점에서 광원벡터(light vector)와 정점의 법선벡터(vertex normal vector)의 내적 값을 계산하고, 이를 이용해서 물체의 음영을 결정한다. <그림 27>에서 보는 것처럼 내적 값이 클수록 정점이 광원을 향하고 있음을 의미하므로 밝게 표현되며, 그 반대의 경우에는 어둡게 표현된다.



<그림 27> 카툰 렌더링의 기본 원리



〈그림 28〉 2차원 텍스처

본 논문에서는 Barla[Bar06] 등의 “X-Toon” 방법론을 이용하여 카툰 렌더링을 구현한다. Barla는 기존의 카툰 렌더링 방법론으로는 표현이 어려웠던 뷰(view)에 의한 효과를 카툰 렌더링으로 표현하기 위하여 Lake의 1차원 텍스처를 〈그림 28〉과 같이 2차원으로 확장시켰다. 2차원 텍스처의 수평축에는 Lake의 카툰 렌더링 방법론에서 사용된 램버티안 수식을 그대로 적용하고, 수직축의 D 에는 〈표 4〉의 음영 결정요소들을 적용하여 음영을 결정한다. 이 확장된 텍스처를 통해 깊이 정보를 이용한 LOD 효과, 외곽선과의 거리정보를 이용한 실루엣 효과, 반사 벡터를 이용하여 플라스틱 및 금속 등의 재질을 표현하는 하이 라이트 효과 등 다양한 스타일로 물체를 표현할 수 있다.

음영 결정요소	D
카메라의 위치 (view position)	- 정점과 카메라의 위치의 거리를 계산 - 최소 거리(Z_{min})와 최대 거리(Z_{max})를 기준으로 정규화 결과 값을 수직축에 적용
카메라의 방향벡터 (view direction)	- 법선 벡터(Normal Vector)와 카메라의 방향벡터를 내적 값을 수직축에 적용
반사 벡터 (reflection vector)	- 카메라의 방향벡터와 반사벡터를 내적 값을 수직축에 적용

〈표 4〉 2차원 텍스처의 수직축에 적용되는 음영 결정요소

2. 실제 원화의 음영표현 분석

1) 다양한 원화의 수집

실제 원화에서 캐릭터의 음영을 어떻게 표현하는지 분석하기 위하여, 주로 카툰 렌더링 알고리즘으로 표현할 수 있는 셀 채색 기법으로 표현된 원화 500여 장을 수집하였다. <그림 29>은 셀 채색 기법으로 표현된 다양한 애니메이션 캐릭터를 보여준다.



<그림 29> 다양한 애니메이션 캐릭터의 얼굴 묘사

2) 음영표현 분석 결과

<그림 29>의 (a)와 (c)는 코의 형태를 음영을 통하여 잘 표현하고 있다. (g)는 캐릭터의 놀라는 표정을 강조하기 위하여 광원의 위치를 얼굴 아래에 배치한 것처럼 표현되어 캐릭터의 감정을 효과적으로 묘사하고 있으며, (b), (d), (e), (f), (h)는 캐릭터의 화난 표정을 강조하기 위하여 광원의 위치와 관계없는 음영이 표현되어 있음을 알 수 있다.

이와 같이 원화의 음영은 기본적으로 빛에 의한 음영이 대부분이긴 하나, 다른 여러 가지 요소를 고려하여 물체를 표현한다는 것을 알 수 있었다. 예를 들면 캐릭터 얼굴의 입체감을 살리기 위해서, 캐릭터의 감정을 나타내는 표정을 강조하기 위해서 또는 장면의 분위기를 효과적으로 묘사하기 위해서 음영을 과장하거나 삭제하였다. <표 5>는 관찰한 결과를 토대로 원화에 나타나는 음영 표현을 3가지로 분류한 것이다.

음영의 종류	특징
빛에 의한 음영	- 물체의 대부분을 차지하는 기본적인 음영
형태의 강조를 위한 음영	- 복잡한 영역의 형태를 효과적으로 묘사 ex) 캐릭터 얼굴의 이목구비를 강조
표정의 강조를 위한 음영	- 캐릭터의 표정으로 인한 주름의 과장 - 감정에 따른 상황별 음영 표현

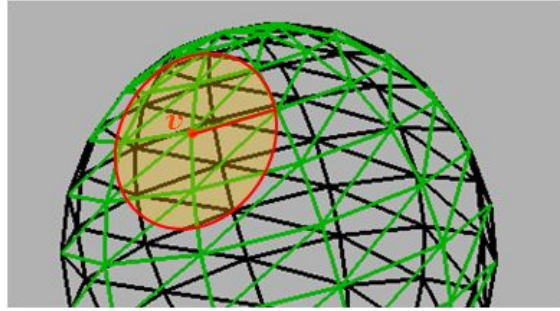
<표 5> 원화에 나타나는 음영의 종류

본 논문에서는 이러한 관찰 결과를 고려하여 3D 물체의 형태적인 특징을 강조하는 카툰 렌더링 기법을 제안하며, 이를 위하여 3D 물체의 기하정보를 활용한다.

3. 세일리언시 기반 카툰 렌더링

1) 메쉬 세일리언시(Mesh Saliency)

3D 물체의 세일리언시를 계산하기 위해서, 본 논문에서는 Lee[Lee05]의 세일리언시 계산 알고리즘을 사용한다. 세일리언시란 인간의 시지각적 주의 집중에



〈그림 30〉 정점 v 의 이웃 노드

대한 계산 모형으로서, Lee는 평균 곡률의 가우시안 평균(Gaussian-weighted Average of Mean Curvature)의 변화량을 이용해 3D 물체의 지역적인 중요도를 정의하였다.

세일리언시를 계산하기 위하여, 먼저 가우시안 평균 곡률을 계산한다. 식(3)은 가우시안 평균 곡률을 구하는 식이다. $G(v, \sigma)$ 는 정점 v 에서의 가우시안 평균 곡률이며 $N(v, \sigma)$ 은 정점 v 의 이웃노드의 집합이다($N(v, \sigma) = \{x / \|x - v\| < \sigma, x \text{ is a mesh point}\}$)(〈그림 30〉). σ 는 중심 정점으로부터 평균을 낼 면적의 넓이를 정하며, $m(v)$ 는 평균 곡률(mean curvature)을 의미한다. 또한 가우시안 필터의 표준편차로도 사용되며, 객체를 둘러싼 바운딩 박스(Bounding Box)의 사선 길이의 0.3%로 정의하여 사용한다.

$$G(v, \sigma) = \frac{\sum_{x \in N(v, 2\sigma)} m(v) \exp[-\|m - v\|^2 / (2\sigma)^2]}{\sum_{x \in N(v, 2\sigma)} \exp[-\|m - v\|^2 / (2\sigma)^2]} \quad (3)$$

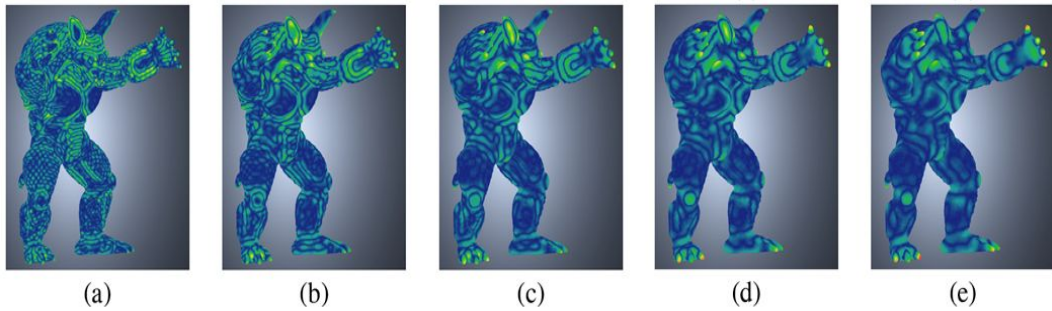
각 정점에서 가우시안 평균을 계산한 후, 해당 정점에서의 세일리언시 $S(v)$ 는 식 (4)와 같이 계산한다. 이 식은 정점 v 로부터의 거리가 σ 이내에 있는 정점들의 평균 곡률의 가우시안 평균과 2σ 이내에 있는 정점들의 평균 곡률의 가우시안 평균의 차이의 절대값을 의미하며, 정점 v 를 중심으로 평균 곡률의 변화량을

의미한다. Lee는 이 수식이 정점을 중심으로 주변의 곡률의 변화량을 계산하므로 “Center-Surround”수식이라고 명명하였다.

$$S(v) = | G(v, \sigma) - G(v, 2\sigma) | \quad (4)$$

스케일에 상관없이 좋은 결과를 얻기 위해 멀티 스케일의 세일리언시를 구해야 한다. 스케일 i 에서 곡률의 평균을 $\sigma_i \in \{\sigma, 2\sigma, 3\sigma, 4\sigma, 5\sigma, \dots\}$ 를 이용하여 멀티 스케일을 구한다. 스케일 i 에서의 세일리언시 $S(v, i)$ 는 식 (5)와 같이 계산한다. <그림 31>은 멀티 스케일로 계산된 세일리언시의 결과이다. ($a:2\sigma, b:3\sigma, c:4\sigma, d:5\sigma, e:6\sigma$)

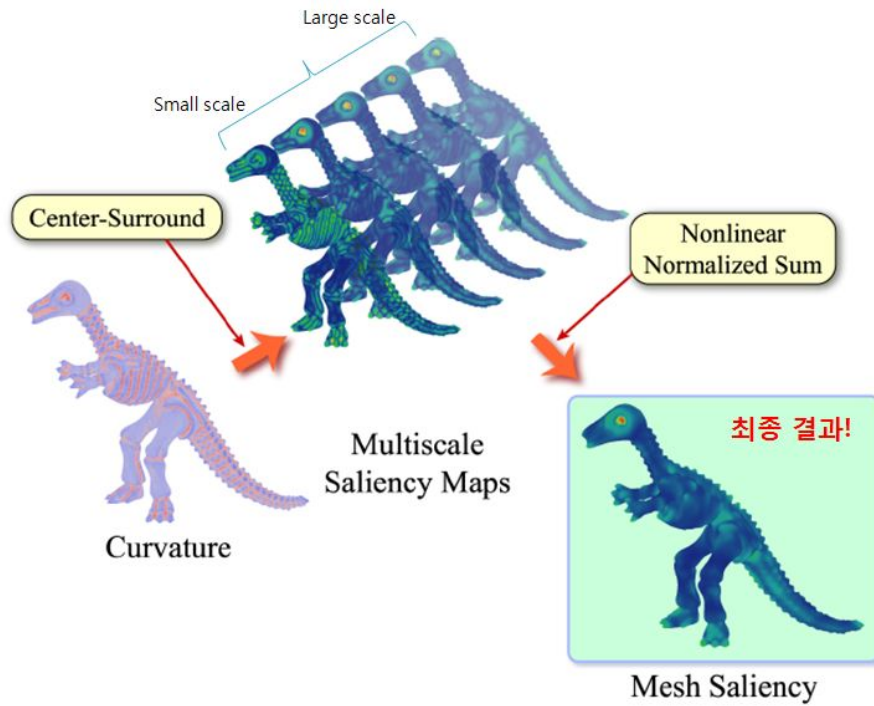
$$S(v, i) = | G(v, \sigma_i) - G(v, 2\sigma_i) | \quad (5)$$



<그림 31> 멀티 스케일 세일리언시, Lee[Lee05]

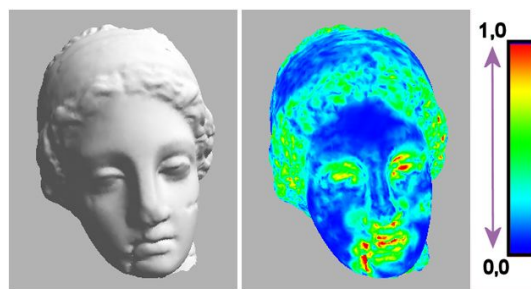
각 스케일에서 구해진 $S(v, i)$ 는 최종적으로 비선형 정규화에 의해 합쳐져 (Nonlinear Normalized Sum) 최종 세일리언시 S_v 로 계산된다. <그림 32>은 세일리언시의 계산 과정을 보여준다.

세일리언시를 계산하기 위해서는 각 정점에서 평균 곡률을 계산해야 하는데, Lee는 Taubin[Tau95]의 곡률 계산 알고리즘을 사용하였다. 그러나 Taubin의 알



<그림 32> 세일리언시의 계산 과정, Lee[Lee05]

고리즘은 정점의 분포가 균일한 모델의 경우에만 정확한 결과를 얻기 때문에, 본 논문에서는 어떠한 정점 분포에서도 비교적 정확한 계산이 가능한 Rusinkiewicz[Rus04]의 곡률 계산 알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘은 곡률 계산 속도가 빠르고 효율적이며 에러율 또한 낮다. <그림 33>는 비너스 얼굴의 세일리언시를 계산하고, 세일리언시 값에 따른 색 스펙트럼을 보여준다.



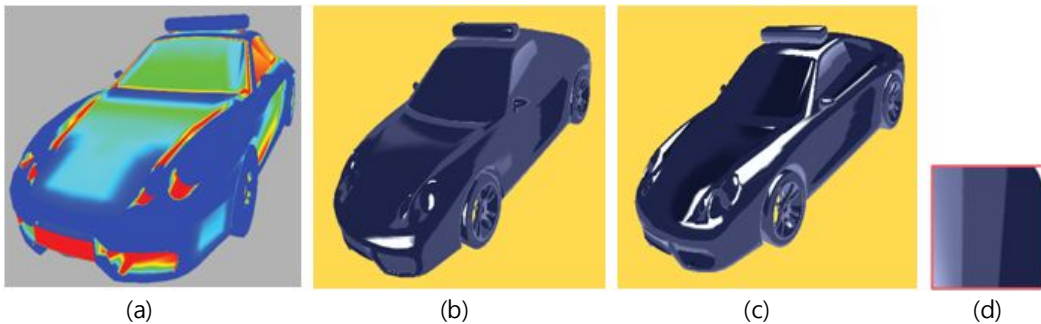
<그림 33> 세일리언시의 계산 결과

2) 세일리언시 기반 카툰 렌더링 알고리즘

세일리언시를 음영을 결정하는 요소로서 활용하기 위하여, Barla가 2차원 텍스처의 수직축에 적용했던 음영 결정요소인 하이라이트 공식($R \cdot L$) 및 실루엣 계산 공식($N \cdot V$)에 세일리언시를 가중치(W_s)로 추가하여 세일리언시를 음영을 결정하는 요소로서 활용한다.

$$W_s \times (R \cdot L) \quad (6)$$

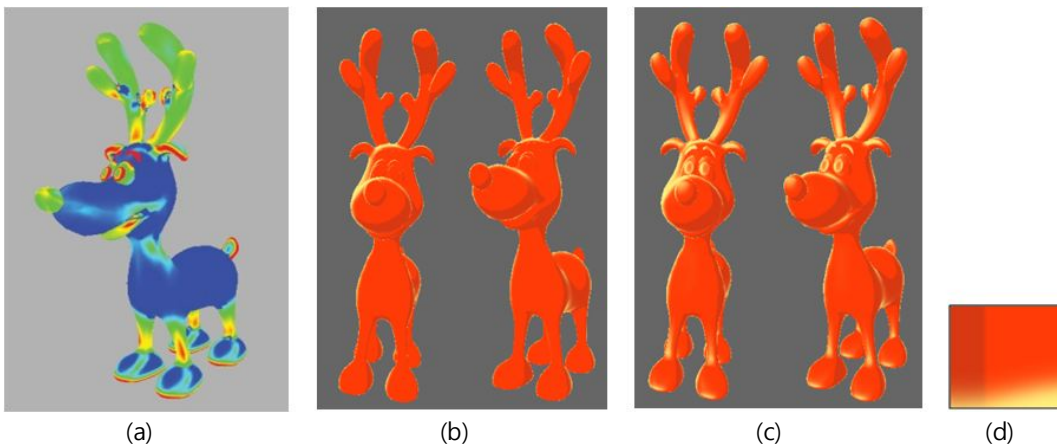
식 (6)은 기존의 하이라이트 수식($R \cdot L$)에 세일리언시를 가중치로 활용한 것을 보여준다. W_s 는 0과 1 사이로 정규화된 세일리언시 가중치이며, R 은 반사 벡터, L 은 광원 벡터를 의미한다. 이를 통하여 세일리언시가 높은 영역에 하이라이트가 추가되어 3D 물체의 형태적 특성을 효과적으로 표현한다. <그림 34>는 기존 하이라이트 렌더링의 결과(b)와 본 논문에서 제안하는 세일리언시 기반 하이라이트 렌더링의 결과(c)를 비교한 것으로 (c)의 결과가 (b)와 비교하였을 때 자동차의 굴곡진 부분의 형태적 특성을 잘 나타내고 있다. (a)는 자동차 모델의 세일리언시를 보여주며, (d)는 렌더링에 사용된 텍스처이다.



<그림 34> 기존 하이라이트와 세일리언시 기반 하이라이트의 비교

$$W_s \times (N \cdot V) \quad (7)$$

식 (7)은 식 (6)과 같은 맥락으로 기존의 실루엣 계산 수식($N \cdot V$)에 세일리언시를 가중치로 활용한 것을 보여준다. W_s 는 세일리언시 가중치이며, N 은 정점의 법선 벡터, V 는 뷰 벡터를 의미한다. 이를 통하여 세일리언시가 높은 영역에 실루엣 효과가 추가되어 3D 물체의 형태적 특성을 효과적으로 표현한다. <그림 35>는 기존 실루엣 렌더링의 결과(b)와 본 논문에서 제안하는 세일리언시 기반 실루엣 렌더링의 결과(c)를 비교한 것으로 (c)의 결과가 (b)와 비교하였을 때 사슴의 이목구비나 꼬리 등의 형태적 특성을 잘 나타내고 있다. (a)는 사슴 캐릭터 모델의 세일리언시를 보여주며, (d)는 렌더링에 사용된 텍스처이다.



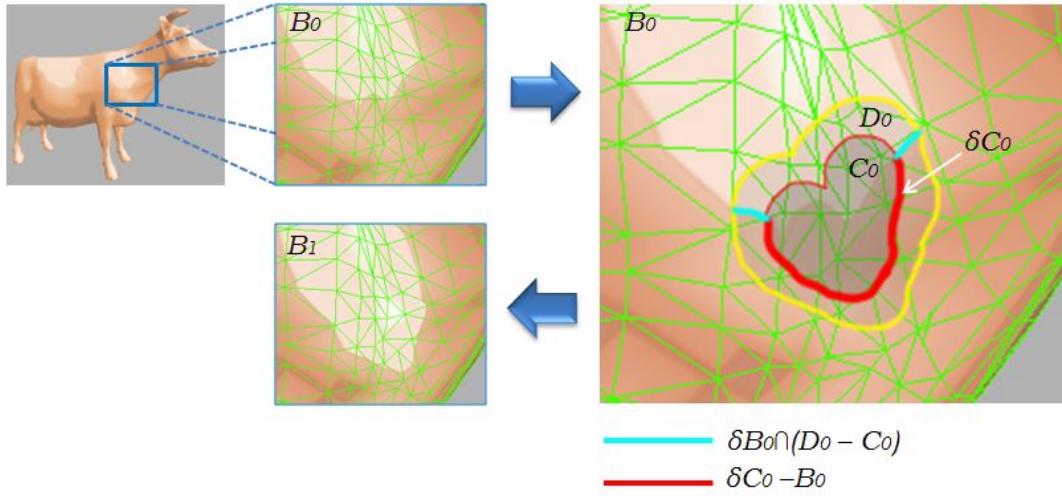
<그림 35> 기존 실루엣 효과와 세일리언시 기반 실루엣 효과의 비교

제 6장. 지역적인 음영편집 인터페이스

본 장에서는 캡처한 음영 모델을 3D 물체에 적용한 후, 3D 물체의 음영을 지역적으로 편집하는 방법론에 관하여 설명한다. 일반적인 음영 편집 방법은 3D 공간의 조명 환경과 관련된 파라미터를 조작하거나 조명들의 위치를 수정하는 간접적인 방법을 사용하는데, 이러한 방법은 특정 영역에 음영을 추가하는 지역적인 음영의 편집이 매우 어렵다. 본 논문에서 제안하는 지역적인 음영편집 방법론은 페인트-브러시 메타포를 이용하는 스케치 인터페이스를 이용하여 3D 물체의 음영을 직관적으로 수정할 수 있도록 한다. 이러한 편집과정 방법론을 통해 사용자에게 의하여 수정된 음영은 실제 물리적으로 정확하지 않지만, 실제 원화의 음영 스타일을 직접적으로 반영한 결과라고 할 수 있다.

1. 가중치 함수(weight function)

본 논문에서 제안하는 지역적인 음영편집 방법론은 Todo[Tod07]의 방법론을 확장한 것이다. Todo는 3D 물체 위에서 직접적으로 음영을 편집하는 방법론을 최초로 제안하였다. 그러나 이 연구는 광원 벡터와 정점의 법선 벡터를 이용한 1차원 텍스처 기반의 초기 카툰 렌더링에서 출발한 것이며, 2단계의 음영 톤(tone)으로 표현된 음영 스타일로 연구의 범위가 제한되어 있다. 따라서 본 논문에서는 Todo의 방법론을 확장시켜 다단계의 음영 톤으로 이루어진 카툰 렌더링에서도 활용할 수 있는 가중치 함수를 제안한다.



1) 가중치 함수를 이용한 음영 편집

본 논문에서 제안하는 가중치 함수는 각 정점마다 음영 가중치 및 거리 가중치를 주는 방법을 이용하여 물체의 음영 표현을 편집하며, 다양한 톤 단계로 표현된 2차원 텍스처 기반 카툰 렌더링에서 지역적인 편집이 가능하다.

$$B_0 := \{ p \in S \mid T_u = N(p) \cdot L(p), T_v = D \} \quad (8)$$

음영편집 전의 밝은 영역 B_0 는 3D 물체의 표면 S 위에 있는 점 p 의 집합이며, 식 (8)의 방법으로 2차원 텍스처의 좌표 (T_u, T_v) 를 계산한다. $N(p)$ 는 정점의 법선 벡터를, $L(p)$ 는 광원 벡터를 의미하며, D 는 2차원 텍스처의 수직축에 적용된 수식을 의미한다.

$$B_1 := \left\{ \begin{array}{l} p \in S \mid T_u = W_1(p) \times (N(p) \cdot L(p)), \\ T_v = W_1(p) \times D \end{array} \right\} \quad (9)$$

$$= B_0 \cup C_0$$

사용자가 스케치 인터페이스를 이용해 3D 물체의 밝은 영역 B_0 의 영역에 C_0 영역을 더하여 새로운 밝은 영역 B_1 을 정의하면, 새로운 영역의 텍스처 좌표

(T_u, T_v) 는 식 (9)의 방법으로 계산한다. 여기에서 W_1 은 가중치를 의미하며, 식 (10)의 방법으로 결정한다. 사용자가 스케치한 영역인 C_0 영역 이외의 다른 영역은 가중치 W_1 을 1로 적용하여 음영의 변화가 일어나지 않도록 한다. (영역을 어둡게 수정하는 브러시(Darkening Brush)의 경우: $1 - B_{power}$, 영역을 밝게 수정하는 브러시(Lighting Brush)의 경우: $1 + B_{power}$)

$$W_1 := \begin{cases} 1 & p \in (S - D_0) \cup (\delta B_0 \cap (D_0 - C_0)) \\ 1 + B_{power} & p \in \delta C_0 - B_0 \end{cases} \quad (10)$$

또한 스케치한 영역 주변($\delta D_0 \sim \delta C_0$)의 음영을 자연스럽게 변화시키기 위해 거리 가중치(distance weight)를 추가한다. 거리 가중치를 이용한 텍스처 좌표 (T_u, T_v) 의 계산 수식은 식 (11)과 같다.

$$B_1 := \left\{ \begin{array}{l} p \in S \mid T_u = d \times W_1(p) \times (N(p) \cdot L(p)), \\ T_v = d \times W_1(p) \times D \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$= B_0 \cup C_0 \cup D_0$$

식 (11)에서 d 는 거리 가중치를 의미하며, δD_0 와 δC_0 사이의 거리를 기준으로 하여 정점 p 의 위치의 비율을 계산하며 수식은 식 (12)과 같다.

$$d = \frac{Euclidean\ Dist(\delta C_0, p)}{Euclidean\ Dist(\delta C_0, \delta D_0)} \quad (12)$$

2) 가중치의 누적

사용자가 스케치를 k 번 반복해서 하였을 경우 가중치를 누적함으로써 스케치한 영역이 점차 밝아지거나 어두워지게 한다. 밝은 영역은 B_{k+1} 로 정의되며 식 (13)의 방법으로 텍스처 좌표 (T_u, T_v) 를 계산한다.

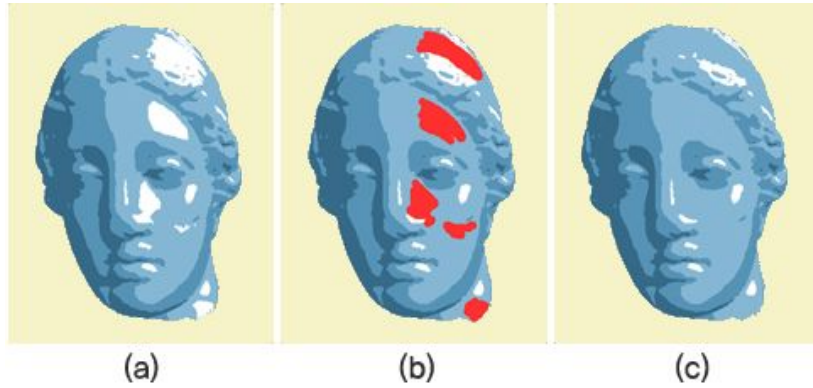
$$B_{k+1} := \left\{ p \in S \mid \begin{array}{l} T_u = d \times W_k(p) \times (N(p) \cdot L(p)), \\ T_v = d \times W_k(p) \times D \end{array} \right\} \quad (13)$$

$$= B_k \cup C_k \cup D_k$$

또한 각 정점의 가중치는 스케치를 할 때마다 누적되어 계산되며 식 (14)의 방법으로 가중치 W_k 를 정의한다.

$$W_k := \begin{cases} W_{k-1}(p) & p \in (S - D_k) \cup (\delta B_k \cap (D_k - C_k)) \\ W_{k-1}(p) \times (1 + B_{power}) & p \in \delta C_k - B_k \end{cases} \quad (14)$$

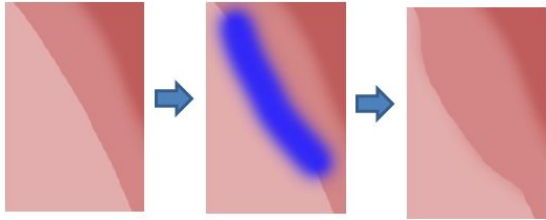
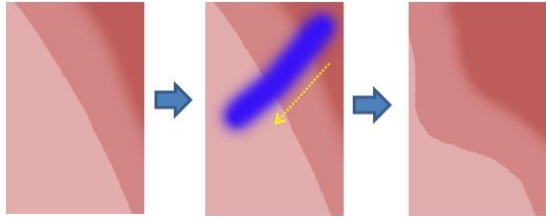
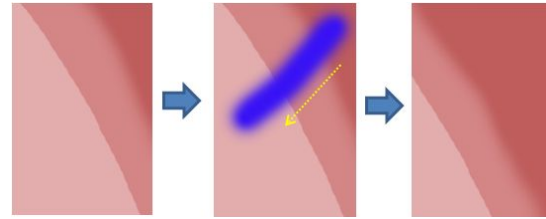
<그림 36>은 카툰 렌더링으로 표현된 비너스 얼굴 음영의 지역적인 편집 과정을 보여준다. (a)는 음영 편집 전의 모습이며, 사용자가 (b)와 같이 스케치 인터페이스를 통하여 음영을 편집한 결과가 (c)이다.



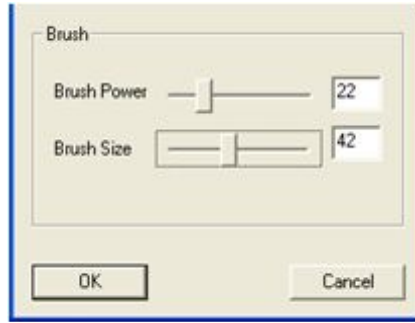
<그림 36> 지역적인 음영 편집 과정

2. 음영편집 모드와 사용자 파라미터

본 논문에서는 사용자에게 다양한 음영편집 모드를 제공하여 3D 물체의 음영을 더욱 편리하게 편집할 수 있도록 한다. <표 6>는 음영 편집의 3가지 모드를 보여준다.

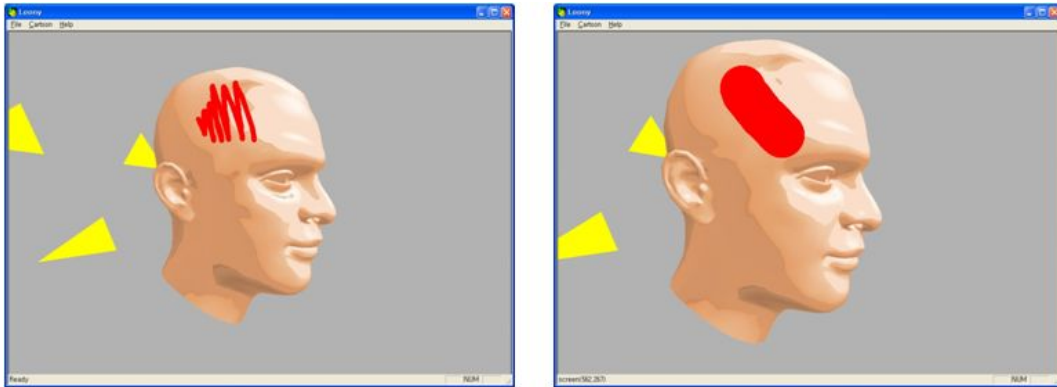
음영편집 모드	설 명
스케치 (Sketch)	 <ul style="list-style-type: none"> - 스케치한 영역만 음영 추가/삭제 - 가장 지역적이고 세밀한 편집
스머지 (Smudge)	 <ul style="list-style-type: none"> - 특정 방향으로 음영을 잡아 끌 듯 편집
풀 앤 푸시 (Pull & Push)	 <ul style="list-style-type: none"> - 비교적 전체적인 영역을 편집 (빛의 위치를 변화시켜 편집)

<표 6> 3가지 음영 편집 모드



〈그림 37〉 사용자 파라미터
조절 슬라이더

또한 사용자에게 브러시의 세기(brush power)와 크기(brush size)를 조절할 수 있는 파라미터를 제공하여 편리하게 음영을 편집할 수 있도록 한다. 브러시의 세기를 조절하여 한 번 스케치할 때마다 얼마만큼의 가중치를 줄 것인지를 결정할 수 있도록 하고, 브러시의 크기를 조절하여 영역의 음영을 세밀하게 수정할 때는 작은 브러시를 이용하고, 넓은 영역을 한 번에 수정할 때는 큰 브러시를 이용한다. 〈그림 38〉은 브러시의 크기를 다르게 하여 음영을 편집하는 모습을 보여준다. 사용자는 이러한 사용자 파라미터들을 통하여 음영을 편리하게 편집할 수 있다.



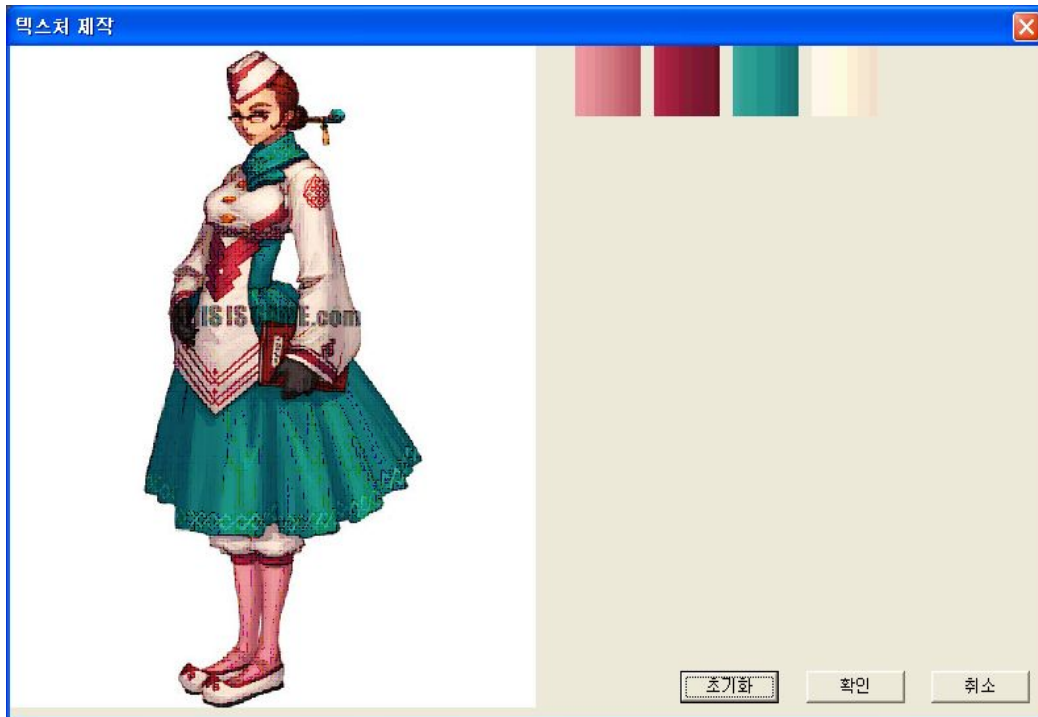
〈그림 38〉 브러시의 크기 조절

제 7장. 시스템 구현 및 결과

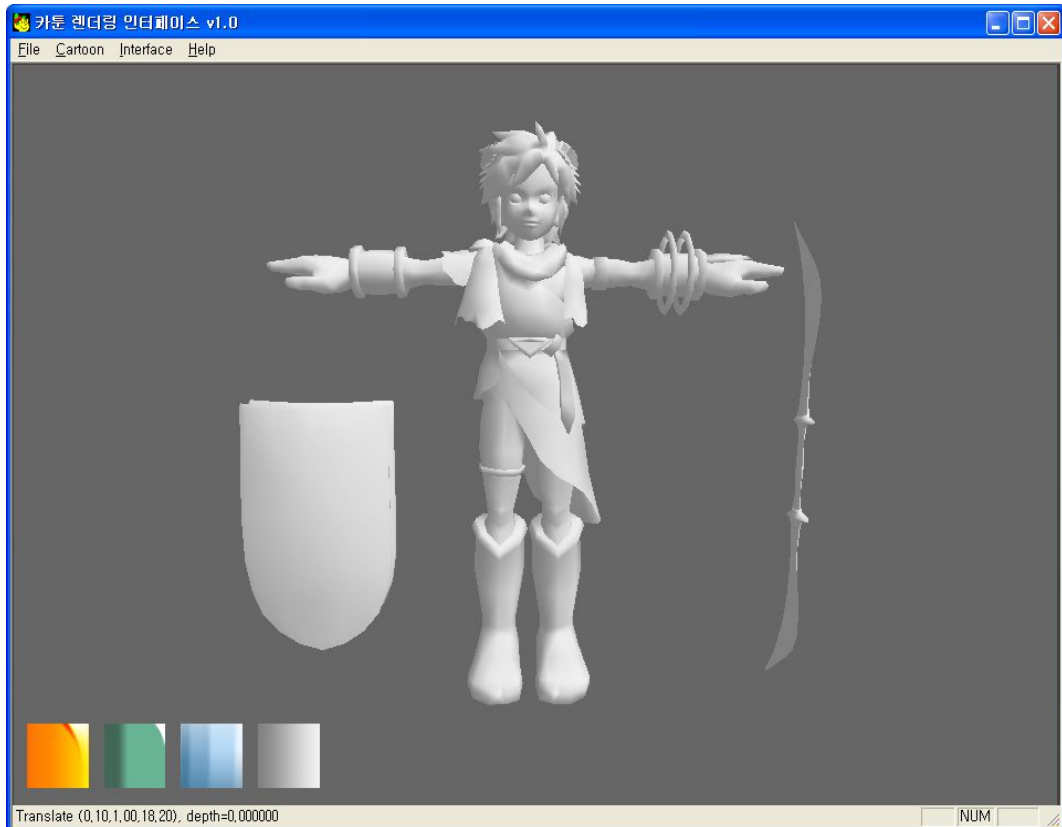
본 논문에서 제안하는 원화 기반 카툰 렌더링을 위한 인터페이스 시스템은 C++ 기반의 OpenGL(Open Graphics Library)를 이용해 구현하였다.

1. 카툰 렌더링 인터페이스 구현

본 시스템은 원화에서 음영 모델을 캡처하여 텍스처를 자동으로 생성하는 텍스처 생성 대화창(Texture Generator)과, 생성된 텍스처를 3D 물체에 적용한 후 지역적으로 음영을 편집하는 음영 편집 창(Shading Editor)으로 구성된다.



<그림 39> 텍스처 생성 대화창 (Texture Generator)



<그림 40> 음영 편집 창 (Shading Editor)

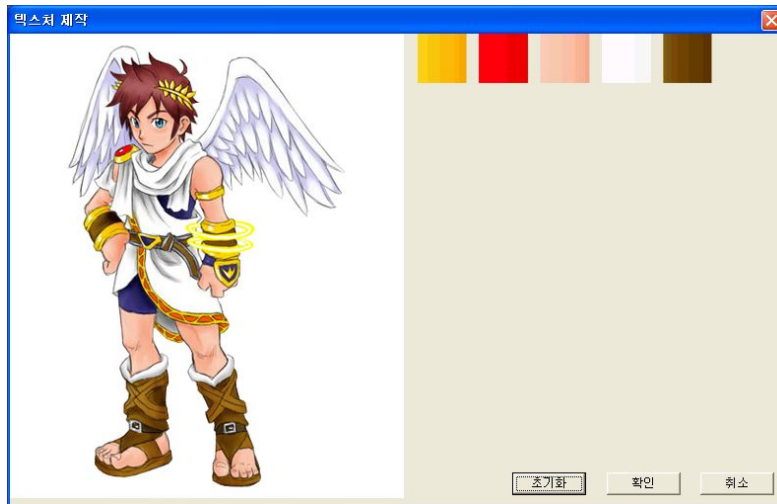
<그림 39>는 텍스처 생성 대화창을 보여준다. 사용자가 좌측의 캐릭터 원화에서 스케치 인터랙션을 통해 캡처할 영역을 선택해주면, 우측에 텍스처가 자동으로 생성된다.

<그림 40>는 음영 편집 창을 보여준다. 이 창에서는 3D 물체의 정점(vertex) 정보, 정점의 텍스처 좌표(texture coordinate) 정보, 정점의 법선 벡터(normal) 정보 및 정점의 집합을 통해 면을 구성하는 페이스(face) 정보를 담고 있는 오브젝트 파일(.obj 확장자)을 시스템으로 불러들여 3D 물체를 화면에 나타낸다. 화면에 나타난 3D 물체는 마우스 조작을 이용하여 줌 인(Zoom-in) 및 줌 아웃

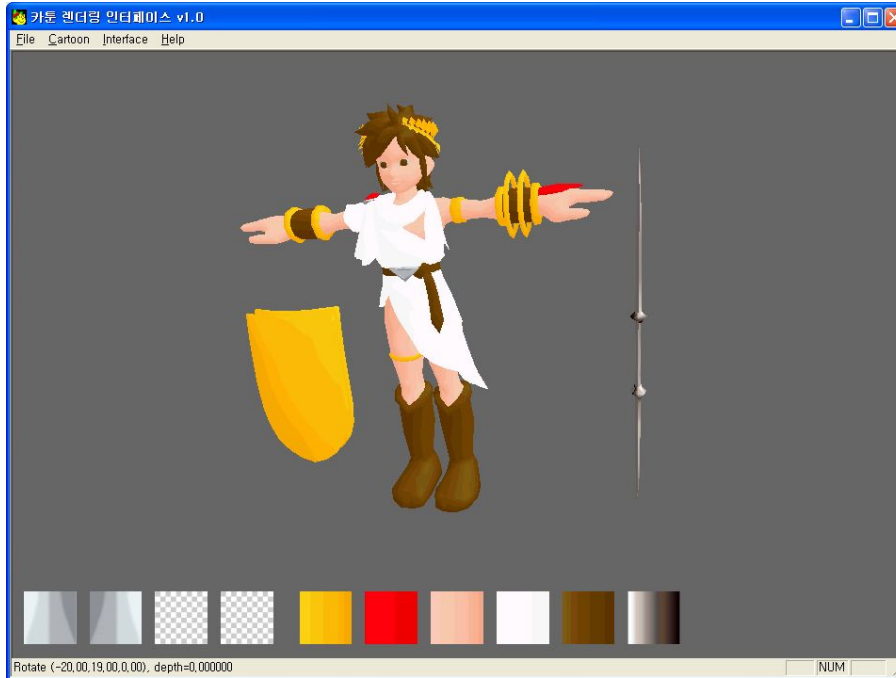
(Zoom-out)을 할 수 있으며(RMB Drag to Translate in Z and X, RMB+Shift Drag to Translate in Y), 회전 및 이동을 할 수 있다(LMB Drag to Rotate in X and Y, LMB+Shift Drag to Rotate in Z). 화면 하단에는 시스템에 읽어 들인 텍스처를 보여줌으로써, 사용자가 현재 사용 가능한 텍스처를 파악할 수 있도록 하였고, 방향키(←↑→↓)를 이용하여 광원의 위치를 조절할 수 있도록 하였다. 또한 라이트닝 브러시(Lighting Brush)를 이용하여 영역의 음영을 밝게 수정하거나(LMB+Ctrl), 다크닝 브러시(Darkening Brush)를 이용하여 영역의 음영을 어둡게 수정한다(RMB+Ctrl).

2. 원화 기반 텍스처의 적용 결과

구현된 인터페이스를 이용하여 다양한 캐릭터 원화에서 음영 모델을 캡처하여 3D 캐릭터 모델에 적용해보았다. 먼저 게임 키드 이카루스(Kid Icarus)의 주인공 피트(Pit)의 캐릭터 원화에서 텍스처를 캡처하였다. <그림 41>은 캐릭터



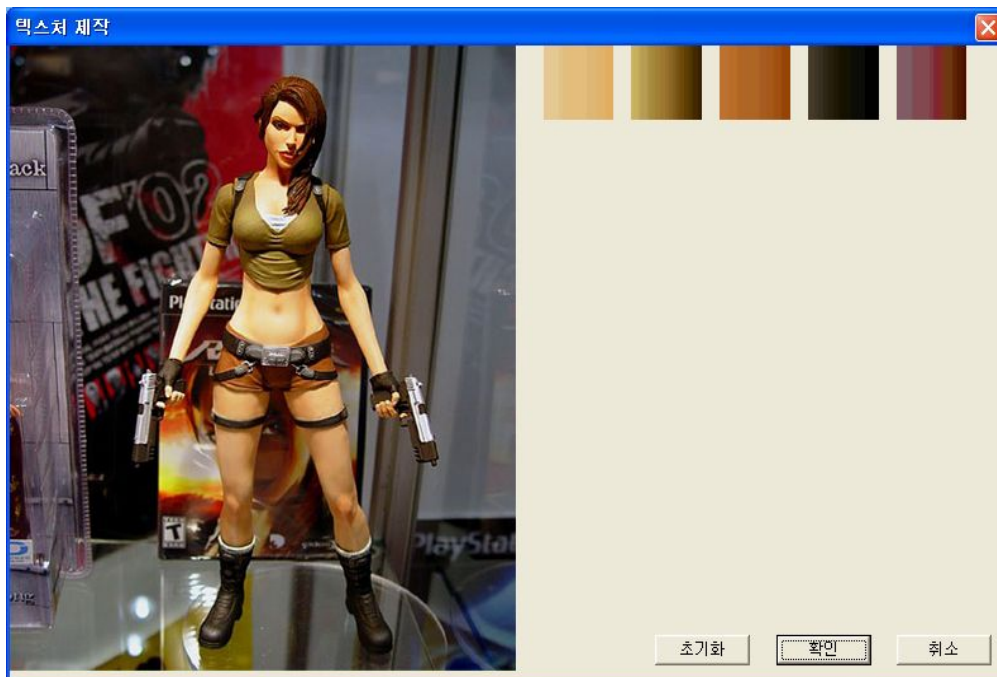
<그림 41> 캐릭터의 원화 및 캡처된 음영 모델 (피트)



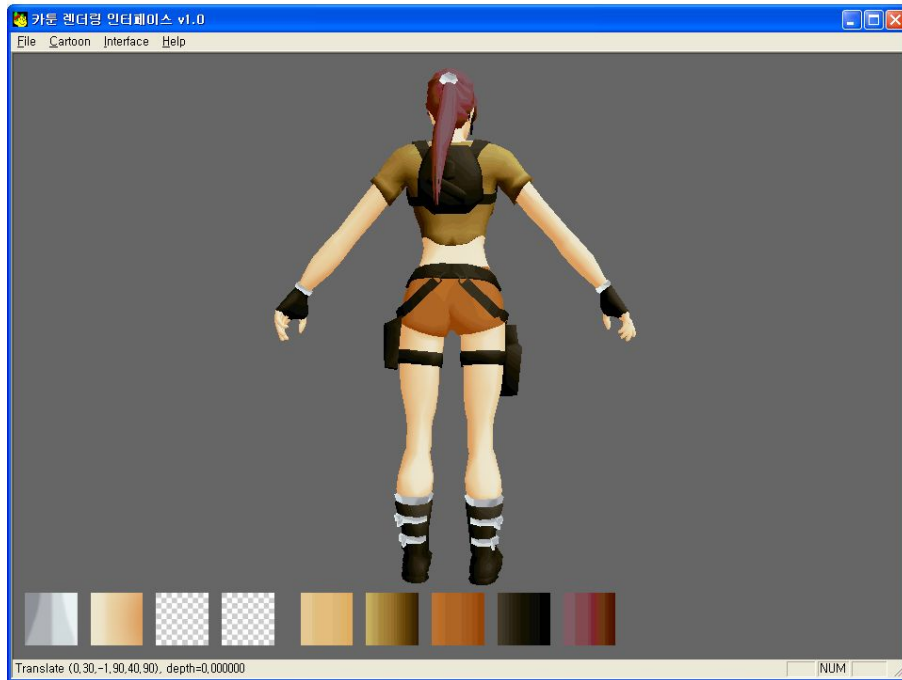
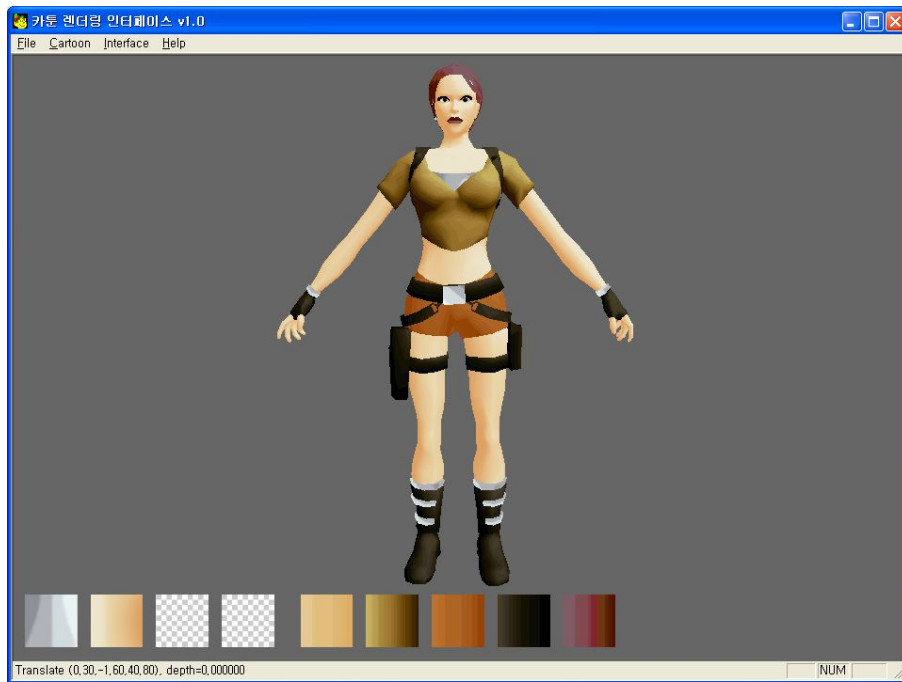
<그림 42> 3D 캐릭터 모델에 캡처한 음영 모델을 적용한 모습 (피트)

원화에서 텍스처를 캡처한 모습이며, <그림 42>은 이를 3D 캐릭터 모델에 적용한 것을 보여준다.

다음으로 3D 어드벤처 게임 톰 레이더(Tomb Raider)의 주인공 라라 크로프트(Lara Croft)의 캐릭터 피규어(character figure)에서 텍스처를 캡처하였다. 캐릭터 피규어는 영화·애니메이션·게임 등에 등장하는 캐릭터를 축소해 만든 인형이며, 이를 이용해 3D 캐릭터의 텍스처를 제작하기도 한다. <그림 43>은 캐릭터 피규어 사진에서 텍스처를 캡처한 모습이며, <그림 44>은 이를 3D 캐릭터 모델에 적용한 것을 보여준다.

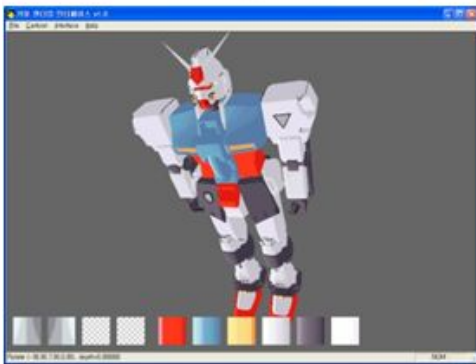


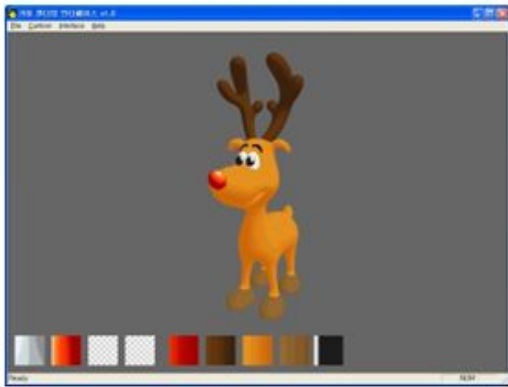
<그림 43> 캐릭터의 원화 및 캡처된 음영 모델 (라라 크로프트)



〈그림 44〉 3D 캐릭터 모델에 캡처한 음영 모델을 적용한 모습 (라라 크로프트)

이 밖에도 다양한 캐릭터의 원화에서 음영 모델을 캡처하여 3D 캐릭터 모델을 표현한 결과는 다음과 같다.



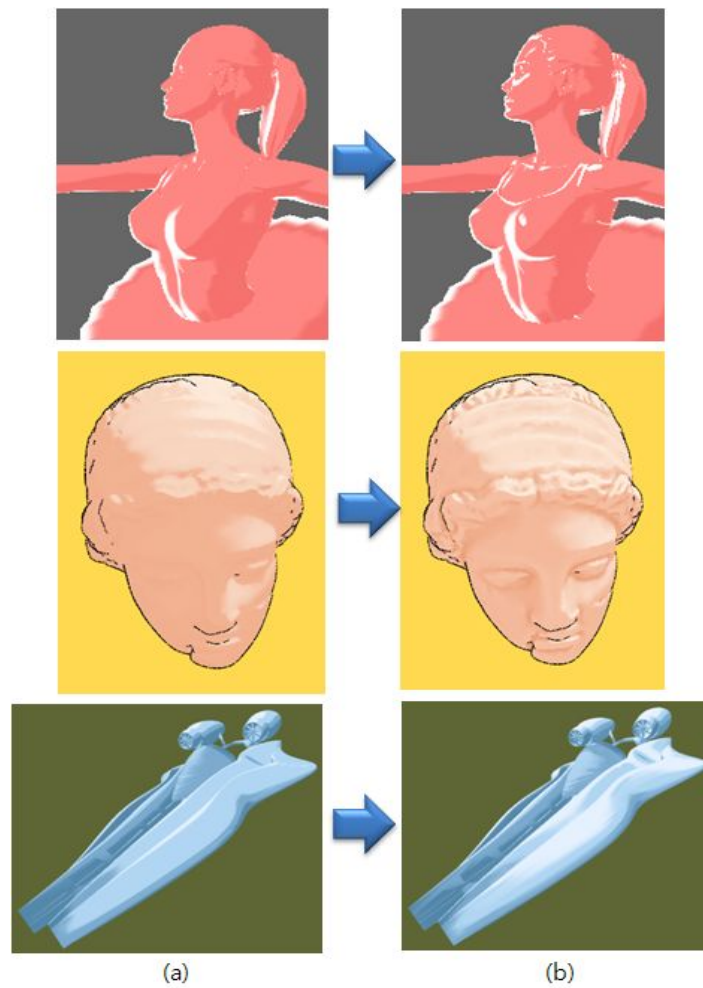




<그림 45> 다양한 캐릭터 원화의 음영 모델 캡처

3. 형태를 강조하는 카툰 렌더링 결과

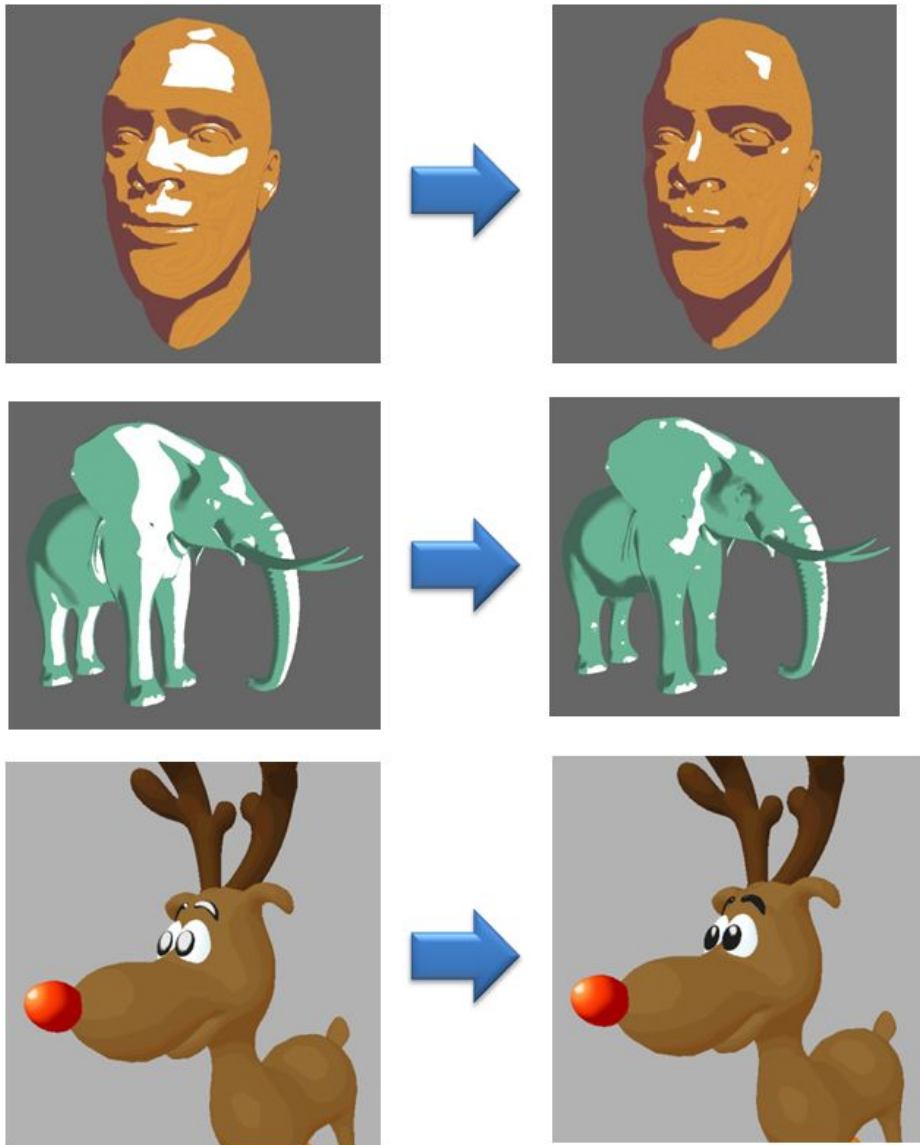
본 논문에서 제안하는 형태를 강조하는 카툰 렌더링 알고리즘을 이용하여 다양한 3D 물체의 형태적인 특징을 강조한 결과이다. <그림 46>의 (a)열은 기존 카툰 렌더링 방법으로, (b)열은 본 논문에서 제안하는 형태를 강조하는 카툰 렌더링 방법으로 3D 물체를 표현한 결과이다. (b)열이 비교적 물체의 형태(캐릭터의 이목구비, 옷 주름, 머리카락, 비행기의 디테일)를 잘 표현하고 있는 것을 알 수 있다.



<그림 46> 형태를 강조하는 카툰 렌더링의 결과

4. 지역적인 음영 편집 결과

본 논문에서 구현한 지역적인 음영 편집 인터페이스를 이용하여 다양한 3D 물체의 음영을 지역적으로 편집해 보았다. <그림 47>의 좌측은 편집 이전이며, 우측은 하이라이트와 음영을 지역적으로 편집한 결과이다.



<그림 47> 지역적인 음영 편집 결과

제 8장. 사용자 평가

본 논문에서 제안한 시스템의 사용성을 평가하기 위하여 디자인 전공자를 21명을 대상으로 사용자 평가를 실시하였다. 평가의 목적은 기존의 텍스처 맵핑 및 렌더링 방법론과 비교하여 본 논문에서 제안하는 방법론이 얼마나 유용한지를 정량적으로 평가하는 것이다.

1. 평가 방법

평가 방법은 실험자들에게 캐릭터의 원화를 보여주고, 먼저 기존의 방법론처럼 캐릭터의 텍스처를 직접 제작하여 3D 캐릭터 모델을 표현하도록 한다. 그 다음 제안하는 시스템을 이용하여 텍스처를 생성하여 3D 캐릭터 모델을 표현하도록 한다.

실험자들은 총 2개의 캐릭터를 텍스처 맵핑 및 렌더링하였으며, 각 방법론의 수행 시간을 측정하고 간단한 설문조사를 수행하였다. 설문조사에서 실험자는 각 방법론의 작업 난이도와 작업 속도를 1점과 7점 사이로 평가하였으며, 작업 수행과정에서의 작업부하를 평가하기 위해 NASA-TLX(NASA Task Load Index)를 이용한 문항을 1점에서 100점 사이로 평가하였다. NASA-TLX란 대형 시스템에서 작업 수행과정에서의 작업부하 평가를 위하여 미국 항공우주국(National Aeronautics & Space Administration)에서 개발된 방법으로, 정신적 요구(mental demand), 육체적 요구(physical demand), 시간적 요구(temporal demand), 노력 수준(effort), 수행도 수준(performance), 좌절 수준(frustration)의 여섯 가지 기준에 대하여 작업 부하를 평가할 수 있는 주관적인 평가 기법이다. <표 7>은 NASA-TLX 작업부하 평가 속성을 보여준다.

	정의
정신적 요구 (mental demand)	정신적, 지각적 활동이 얼마나 요구되는가? (사고, 결정, 계산, 기억, 조사, 탐사 등) 과제가 쉬운가/어려운가, 간단한가/복잡한가, 엄격한가/관대한가?
신체적 요구 (physical demand)	신체적 활동이 얼마나 요구되는가? (밀기, 당기기, 돌리기, 제어하기, 활성화 등) 과제가 쉬운가/어려운가, 느린가/빠른가, 힘이 적게/많이 드는가?
시간적 요구 (temporal demand)	과제들 또는 과제 요소들이 일어나는 비율 또는 속도에 기인한 시간적 압력을 얼마나 느끼는가? 속도가 느리고 느긋한가 또는 빠른가?
수행도 수준 (performance)	실험자(또는 자신)가 설정한 과제의 목표를 성취하는데 있어 얼마나 성공적이라고 생각하는가? 이러한 목표를 성취하는데 있어 당신의 수행에 얼마나 만족하는가?
노력 수준 (effort)	당신의 수행 수준을 성취하기 위해 얼마나 열심히 하였는가? (정신적으로 신체적으로)
좌절 수준 (frustration)	과제 수행 동안 당신은 얼마나 불안정, 낙담, 초조감, 긴장감, 안정감, 만족감, 편안함을 느꼈는가?

<표 7> NASA-TLX 주관적 작업부하 평정 척도

2. 평가 결과

<표 8>은 평가 결과의 평균(M: mean) 및 표준 편차(SD: std. deviation)를 보여준다. 작업 수행시간을 비교한 결과 기존 방법론과 비교하여 제안하는 시스템을 이용한 방법론이 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있다. 두 방법론 간 차이를 정량적으로 비교하기 위하여, 작업 난이도 및 빠르기, NASA-TLX 항목의 평가 결과를 대응표본 T-검정(Pairwise T-test)을 통해 비교하였다. 검정결과를 통해, 실험자들은 제안하는 방법론이 기존 방법론에 비해 더 쉽고, 빠르며, 작업의 부하 역시 적다고 느낀 것을 알 수 있었다.

	기존 방법론 (수작업)		제안하는 방법론 (스케치 인터페이스)	
	M	SD	M	SD
1. 작업 수행 시간 (분)	16.52	2.71	3.47	1.12
2. 작업 난이도 (1-7, 1=매우 쉬움)	5.80	1.03	2.04	0.66
3. 작업의 빠르기 (1-7, 1=매우 빠름)	5.71	1.05	1.71	0.71
4. NASA-TLX (1-100)	69.68	14.22	28.61	16.69

〈표 8〉 사용자 평가 결과

제 9장. 결론

본 논문에서는 원화의 음영 스타일을 기반으로 하여 3D 캐릭터 모델을 표현하는 방법론에 관하여 연구하였다. 먼저 사용자가 원화에서 음영 모델을 캡처할 영역을 선택할 수 있도록 영상 분할 알고리즘을 사용하여 원화 이미지를 미리 분할하였으며, 선택한 영역을 분석하여 텍스처를 자동으로 생성하기 위하여 RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 RGB 색상 정렬 알고리즘은 영역의 색상 분포뿐 아니라 비율까지 캡처한다는 장점을 가지고 있다. 또한 동적으로 임계치 기법을 이용한 색상 정렬 방법을 이용하여 이미지의 각 영역마다의 고유한 통계적 특성에 따라 동적으로 임계치를 설정할 수 있도록 하였다.

원화의 음영 스타일을 그대로 모방하여 3D 캐릭터에 적용하기 위하여, 실제 원화에서 어떻게 음영이 표현되었는지 분석하였다. 분석 결과에 따라 3D 캐릭터 모델의 형태적인 특성을 강조하는 세일리언시 기반의 카툰 렌더링 방법론을 제안하였다. 또한 가중치 함수를 이용한 음영 편집 스케치 인터페이스를 제안하여 사용자가 지역적인 음영편집을 쉽고 간단하게 할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 3D 캐릭터의 제작 과정에서 나타날 수 있는 몇 가지 불편함을 해결하였고 이를 구현하였다는 점에서 의의가 있다. 이를 통해 3D 캐릭터의 제작 시간을 단축시킬 수 있을 것이며, 3D 애니메이션, 게임, 광고 등의 다양한 디지털 콘텐츠 분야에서 활용이 가능할 것이라고 예상된다.

참고 문헌

- [Lak00] Lake A., Marshall C., Harris M. and Blackstein M., "Stylized Rendering Techniques For Scalable Real-Time 3D Animation", SIGGRAPH 2000
- [Bar06] Barla P., Thollot J. and Markosian L., "X-Toon: an extended toon shader", NPAR 2006
- [Spi06] Spindler M., Rober N., Dohring R. and Masuch M., "Enhanced Cartoon and Comic Rendering", EUROGRAPHICS 2006
- [Dec07] DeCoro C., Cole F., Finkelstein, A. and Rusinkiewicz, S., "Stylized Shadows", NPAR 2007
- [Slo01] Sloan P.J., Martin W., Gooch A. and Gooch B., "The lit sphere: a model for capturing NPR shading from art", SIGGRAPH 2001
- [Kul03] Kulla C.D., Tucek J.D., Bailey R.J. and Grimm C.M., "Using Texture Synthesis for Non-Photorealistic Shading from Paint Samples", PACIFIC GRAPHICS 2003
- [Yan08] Yan C.R., Chi M., Lee T. and Lin W., "Stylized Rendering Using Samples of a Painted Image", IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics 2008
- [Pra01] Praun E., Hoppe H., Webb M. and Finkelstein A., "Real-Time Hatching", SIGGRAPH 2001
- [Lee05] Lee C.H., Varshney A. and Jacobs D., "Mesh Saliency", SIGGRAPH 2005

- [Lee09] Lee C.H., KIM Y. and Varshney A., "Saliency-Guided Lighting", IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics 2009
- [Ver09] Vergne R., Pacanowski R., Barla P., Granier X. and Schlick C., "Light Warping for Enhanced Surface Depiction", SIGGRAPH 2009
- [Rus06] Rusinkiewicz S., Burns M. and DeCarlo D., "Exaggerated Shading for Depicting Shape and Detail", SIGGRAPH 2006
- [Tod07] Todo H., Anjyo K.I., Baxter W. and Igarashi T., "Locally Controllable Stylized Shading", SIGGRAPH 2007
- [Anj03] Anjyo K.I. and Hiramitsu K., "Stylized Highlights for Cartoon Rendering and Animation", IEEE Computer Graphics and Applications 2003
- [Anj06] Anjyo K.I., Wemler S. and Baxter W., "Tweakable Light and Shade for Cartoon Animation", NPAR 2006
- [Pac08] Pacanowski R., Granier X., Schlick C. and Poulin P., "Sketch and Paint-based Interface for Highlight Modeling", EUROGRAPHICS 2008
- [Pel07] Pellacini F., Battaglia F. and Morley K., "Lighting with Paint", ACM Transactions on Graphics 2007
- [Nak06] Nakajima H., Sugisaki E. and Morishima S., "Tweakable Shadows for Cartoon Animation", NPAR 2006
- [Fel04] Felzenszwalb P.F. and Huttenlocher D.P., "Efficient Graph-Based Image Segmentation", International Journal of Computer Vision 2004
- [Tau95] Taubin G., "Estimating the tensor of curvature of a surface from a polyhedral approximation", IEEE Computer Society 1995

- [Rus04] Rusinkiewicz S., "Estimating Curvatures and Their Derivatives on Triangle Meshes", International Symposium on 3D Data Processing, Visualization, and Transmission 2004
- [Im06] Im S., Choe Y., Hong I. and Park B., "Fast Key Frame Extraction in Compressed Domain using Edge Histogram and Adaptive Threshold based on MPEG-2 TS", IPIU 2006
- [Tri09] Trimesh2, <http://www.cs.princeton.edu/gfx/proj/trimesh2/>, 2009

ABSTRACT

Cartoon Rendering of 3D Character Model for Shading based on the Concept Drawing

Jung, Hye Moon

Department of Computer Science

Graduate School of Education

Sungshin Women's University

In the general 3D animation production, the texturing process is that an animator makes textures and applies to a 3D character model. At this process, the animator roughly guesses a color distribution and a ratio of color of the concept drawing and makes a lot of texture based on the concept drawing of character design at a rough guess. This process is very time-consuming and not easy for an expert as well as a novice. And it's an inconvenience to have to work repeatedly by trial and error.

In this paper, we introduce a technique for cartoon rendering

that is possible to express a 3D character model based on the concept drawing of character design. First of all, we allow the user to make a texture based on the concept drawing by sketch interaction. For this, we divide the concept drawing by image segmentation algorithm in advance, in order to allow the user to select a particular area. Then, the our system makes automatically the texture by the RGB color sorting algorithm based on a frequency of color using the dynamic threshold methodology.

We also study about the cartoon rendering algorithm with the textures based on concept drawing made by our interface. To analysis the shading expressions of the actual concept drawing, we collected a lot of concept drawing of character design. The result of analysis showed that artist used shading for the emphasis on a shape of characters. So, we propose the cartoon rendering algorithm using the mesh saliency for the emphasis on a 3D object.

After the application of the textures on the 3D character model, we allow the user to locally control a shading of the 3D character model. The user interface for locally controllable cartoon shading stands on the basis of a sketch interaction, so is very easy for the user to manipulate shading of a 3D object.

By our proposed sketch interface, animator can easily gain 3D character models that look like the concept drawing of character

design. So, we expect that this interface is possible to use for many field of digital contents industry such as 3D animations and games.