

Kubelka-Munk모형을 응용한 실시간 3차원 수묵담채화 렌더링

오수정^o 남양희

이화여자대학교 대학원 디지털미디어학부

osjung8@hotmail.com, yanghee@ewha.ac.kr

Real-Time 3D Oriental Color-Ink Painting

Crystal S Oh^o YangHee Nam

Division of Digital Media, The Graduate School of Ewha Womans Univ.

요 약

본 논문에서는 3D 게임이나 가상현실, 인터랙티브 아트 등의 실시간 환경의 콘텐츠 제작에 활용가능한 수묵담채화풍의 렌더링 기법을 제안한다. 제안된 기법은 기존의 3차원 수묵화 렌더링 연구에서는 다루지 않았던, 색채표현법과 그 합성법을 중심으로 연구되었다. 색채표현법의 경우, 일반적으로 삼색을 단계적으로 겹쳐서 표현하는 수묵담채화의 특성에 따라, 실제 그림을 그릴 때에 적용되는 삼색의 혼합방법과 순서가 자동으로 적용될 수 있는 삼색기반 구조를 통해 농담과 질감효과를 표현했으며, 또한 이러한 삼색레이어의 합성을 위해서는 안료의 광학적 성질을 반영하여 실제 회화매체에 가까운 색상을 재현할 수 있는 Kubelka-Munk(KM)모형을 적용한다. 기존의 KM모형은 비사실적 렌더링 연구 분야에서 수채화, 유화 등 서양화를 대상으로 한 색채 합성에 적용되어 왔기 때문에 기존의 연구에서 제시한 방법만으로는 삼색레이어가 겹쳐질 때 나타나는 수묵담채화의 특징과 천연 재료를 사용하는 동양 안료의 색상을 정확히 반영할 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 실제 수묵담채화에 이용되는 전통안료의 색상 분석을 통해 KM모형에 적용할 파라미터들을 추출하고, 앞에서 설계한 삼색 기반 구조에 따라 색상을 합성하는 방법을 제시한다.

1. 서론

예술적인 효과를 표현하기 위한 비사실적 렌더링분야에서 유화, 수채화, 카툰 등 다양한 예술 기법의 렌더링에 대한 연구가 활발히 진행되면서 최근 게임, 애니메이션, 광고 등에서 새로운 표현 기법의 하나로 활용되고 있다. 특히 동양적인 느낌의 콘텐츠 제작에 활용될 수 있는 수묵화 렌더링 분야는 2차원 및 3차원 환경에서 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그러나 색채가 동양화의 표현에 있어서 중요한 구성요소 중의 하나임에도 불구하고, 기존의 3차원 모델 기반 수묵화 렌더링 연구들의 경우 먹색만을 이용한 수묵화의 표현에 한정되어 왔다. 따라서 본 논문에서는 수묵담채화의 색채표현법과 그 합성법을 중심으로 3D 게임이나 가상현실, 인터랙티브 아트 등의 실시간 환경의 콘텐츠 제작에 활용가능한 수묵담채화 렌더링 기법을 제안한다.

이를 위해 제안된 기법은 색채에 의한 농담 및 질감 효과와 색채의 합성 단계로 나누어 볼 수 있다. 농담과 질감 효과

의 경우, 일반적으로 삼색(담색, 중색, 농색)을 단계적으로 겹쳐서 표현하는 수묵담채화의 특성에 따라, 실제 그림을 그릴 때에 적용되는 삼색의 혼합방법과 순서가 자동으로 적용될 수 있는 삼색기반 구조를 통해 표현되었다. 또한 이러한 삼색레이어의 색채 합성을 위해서는 안료의 광학적 성질을 반영하여, 기존의 색상 모델(RGB, CMYK 등)보다 실제 회화매체에 가까운 색상을 재현할 수 있는 Kubelka-Munk(KM)모형을 적용한다. 기존의 KM모형은 비사실적 렌더링 연구 분야에서 수채화, 유화 등 서양화를 대상으로 한 색채 합성에 적용되어 왔기 때문에 기존의 연구에서 제시한 방법만으로는 삼색레이어가 겹쳐질 때 나타나는 수묵담채화의 특징과 천연 재료를 사용하는 동양 안료의 색상을 정확히 반영할 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 실제 수묵담채화에 이용되는 전통안료의 색상 분석을 통해 KM모형에 적용할 파라미터들을 추출하고, 앞에서 설계한 삼색 기반 구조에 따라 색상을 합성하는 방법을 제시한다.

이와 같은 수목담채화 렌더링 기법의 실시간 처리를 위해서는, 그래픽 하드웨어의 가속기능에 기반한 GPU Shader를 이용하여 3차원 모델의 볼륨정보에 의한 농담 및 질감 표현과 KM 모델의 색상 계산 등에 이용되는 복잡한 계산을 실시간으로 처리함으로써, 결과 영상의 질과 실시간 처리 능력을 동시에 만족시키고자 한다.

2. 관련 연구

2.1. 3차원 모델 기반 수목화 렌더링 연구

기존의 3차원 모델 기반 수목화 연구는 텍스처만을 이용한 수목화 렌더링 기법을 다루고 있으며, 먹과 색상의 표현을 고려한 수목담채화에 대한 연구는 아직 진행된 바가 없다. 3차원 수목화 연구는 하드웨어 가속기능에 기반한 실시간 렌더링 연구와 물리적 시뮬레이션 등에 기반한 비실시간 연구들이 있다.

Kang의 연구에서는 하드웨어 가속기능에 중점을 두어 텍스처만을 이용한 수목화의 렌더링 방법을 제안했다[1]. 여기서는 수목화의 표현 단계를 윤곽선, 농담표현, 질감 표현, 원근 및 질감표현 등으로 나누어 단일 모델에 대한 실시간 렌더링 기법을 제안했다.

Way의 경우, 산수화의 재현을 목적으로 다양한 나무 텍스처를 이용한 수목화 렌더링 기법을 제안했으나, 텍스처의 생성에서부터 나무의 질감 특성만을 고려하였기 때문에, 적용 가능한 모델의 확장가능성이 매우 좁다[2].

Zhang의 연구 역시, 3차원 나무 모델을 대상으로 종이와 먹, 물의 단순화된 물리적 시뮬레이션에 기반해 수목화의 특징인 종이 번짐 효과를 재현했으나, 이 역시 대상 모델이 한정적이고, 실시간 환경에는 바로 적용할 수 없다[3]. 또한 세 가지 모두 수목담채화 렌더링에 적합한 색채의 사용과 그 합성법 등을 다루고 있지 않기 때문에 수목담채화 렌더링에는 적용이 불가능하다.

2.2. 색채합성에 관련된 회화적 렌더링 연구

최근 색채에 관련된 기존의 비사실적 렌더링 연구들은 회화매체의 사실적인 색채의 표현과 합성을 위해 Kubelka-Munk(KM) 모델을 이용하고 있다. KM모델은

안료의 광학적 성질을 단순화 하여 안료가 섞여질 때에 나타나는 색상을 계산 하며, 특히 안료들이 겹쳐 질 때의 색상을 사실적으로 표현할 수 있다.

Curtis가 제안한 수채화 렌더링의 경우, 기존의 KM모델에서 요구되었던 정밀한 안료의 측정 방법을 대신해, 흰색과 검정색의 배경에서 사용자가 선택한 색상의 RGB값을 이용해 최종적인 픽셀의 렌더링 색상을 계산하는 인터랙티브한 방법을 제안했으며, 이와 같은 방법은 이후에 Wax Crayon 시뮬레이션 등의 다양한 연구들에서 응용되고 있다. 본 논문에서도 Curtis가 제안한 방법을 응용하여 사용하고 있으며, 이와 관련된 계산 방법은 4장에서 자세히 설명될 것이다[4,5].

Baxter의 연구에서는 실제 유화물감을 착색한 이미지에서 안료의 반사율(Reflectance)을 측정할 수 있는 스캐너를 통해 정밀한 샘플데이터를 측정하고, 이를 이용해 KM 모델을 계산하여, 유화의 사실적인 색상을 표현하는 방법을 제안했다[6]. 이러한 방법은 다양한 유화 안료의 색상에 대한 정밀한 표현이 가능하지만, 그 측정방법이 까다롭고 전통 안료의 경우 서양안료와는 다른 특성을 지니기 때문에, 수목담채화 렌더링에 바로 적용하는 것은 불가능하다.

2004년에는 Lin이 먹과 안료, 물에 대한 물리적 시뮬레이션에 기반한 2차원 수목담채화 드로잉 시스템을 제안하고, 안료와 먹의 실시간 색상합성을 위해 KM모델의 계산 방법을 단순화 하여 적용했다[7]. 그러나 여기에서는 수목담채화에서 사용되는 동양적인 안료의 특성이나 고유한 합성방법을 반영하지 못하고 있으며, 또한 이를 3차원 모델에 적용하는 방법에 대해서는 전혀 다루고 있지 않으므로, 본 논문에서 제안하는 기법에 적용하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

3. 실제 수목담채화 제작 기법 분석

이 장에서는 본 논문에서 제안하는 수목담채화 렌더링 기법을 설명하기 이전에, 실제 수목담채화의 제작 단계를 렌더링 시스템에 적용하기 위하여 각 단계별로 분석한다. 이 장에서 분석하는 제작기법들은 4장에서 제안하는 렌더링 기법에 단계적으로 반영된다.

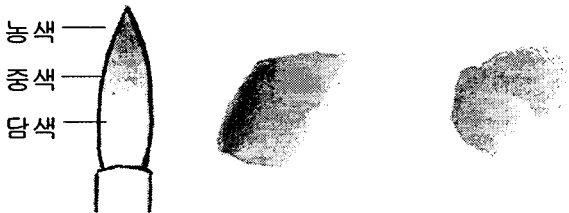
수목담채화의 일반적인 제작 단계는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 윤곽선 표현, 색상에 따른 농담 표현과 질감 표현으로 나누어 볼 수 있다[8,9,10].



(a)윤곽선표현 (b)색상에 의한 농담표현 (c) 질감표현
[그림 1] 수목담채화 제작 단계

1) 윤곽선 표현 물체의 형태를 설명하는 동시에, 선의 생략 효과 등에 의해 작가의 감정 상태를 표현한다. 일반적으로 선의 시작 부분이나 강조할 부분이 진하게 표현된다.

2) 삼색에 기반한 농담 표현 수목담채화에서는 빛에 의한 명암 효과 대신 사물의 양감을 나타내기 위해 [그림 2]에서 보는 바와 같이 색상의 농담 변화를 이용하여 양감을 표현한다. 수목담채화는 보통 삼색을 이용하게 되는데, [그림 2]의 왼쪽에서 보는 바와 같이 붓 전체에 담색(연한색)을 먼저 묻히고, 중색, 농색(진한색)의 순서로 겹쳐준 후 오른쪽과 같이 색상의 변화를 표현한다 [8,11]. 이러한 농담 효과는 한 물체의 중심 내부 혹은 강조하고자 하는 부분이 진하고 외부 윤곽선에 가까워질수록 흐려지는 특성을 가진다.



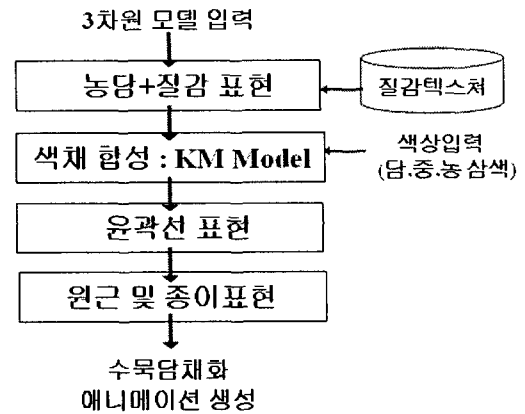
[그림 2] 수목담채화의 색채 표현

3) 질감 표현 수목담채화의 질감표현은 안료와 물이 섞여져서 종이 상에 불규칙하게 번져나가는 특성을 보인다. 이러한 표현은 [그림 2]의 오른쪽에서 보는바와 같이 삼색의 레이어가 농색-중색, 중색-담색과 같이 인접한 색상의 안료들끼리 종이에서 불규칙하게 번져나가면서 만들

어진다. 또한 [그림 1]의 (c)에서처럼 대상물에 따른 질감 표현을 위해 점묘나 갈필 등의 붓터치가 이용되기도 한다.

4. 수목담채화 렌더링 엔진의 설계

4장에서는 3장에서 분석한 수목담채화의 제작단계 및 색채 표현법에 기반하여 본 논문에서 제안하는 수목담채화 렌더링 기법을 설명한다. 본 시스템에서는 [그림 3]의 구조도에서 보는 바와 같이 농담 및 질감표현, KM 모델을 적용한 색채 합성, 윤곽선 표현, 원근 및 종이 표현의 네 단계로 나누어 수목담채화 렌더링 엔진을 설계하였다. 이 장에서는 주요 알고리즘을 중심으로 각 단계별 렌더링 기법을 설명한다.



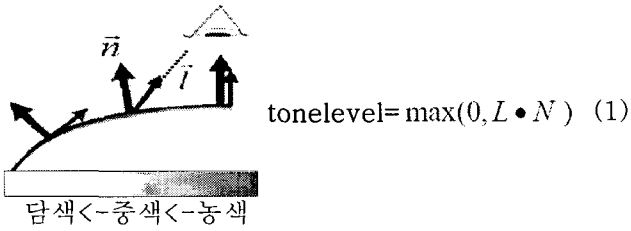
[그림 3] 수목담채화 렌더링 시스템 구조도

4.1. 농담과 질감표현 단계 모델링

4.1.1 3D Volume정보에 의한 농담단계 계산

3차원 모델의 볼륨정보를 이용해 농담단계를 계산하기 위해서는 기존의 툰렌더링 등에서 사용되었던 식 1에 따라 뷰포인트 방향에서 각 버텍스의 tonelevel을 계산한다 [12]. 여기에서 계산된 tonelevel 값은 중심부위가 진하고 모델의 외부로 갈수록 흐리게 표현되는 수목담채화의 농담 표현 특성을 반영하기 위해서 [그림 4]에서 보는바와 같이 모델의 중심부에서 윤곽선 가까이로 갈수록 농색-중색-담색의 순서로 색채가 점차 흐려지도록 적용되며, 색채가 자

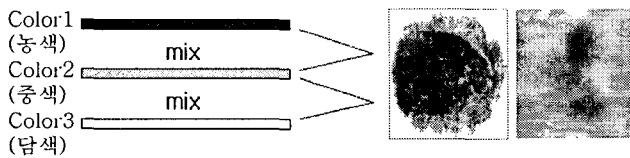
연스럽게 번져나가는 효과를 위해 4.2.3장의 최종 색상 렌더링에서 Gouraud Shading의 계산에 이용된다. 자세한 내용은 4.2.3장에 설명한다.



[그림 4] 3D Volume 정보에 의한 농담단계 계산

4.1.2 삼색레이어의 순서에 따른 질감텍스처의 적용

수목담채화의 질감표현은 3장에서 살펴본 바와 같이 삼색의 레이어가 담색-중색, 중색-농색과 같이 인접한 색상의 안료들끼리 종이에서 불규칙하게 번져나가면서 만들어진다. 본 연구에서는 먹과 종이의 발묵 효과만을 나타내는 수묵화의 표현과는 다른 이러한 수묵담채화의 특성을 반영하기 위하여, [그림 5]의 (b)에서 보는바와 같은 질감texture를 이용하여, [그림 5]의 (a)와 같은 순서로 mix함수를 적용하여 tonenoise값을 생성한다. 각 색채 레이어가 합성되는 과정은 아래의 Pseudo Code와 같으며, 담묵에 해당되는 Color3은 종이색상인 base에 의해 mix되어, tonenoise3을 생성한다. 여기에서 계산된 각각의 tonenoise 값들은 4.2장에서 설명할 KM모델의 최종 색상 값에 의해 합성된다.



(a)삼색레이어의 구성 (b)질감텍스처의 예
[그림 5] 삼색레이어의 순서에 따른 텍스처의 mix

```
float noise = texture.r
vec4 tonenoise1= mix (Color1, Color2, noise)
vec4 tonenoise2= mix (Color2, Color3, noise)
vec4 tonenoise3= mix (Color3, base, noise)
mix(x,y,a) = x * (1.0 -a) + y*a
(Linear blend of x and y using a)
```

4.2. Kubelka-Munk Model에 의한 삼색의 합성

본 논문에서는 수묵담채화에서 사용되는 삼단계 색채 레이어의 사실적인 합성을 위해 Kubelka-Munk(KM) 모델을 이용한다. KM모델은 안료(Pigment)의 광학적 성질을 모델화한 식으로 안료에 입사한 빛을 입사광과 같은 방향으로 진행하는 것과, 역방향으로 진행하는 것의 2가닥으로 단순화한 모델이다[13,14]. 이렇게 단순화된 각각의 안료 레이어가 가지는 흡수계수(S)와 산란계수(K)를 이용하여 최종적으로 렌더링에 이용될 반사율 R(Reflectance)과 투과율 T(Transmittance)을 산출한다. 마지막으로 복수의 안료가 겹쳐졌을 때의 색상을 재현하기 위해, 각 단일 색채 레이어에서 산출된 R과 T를 합성한 결과 값인 전체 반사율(Rt)를 구해서, 최종 픽셀의 렌더링 시에 그 값을 적용하게 된다.

이 장에서는 KM모델의 각 단계별 계산 방법과 본 논문에서 수묵담채화의 특성을 반영하기 위해 제안하는 응용된 알고리즘을 단계적으로 설명한다.

4.2.1 흡수계수(S)와 산란계수(K)의 산출

KM모델은 각각의 안료가 가지는 흡수계수 S와 산란계수 K를 이용하여 반사율과 투과율을 산출한다. 일반적으로 KM모델에 이용되는 흡수계수와 산란계수는 실제 안료에 대한 정밀한 측정(Spectral Measurement)을 이용하여 산출하게 되는데, 본 논문에서는 이러한 방법을 이용하지 않고, Curtis가 수채화 렌더링에 이용했던 방법에 따라 사용자가 흰색과 검은색 배경에서 자신이 원하는 색상을 각각 선택할 수 있도록 하는 인터랙티브한 방법을 응용하여, 전통안료의 고유한 KM 파라미터를 추출한다[4].

이를 위해 Hasse가 제안한 흡수계수와 산란계수의 측정 방법에 의해 전통안료의 샘플을 제작하고, 이 샘플을 통해 Curtis의 방법으로 흡수계수와 산란계수를 산출하게 된다[13]. 이 방법의 원리는 안료를 착색할 경우 같은 색상이라도 흰색의 바탕과 검은색의 바탕에 칠해졌을 때의 색상은 각각 다르게 보이게 된다는 것에 있다.



[그림 6] KM파라미터의 추출에 이용된 전통안료 착색이미지 샘플의 예

이러한 성질을 이용하여 [그림 6]에서 보는 것과 같이, 흰색의 배경인 한지와 검은 색의 배경이 되는 먹색 위에 착색된 각각의 안료 이미지에서, R_w 와 R_b 를 선택하고, 이것을 식 2,3에 대입하면 각 RGB채널에 대한 S와 K계수가 산출되고, 이 값은 KM모델의 다음 단계인 각 색채 레이어의 반사율과 투과율의 계산에 이용된다.

$$S = \frac{1}{b} \cdot \coth^{-1} \left(\frac{b^2 - (a - R_w)(a - 1)}{b(1 - R_w)} \right) \quad (2)$$

$$K = S(a - 1) \quad (3)$$

where

$$a = \frac{1}{2} \left(R_w + \frac{R_b - R_w + 1}{R_b} \right), \quad b = \sqrt{a^2 - 1}$$

4.2.2. 각 안료레이어의 반사율(R)과 투과율(T)및 최종 반사율(Rt) 계산

반사율과 투과율은 각 안료 레이어가 가지는 두께(Thickness) x 를 가중치로 적용하여 식 4,5에 의해 계산되는데, 일반적으로 안료의 두께는 기존의 2차원 드로잉 시스템에서 사용자가 최종적인 색상을 표현하기 위해 그 안료의 색상을 몇 번이나 칠해주느냐에 따라 결정된다. 본 논문에서는 사용자가 3차원 모델에 최종적으로 적용될 색상을 한 번에 선택하고 나서 색채의 합성이 이루어지므로, 각 안료의 레이어가 같은 가중치를 가진다고 보아, x 를 1로 통일하여 계산했다.

이렇게 구해진 단일 안료 레이어의 R과 T를 이용해 식 6에 의해 겹쳐진 레이어의 최종적인 픽셀 색상에 적용될 전체 반사율 R_t 를 구하게 된다. 이렇게 계산된 R_t 는 수묵담채화의 색상 레이어가 겹쳐지는 특성을 반영하여, 최종 RGB 렌더링에 이용되며 그 과정은 다음과 같다.

$$R = \sinh bSx/c \quad (4)$$

$$T = b/c \quad (5)$$

$$\text{where } c = a \sinh bSx + b \cosh bSx$$

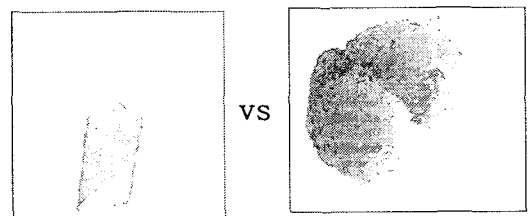
$$R_t = R_1 + \frac{T_1^2 R_2}{1 - R_1 R_2} \quad (6)$$

4.2.3. 수묵담채화의 특성을 반영한 전체반사율 적용방법

수묵담채화의 색채레이어가 합성되는 과정은 [그림 7]의 (c)에서 보는바와 같이 고유의 순서를 가진다. KM모델은 실제 그림이 그려질 때, 안료가 겹쳐지는 순서를 반영하기 때문에 본 논문에서는 위에서 구한 R_t 를 최종 RGB색상 렌더링에 이용할 때에 [그림 8]에서 보는 것처럼 실제 수묵담채화에서 삼색의 레이어가 겹쳐지는 과정을 반영해서 계산한다.

또한, [그림 7]의 (a)에서 보듯이 기존의 수채화 렌더링 등에서 사용된 색채레이어의 합성에서는 색채레이어가 겹쳐지는 경계부위에서는 smoothing 효과를 고려할 필요가 없었다. 그러나 (b),(c)에서 보이는 수묵담채화의 색채레이어에서는 두가지 색채가 합성된 최종 레이어들 사이의 경계부위에도 smoothing 효과가 필요함을 알 수 있다.

즉, [그림 8]에서 보는바와 같이 4.1장에서 Color1과 Color2를 합성한 결과인 tonenoise1과 Color2와 Color3을 합성한 결과인 tonenoise2 값은 두 가지 색채가 합성됐을 때 계산되는 KM Model의 최종 반사율인 R_{t1} 과 R_{t2} 를 각각 적용한 이후에, 이들 사이에서도 smoothing 효과를 적용해야 함을 알 수 있다.



(a)수채화의 색채레이어 합성 (b)수묵담채화의 색채레이어 합성



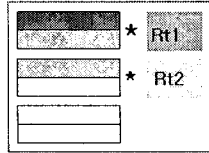
(c) 수묵담채화의 색채레이어 측면이미지

[그림 7] 색채레이어의 합성방법 비교

$$fColor1 = toneNoise1 * Rt1$$

$$fColor2 = toneNoise2 * Rt2$$

$$fColor3 = toneNoise3$$



[그림 8] 수목담채화의 색채레이어의 최종 색상 합성방법

따라서 본 논문에서는 [그림 8]에서 보는바와 같이 최종 렌더링에 사용될 RGB값인 fColor1,2,3를 계산하고, 4.1.1에서 계산한 각 정점에 대한 tonelevel값을 4단계(농색-중색-담색-여백)로 나누어 각 정점값에 가중치를 주는 방법으로 Gouraud Shading을 적용해준다.

이와 같이 4.1과 4.2장의 과정을 통해 표현된 최종 Pixel Color는 3단계의 색상이 농담 순서에 따라 질감 texture에 의해 mix되고, KM 모델에 의해 겹쳐진 레이어들의 최종 반사율 값을 반영한 후, 레이어들 간의 경계 부분을 smoothing한 결과로서, 수목담채화가 가지는 고유한 색상 합성방법을 그대로 재현하고 있다.

4.3. 윤곽선 및 원근표현

윤곽선의 표현은 실시간 처리를 위하여 Pixel Shader상에서 영상처리 알고리즘을 이용하여 검출하고, 이를 변형하는 방법을 이용했다. Sobel Mask를 이용하여 균일하게 검출된 윤곽선은 픽셀 렌더링 단계에서 Edge텍스처를 합성함으로써 윤곽선에 생략 및 강약 효과를 주어 표현했다.

이 밖에 시점으로부터 거리에 따라 나타나는 원근 표현을 위하여 Exponential Fogging을 적용하였으며, 마지막 단계에서 종이 및 배경이미지를 합성하는 방법을 이용했다.

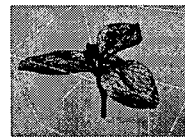
5. 구현 및 실험 결과

본 논문에서 제안한 시스템은 펜티엄 4, 3.2Ghz, 1GB RAM, 하드웨어 가속이 지원되는 NVIDIA Geforce 6800에서 실험되었으며, OpenGL, GLSL, Rendermonkey, VC++에서 구현되었다. 하드웨어 가속기능에 기반한 GPU Shader로 구현된 렌더링 엔진의 수행성능은 표 1과 같다.

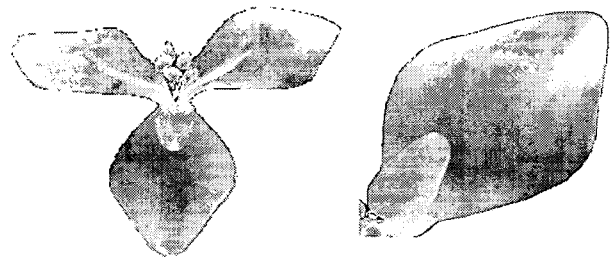
[그림 9]에서는 삼색에 기반한 꽃 모델의 렌더링 결과와 질감이 표현된 세부이미지 결과를 확인할 수 있으며, [그림 10]에서는 배경 이미지가 합성된 게임캐릭터와 한옥 모델의 장면 렌더링 결과를 통해, 본 연구의 결과가 게임 등의 콘텐츠에 적용되었을 때의 결과를 예상해 보았다. [그림 11]에서는 다양한 모델에 적용된 수목담채화 렌더링 결과를 확인할 수 있다.

모델 이름	Vertex수	Face수	FPS
과일	2793	1680	85.3
소	5523	6088	80.7
게임캐릭터	20866	11175	69.1
꽃	5488	10027	71.1
한옥	124845	152452	21.7

[표 1] 실험 모델에 대한 수목담채화 렌더링의 수행 성능

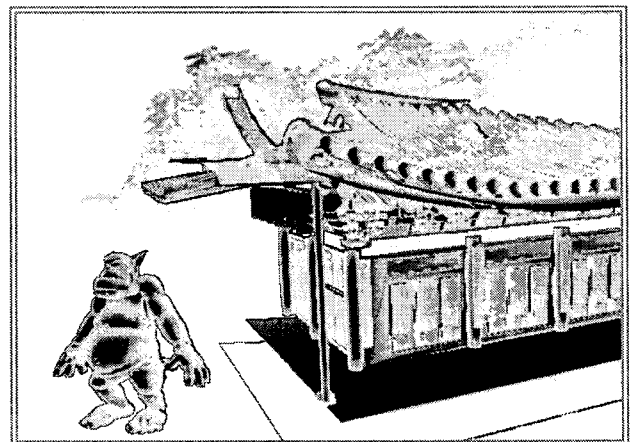


(a) 3D Mesh Model

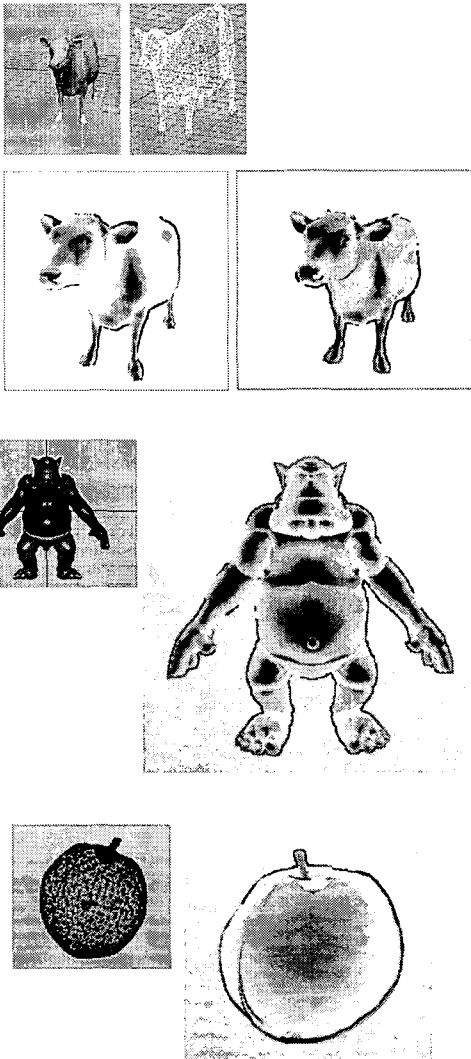


(b) 수목담채화 렌더링 결과 (c) 세부이미지

[그림 9] 꽃 모델의 수목담채화 렌더링 결과이미지



[그림 10] 한옥모델과 게임캐릭터의 장면렌더링 결과



[그림 11] 다양한 모델에 적용된 수묵담채화 렌더링 결과

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 수묵담채화 풍의 3D 게임이나 가상현실, 인터랙티브 아트 등의 실시간 환경의 콘텐츠 제작에의 활용을 목적으로 하여, 사용자가 선택한 임의의 3차원 모델을 이용해 실시간으로 수묵담채화 풍의 애니메이션을 생성할 수 있는 실시간 렌더링 기법을 제안했다. 제안된 기법은 기존의 연구에서는 다루지 않았던 색채의 표현방법과 그 합성법에 중점을 두어, 동양적인 색채를 재현했다.

향후 연구로는 질감효과에 사용되는 텍스처에 종이와 안

료의 정교한 시뮬레이션 결과를 반영할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것이며, 보다 사실적인 수묵담채화 효과를 위해 윤곽선과 원근효과 등의 향상이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] Shin-jin Kang, Chang-Hun Kim, "Real-Time 3D Sumi-e Painting", *ACM SIGGRAPH Technical Sketch*, 2003.
- [2] D.L.Way, Yu-Ru Lin, "The Synthesis of Trees in Chinese Landscape Painting using Silhouette and Texture Strokes", *In Proceeding of Eurographics*, pp.123-131, 2001.
- [3] QingZhang, Youetsu Sato, "Simple Cellular Automaton-based Simulation of Ink Behaviour and Its Application to Suibokuga-like 3D Rendering of Trees", *The Journal of Visualization and Computer Animation*, October 1999, pp27-37.
- [4] Cassidy J. Curtis, Sean E. Anderson, "Computer-Generated Watercolor", *In Proceeding of SIGGRAPH*, pp. 421-430, 1997.
- [5] Dave Rudolf, David Mould, "Simulating Wax Crayons", *In Proceeding of SIGGRAPH*, pp. 387-396, 1996.
- [6] William Baxter, Jeremy Wendt, "IMPASTO: A Realistic, Interactive Model for Paint", *In Proceeding of NPAR*, pp.45-56, 2004.
- [7] Wei-Jin Lin, Zen-Chung Shin, "Computer-Generated Chinese Painting with Physically-Based Ink and Color Diffusion", *In Proceeding of CGW*, 2004.
- [8] 서제섭, 『담채화(동양화 기법 연구2)』, 형설출판사, 1992.[9] 안동숙, 『정통 동양화기법(총설편)』, 서예사, 1991.
- [10] 박완용, 『한국 채색화기법』,재원출판사, 2002.
- [11] 정종미, 『우리 그림의 색과 칠(한국화의 재료와 기법)』, 학교재, 2001.
- [12] Adam Lake, Carl Marshall, "Stylized Redering Techniques For Scalabel Real-Time 3D Animation", *In Proceeding of NPAR*, pp.13-20, 2000.
- [13] Chet S. Hasse, Gary W. Meyer, "Modeling Pigmented Materials for Realistic Image Synthesis", *ACM Transaction of Graphics*, Vol.11, No.4, October 1992, pp.305-335.
- [14] G Kortum, "Reflectance Spectroscopy", Springer-Verlag, 1969.