

원화의 음영 캡처 기반 카툰 캐릭터 렌더링

변혜원[†], 정혜문^{**}

요 약

3차원 캐릭터 모델의 만화적 표현을 위하여 일반적으로 사용되고 있는 기존의 카툰렌더링 방법들은 아티스트가 직접 그린 원화의 표현을 그대로 살리는데 한계가 있다. 본 논문에서는 원화로부터 만화적인 음영모델을 캡처하는 기술을 제안하고 이를 이용하여 3차원 캐릭터 모델을 효과적으로 카툰 렌더링하는 새로운 시스템을 제공한다. 이 시스템의 특징은 음영을 캡처한 후에 캐릭터 모델의 만화적 특성을 부각시키기 위하여 음영을 이용하여 형태를 강조하는 알고리즘을 포함하며 아티스트가 포스트 프로덕션으로 음영을 편집할 수 있는 스케치 기반 인터페이스를 지원하는 것이다. 이를 위하여 선택된 영역의 색상 분포와 비율을 분석하는 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 카툰 텍스처를 자동으로 생성하는 방법론을 제시한다. 또한 캐릭터의 형태적 특성을 강조하기 위하여 세일리언시 기반 카툰 렌더링 알고리즘을 제안하며, 음영을 지역적으로 편집하는 스케치 인터페이스를 제공한다. 마지막으로 사용자 평가를 통하여 제안하는 시스템의 유용성을 입증한다.

Cartoon Character Rendering based on Shading Capture of Concept Drawing

Hae Won Byun[†], Hye Moon Jung^{**}

ABSTRACT

Traditional rendering of cartoon character cannot revive the feeling of concept drawings properly. In this paper, we propose capture technology to get toon shading model from the concept drawings and with this technique, we provide a new novel system to render 3D cartoon character. Benefits of this system is to cartoonize the 3D character according to saliency to emphasize the form of 3D character and further support the sketch-based user interface for artists to edit shading by post-production. For this, we generate texture automatically by RGB color sorting algorithm to analyze color distribution and rates of selected region. In the cartoon rendering process, we use saliency as a measure to determine visual importance of each area of 3d mesh and we provide a novel cartoon rendering algorithm based on the saliency of 3D mesh. For the fine adjustments of shading style, we propose a user interface that allow the artists to freely add and delete shading to a 3D model. Finally, this paper shows the usefulness of the proposed system through user evaluation.

Key words: Computer Graphics(컴퓨터 그래픽스), Image Processing(이미지 프로세싱), Non-Photorealistic Rendering(비사실적 렌더링), Cartoon Rendering(카툰 렌더링), Texture Mapping(텍스처 맵핑), Shading Model Capture(셰이딩 모델 캡처), Saliency(세일리언시), User Interface(사용자 인터페이스), User Evaluation(사용자 평가)

※ 교신저자(Corresponding Author): 변혜원, 주소: 서울특별시 성북구 동선동 2가 169-1 미디어정보관 304호(136-052), 전화: 02)920-7615, FAX: 02)920-2250, E-mail: hyewon@sungshin.ac.kr
접수일: 2011년 3월 10일, 수정일: 2011년 4월 25일
완료일: 2011년 6월 15일

[†] 정회원, 성신여자대학교 IT학부

^{**} 준회원, 성신여자대학교 IT학부

(E-mail: hyemoon@sungshin.ac.kr)

※ 이 논문은 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0067263).

1. 서론

3차원 캐릭터의 만화적 표현은 비사실적인 렌더링의 한 분야로서 오래전부터 연구되기 시작하여 최근에는 영화나 CF 등에서 활용범위를 다양하게 넓혀가고 있다. 일반적으로 작업현장에서 만화 캐릭터를 제작할 때 주로 사전 제작(pre-production)에서 주요 컨셉 등이 기획되며 이를 바탕으로 캐릭터 디자이너가 캐릭터의 색상이나 컨셉을 보여주는 원화(concept drawing)를 제작한다. 그 후 실제 제작(production) 과정에서 애니메이터는 원화를 참고하여 3D 캐릭터를 모델링하고 텍스처 맵핑하는 작업을 수행하며 마지막으로 카툰 렌더링을 통해 만화 스타일의 결과 이미지를 얻는다. 그림 1은 만화 캐릭터를 제작하는 전체 프로세스를 보여주고 있다.

만화 캐릭터를 제작하는 실제 작업 과정에서 디자이너는 원화의 음영 스타일 그대로 3D 캐릭터의 음영을 표현하는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 원화로부터 캐릭터의 머리, 팔, 다리 등의 영역별로 음영의 색상 변화 및 비율을 정확하게 분석하고 모방해야 한다. 이러한 과정은 같은 색상으로 구성된 음영 모델이라도 색상의 비율이 다를 경우 완전히 다른 스타일로 캐릭터가 표현되기 때문에 매우 중요하다. 따라서 디자이너들은 음영 텍스처 제작 과정에서 실제 원화의 음영 스타일을 모방하기 위하여 3D 캐릭터 모델에 음영을 입히는 과정을 여러 번 반복하며 많은 시간을 할애하고 시행착오를 겪게 된다.

또한, 실제 만화가들이 그린 다양한 원화를 수집하여 음영 스타일을 분석해 보면 만화가들은 캐릭터의 얼굴 윤곽선, 표정을 지을 때 나타나는 주름살이나 옷의 굴곡 등의 형태적인 특성을 강조하는 경향이 있다. 그러나 기존의 카툰 렌더링은 셀 셰이딩 등의 방법으로 음영 단계를 단순화시켜서 색상을 표현하기 때문에 원화보다 부자연스럽고 인위적인 결과를

보여주게 된다. 이는 기존의 방법이 3D 캐릭터의 형태적인 특성을 고려하지 않고 물체를 표현하기 때문에 캐릭터의 특징을 효과적으로 표현하지 못하기 때문이다.

본 논문에서는 만화가들이 그린 원화의 특성과 디자이너들의 작업 프로세스에 착안하여 원화로부터 카툰 음영 스타일을 자동으로 캡처하는 기술을 제안하고 이를 이용하여 3차원 캐릭터 모델을 효과적으로 카툰 렌더링하는 새로운 시스템을 제안한다. 이 시스템의 특징은 다음과 같다.

- 첫째, 원화로부터 카툰 음영 스타일을 자동으로 캡처한다.
- 둘째, 3차원 캐릭터의 형태를 강조하는 카툰 렌더링 알고리즘을 제시한다.
- 셋째, 알고리즘으로 표현할 수 없는 아티스트만의 감각을 음영 효과로 추가할 수 있도록 음영을 지역적으로 편집할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공한다.

이와 같은 요건들을 충족시키기 위하여 본 논문에서는 원화로부터 음영 모델을 쉽고 간단하게 캡처하는 기술을 제안한다. 간단한 스케치 동작을 통하여 음영 모델을 캡처할 수 있도록 원화를 미리 영역별로 분할하고 사용자가 스케치한 특정 영역의 색상 분포와 비율을 자동으로 분석하여 카툰 렌더링에 필요한 텍스처를 생성한다. 선택된 영역의 색상을 명암 순서로 정렬시키고 음영 모델을 정의하기 위해 RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안한다. 그리고, 원화에 표현된 대로 3D 캐릭터의 형태를 강조하기 위하여 물체의 기하학적인 중요도를 나타내는 세일리언시를 계산하고 이를 이용하는 카툰 렌더링 알고리즘을 제안한다. 세 번째 요소로서 전역적인 음영 편집으로 표현하기 어려운 3D 캐릭터의 음영 표현을 위하여 음

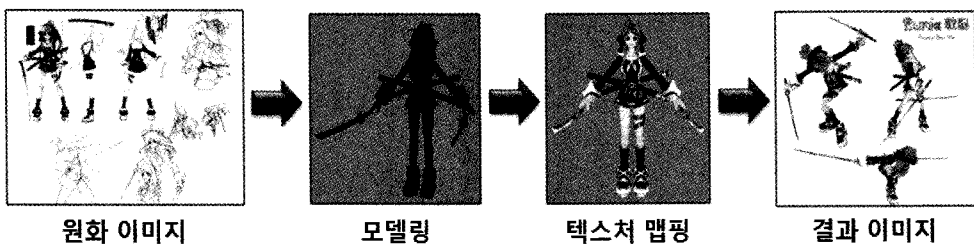


그림 1. 3차원 캐릭터의 제작 과정

영을 지역적으로 수정하는 스케치 기반 음영 편집 인터페이스를 제시한다. 이를 통해 사용자는 캐릭터의 만화적인 음영 표현을 자유자재로 제어할 수 있으며 셀 애니메이션 제작과정처럼 간단한 스케치 인터랙션을 통하여 3D 물체의 음영을 직접 편집할 수 있다.

2. 관련연구

본 논문의 관련 연구는 카툰 렌더링의 스타일화, 이미지 기반 음영 모델 캡처, 3D 기하정보 기반 렌더링, 지역적인 음영편집의 네 부분으로 구분된다.

2.1 카툰 렌더링의 스타일화

최초로 카툰 렌더링 방법론을 제안한 Lake[1] 등은 3D 물체를 카툰 스타일로 표현하는 방법론을 제안하였으며 이를 위해 1차원 텍스처를 이용하였다. 그 이후 Lake의 방법론을 응용한 카툰 렌더링의 스타일화 연구가 꾸준히 진행되어 왔다[2-4].

Barla[5] 등은 기존의 카툰 렌더링 방법론으로는 표현이 어려웠던 LOD(Level of Detail), 실루엣, 하이라이트와 같은 뷰(view)에 의한 효과를 나타내기 위하여 Lake의 1차원 텍스처를 2차원으로 확장하였다. 2차원 텍스처에 새로 추가된 수직축에는 깊이 정보, 실루엣 거리 정보, 반사 벡터 등을 적용하였다. 이러한 방법론을 통하여 LOD 효과, 실루엣 효과, 하이라이트 기반으로 플라스틱 및 금속 재질 등을 표현하고 있다.

또한, 실제 존재하는 만화의 독특한 음영표현 스타일로 3D 캐릭터 모델을 표현하는 카툰 렌더링 연구도 있다. Spindler 등[6]은 애니메이션 “썬 시티(Sin City)”와 “스핀(Spawn)”의 음영 스타일을 분석하고, 분석 결과를 바탕으로 3D 물체를 표현하였다. “썬 시티”의 음영 표현처럼 그림자 내부를 스타일화하기 위해 스텐실 버퍼(stencil buffer)를 이용하였으며 팽창 필터(dilation filter)를 통해 외곽선의 두께를 팽창시켜 이중 외곽선(double contour lines) 효과를 표현하였다. 또한 음영의 경계를 부드럽게 렌더링하는 소프트 셀 셰이딩(Soft Cel Shading)과 음영의 경계를 나누는 슈도 에지(Pseudo Edges) 등으로 3D 물체를 “스핀”의 스타일화 하였다.

2.2 이미지 기반 음영 모델의 캡처

미켈란젤로와 같은 아티스트가 그린 미술작품의

스타일로 3D 물체를 표현하기 위하여 미술작품에서 직접 음영 모델을 캡처하는 다양한 방법론이 연구되어 왔다. Sloan[7] 등은 실제 미술가들이 물체를 드로잉하기 전에 구형 물체에 미리 음영을 표현해 본 후 이를 참조하는 패러다임에서 아이디어를 얻어서 미술작품으로부터 구형의 음영 모델(Lit Sphere)을 캡처하는 방법을 제안하였다.

또한 Kulla[8] 등은 유화 느낌을 주는 아티스트의 페인트 샘플과 같은 스타일로 3D 물체를 표현하기 위해서 페인트 샘플로부터 색상과 질감을 분리하여 캡처하는 알고리즘을 제안하였다. Yan[9] 등은 미술작품에서 나타나는 고유한 붓 터치 느낌을 캡처하기 위하여 PAM(Painterly Art Map)을 이용한 렌더링 방법을 제안하였다.

2.3 3D 기하정보 기반 렌더링

3D 물체의 기하학적인 중요도를 정의하기 위해서 시각적 주의(visual attention)가 발생하는 영역을 판단하고 이를 다양한 분야에 활용하는 연구가 진행되어 왔다. Rusinkiewicz[10] 등은 3차원 물체의 음영 대비를 과장하기 위하여 가상의 지역조명을 배치하는 방법을 제안하였다. Lee[11,12] 등은 3D 물체의 기하학적 중요도를 계산하기 위하여 특정 영역에서의 평균 곡률(mean curvature)의 변화량을 통해 세일리언시(saliency)를 계산하였다. 이를 이용하여 기하학적으로 중요도가 높은 영역의 형태적 특징을 유지하는 메쉬의 단순화 알고리즘과 물체의 형태를 효과적으로 나타내는 뷰의 위치를 선택하는 알고리즘 등을 제시하였다.

2.4 지역적인 음영 편집 인터페이스

3D 물체의 쉽고 간단한 음영 편집 방법론에 관한 연구 분야에서는 Todo[13] 등이 사용자가 3D 물체 위에서 직접 음영을 편집할 수 있는 스케치 인터페이스를 제안함으로써 조명환경의 조작없이 3D 물체의 음영을 자유롭게 편집할 수 있도록 하였다. 스케치 인터페이스를 통하여 과도하게 표현된 캐릭터 이마의 하이라이트를 제거하고 어둡게 표현된 턱 영역을 밝게 수정함으로써 캐릭터 얼굴의 형태적 특성을 효과적으로 표현하였다.

Anjyo 등은 다양한 스타일의 하이라이트를 카툰 렌더링 기술을 이용해 표현해내기 위하여 간단한 마

우스 조작으로 하이라이트를 이동, 회전, 확대 및 축소시키는 알고리즘을 제시하였다[14-16].

3. 원화 캡처를 이용한 카툰 렌더링 시스템

본 연구의 궁극적인 목표는 원화의 음영 스타일을 그대로 모방하여 3D 물체의 음영을 표현하는 것이다. 먼저 사용자가 원화에서 음영 모델을 캡처할 영역을 선택하면 해당 영역의 색상 분포와 비율을 분석하여 텍스처를 자동 생성하고 이를 이용하여 3D 캐릭터를 카툰 렌더링한다. 이때, 캐릭터 형태의 중요도를 표시하는 세일리언시를 기반으로 카툰 렌더링하며, 이후 스케치 인터페이스를 통해 캐릭터의 음영을 지역적으로 편집한다. 그림 2는 본 연구에서 제안하는 시스템의 전체 프로세스를 보여준다.

음영 모델 캡처: 먼저 사용자가 간단한 스케치 동작을 통해 음영 모델을 캡처할 영역을 선택하면 시스템은 RGB 색상 정렬 알고리즘을 이용하여 선택된 영역의 색상을 분석한 후 자동으로 텍스처를 생성한다. 색상을 명암과 빈도수의 2가지 요소를 기준으로 정렬하여 원화에서 색상의 분포뿐만 아니라 색상의 비율까지 캡처할 수 있도록 한다.

형태를 강조하는 카툰 렌더링: 3D 메쉬의 어느 부분을 형태적으로 강조해야 하는지를 나타내는 지표로서 세일리언시를 사용한다. 먼저 세일리언시를 곡률의 변화량으로 계산하고 이에 따라 음영 표현을 지역적으로 달리하여 물체를 카툰 렌더링한다.

지역적인 음영 편집: 아티스트의 세밀한 개입을

지원하기 위해서 각 영역별로 지역적으로 음영을 편집할 수 있도록 한다. 스케치 인터페이스를 기반으로 구현하며 사용자가 스케치한 영역과 그 주변에 음영을 추가 또는 삭제하기 위해서 가중치 함수를 계산하는 방식으로 수행한다.

3.1 음영모델 캡처

캐릭터의 신체, 다리, 팔 등의 영역별로 음영 스타일을 캡처할 수 있도록 먼저 원화를 각 영역별로 분할한다. 본 논문에서는 Felzenszwalb[17]의 영상 분할 알고리즘을 사용하여 캐릭터의 각 영역을 분할한다. 이후에 RGB 색상 정렬 알고리즘을 통해 사용자가 선택한 영역의 색상 분포 및 비율을 분석하고 카툰 렌더링에 사용할 기본 텍스처를 자동으로 생성한다. 그림 3은 이와 같은 음영 모델 캡처 과정을 보여주고 있다.

제안하는 알고리즘은 수행 가능한 입력 이미지가 제한적이고 RGB 공간상에서 멀리 떨어진 색상을 무시하는 Kulla[8]의 알고리즘을 보완한 것으로서 색상을 명암과 빈도수의 2가지 요소를 기준으로 정렬함으로써 영역의 색상 분포 뿐만 아니라 색상의 비율까지 캡처할 수 있다. 이때 빈도수가 높은 색상을 선별하는 임계치가 각 영역마다 항상 동일하다면 각 영역의 고유한 특성을 반영하지 못해서 정확도가 떨어지므로 동적으로 임계치를 계산한다.

선택된 영역에서 색상의 빈도수를 고려하여 높은 비율을 차지하는 색상을 중심으로 분석함으로써 영역의 음영스타일을 정확하게 캡처한다. 먼저 빈도수를 기준으로 색상들을 정렬한 이후에 이 색상들의 사이사이를 색상 기준으로 정렬시켜 최종 결과를 얻는다. 빈도수 기준으로 정렬한 후에 각 색상들 사이를 색상 기준으로 정렬하기 위하여 색상들의 양 끝점

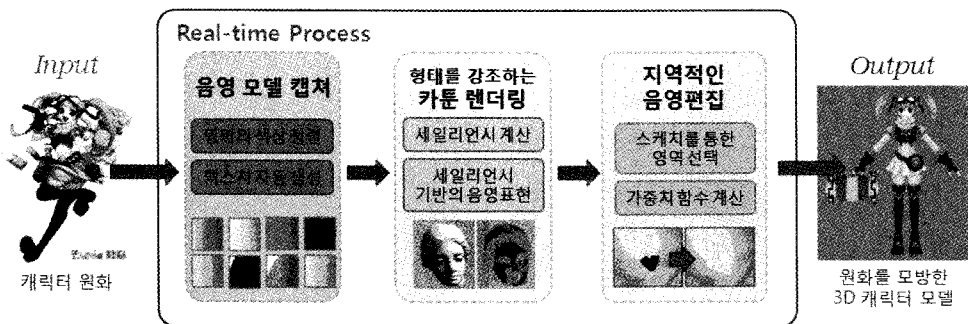


그림 2. 시스템 프로세스



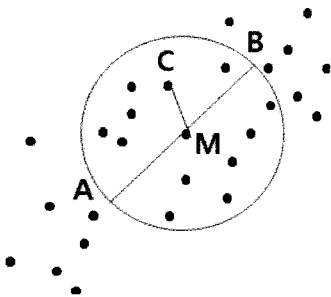
그림 3. 동영상 모델 캡처 프로세스

A, B의 색상에서 가운데 색상을 갖는 점인 M을 찾는다. 계속해서 M과 가장 가까운 점 C를 찾는데 이때 C는 AB를 지름으로 하는 구에 포함되어야 한다. 만약 점 C를 찾았다면 A-C와 C-B 구간에서 재귀적으로 알고리즘을 수행하고, 점 C를 찾지 못했다면 이는 A, B가 정렬된 결과에서 이웃함을 의미하므로 A-B를 이웃 색상으로 판단한다.

1. 주어진 색상들을 빈도수 기준으로 정렬한 후 빈도수가 임계치 이상의 값을 갖는 색상들을 선별한다.

2. 1차 정렬된 결과에서 색상들 사이사이를 색상 기준으로 정렬하기 위해서 색상 분포의 양 끝 점 A, B에서 알고리즘을 시작한다.

3. 주어진 A와 B의 색상에서 가운데 색상을 가지는 점 M을 찾는다.



4. M과 가장 가까운 점 C를 찾는다. 이때 C는 AB를 지름으로 하는 구에 포함되어야 한다.

5. 만약 점 C를 찾았다면 A-C와 C-B 구간에서 재귀적으로 알고리즘을 수행하고, 점 C를 찾지 못했다면 A-B를 이웃한 색상으로 판단한다.

그림 4는 입력 영역(a)의 색상 분포(b) 및 빈도수(c)를 보여준다. (c)에서 붉은색에 가까울수록 빈도수가 높은 색상을 나타내며 이를 기준으로 색상을 정렬시킨다. 그림 5은 색상 분포만 사용한 결과(a)와 빈도수까지 함께 사용한 결과(b)를 보여준다. 빈도수를 적용한 후의 결과가 입력 영역(그림 4-a)과 비교적 유사한 것을 알 수 있다.

빈도수가 높은 색상을 선별하기 위해서는 임계치를 적절하게 결정하는 것이 매우 중요하므로 각 영역의 통계적 특성에 따라 동적으로 임계치를 설정하는 동적 임계치 기법[18]을 사용한다. 총 40장의 원화를 사용하여 색상 빈도수의 분산 분포와 최적 임계치 간의 관계를 일차 선형 방정식으로 구하고 이를 통해 임계치를 동적으로 결정한다. 수식 (1)은 동적 임계치($T_{dynamic}$)를 색상 빈도수의 분산분포(σ^2)에 따라 결정하는 수식을 보여준다.

$$T_{dynamic} = 0.0001(\sigma^2) + 20.852 \quad (1)$$

3.2. 형태를 강조하는 카툰 렌더링

본 연구에서 제안하는 형태를 강조하는 카툰 렌더링 방법론은 Barla[5]의 방법론을 확장한 것이다. Barla는 기존 방법으로 표현하기 힘든 효과를 얻기 위해서 1차원 텍스처를 2차원 텍스처로 확장하여 새로운 스타일로 3D 물체를 카툰 렌더링하는 방법론을 제안하였다. Barla의 방법에 물체의 형태적 특성을 효과적으로 표현하는 세일리언시를 결합한다.

세일리언시는 인간의 시지각적 주의 집중에 관한 계산 모형으로서 3D 물체의 지역적인 중요도를 의미한다. 매쉬의 평균 곡률(mean curvature)의 변화량을 이용하여 영역의 중요도를 계산하며 이는 Lee[11]의 매쉬 세일리언시 계산 방법에 기반을 두고 있다. 세일리언시를 계산하기 위해서는 각 정점에서의 평균 곡률을 계산해야 하며 본 논문에서는 어떠한 정점 분포에서도 비교적 정확한 계산이 가능한 Rusinkiewicz[10]의 곡률 계산 방법을 사용한다. 식 (2)는 가우시안 평균 곡률을 구하는 식이다. $G(m(v), \sigma)$ 는 정점 v 에서의 가우시안 평균 곡률이며 $N(v, \sigma)$ 은 정점 v 의 이웃노드의 집합이다($N(v, \sigma) = \{x \mid \|x - v\| < \sigma\}$, x is a mesh point). σ 는 중심점으로부터 평균을 뺀 면적의 넓이를 정하며 $m(v)$ 는 평균 곡률을 의미한다. 또한 가우시안 필터의 표준편차로도 사용되며 객체를 둘러싼 경계상자(bounding box)의 사선 길이의

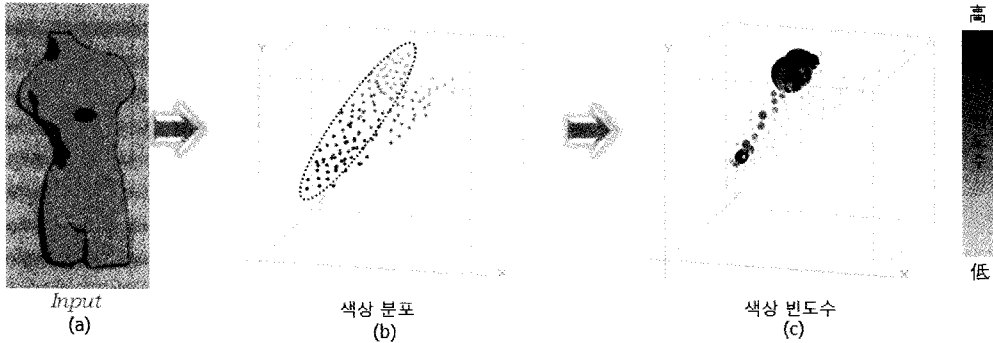


그림 4. 영역의 색상 분포 및 빈도수

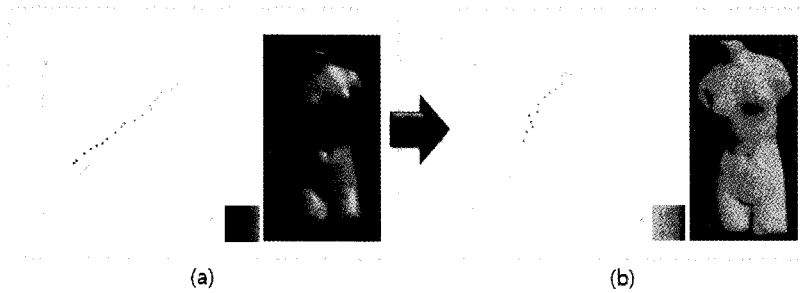


그림 5. 빈도수 적용 전과 후의 결과 비교

0.3%로 정의하여 사용한다.

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

각 정점에서 가우시안 평균을 계산한 후 해당 정점에서의 세일리언스 $S(v)$ 는 식 (3)과 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.

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

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

$$W_s \times (R \cdot L) \quad (4)$$

식 (4)는 하이라이트 수식($R \cdot L$)으로서 R 은 반사 벡터, L 은 광원 벡터를 의미하고, W_s 는 정규화된 세일리언시로서 가중치(W_s)로 활용된다.

식 (5)는 식 (4)와 마찬가지로 실루엣 수식($N \cdot V$)에 세일리언시를 가중치(W_s)로 활용한 것이다. 이 식에서 N 은 정점의 법선 벡터, V 는 뷰 벡터를 의미한다.

$$W_s \times (N \cdot V) \quad (5)$$

3.3 지역적인 음영 편집

본 연구에서 제안하는 지역적인 음영편집 방법론은 Todo[13]의 방법론을 확장한 것이다. Todo는 3D 물체 위에서 직접적으로 음영을 편집하는 방법을 최초로 제안하였다. 그러나 이 연구는 2단계의 음영 톤(tone)으로 표현된 음영 스타일로 연구의 범위가 제한되어 있다. 따라서 본 연구에서는 다단계 음영 톤의 카툰 렌더링에서도 활용할 수 있는 새로운 가중치 함수(weighting function)를 제안한다.

그림 6에서 볼 수 있듯이, 음영편집 전의 밝은 영역 B_0 는 3D 물체의 표면 S 위에 있는 점 p 의 집합이며 다음과 같은 식 (6)의 방법으로 2차원 텍스처의 좌표(T_u, T_v)를 계산한다.

$$B_0 := \{p \in S \mid T_u = N(p) \cdot L(p), T_v = D\} \quad (6)$$

이 식에서 $N(p)$ 는 정점의 법선 벡터를, $L(p)$ 는 광

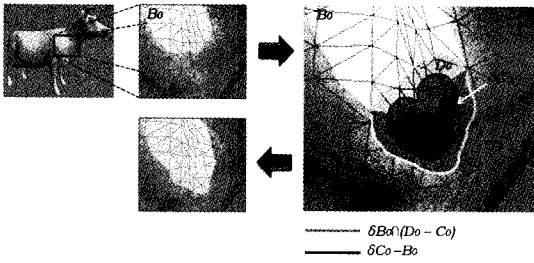


그림 6. 지역적인 음영 편집 프로세스

원 벡터를 의미하며, D 는 2차원 텍스처의 수직축에 적용된 수식을 의미한다. 사용자가 스케치 인터페이스를 이용하여 그림 6과 같이 B_0 의 영역에 C_0 영역을 더하여 새로운 밝은 영역 B_1 을 정의하면, B_1 의 텍스처 좌표는 식 (7)의 방법으로 계산한다. W_1 은 음영 가중치를 의미하며 식 (8)과 같이 계산된다. 사용자가 스케치한 영역인 C_0 영역 외의 영역은 음영의 변화가 일어나지 않도록 한다. 영역을 어둡게 수정하는 브러시(darkening brush)의 경우 $1 - B_{power}$ 이고 영역을 밝게 수정하는 브러시(lighting brush)의 경우 $1 + B_{power}$ 이다.

$$B_1 := \left\{ \begin{array}{l} p \in S \mid T_u = d \times W_1(p) \times (N(p) \cdot L(p)), \\ T_v = d \times W_1(p) \times D \end{array} \right\} \quad (7)$$

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

$$W_1 := \begin{cases} 0 & p \in (S - D_0) \cup (\delta B_0 \cap (D_0 - C_0)) \\ 1 + B_{power} & p \in \delta C_0 - B_0 \end{cases} \quad (8)$$

이때, 스케치한 영역 주변($\delta D_0 \sim \delta C_0$)의 음영을 자연스럽게 연결시키기 위하여 거리 가중치 d 를 이용

한다. 이는 δD_0 와 δC_0 사이의 거리를 기준으로 정점 p 의 위치의 비율을 계산하여 다음 식 (9)와 같이 구한다.

$$d = \frac{EuclideanDist(\delta C_0, p)}{EuclideanDist(\delta C_0, \delta D_0)} \quad (9)$$

본 논문에서 제안하는 가중치 함수는 사용자가 스케치를 k 번 반복해서 수행하였을 경우 가중치가 누적되어 계산되며 영역을 점점 밝아지거나 점점 어두워지게 편집하여 B_{k+1} 을 정의하고 식 (10)의 방법으로 텍스처 좌표를 계산한다. 또한 각 정점의 가중치는 스케치를 할 때마다 누적되어 계산되며 식 (11)의 방법으로 가중치 W_k 를 정의한다.

$$B_{k+1} := \left\{ \begin{array}{l} p \in S \mid T_u = d \times W_k(p) \times (N(p) \cdot L(p)), \\ T_v = d \times W_k(p) \times D \end{array} \right\} \quad (10)$$

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

$$W_k := \begin{cases} W_{k-1}(p) & p \in (S - D_k) \cup (\delta B_k \cap (D_k - C_k)) \\ W_{k-1}(p) \times (1 + B_{power}) & p \in \delta C_k - B_k \end{cases} \quad (11)$$

4. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 원화 기반 카툰 렌더링을 위한 인터페이스 시스템은 MFC기반의 OpenGL (Open Graphics Library)을 이용해 구현하였다.

4.1 음영 모델 캡처

그림 7은 다양한 캐릭터 원화로부터 음영 모델을 캡처하고 이를 이용하여 3D 캐릭터 모델에 음영을 표현한 결과이다. 특히, 첫 번째 실험은 '게임 카드

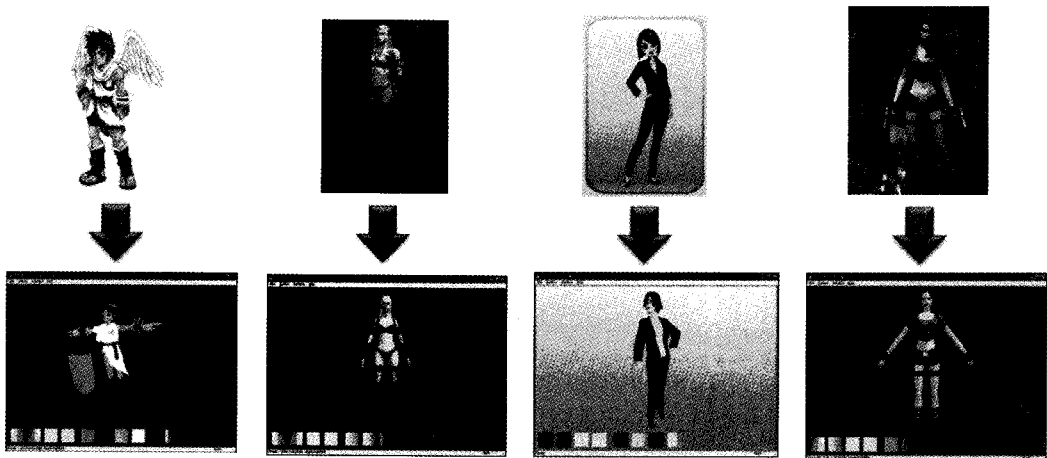


그림 7. 음영 모델 캡처 결과

이카루스'의 주인공 '피트'의 캐릭터 원화에서 음영 모델을 캡처하였다. 네 개의 실험 결과에서 각 원화의 음영 모델을 효과적으로 반영하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 각 원화마다 빈도수가 높은 색상을 선별하기 위하여 동적 임계치를 적용하였으며 표 1은 각 원화에서 사용한 분산과 동적 임계치를 보여준다.

표 1. 각 원화에 적용된 분산과 동적 임계치

원화	분산	동적 임계치
1	66750.4	530
2	51913.5	350
3	40941.6	410
4	31787.4	300

4.2 형태를 강조하는 카툰 렌더링

그림 8은 3D 물체의 형태를 강조하는 카툰 렌더링 알고리즘을 이용하여 다양한 3D 물체의 형태적인 특징을 강조한 결과이다. 그림의 (a)와 (c)는 기존의 카툰 렌더링 방법으로 생성한 결과이며 그림의 (b)와 (d)는 본 논문에서 제안하는 형태를 강조하는 카툰 렌더링 방법으로 3D 물체를 표현한 결과이다. 발레리나 결과 (b)에서는 (a)에 비해 얼굴 부분의 눈, 코, 입, 착용하고 있는 상의 부분의 목선 라인 등에서 형태가 강조되었으며, 사슴의 결과 (d)에서는 (c)에 비

해 기구의 바다 부분에서 형태가 강조되었음을 확인할 수 있다.

그림 9에서 (a)는 자동차 메쉬의 세일리언스 값을 가시화한 것이다. 그림에서 세일리언스를 고려하지 않고 하이라이트를 렌더링한 결과(b)와 세일리언스를 고려한 결과(c)를 비교하고 있는데, (c)의 결과가 비교적 자동차의 형태적 특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림에서 (d)는 사용된 텍스처를 보여주고 있다. 그림 10의 (c)는 형태를 고려하여 실루엣을 렌더링한 결과이며 (b)의 결과와 비교하여 사슴 캐릭터의 이목구비, 꼬리 등의 형태적 특성이 효과적으로 표현되고 있음을 보여주고 있다.

4.3 지역적인 음영 편집

그림 11은 카툰 렌더링으로 표현된 비너스 얼굴 음영의 지역적인 편집 과정을 보여준다. (a)는 음영 편집 전의 모습이며, 사용자가 (b)와 같이 스케치 인터페이스를 통하여 과도하게 표현된 음영을 편집해서 삭제한 결과가 (c)이다.

그림 12는 3D 물체의 음영을 가중치 함수를 이용하여 지역적으로 편집한 결과이다. 그림의 좌측은 편집 이전이며 우측은 과도하게 생성된 하이라이트나 음영을 제거하는 등의 지역적인 편집 작업 이후의 결과를 보여주고 있다.

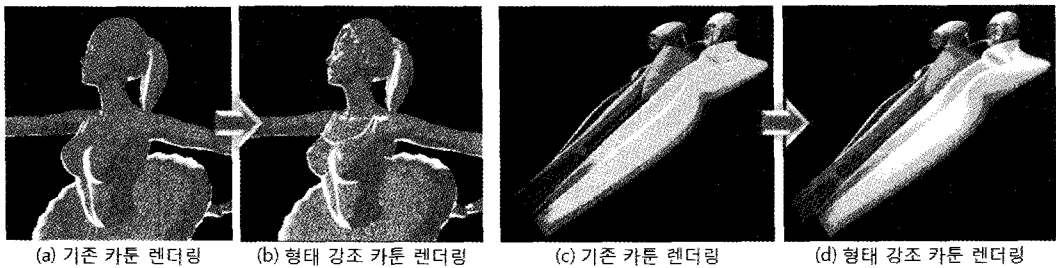


그림 8. 형태를 강조하는 카툰 렌더링 결과

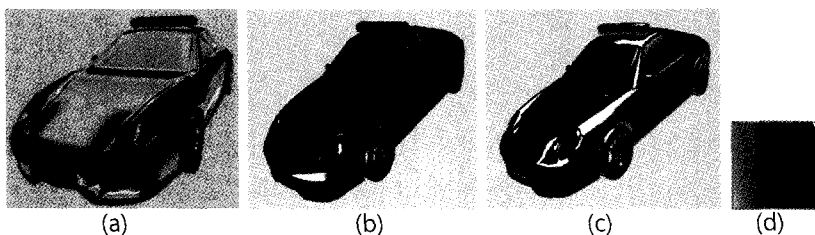


그림 9. 기존 하이라이트와 세일리언스 기반 하이라이트의 비교

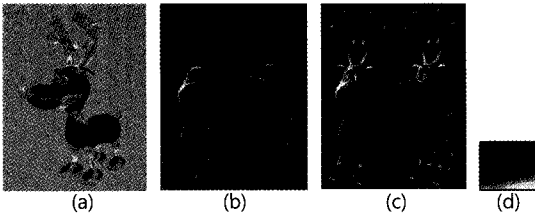


그림 10. 기존 실루엣과 세일리언스 기반 실루엣의 비교

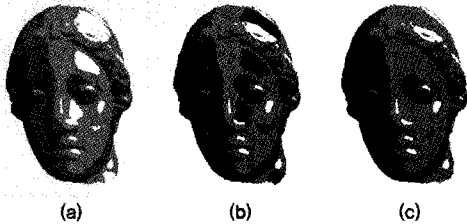


그림 11. 지역적인 음영 편집 과정



그림 12/. 지역적인 음영 편집 결과

4.4 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스는 원화의 영역 분할 후 영역 선택과 지역적인 음영 편집 기능을 제공한다. 영역 분할은 세그멘테이션 알고리즘을 이용하여 자동으로 수행되고 이후에 분할된 영역 중에 사용자는 스케치를 통해 그림 13과 같이 원하는 영역을 선택한다.

사용자에게 다양한 음영편집 모드를 제공하여 3D 물체의 음영을 더욱 편리하게 편집할 수 있도록 한다. 표 2는 음영 편집 시 사용할 수 있는 스케치, 스머지, 풀 앤 푸시의 3가지 모드를 보여준다. 또한 사용자에게 브러시의 세기(bush power)와 크기(bush size)를 조절할 수 있는 파라미터를 제공하여 상세하

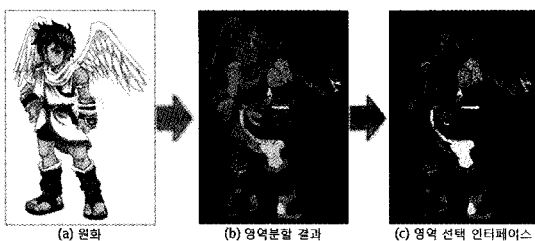


그림 13. 음영 선택 기능을 위한 스케치 인터페이스

표 2. 3가지 음영 편집 모드

음영편집 모드	인터페이스	동 작
스케치 (Sketch)		- 스케치한 영역만 음영 추가/삭제 - 가장 지역적이고 세밀한 편집
스머지 (Smudge)		- 특정 방향으로 음영을 잡아 끌 듯 편집
풀 앤 푸시 (Pull & Push)		- 비교적 전체적인 영역을 편집(빛의 위치를 변화시켜 편집)

게 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 이용하도록 한다. 그림 14은 브러시의 세기와 크기를 조절하는 사용자 인터페이스를 보여주고 그림 15은 브러시의 크기를 다르게 하여 음영을 편집하는 모습을 보여준다. 사용자는 이러한 사용자 파라미터들을 통하여 음영을 편리하게 편집할 수 있다.

사용자 인터페이스의 사용성을 평가하기 위하여

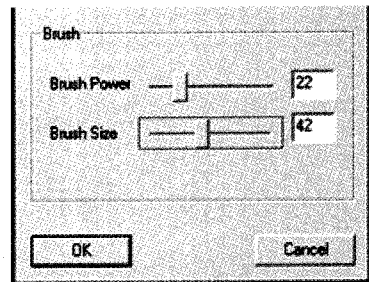


그림 14. 브러시의 세기와 크기 조절 인터페이스

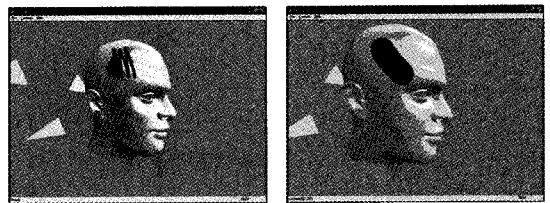


그림 15. 다른 크기의 브러시로 음영 편집하는 모습

디자인 전공자 21명을 대상으로 사용자 평가를 실시하였다. 평가의 목적은 기존의 텍스처 맵핑 및 카툰 렌더링 방법론과 비교하여 본 논문에서 제안하는 방법론이 얼마나 유용한지를 정량적으로 평가하는 것이다.

평가 방법은 실험자들에게 캐릭터의 원화를 보여주고 먼저 기존의 방법론처럼 캐릭터의 텍스처를 직접 제작하여 3D 캐릭터 모델을 카툰 방식으로 표현하도록 한다. 그 다음 제안하는 시스템을 이용하여 텍스처를 생성하고 3D 캐릭터 모델을 표현하도록 한다. 실험자들은 총 2개의 캐릭터를 텍스처 맵핑 및 렌더링하였으며 각 방법론의 수행 시간을 측정하고 설문조사를 수행하였다. 설문조사에서 실험자는 각 방법론의 작업 난이도와 작업 속도를 1점과 7점 사이로 평가하며 작업 수행과정에서의 작업부하를 평가하기 위해 NASA-TLX(NASA Task Load Index)를 이용하여 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 평가한다.

표 3은 영역 선택 인터페이스에 관한 사용자 평가 결과이고 표 4는 음영 편집 포스트 프로덕션 인터페이스에 관한 사용자 평가 결과로서 각각 평가 결과의 평균(M: mean) 및 표준 편차(SD: standard devia-

tion)를 보여주고 있다. 작업 수행시간을 비교한 결과 기존 방법론과 비교하여 제안하는 시스템을 이용한 방법론이 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있다. 두 방법론 간의 차이를 정량적으로 비교하기 위하여, 작업의 난이도, 빠르기, NASA-TLX 항목의 평가 결과를 대응 표본 T-검정을 통해 비교하였다. 검정결과를 통해 실험자들은 제안하는 방법론이 기존 방법론에 비해서 더 쉽고 빠르며 작업의 부하도 적다고 느낀다는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 원화로부터 음영 스타일을 캡처하여 3D 캐릭터 모델을 원화와 같은 카툰 스타일로 렌더링하는 새로운 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 음영 스타일 캡처, 형태를 강조하는 카툰 렌더링, 음영을 지역적으로 편집하는 사용자 인터페이스의 세 가지 문제를 다루고 있으며, 이를 통해 사용자가 보다 쉽고 빠르게 3D 캐릭터를 카툰 스타일로 렌더링하는 도구를 제공한다는데 본 논문이 기여하는 바가 있다.

첫째, 음영 스타일 캡처 부분에서는 영상 분할 알고리즘을 사용하여 미리 영역별로 분할해 놓은 원화에서 사용자가 간단한 스케치 동작으로 각 영역을 선택할 수 있도록 하였으며 해당 영역을 분석하고

표 3. <영역 선택> 인터페이스에 관한 사용자 평가 결과

영역 선택	기존 방법론 (수작업)		제안하는 방법론 (스케치 인터페이스)	
	M	SD	M	SD
1. 작업 수행 시간 (분)	5.21	1.17	1.23	0.81
2. 작업 난이도 (1-7, 1=easiest)	3.31	1.31	1.14	0.57
3. 작업의 빠르기 (1-7, 1=fastest)	4.27	1.42	1.01	0.76
4. NASA-TLX (1-100)	38.71	7.39	13.15	5.13

표 4. <음영 편집 포스트 프로덕션> 인터페이스에 관한 사용자 평가 결과

음영 편집 (포스트 프로덕션)	기존 방법론 (수작업)		제안하는 방법론 (스케치 인터페이스)	
	M	SD	M	SD
1. 작업 수행 시간 (분)	10.13	2.71	2.47	1.21
2. 작업 난이도 (1-7, 1=easiest)	5.78	1.02	2.10	0.53
3. 작업의 빠르기 (1-7, 1=fastest)	5.79	1.09	1.71	0.69
4. NASA-TLX (1-100)	68.58	12.53	27.41	17.99

카툰 렌더링에 필요한 텍스처를 자동으로 생성하기 위해 빈도수 기반 RGB 색상 정렬 알고리즘을 제안하였다. 이때 영역의 특성에 따라 빈도수에 관한 임계치를 서로 다르게 적용하는 동적 임계치 기법을 도입하여 영역별로 원화의 음영 스타일을 효과적으로 캡처할 수 있음을 보였다.

둘째, 원화와 같이 3D 캐릭터의 형태를 강조하기 위해서 메쉬의 세일리언시를 계산하여 이를 카툰 렌더링에 적용하는 방법론을 제시하였다. 2차원 텍스처로 카툰 렌더링을 표현하는 Barla의 방법론과 세일리언시를 결합하는 새로운 접근 방식을 시도하였으며 곡률의 변화량이 높은 부분에 하이라이트와 실루엣이 강조된 음영 표현 결과를 보였다.

셋째, 자동으로 완성된 카툰 렌더링 결과에 아티스트의 감각을 추가적으로 표현하기 위하여 3차원 물체 위에서 직접 음영을 편집할 수 있는 사용자 인터페이스를 제시하였다. 이는 2단계의 음영 톤을 편집하는 Todo의 방법론을 다단계 음영 톤으로 확장한 것으로서 다단계 음영 톤을 표현하는 카툰 렌더링에서도 3D 물체 위에서 직접 음영을 지역적으로 편집할 수 있도록 하였다. 사용자의 스케치를 물체에 적용하는 과정에 필요한 새로운 가중치 함수의 제시를 통해 사용자는 캐릭터의 음영 표현을 자유자재로 제어할 수 있으며 셀 애니메이션 제작과정처럼 간단한 스케치 인터랙션을 통하여 3D 물체의 음영을 직접 편집할 수 있다.

본 논문에서는 3D 캐릭터 제작 과정에서 나타날 수 있는 불편함을 해결하고 캐릭터 원화의 음영 표현과 유사하게 3D 물체를 표현할 수 있는 시스템을 제시하고 사용자 평가를 통해 시스템의 유용성을 증명하였다. 이를 통해 3D 캐릭터의 제작시간을 단축시킬 수 있을 것이며 다양한 디지털 콘텐츠 분야에서 활용이 가능할 것이라고 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Mark Harris and Marc 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.
- [2] Yuehu Liu, Yuanqi Su, Yu Shao, and Daitao Jia, "A Parameterized Representation for the Cartoon Sample Space," *Advances in Multi-media Modeling, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5916, pp. 767-772, 2010.
- [3] Mi You, Jinho Park, Byungkuk Choi, and Junyong Noh, "Cartoon Animation Style Rendering of Water," *Advances in Visual Computing, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5875, pp. 67-78, 2009.
- [4] Yuehu Liu, Yuanqi Su, Yu Shao, Zhengwang Wu, and Yang Yang, "A Face Cartoon Producer for Digital Content Service," *Mobile Multimedia Processing, Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5960, pp. 188-202, 2010.
- [5] Pascal Barla, Joelle 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.
- [6] Martin Spindler, Niklas Rober, Robert Dohring, and Maic Masuch, "Enhanced Cartoon and Comic Rendering," In Proceedings of Eurographics Short Papers, pp. 141-144, 2006.
- [7] Peter-Pike J. Sloan, William Martin, Amy Gooch, and Bruce Gooch, "The Lit Sphere: a Model for Capturing NPR Shading from Art," In Proceeding of GRaphics INTERface(GRIN '01), pp. 143-150, 2001.
- [8] Christopher D. Kulla, James D. Tucek, Reynold J. Bailey, and Cindy M. Grimm, "Using Texture Synthesis for Non-Photorealistic Shading from Paint Samples," In 11th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications(PG '03), pp. 477-487, 2003.
- [9] Chung Ren Yen, Ming-Te Chi, Tong-Yee Lee, and Wen-Chen Lin, "Stylized Rendering Using Samples of a Painted Image," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.14, No.2, pp. 468-480, 2008.
- [10] Szymon Rusinkiewicz, Michael Burns, and

Doug DeCarlo, "Exaggerated Shading for Depicting Shape and Detail," *ACM Transactions on Graphics(SIGGRAPH '06)*, Vol.25, No.3, pp. 1199-1205, 2006.

[11] Chang Ha Lee, Amitabh Varshney, and David W. Jacobs, "Mesh Saliency," *ACM Transactions on Graphics(SIGGRAPH '05)*, Vol.24, No.3, pp. 659-666, 2005.

[12] Chang Ha Lee, Young Min Kim, and Amitabh Varshney, "Saliency-Guided Lighting," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E92-D, No.2, pp. 369-373, 2009.

[13] Hideki Todo, Ken Anjyo, William Baxter, and Takeo Igarashi, "Locally Controllable Stylized Shading," *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2007)*, Vol.26, No.3, 2007.

[14] Ken-ichi Anjyo and Katsuaki Hiramitsu, "Stylized Highlights for Cartoon Rendering and Animation," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.23, No.4, pp. 54-61, 2003.

[15] Ken-ichi Anjyo, Shuhei Wemler, and William Baxter, "Tweakable Light and Shade for Cartoon Animation," In Proceedings of the 4th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering(NPAR '06), pp. 133-139, 2006.

[16] Hyo-Keun Lee, Seung-Taek Ryoo, and Kyung-Hyun Yoon, "A Study on the Dynamic Painterly Stroke Generation for 3D Animation," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.8, No.4, pp. 554-568, 2005.

[17] Pedro F. Felzenszwalb and Daniel P. Huttenlocher, "Efficient Graph-Based Image Segmentation," *International Journal of Computer Vision*, Vol.59, No.2, pp. 167-181, 2004.

[18] 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.



변혜원

1990년 연세대학교 전산과학과
이학사
1992년 KAIST 전산학과 공학
석사
2004년 KAIST 전산학과 공학
박사

2004년 KBS 방송기술연구소 선임연구원
2006년~현재 성신여자대학교 IT학부 교수.
관심분야: Computer Graphics, Virtual Reality, HCI,
Game, User Perception



정혜문

2008년 성신여자대학교 미디어
정보학부 이학사
2010년 성신여자대학교 전산학과
이학석사
관심분야: Computer Graphics,
Non Photorealistic
Rendering, Game, HCI