

수묵화 렌더링 기술동향

정규만* · 이승용**

요 약

비사실적 렌더링 기술의 발전과 더불어 동양의 전통적인 화법인 수묵화에 대한 관심도 증가했다. 최근에는 수묵화 스타일의 애니메이션이 CF를 비롯해 컴퓨터 게임에도 사용되면서 그 영역을 확대하고 있다. 하지만 서양의 화법과는 달리 수묵화 렌더링은 연구가 많이 진행되지 않았다. 따라서 앞으로 많은 연구가 이루어질 것으로 예상되고 있으며 그 응용범위 역시 매우 넓을 것으로 기대하고 있다. 이 글에서는 수묵화 렌더링 기술의 중요한 연구 결과를 설명하고 그 응용 사례를 살펴보기로 한다. 또한 지금까지의 연구 동향 분석을 바탕으로 앞으로의 발전 방향을 제시하려 한다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽스의 태동 이후 지난 수십 년 동안 컴퓨터 그래픽스의 가장 큰 목표는 사실적인 이미지의 생성이었다. 그러나 1980년대 후반에 들어서면서 이러한 흐름과 반대되는 새로운 패러다임이 제시되었다. 이는 실생활에서 사실적인 영상만이 사용되는 것이 아님에도 불구하고 컴퓨터 그래픽스 분야가 사실적인 이미지 생성을 위해서

만 연구가 진행되고 있는 것에 대한 반작용이라 할 수 있다. 이것이 비사실적 렌더링(Non-Photorealistic Rendering, NPR) 연구의 시초라 할 수 있다. 비사실적 렌더링은 그 이름에서도 알 수 있듯이 사실적이지 않은, 즉 사람이 그린 듯한 또는 예술적인 이미지 생성을 연구의 목표로 하고 있다.

초기 NPR 연구는 펜과 잉크, 헛칭, 유화, 수채화 등 미술 화법을 흉내내는 것에 목표를 두었다. 최근에는 모자이크, 카툰, 라인 드로잉, 하프토닝 등으로 그 범위를 넓혀가고 있다.

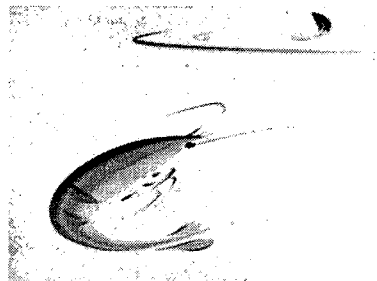


그림 1. [17]에서 제시된 알고리즘을 이용해 생성된 이미지



그림 2. 실제 화가의 수묵화 작품([9]에서 발췌)

* 포항공과대학교 컴퓨터공학과

** 포항공과대학교 컴퓨터공학과

많은 NPR 연구가 서양에서 이루어지고 있기 때문에 서양의 화법들은 많은 연구가 이루어졌다. 반면에 동양의 가장 대표적인 화법이라 할 수 있는 수묵화에 대한 연구는 많이 이루어지지 못했다. NPR의 초창기라고 할 수 있는 1986년에 Strassmann [17]에 의해 처음으로 수묵화 렌더링이 소개되었다. 하지만 그 이후 큰 진전을 이루지 못하다가 1990년대 후반에 들어 본격적으로 수묵화에 대한 연구가 진행되었다.

수묵화는 고대 중국에서 시작된 전통적인 화법으로 그 역사가 삼천년이 넘는다. 동양의 화법은 화가의 정신세계를 표현하는데 그 목표를 두고 있다. 그런 이유로 수묵화의 오랜 역사에도 불구하고 서양의 화법과 달리 정형화된 기법이나 확립된 이론이 많지 않다. 이런 점들이 수묵화 렌더링 연구를 어렵게 만들고 있다. 또한 먹과 물의 양의 비율의 차이에서 오는 오묘한 변화, 붓의 운용에서 오는 느낌의 변화, 여백의 미 등은 컴퓨터를 이용한 수묵화 렌더링을 더욱 복잡하게 만드는 요소들이다.

수묵화의 이런 특징들 때문에 지금까지의 연구들은 먹과 붓의 시뮬레이션을 이용한 자연스러운 스트로크의 표현에 초점을 맞추고 있다. 시뮬레이션을 이용한 연구 결과를 이용해 사실적인 먹의 번짐과 붓의 느낌을 표현할 수 있었다. 최근에는 수묵화의 특성을 분석하고 그 특성을 이용해 사실적인 수묵화 렌더링 기법에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 글에서는 지금까지의 수묵화 렌더링 연구들을 살펴보고, 연구 동향 분석을 통해 앞으로의 발전 방향을 제시하려 한다.

2. 수묵화 렌더링 연구 경향

수묵화 렌더링 연구의 역사는 올해로 이십년이 되었다고 할 수 있다. 수묵화 렌더링과 직접적인

관련이 있는 연구 결과를 조사해본 결과 약 35편의 논문이 조사되었다. 이중 같은 저자에 의해 발표된 중복된 연구 결과나 비슷한 논문들을 제외하면 약 30편 정도의 연구결과가 발표되었다고 할 수 있다. 이는 수묵화 스타일 렌더링과 직접적인 관련이 없는 연구들은 제외한 숫자이다. 이를 바탕으로 분석한 결과 지금까지의 수묵화 렌더링 연구는 다음과 같은 중요한 특징을 가지고 있다.

- 시뮬레이션 연구가 주를 이루고 있다.

수묵화를 그리기 위해서는 문방사우(종이, 먹, 붓, 베틀)가 필요하다. 사실적인 종이, 먹, 붓 등을 표현하기 위해 이들에 대한 시뮬레이션 연구들이 많이 진행되었다. 시뮬레이션 기법은 사실적인 결과를 얻을 수 있는 장점이 있는 반면, 실행시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 전체 연구결과와 절반에 해당하는 15편 정도가 이 범주에 속하는 것으로 조사되었다.

- 서예(calligraphy)와 관련된 연구들이 많다.

수묵화 렌더링은 비사실적 렌더링 중에서도 스트로크 기반 렌더링(stroke-based rendering)의 범주에 속한다. 수묵화는 붓에 의한 스트로크의 표현이 중요한 특징이므로 수묵화 렌더링을 위한 붓 모델이 매우 중요하다. 고대 동양에서는 수묵화와 서예가 함께 어우러지는 것이 일반적이었다. 수묵화 옆에 한 편의 시가 쓰여지곤 하는데 이는 모두 한 명의 화가 겸 서예가에 의해서 이루어진다. 또한 그림을 위한 붓과 서예를 위한 붓이 따로 존재하지 않으므로 서예와 수묵화는 밀접한 관계가 있다. 이러한 이유로 자연스러운 붓을 표현하기 위한 연구는 곧바로 서예에 적용될 수 있다. 반대로 서예를 위한 붓 연구 역시 수묵화 렌더링 연구에 적용될 수 있는 것이다. 약 10여 편의 논문이 수묵화 렌더링과 직접적인 연관이 있는 것으로

조사되었다.

- 2D 드로잉 시스템이 주를 이루고 있다.

NPR 시스템은 사용자의 참여 정도에 따라 드로잉 시스템과 렌더링 시스템으로 나누어진다. 드로잉 시스템은 주어진 기능을 이용해서 사용자가 직접 이차원 결과 이미지를 생성하는 시스템이다. 붓, 종이, 먹 등의 시뮬레이션 모델이 정교하고 사용자의 미술적 능력이 뛰어나다면 사실적인 결과를 얻을 수 있다. 하지만 일반적인 사용자는 사용하기 어려울 뿐만 아니라 좋은 결과를 얻기 힘들다는 단점이 있다. 또한 자동화가 불가능하므로 애니메이션 제작에 많은 어려움이 따르게 된다. 반면 렌더링 시스템은 삼차원 모델을 입력으로 받아들여 자동으로 결과 이미지를 생성하게 된다. 렌더링 시스템을 이용하면 일반 사용자도 간단한 매개 변수 세팅만으로 아주 사실적인 결과를 얻게 된다. 또한 애니메이션 생성이 쉽다. 하지만 이러한 시스템을 구축하기 위해서는 그 화법에 대한 전문적인 지식이 필요하고 시스템을 구현하는 것이 어렵다는 단점이 있다. 지금까지 나온 많은 수목화 시스템은 시뮬레이션 모델을 이용한 드로잉 시스템이 주를 이루고 있다. 약 20편 정도의 논문이 이 범주에 속하는 것으로 조사되었다.

- 수목화의 특징을 분석하는 연구가 부족하다.

바로 이전의 설명에서 렌더링 시스템은 그 화법에 대한 전문적인 지식이 필요하기 때문에 시스템을 구현하는 것이 어렵다고 했다. 자동화된 렌더링 시스템 구축을 위해서는 수목화에 대한 특징을 분석하고 이 특징을 반영하는 알고리즘을 구현해야 한다. 수목화 애니메이션 생성을 위해서는 꼭 필요한 연구이지만 아직까지는 이런 연구는 많지 않다.

이어지는 장에서는 지금까지 설명한 범주에 해당하는 각각의 연구들을 자세히 살펴보기로 한다.

3. 시뮬레이션 모델에 대한 연구

자연스러운 수목화 이미지 생성을 위해서 시뮬레이션 기법에 대한 연구가 많이 진행되었다. 수목화를 생성하기 위해 필수적인 붓[11,21,1,3,15,18,23,24,22,2,4], 먹[27,22,14,12,13,26,19,24,21], 종이[12,26,10]등에 대한 시뮬레이션 모델이 제안되었다.

수목화에 사용되는 붓은 동물의 털을 이용해서 만들어진다. 이때 사용되는 털의 종류와 탄성의 정도 등의 차이에 의해 붓의 특성이 달라진다. 또한 붓을 사용하는 사용자가 붓에 가하는 힘의 정도, 붓의 방향 등에 의해 최종 모양이 결정된다. 삼차원 붓 모델은 이러한 붓의 특성을 고려하여 설계된다는 공통점이 있다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 실제 붓의 모양을 이용해서 삼차원 붓 모델을 만들게 된다. 이러한 삼차원 붓 모델에 힘이 가해지면 그림 4에서 나타나듯이 모양이 변형되고, 그 모양에 따라 붓 스트로크의 모양과 크기가 결정된다. 이와 같은 삼차원 붓 모델을 이용해서 그림 5에 제시된 결과물을 얻을 수 있다.

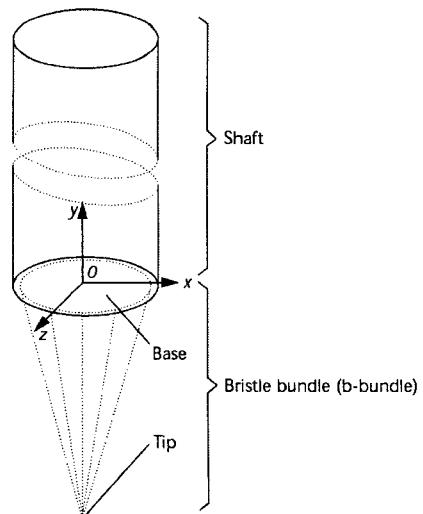


그림 3. [11]에서 제시된 삼차원 붓 모델

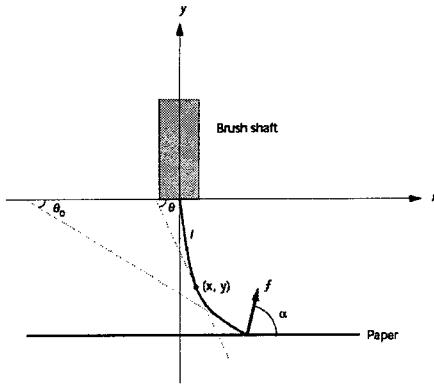


그림 4. [11]에서 제시된 삼차원 붓 모델의 변형 모습



그림 5. [11]에서 제시된 삼차원 붓 모델을 이용한 결과물

수묵화를 그리는 도구가 붓이라면 수묵화의 염료는 먹이라 할 수 있다. 수묵화 화가들은 먹물과 혼합하여 먹물을 만들어 그림을 그리게 된다. 결국 먹물은 염료인 먹과 매개체인 물의 혼합체이다. 수묵화에서 먹물의 가장 큰 특징 중 하나는 바로 번짐 효과와 침전 효과이다. 번짐 효과는 먹과 물의 비율에 의해 달라지는데, 물이 많으면 많을수록 많이 번지게 된다. 침전 효과는 먹의 입자에 의해 크게 좌우되는데, 먹이 고울수록 늦게 침전되고 많이 번지게 된다. 이러한 먹물의 효과를 제대로 표현하기 위해서는 그림 6에서 볼 수 있듯이 먹과 물을 각각 입자로 보고 시뮬레이션해야 한다. 그림 7은 이와 같은 모델을 이용해서 만들어진 결과물을 보여주고 있다. 물(W)과 먹(I)의 양에 따라 번짐 효과와 침전 효과가 다양하게 변하고 있음을 알 수 있다.

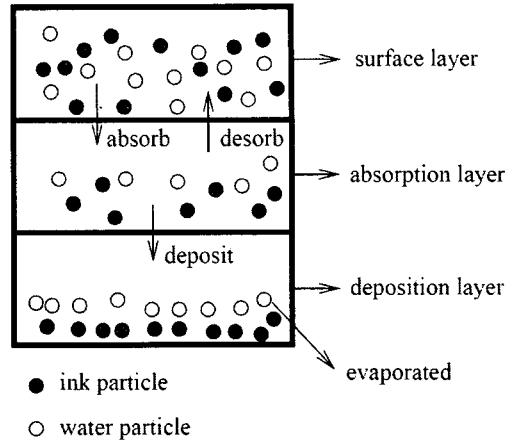


그림 6. [26]에서 제시된 먹의 침전 모델

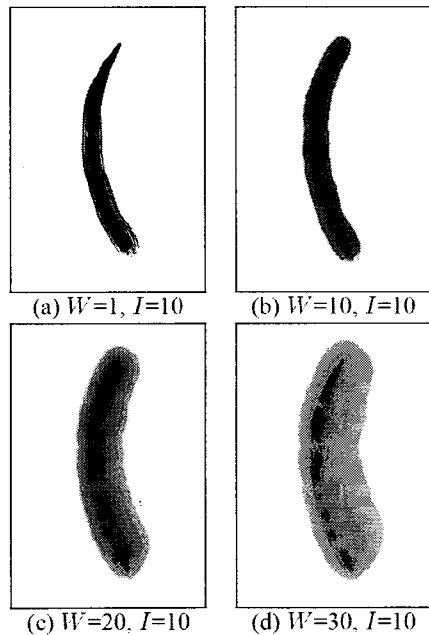


그림 7. 물과 먹의 양에 따른 효과의 차이[26]. W는 물의 양을 의미하고 I는 먹의 양을 의미한다.

종이 모델의 가장 대표적인 연구는 Curtis 등 [5]이 제시한 높이맵(height map) 기반의 알고리즘이다. 그들의 연구는 수묵화가 아닌 수채화를 위한 종이 모델이지만 수묵화에서 사용되는 화선지 역시 종이의 기본적인 성질을 갖기 때문에 이후의 화선지 모델 연구들에 큰 영향을 끼쳤다.

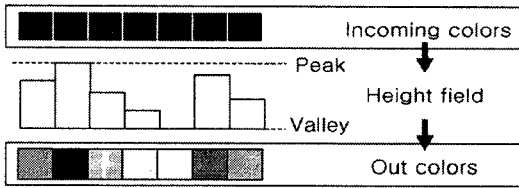


그림 8. (5)에서 제시된 종이 모델

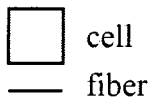
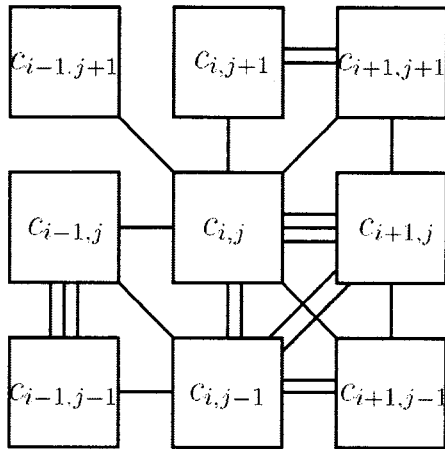


그림 9. (26)에서 제시된 화선지 모델

기본적인 개념은 그림 8에서 볼 수 있듯이, 종이의 각 셀은 높이맵으로 표현되고 높은 지역인 봉우리(peak)에서는 물감을 잘 흡수하고 낮은 지역인 골짜기(valley)에서는 잘 흡수하지 못한다는 점을 이용하는 것이다. 그러나 화선지는 서양에서 사용되는 다른 종지와 달리 표면이 매우 거칠다는 특징이 있다. 이러한 특징은 화선지의 섬유 성분이 독특하기 때문에 만들어진 것이다. 이런 특징을 반영하기 위해 Yu 등[26]은 그림 9와 같은 화선지 모델을 제시하였다. 그림 10은 Wang 등[19]에 의해 만들어진 화선지의 결과물을 보여주고 있는데, 실제 화선지의 패턴과 매우 흡사한 것을 알 수 있다.

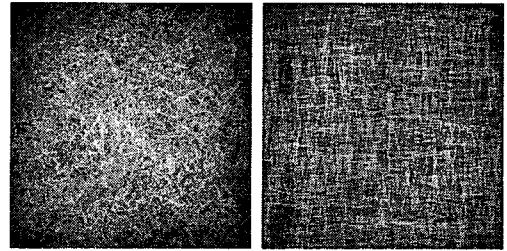


그림 10. (19)에서 제시된 화선지 모델의 결과물

4. 서예 연구와의 연관성

고대 동양에서는 서예가가 화가를 겸하는 경우가 많았다. 많은 수묵화 작품의 한쪽에 시가 쓰여 있는 것을 자주 볼 수 있는 것도 그런 이유에서 비롯되었다. 그리고 서양과는 달리 동양의 경우는 글씨를 쓸 때 사용하는 붓과 수묵화를 그릴 때 사용하는 붓의 구별이 없었다. 따라서 서예에 대한 연구 결과는 수묵화에 바로 적용될 수 있다. 서예에 대한 연구는 오래 전부터 진행되어 왔기 때문에 많은 연구 결과들이 존재한다. 그러나 본 글에서는 수묵화 연구와 관련이 깊은 연구 결과들 [15,23,21,24,19,4]을 위주로 소개하려 한다.

서예 역시 붓에 먹물을 묻혀 화선지 위에 글을 쓰기 때문에 사용하는 재료와 기구들이 수묵화와 같다. 따라서 서예 연구 역시 붓, 먹, 그리고 화선지를 효과적으로 표현하는 것에 초점을 맞추고 있다. 그림 11에서 볼 수 있듯이 삼차원 붓을 모델링 하고, 먹물의 번짐 효과와 화선지의 효과를

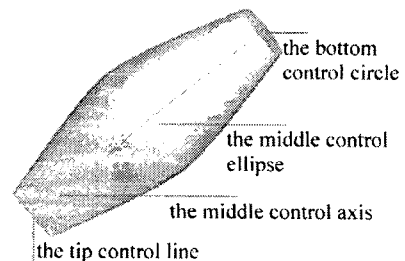


그림 11. (23)에서 제시된 서예를 위한 붓 모델



그림 12. 왼쪽 그림은 실제 붓으로 그린 결과물. 오른쪽은 [23]에서 제시된 알고리즘으로 생성된 결과 이미지.



그림 13. [23]에서 제시된 모델을 이용해 그린 수묵화 결과

시뮬레이션한다. 그림 12의 왼쪽은 실제 붓을 이용해 그린 결과물이고, 오른쪽은 가상 붓 모델을 이용해 그린 결과물이다. 그림에서 볼 수 있듯이 가상 붓 모델이 매우 정교하다는 것을 알 수 있다. 그들은 서예를 위한 붓을 수묵화에도 바로 적용할 수 있다는 것을 보여줬다(그림 13 참조).

5. 수묵화 드로잉 시스템

NPR에서 말하는 드로잉 시스템이란 주어진 시스템을 이용해서 직접 그림을 그리는 시스템 [11,21,1,3,15,18,23,24,22,2,4,27,14,12,13,26,19]을 말한다. 사용자가 직접 작업을 해야 하므로 일반적인 사용자는 좋은 결과물을 얻기 어렵다는 단점이 있다. 하지만 전문적인 지식과 기술을 가진 사용자가 사용한다면 매우 사실적인 결과를 얻을

수 있다는 장점이 있다.

드로잉 시스템은 사용자가 직접 정교한 입력을 해야 하므로 사용자 인터페이스가 매우 중요하다. 컴퓨터를 사용할 때 가장 일반적인 도구는 마우스와 키보드이지만 그림을 그리는 경우에는 타블릿이나 특수한 장치들이 주로 사용된다. 이런 장치들은 마우스나 키보드에서는 불가능한 정교한 작업을 가능하게 해주므로 작업 효율성을 높일 수 있다. 그림 14에서 볼 수 있듯이 타블릿과 특수한 입력 장치를 이용해서 수묵화를 그릴 수 있다. 이런 장치를 이용해서 그림 15와 같은 실제 작품과



그림 14. 수묵화 드로잉 시스템의 사용 모습([24]에서 발췌)



그림 15. 수묵화 드로잉 예제([3]에서 발췌)

구별하기 어려운 이미지도 얻을 수 있다. 이런 드로잉 시스템은 사용자가 하나의 그림을 직접 그리기 때문에 자동화가 불가능하다는 단점이 있다. 이 단점 때문에 애니메이션을 제작하는 것이 매우 어렵다는 문제가 발생한다.

6. 수묵화 렌더링 시스템

드로잉 시스템과 달리 렌더링 시스템은 삼차원 모델을 입력으로 하여 자동으로 결과 이미지의 시퀀스를 생성하게 된다[20,8,9,25,16,3]. 따라서 애니메이션 생성을 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 삼차원 물체를 분석하고 그에 맞는 붓스트로크를 입히는 과정에 사용자가 개입하지 않으므로 최종 결과물이 드로잉 시스템에 비해 덜 사실적이라는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해서는 수묵화에 대한 정확한 분석을 바탕으로 렌더링 시스템을 설계해야 한다. 그러나 화가의 정신적인 세계를 강조하는 수묵화의 특성상 이러한 분석이 매우 어렵다는 문제가 있다.

따라서 현재 나와 있는 수묵화 렌더링 시스템은 NPR의 기본적인 렌더링 프레임워크를 바탕으로 하고 있다. NPR의 렌더링 파이프라인을 수묵화 렌더링에 맞게 수정해서 시스템을 구성하고 있다. 공통적인 작업 과정을 살펴보면 다음과 같다.

• 특징선 검출 및 렌더링

삼차원 물체의 특징선(silhouette, crease, boundary, suggestive contour 등)을 찾아내고 가시성 검사(visibility test)를 통해 스트로크를 검출한다. 검출된 스트로크는 텍스처 매핑이나 시뮬레이션 방법 등을 이용해서 렌더링한다.

• 내부 셰이딩

물체의 내부를 넓게 칠해주는 작업을 담당한다. 대부분의 경우 방향성이 없다고 가정하고

Graud 셰이딩이나 cartoon 셰이딩 또는 1D 텍스처 매핑과 같은 기법으로 칠해준다. 이렇게 하면 부자연스러운 결과가 나오는 경우가 많으므로 주의 기울여야 한다.

• 종이 효과 및 낙관 찍기

화선지의 효과를 위해서 시뮬레이션 방법을 이용할 수 있다. 그러나 빠른 속도를 위해 화선지 패턴을 텍스처로 만들어 놓고 이 텍스처와 α -블렌딩하는 방법도 있다. 마지막 과정으로 준비된 낙관을 적당한 위치에 배치하여 최종 결과물을 생성한다.

Yeh 등[25]은 텍스처 매핑을 이용해서 삼차원 물체의 수묵화 렌더링 알고리즘을 제시하였다. 그림 16에서 볼 수 있듯이 특징선은 자연스럽지만 내부 셰이딩이 부자연스러운 결과를 생성하고 있다. Kang 등[9]은 실시간 수묵화 렌더링을 위해 GPU를 이용한 렌더링 알고리즘을 제시하였다. GPU를 이용함으로써 실시간 렌더링이 가능하게

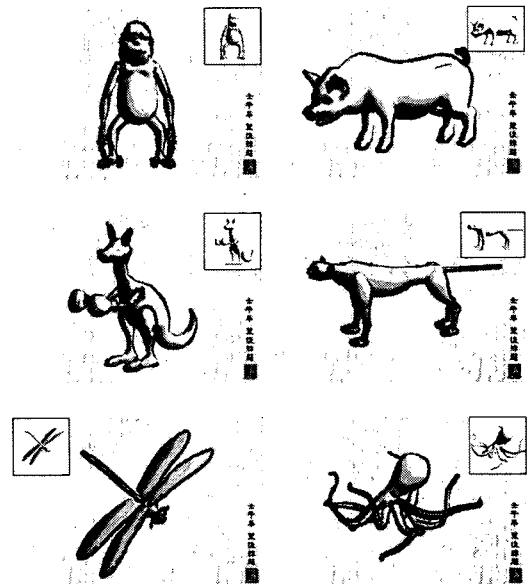


그림 16. 동물 모델에 대한 수묵화 렌더링 결과((25)에서 발췌)

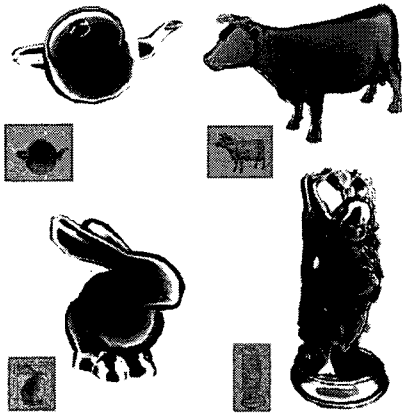


그림 17. GPU를 이용한 실시간 렌더링 결과((9)에서 발췌)



그림 18. 셰이더를 이용한 렌더링 결과((3)에서 발췌)

되었으나 그림 17에서 볼 수 있듯이 여전히 내부 셰이딩은 부자연스럽다. Chan 등[3]은 상용 소프트웨어인 Maya, RenderMan, Composer 등을 이용해서 자연스러운 결과를 생성하는 기법을 제시하였다. 그들은 RenderMan의 셰이더 기능을 이용해서 수목화를 위한 셰이더를 제작하였다. 그 결과 그림 18에서 볼 수 있듯이 내부 셰이딩까지도 자연스러운 결과를 얻게 되었다.

7. 수목화 렌더링의 응용 사례

Strassmann의 연구로부터 시작된 수목화 렌더링 연구는 대학을 중심으로 한 학문적 연구 위주

로 발전해왔다. 그러나 최근에는 수목화 스타일 렌더링을 이용한 결과물이 CF나 게임 등에 적용되고 있다. 아직은 영화와 같은 장편 애니메이션 보다는 CF와 같은 단편 애니메이션 위주로 제작되고 있다. 또한 게임과 같이 실시간으로 결과물이 생성되어야 하는 어플리케이션의 경우 수목화 스타일과 같은 비사실적 렌더링이 새로운 대안으로 떠오르고 있다. 하지만 현재까지는 초기 단계라고 생각되고 앞으로 더욱 많은 단편 애니메이션과 영화와 같은 장편 애니메이션도 제작될 것으로 예상된다.

현재 가장 활발하게 적용되는 분야는 CF라고 할 수 있다. 조흥은행이 2002년 창립 105주년 기념으로 제작한 CF, '신명나다, 일어나다'편과 '백두산 호랑이'(그림 19 참조)편이 시초라 하겠다. CF를 완성하기 위해 애니메이터 6명이 무려 30일간 모두 1만여 장의 그림을 그려야 했다. 이 작품은 기념비적인 의미가 있지만 각 프레임간의 개연성을 고려하지 않아 애니메이션이 부드럽지 못하다는 지적을 받고 있다. 그리고 최근에 발표된 기아 자동차의 SUV 스포티지의 '신공'(그림 20) CF는 수목화의 백묘법을 사용하여 내부 셰이딩 없이

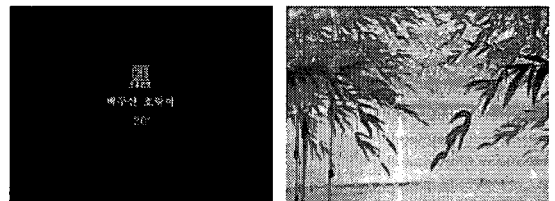


그림 19. 조흥은행의 '백두산 호랑이' CF 장면

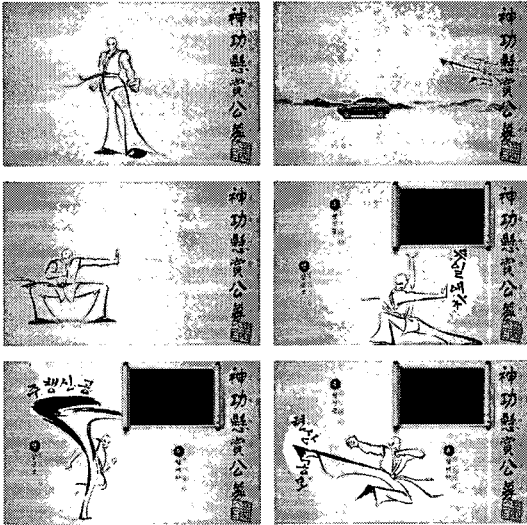


그림 20. 기아자동차의 '신공' CF 장면

윤곽선만을 표현하였다. 너무도 현대적인 소재인 자동차의 광고에 수묵화 기법을 접목했다는 것 자체가 큰 발상의 전환으로 평가받고 있다. 기술적으로는 프레임간의 일관성까지 고려되어 제대로 완성된 수묵화 애니메이션이라고 하겠다.

그 다음으로 각광 받는 분야는 게임이다. 게임은 실시간으로 실행되지 않으면 의미가 없다. 최근에 그래픽 카드와 컴퓨터가 비약적인 발전을 거듭했지만 아직까지 사실적인 영상을 실시간으로 생성하는 것은 한계가 있다. 그에 따라 게임 산업에서는 사실적인 렌더링을 버리고 카툰과 같은 비사실적 렌더링을 채택하는 경우가 늘어나고 있다. 이와 함께 동양의 전통적인 화법인 수묵화 스타일로 렌더링하는 게임도 생겨나고 있다. 대표적으로 일본에서 제작된 '오카미'(그림 21 참조)라는 게임이 있다. 수묵화 스타일로 렌더링함으로써 새로운 느낌과 함께 친근함도 느낄 수 있는 것으로 평가받고 있다.

RenderAid라는 회사(www.renderaid.com)는 자사의 제품을 홍보하기 위해 데모 동영상을 제작, 유포(그림 22 참조)하였다. 이 수묵담채화 스

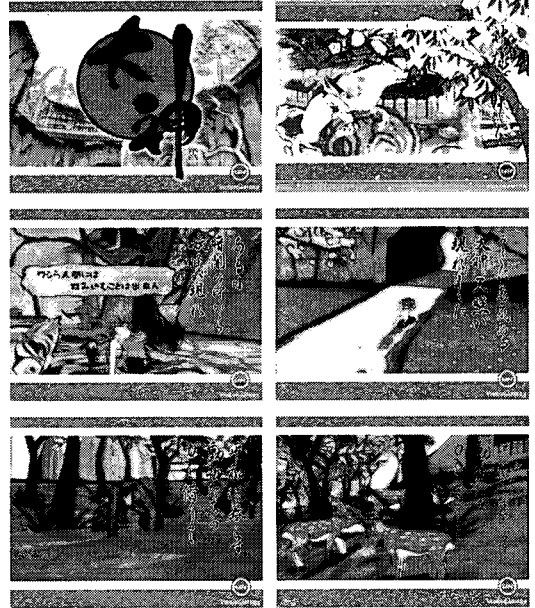


그림 21. 일본 게임 '오카미'의 데모동영상에서 발췌



그림 22. RenderAid의 'Odd to Summer' 데모 동영상에서 발췌

타일의 단편 애니메이션은 삼차원 물체를 이용한 애니메이션으로 고화질의 수묵화 애니메이션 제작이 예전처럼 어려운 작업이 아니라는 것을 보여

주었다. 이러한 툴의 등장으로 인해 수묵화 스타일의 장편 애니메이션도 멀지 않은 장래에 나올 것으로 기대된다.

8. 수묵화 렌더링 연구의 발전 방향

지금까지 수묵화 렌더링의 기술 발전과 그 응용에 대해 살펴보았다. 마지막으로 수묵화 렌더링 연구의 발전 방향에 대해 살펴보기로 한다.

8.1 GPU를 이용한 렌더링 가속화

앞으로 게임이나 가상 현실과 같은 실시간 어플리케이션에서 수묵화 렌더링이 많이 사용될 것으로 예상된다. 최근에 렌더링 가속화를 위해서 GPU를 이용한 렌더링이 많이 사용되고 있다. 수묵화에서는 붓에 의한 스트로크의 느낌이 매우 중요한데 이를 GPU에서 구현하는 것이 쉽지 않다. 하지만 GPU에서 지원되는 명령어가 계속 추가되고 있으므로 이들을 이용하는 연구가 진행되어야 할 것이다. 현재까지는 Kang 등[8,9]에 의한 연구 결과가 있는 상황이다.

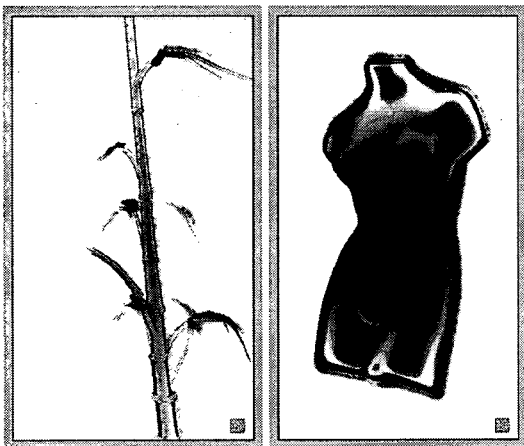


그림 23. GPU를 이용한 렌더링 가속화 예제((8)에서 발췌)

8.2 애니메이션을 위한 프레임간의 시간 개연성 문제 해결

이전에 만들어진 수묵화 애니메이션을 보면 프레임 사이가 부드럽게 연결되지 못하는 문제가 있다. 이는 프레임간의 시간 개연성을 고려하지 않아서 생긴 문제인데, 애니메이션 생성을 위해서는 꼭 해결해야 할 문제이다. 특히 수묵화는 스트로크 기반의 렌더링을 하기 때문에 시간 개연성이 조금만 어긋나도 결과 애니메이션에서는 매우 부자연스러운 결과를 생성하게 된다. 또한 게임과 같은 실시간 어플리케이션에서도 시간 개연성 문제는 매우 중요하다. 따라서 수묵화 애니메이션을 위한 시간 개연성 문제를 해결하는 알고리즘이 개발되어야 할 것이다. 현재 NPR 커뮤니티에서는 Kalnins 등[7]에 의해 시간 개연성 문제를 해결하는 알고리즘이 제시되었다. 이 알고리즘은 그림 24에서 보듯 이전 프레임의 스트로크 정보를 다음 프레임으로 전달시키는 방법을 사용한다. 이 알고리즘을 수묵화에 맞게 수정한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

8.3 물체의 추상화 표현

수묵화의 특징 중 하나는 '추상화'이다. 수묵화를 비롯한 많은 동양 화법에서는 물체를 있는 그대로 표현하지 않고 추상화해서 그려낸다. 중요한 물체는 더욱 자세하게 표현하고 중요하지 않은 물체는 추상화하여 간략하게 표현하는 방식이다. 또한 거리에 따라 추상화의 정도를 달리할 수도 있다. Jeong 등[6]은 삼차원 메쉬의 다단계 표현 기법을 이용하여 라인 드로잉을 위한 LOD 방법을 제시하였다. 이런 개념을 수묵화에 맞도록 적용하여 수묵화를 위한 추상화 알고리즘을 개발하는 연구가 필요할 것이다.

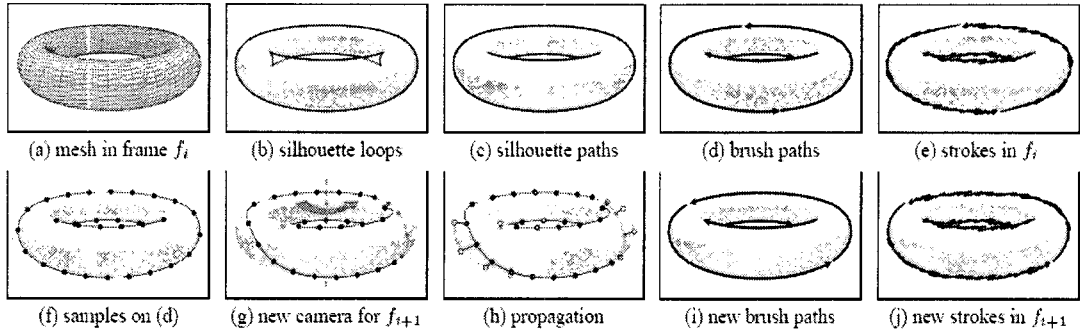


그림 24. 프레임간의 시간 개연성을 위한 알고리즘((7)에서 발췌)

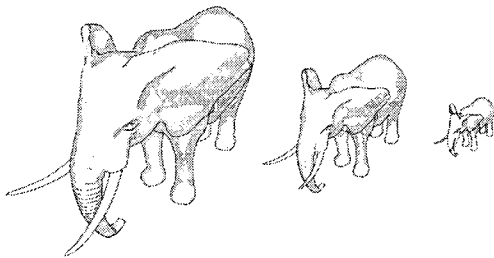


그림 25. 삼차원 물체의 단순화를 이용한 LOD 표현 ((6)에서 발췌)

감사의 글

본 연구는 BK21사업을 통하여 포항공과대학교 전자, 컴퓨터공학부에 주어진 교육부의 재정 지원, 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성 및 지원사업의 지원을 얻어 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Bill Baxter, Vincent Scheib, Ming C. Lin, and Dinesh Manocha. DAB: Interactive haptic painting with 3D virtual brushes. ACM Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 2001), pages 461-468, 2001.
 [2] William Baxter and Ming C. Lin. A versatile interactive 3d brush model. pages 319-328, 2004.

[3] Ching (Clara) Chan, Ergun Akleman, and Jianer Chen. Two methods for creating chinese painting. Proc. Pacific Graphics 2002, pages 403-412, 2002.
 [4] Nelson S.H. Chu and Chiew-Lan Tai. Real-time painting with an expressive virtual chinese brush. IEEE Computer Graphics and Applications, 24(5):76-85, 2004.
 [5] Cassidy Curtis, Sean Anderson, Josh Seims, Kurt Fleischer, and David Salesin. Computer-generated watercolor. ACM Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH '97), pages 421-430, 1997.
 [6] Kyuman Jeong, Alex Ni, Seungyong Lee, and Lee Markosian. Detail control in line drawings of 3D meshes. The Visual Computer, 21(8-10):698-706, 2005.
 [7] Robert D. Kalnins, Philip L. Davidson, Lee Markosian, and Adam Finkelstein. Coherent stylized silhouettes. ACM Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 2003), pages 856-861, 2003.
 [8] Shin-Jin Kang and Chang-Hun Kim. Real-time 3D sumie painting. SIGGRAPH 2003 Skteches and Applications, 2003.
 [9] Shin-Jin Kang, Sun-Jeong Kim, and Chang-Hun Kim. Hardware-accelerated real-time rendering for 3D sumi-e painting. LNCS on Computational Science and Its Applications-ICCSA 2003, 2669(3):599-608, 2003.

- [10] Tom Van Laerhoven, Jori Liesenborgs, and Frank Van Reeth. Real-time watercolor painting on a distributed paper model. pages 640-643, 2004.
- [11] Jintae Lee. Simulating oriental black-ink painting. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 19(3):74-81, 1999.
- [12] Jintae Lee. Diffusion rendering of black ink paintings using new paper and ink models. *Computers and Graphics*, 25(3):295-308, 2001.
- [13] Sanboh Lee, H-Y Lee, I-F Lee, and C-Y Tseng. Ink diffusion in water. *European Journal of Physics*, 25(2):331-336, 2004.
- [14] Wei-Jin Lin and Zen-Chung Shih. Computer-generated chinese painting with physically-based ink and color diffusion. In *Proceedings of CGW 2004*, 2004.
- [15] Xiaofeng Mi, Jie Xu, Min Tang, and Jinxiang Dong. The droplet virtual brush for chinese calligraphic character modeling. *Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pages 330-334, 2002.
- [16] Youetsu Sato, Tadahiro Fujimoto, azunobu Muraoka, and Norishige Chiba. Stroke-based suibokuga-like rendering for three-dimensional geometric models- ten and shun touches-. *Journal of the Society for Art and Science*, 3(4):224 - 234, 2004.
- [17] Steve Strassmann. Hairy brushes. *ACM Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH '86)*, pages 225-232, 1986.
- [18] Sara L. Su, Ying-Qing Xu, Heung-Yeung Shum, and Falai Chen. Simulating artistic brush strokes using interval splines. In *Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Computer Graphics and Imaging*, pages 85-90, 2002.
- [19] Chung-Ming Wang, Jiunn-Shyan Lee, and Ren-Jie Wang. On realistic ink diffusion synthesis for a calligraphic learning system. *International Journal of Computer Processing of Oriental Languages*, 16(2):105-118, 2003.
- [20] Der-Lor Way, Yu-Ru Lin, and Zen-Chung Shih. Chinese ink rendering for trees using outline drawing and texture strokes. *International Workshop on Advanced Image Technology*, pages 16-19, 2002.
- [21] Helena T. F. Wong and Horace H. S. Ip. Virtual brush: A model-based synthesis of Chinese calligraphy. *Proc. Computer Graphics International '97*, pages 13-21, 2000.
- [22] Songhua Xu, Francis C.M. Lauz, Feng Tangy, and Yunhe Pany. Advanced design for a realistic virtual brush. pages 533-542, 2003.
- [23] Songhua Xu, Min Tang, Francis Lau, and Yunhe Pan. A solid model based virtual hairy brush. *Computer Graphics Forum (Proc. Eurographics 2002)*, 21(3), 2002.
- [24] Jeng-Sheng Yeh, Ting-Yu. Lien, and Ming Ouhyoung. On the effects of haptic display in brush and ink simulation for chinese painting and calligraphy. *Proc. Pacific Graphics 2002*, pages 439 - 441, 2002.
- [25] Jun-Wei Yeh and Ming Ouhyoung. Non-photorealistic rendering in Chinese painting of animals. *Journal of System Simulation*, 14(6):1220-1224, 2002.
- [26] Young Jung Yu, Do Hoon Lee, Young Bock Lee, and Hwan Gue Cho. Interactive rendering technique for realistic oriental painting. *Proc. Winter School of Computer Graphics' 2003*, pages 538-545, 2003.
- [27] Young Jung Yu, Young Bock Lee, Hwan Gue Cho, and Do Hoon Lee. A model based technique for realistic oriental painting. *Proc. Pacific Graphics 2002*, pages 452-453, 2002.



정 규 만

- 2000 포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사
- 1998 KAIST 전산학과 학사
- 2000~포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 2004~2005 미국 미시건대학교(University of Michigan) 방문연구원
- 연구분야: 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, 애니메이션



이 승 응

- 1995 KAIST 전산학과 박사
- 1990 KAIST 전산학과 석사
- 1988 서울대학교 계산통계학과 학사
- 1996~포항공과대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 2003~2004 독일 MPI Informatik 방문연구원
- 1995~1996 미국 City College of New York/ UNY 연구원
- 연구분야: 컴퓨터 그래픽스, 애니메이션, 영상 처리