

회화적 렌더링을 위한 에지 기반 동적 브러시 스트로크 생성에 관한 연구

박영섭[†], 윤경현^{**}

요 약

회화적 렌더링은 색상, 방향, 크기 그리고 모양 등 브러시 스트로크의 특징을 결정하는 파라미터들에 의해서 다양한 결과를 만들어 낼 수 있다. 본 논문에서는 참조 데이터를 이용하여 소스 영상에 가장 적합한 브러시 스트로크 생성에 관한 방법을 제안하고자 한다. 색상은 실제로 화가들이 사용한 팔레트 색상을 생성하여 이용하였다. 팔레트를 생성하기 위하여 본 논문에서는 특정화가(특히, 고히)의 작품에서 주로 사용된 색상을 참조하였으며 소스 영상에서 사용된 색상과 생성된 팔레트 색상을 비교하여 가장 비슷한 색상으로 색상을 변환하여 브러시 스트로크의 색상을 결정하였다. 방향은 반 고히 스타일 같은 동적인 방향성을 가지는 브러시 스트로크를 표현하기 위해 소스 영상의 에지 방향을 참조 데이터로 사용하여 에지 주변의 브러시 스트로크의 방향을 보간하는 방법을 적용하였다. 크기는 그리고자 하는 대상의 크기에 따라 각 레이어별로 폭이 큰 브러시에서 작은 브러시 순으로 결정하였다. 마지막으로, 모양은 소용돌이치는 듯한 반 고히 스타일을 표현하기 위해 스플라인 곡선을 적용하였다. 이런 방법으로 만들어진 브러시 스트로크는 영영 분할된 각 레이어별로 적용하였으며 렌더링 후에 각 레이어를 합성하였다.

Edge Based Dynamic Brush Stroke Generation for Painterly Rendering

Youngsup Park[†], Kyunghyun Yoon^{**}

ABSTRACT

Painterly rendering may bring various results through the parameters that determine the characteristics of brush strokes such as, color, orientation, size, and shape. In this paper, we propose the most adaptive brush stroke generation for source images, using reference data. Our algorithm used Colors formed by actual palette colors from artists. To create the palette, we have referred mostly to colors used in Van Gogh's works and determined the color of brush strokes by transferring it to the most similar one, through comparing colors used in source images and the palette colors. Also, In order to emulate a brush stroke with dynamic properties like Van Gogh styles we have applied a brush stroke orientation that surrounds the edges by referring to the edge orientation of source images. The sizes were determined depending on the different sizes of the objects from wide to narrow brushes. Finally, we applied spline curve shapes to simulate curves and swirls like Van Gogh styles. The brush strokes created in such method, were applied separately according to its segmented images, and composed after rendering.

Key words: Painterly Rendering(회화적 렌더링), Color Transfer(색상 변환), Brush Stroke(브러시 스트로크), Local Gradient Interpolation(국부 그래디언트 보간) Strong Edge(강한 에지)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 윤경현, 주소 : 서울시 동작구 흑석동 221(156-756), 전화 : 02)820-5308, FAX : 02)824-3018, E-mail : khyoon@cglab.cse.cau.ac.kr
접수일 : 2004년 5월 4일, 완료일 : 2004년 8월 31일

[†] 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

(E-mail : cookie@cglab.cse.cau.ac.kr)

^{**} 정회원, 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 본 논문은 2003학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

1. 서론

화가들은 자기 자신의 스타일로 그림을 그린다. 이런 스타일은 그림을 그리는데 있어서 브러시 스트로크의 색상, 방향, 모양 그리고 크기 같은 요소들에 의해서 표현된다. 무엇보다도, 색상과 방향은 화가의 주관적인 동기에 매우 의존적이다. 예를 들어, 빈센트 반 고흐는 그 자신의 팔레트 색상을 가지고 있으며, 직선보다는 곡선을 주로 사용하였고 정적인 사진에서는 찾아볼 수 없는 동적인 방향을 표현하였으며 보색 대비효과를 사용하여 강렬하고 밝은 색채 효과를 작품에 표현하였다. 본 논문에서는 고흐 작품에서 나타나는 이러한 브러시 스트로크의 특징들을 분석하고, 분석된 데이터를 기반을 둔 적당한 브러시 스트로크를 생성하는 방법을 제안한다.

브러시 스트로크의 특징은 색상, 방향, 크기 그리고 모양과 같은 여러 가지의 파라미터에 의해서 결정된다. 컴퓨터를 이용한 대부분의 회화적 렌더링 알고리즘[1-3]은 이러한 브러시 스트로크의 특징들 중 같은 모양과 같은 크기를 가지는, 매우 간단한 브러시 스트로크를 사용한다.

이러한 이유 때문에 결과 영상은 실제 화가들이 그린 작품에서 나타나는 특징들과 비교하면 동적이고 강렬한 효과를 나타내지 못하고 정적이고 기계적인 느낌을 나타낸다. 본 논문에서는 고흐가 사용하였던 팔레트 색상, 소용돌이치는 듯한 브러시 스트로크의 동적인 방향성, 다양한 사이즈 그리고 다양한 길이를 가진 곡선 브러시 스트로크를 이용하여 회화적 렌더링을 수행하였다.

2. 관련연구

일반적으로, 브러시 스트로크는 회화적 렌더링을 표현하기 위해 사용된다. 회화적 렌더링의 기존 연구자 중, Paul Haerberli는 입력 영상에 사용자 입력을 통하여 브러시 스트로크의 위치와 방향을 결정하는 방법을 제안하였으며 추상적인 효과를 표현하는데 사용되었으나 사용자 입력이 필수적이다[1]. Litwinowicz는 라인과 텍스처를 가지는 브러시 스트로크를 생성하였다[3]. 이 방법에서 사용된 브러시 스트로크의 방향은 입력 영상의 그라디언트(gradient)를 이용하여 결정하였으며, 각 브러시 스트로크의 파라미터에 랜

덤 노이즈 값을 추가하여 다양한 브러시 스트로크를 만들었다. 또한, 영상의 에지를 고려하는 브러시 스트로크 클리핑 방법을 소개하였다. 그러나 입력 영상의 색상을 그대로 사용하여 보색대비 같은 색채효과를 표현하지 못했으며 직선 브러시 스트로크를 사용하였기 때문에 실제 화가들이 손으로 그린 듯한 효과들을 표현하기는 불가능하였다.

Hertzmann는 입력영상에 회화적 렌더링 효과를 자동으로 표현하는 방법을 제안하였다[2]. 이 방법은 스플라인 곡선과 영상의 기울기를 가지는 에지를 따라 브러시 스트로크를 만들었으며 한 장의 영상을 여러 레이어로 나누고 각 레이어는 같은 크기의 브러시 스트로크를 생성하여 렌더링 하였다. 또한, 최종 결과 영상의 질을 개선하기 위해 폭이 큰 브러시에서 작은 순으로 각 레이어에 적용하였다. 그러나 이 방법은 실제 회화적 작품에서 보여주는 브러시 스트로크의 질감을 표현하지 못했으며 에지 부분에서 서로 다른 그라디언트를 가지는 여러 개의 브러시 스트로크들이 표현됨으로써 결과 영상이 블러링한 효과를 나타내고 있다. 본 논문에서는 기존 방법들[1-3]의 단점들을 보완하여 동적인 방향성을 가지는 브러시 스트로크의 파라미터를 결정하는데 있어서 참조데이터를 이용하는 방법을 제안한다. 첫째, 브러시의 색상은 고흐가 사용하였던 팔레트 색상을 참조하고, 색상변환을 통하여 브러시의 색을 결정하였다. 둘째, 브러시의 방향은 입력 영상의 강한 에지들의 방향을 기반으로 에지 주변의 브러시 스트로크의 방향을 결정하였다. 마지막으로, 다양한 크기를 가진 스플라인 곡선 브러시 스트로크를 적용하였으며 브러시 스트로크마다 영역 클리핑을 통하여 그리고자 하는 대상을 표현하였다.

3. 동적인 방향성을 가지는 브러시 스트로크의 생성

참조 데이터를 이용하여 소스 영상에 적합한, 동적인 방향성을 가지는 브러시 스트로크를 생성하는 알고리즘은 크게 2단계로 나눌 수 있다. 하나는 실제 회화 작품을 입력하여 그 작품에서 사용된 팔레트 색상을 구성하는 것이다. 다른 하나는 색상, 방향, 크기 그리고 모양과 같은 브러시 스트로크의 파라미터를 설정하는 것이다. 브러시 스트로크의 색상은 소스

영상에서 사용된 색상과 참조 영상들로부터 만들어진 팔레트 색상 중 비슷한 색상을 한 쌍으로 설정하고 색상변환 알고리즘을 적용한다. 방향은 강한 에지 방향을 기반으로 주변 픽셀들의 방향을 보간한다. 크기는 큰 브러시에서 작은 브러시로 사이즈를 줄여나가면서 각 레이어별로 캔버스에 렌더링 한다. 모양은 소용돌이치는 듯한 동적인 효과를 표현하기 위해 스플라인 곡선을 사용하였다. 그림 1은 본 논문에서 제안하고 있는 시스템 흐름도이다.

3.1 영역분할 및 병합

화가들은 실제 그림을 그릴 때 전경과 배경을 먼저 구분한다. 이는 채색단계에 들어가기 전에 연필로 스케치함으로써 전체적인 형태와 공간비례, 채색방법 그리고 명암의 형태 등 소재의 성격을 이해하기 위함이다. Hertzmann은 전경과 배경을 나누는 방법을 취하지 않고 전체 이미지를 하나의 객체로 보고 그리드별로 나누어 채색하는 방법을 사용하였다[2]. 이때 하나의 브러시 스트로크가 두 객체를 가로지르는 것을 막기 위해 에지 클리핑을 적용하였다. 그러나 이 방법은 에지가 정확하게 표현되어야 좋은 결과를 얻을 수 있다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이런 단점을 극복하고자 전처리과정으로서 Deng의 방법 [13]을 적용하여 영역분할을 하였다. 분할된 각 영역은 주변 영역과의 색상 차이를 비교하여 다시 병합하는 영역 분할 및 병합을 사용하였다.

3.2 색상

색상은 화가의 주관적인 동기에 매우 의존적이며 화가들마다 개개인의 독특한 팔레트 색상을 가지고 있다. 본 논문에서는 기존 화가들의 작품(주로, 색상 대비가 잘 표현된 반 고흐 작품 위주로)에 사용된 색상의 분포를 분석하고 색채이론을 바탕으로 팔레트 색상을 생성한다. 생성된 팔레트 색상과 입력 영상의 색상간에 색상 변환을 통하여 특정 화가의 분위기를 표현하고자 한다.

3.2.1 팔레트 색상 생성

실제 고흐가 어떤 팔레트 색상을 사용하였는지 정확하게 알 수 있는 방법은 없다. 그래서 본 논문에서는 고흐의 작품을 통하여 역으로 고흐만의 팔레트 색상을 추정하려고 한다. 팔레트 색상 생성 과정은 그림 2처럼 3단계로 나눌 수 있다. 첫째, 참조 영상을 입력한다. 본 논문에서는 고흐의 팔레트 색상을 생성하기 때문에 고흐의 작품을 참조영상으로 사용하였다. 둘째, Deng의 방법[9]에 의해서 칼라 양자화를 한다. 이 방법은 영상의 질은 보존하면서 색상의 수를 줄여주는 특징을 가지고 있다. 다시 말해서, 양자화된 색상은 특정 영역의 대표색상으로 간주할 수 있다는 것을 의미한다. 마지막으로, 각 영역의 대표색상을 팔레트 색상에 추가한다. 이때, 여러 장의 고흐 작품을 참조하기 때문에 비슷한 색상이 나올 수 있다. 이럴 경우, 두 색상간의 거리가 임계치 T보다

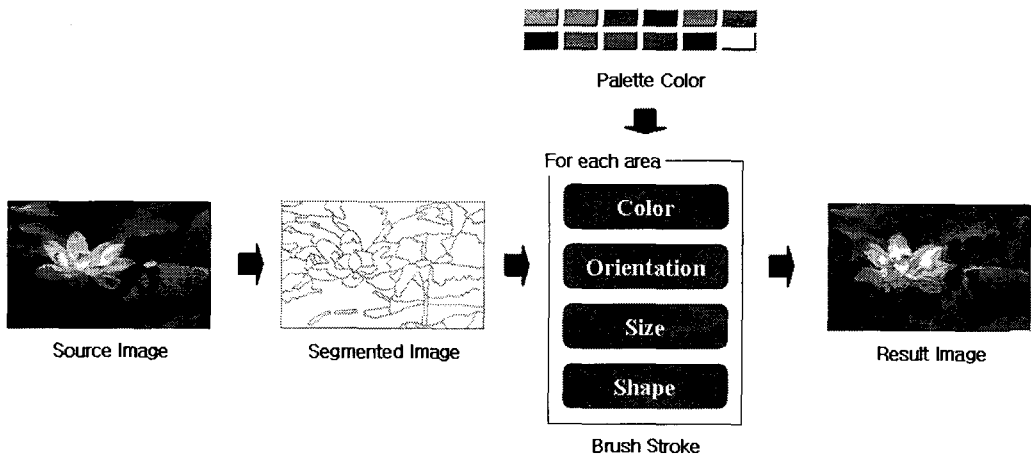


그림 1. 시스템 흐름도

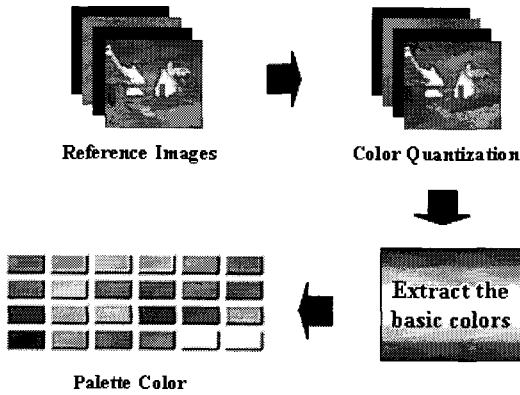


그림 2. 팔레트 칼라 생성 과정

적을 때 두 색상의 평균을 계산하여 팔레트 색상을 재구성한다. 또한, 따뜻한 색상과 차가운 색상으로 분류하여 팔레트 색상을 생성할 수도 있다.

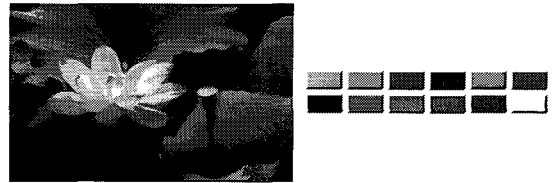
3.2.2 색상 변환

색상변환은 Reinhard가 제안한 방법이다[4,5]. 이 방법은 각 축별로 상관관계가 거의 없는 색상 공간인 $l\alpha\beta$ 색상공간을 사용한다. α 축과 β 축은 각각 노랑-파랑채널과 빨강-녹색 채널을 의미하는 반면에 l 축은 무색 채널을 나타낸다. 본 논문에서는, 필요한 $l\alpha\beta$ 색상 공간에서 각 축별로 1차 통계치 데이터를 계산한다. 이러한 통계치 데이터는 소스 영상의 대표 색상 집합과 참조 영상들의 대표 색상 집합들 간의 색상 변환을 위해 사용된다. 색상 변환은 픽셀 단위로 처리되며 (식1)을 이용하여 $l\alpha\beta$ 각 축의 평균과 표준편차를 매칭하는 선형 맵을 적용한다[4,5,7,8,10,11]. 또한, 색상변환을 하고자 하는 소스 데이터와 참조 데이터는 일대일 매칭이 선행되어야 하며, 두 색상간의 거리가 최소인 색상끼리 한 쌍을 이루어 변환하였다.

$$x_{target} = \frac{\sigma_{reference}}{\sigma_{source}} (x_{source} - m_{source}) + m_{reference} \quad (1)$$

(식1)의 m_{source} 와 $m_{reference}$ 은 소스 영상과 참조 영상의 평균값이며 σ_{source} 와 $\sigma_{reference}$ 는 소스 영상과 참조 영상의 표준편차이다.

그림 3은 한 장의 고풍 작품을 참조하여 팔레트 색상을 만들었다. 그리고 만들어진 팔레트 색상 테이블을 참조하여 (식1)을 이용하여 픽셀단위로 색상을 변환하였다. 특정 위치(x,y)의 브러시 스트로크의 색상은 그림 3(C)의 색상 변환된 영상으로부터 캔버스



(A) 소스 영상 (B) 팔레트 색상



(C) 색상 변환된 영상

그림 3. 소스 영상과 팔레트를 사용하여 색상 변환된 영상

에 그릴 브러시 스트로크의 색상을 가져온다.

3.3 방향

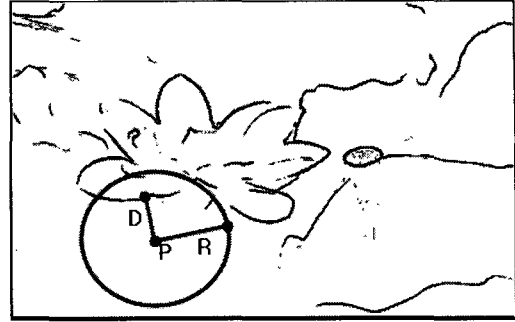
화가들은 일반적으로 그리고자 하는 대상의 외곽선을 따라 그림을 그린다. Litwinowicz는 국부 그라디언트 보간법(local gradient interpolation)을 제안하였다[3]. 이 방법은 특정 위치의 그라디언트 크기가 0에 가까운 픽셀일 경우 주변 픽셀의 그라디언트를 보간함으로써 브러시 스트로크의 방향을 결정하였다. 그러나 그라디언트의 크기가 전반적으로 0에 가까운, 파란 하늘과 같은 주변 색상과의 차이가 거의 없는 부분일 경우에는 주변 픽셀의 그라디언트도 0에 가까기 때문에 브러시의 방향을 찾아내기가 어렵다. 본 논문에서는 이런 단점을 보완하고자 에지 부분의 그라디언트 크기와 특정 픽셀에서 에지까지의 거리를 이용하여 특정 픽셀의 그라디언트를 보간하였다. 이 방법은 Litwinowicz의 방법[3]을 역으로 적용하였다. 특정 위치의 그라디언트 크기가 임계치 T보다 큰 위치를 에지로 설정하고 특정 위치 P에서 에지까지의 최단거리를 계산한다. 그 다음에, 특정 위치 P를 기준으로 최단거리의 rate 배인 반지름 R안의 영역 안에 존재하는 에지들의 가중치를 계산하였다. 변수 rate는 실험치이며, 1.0~2.0 사이의 값이다.

$$weight = \left(\frac{MinDistance}{Distance} \right)^b \quad (2)$$

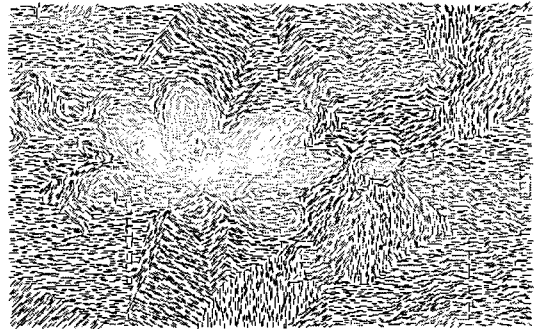
(식2)는 각 에지의 가중치를 계산하는 식이다. 파라미터 MinDistance는 점 P에서 반경 R내에 존재하는 에지들 중 최단거리이며 Distance는 점 P에서 반경 R내에 존재하는 에지들 간의 거리이고 b는 상수이다. 점 P와 반경 R은 그림 4(a)에서 설명하고 있다.

표 1은 그래디언트 보간 알고리즘으로, 반지름 R내에 존재하는 에지들의 가중치와 그래디언트의 합을 계산하여 특정 픽셀의 그래디언트를 구하였다. 이 방법은 물핑[12]에서 사용된 보간법을 변형하여 사용된 식이다.

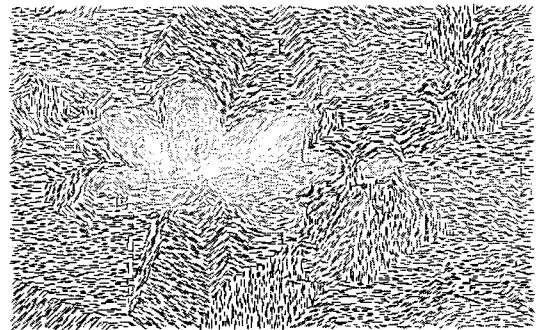
그림 4(B)~(D)는 에지 영상과 주변 에지들의 기울기 정보를 이용하여 rate 값의 변화에 따른 해당 픽셀의 그래디언트를 구한 결과 영상이다. 이 결과영상에서 보여준 것처럼 rate값이 증가함에 따라 특정 대상의 외곽선을 부드럽게 따라간다는 것을 알 수 있다.



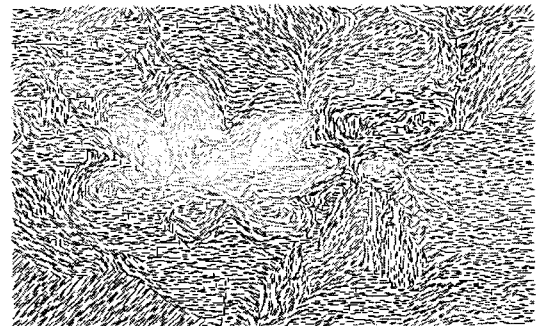
(A) 에지 영상



(B) rate가 1.0일 경우 그래디언트 영상



(C) rate가 1.5일 경우 그래디언트 영상



(D) rate가 2.0일 경우 그래디언트 영상

3.4 크기 및 모양

브러시 스트로크의 크기는 적용되는 영역 크기에 따라 2~16 픽셀의 크기를 가진다. 큰 브러시에서 작은 브러시 순으로 각 분할된 영역을 칠한다. 브러시 스트로크의 모양은 일반적으로 곡선으로 표현되므로 그림 5처럼 곡선 표현이 가능한 스플라인 곡선을 이용하였다. 이 방법은 반 고희 작품에서 많이 나타나는 소용돌이치는 듯한 모양을 표현하기 위해서 스플라인 곡선을 사용하였다. 스플라인 곡선의 제어점(control point)은 각 픽셀의 기울기를 참조하여 선택되며, 스트로크의 시작점에서 기울기를 따라 최소 4개, 최대 16개의 제어점을 추출한다. 브러시 스트로크의 너비는 결정된 최대 16개의 제어점을 따르는 스플라인 곡선을 기준으로 상하 또는 좌우 양 방향으로 주어진 너비만큼 확장하여 표현하였다. 이렇게 확장된 스플라인 곡선에서 3픽셀 간격으로 점을 추출하여 다각형을 형성하고, 스캔 라인 필(scan line fill) 알고리즘을 이용하여 다각형의 내부를 입력 이미지에서 스트로크의 시작점에 해당하는 색깔로 채운다.

3.5 영역 클리핑

일반적으로 화가들이 그림을 그릴 때 각각의 브러

그림 4. 에지 영상과 rate값의 변화에 따른 그래디언트 영상

표 1. 그래디언트 보간 알고리즘

```

Function GradientInterpolation(x,y)
begin
  TotalOfGradient = 0;
  TotalOfWeight = 0;
  MinDistance = Minimum Distance from (x,y) to edges
  R = MinDistance * rate
  while(edges in the circle)
  begin
    Distance = Distance from (x,y) to edge
    weight = (MinDistance / Distance)b
    TotalOfGradient += Gradient(edge)
    TotalOfWeight += weight;
  end
  return TotalOfGradient / TotalOfWeight
end
    
```

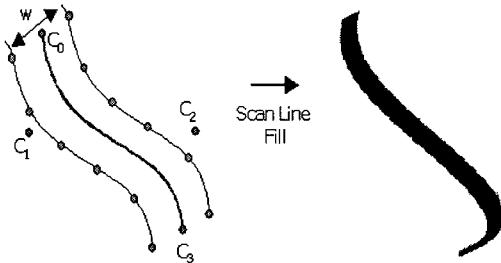
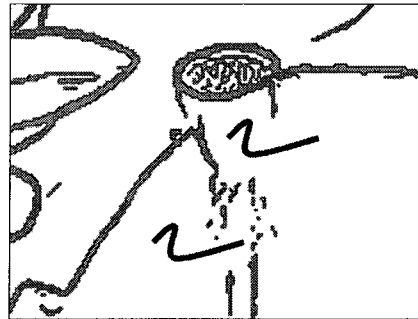
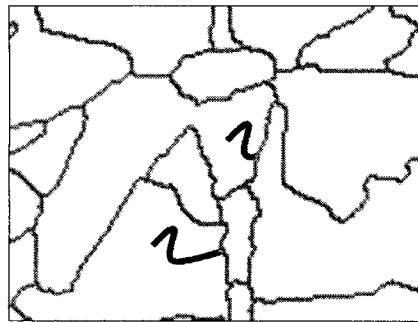


그림 5. 스플라인 곡선을 이용한 브러시 스트로크

시 스트로크가 그리고자 하는 대상의 에지를 가로지르지 않도록 함으로써 이웃하는 대상과 구별을 한다. 이런 과정을 렌더링하기 위해 Litwinowicz은 브러시 각각에 에지 클리핑 방법을 적용하였다[3]. 이 방법은 임계치 T의 값에 따라 에지의 정보가 자세하게 또는 성기게 나타나기 때문에 사용자가 여러 번의 실험을 거쳐 적당한 임계치를 알아내야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 보완하고자 영역 클리핑을 적용하였다. 이 방법은 사전 처리과정으로 입력 영상의 영역을 분할하고, 각 분할된 영역별로 브러시 스트로크를 적용한 다음 각 영역별로 합성한다. 그림 6은 에지 클리핑 방법과 영역 클리핑 방법을 설명하고 있다. 그림 6(A)에서 알 수 있듯이, 임계치 T를 작게 설정하면 에지 정보가 너무 자세하게 나타나게 되고 브러시 스트로크의 길이가 짧아지는 경향이 나타난다. 임계치 T를 크게 설정하면 에지 정보가 너무 성기게 나타나게 되고 에지 클리핑 방법을 그리고자



(A) 에지 클리핑



(B) 영역 클리핑

그림 6. 에지 클리핑과 영역 클리핑

하는 대상에 맞게 정확히 적용할 수가 없다. 본 논문에서는 이런 문제점을 보완하고자 영역 분할된 각 영역을 하나의 레이어로 간주하고 레이어별로 브러시 스트로크를 적용하였다. 그림 6(B)는 영역 클리핑 방법을 보여주고 있다. 그리고자 하는 각 영역은 브러시 스트로크의 방향을 다르게 적용해야 하기 때문에 영역 클리핑 방법을 적용함으로써 각각의 대상을 정확하게 표현할 수 있다.

4. 결 과

그림 7은 한 장의 참조 영상을 이용하여 만든 팔레트 색상으로부터 브러시 스트로크의 색상을 결정하였으며 브러시 스트로크의 방향에 영향을 주는 rate 값은 1.5를 적용하여 렌더링 하였다. 이 결과 영상은 색상을 참조하는 영상이 한 장이기 때문에 단지 12가지 색상만을 이용하여 실제 입력 영상의 색상과는 차이가 있지만 색상변환 방법[4]을 통하여 자연스러운 렌더링 결과 영상을 얻을 수 있었다. 또한, 브러시 스트로크의 방향은 에지의 방향을 따라 흘러가는 듯

한 효과를 표현하였다. 그림 8(B)의 팔레트 색상 테이블은 열 장의 참조 영상을 이용하여 생성하였으며

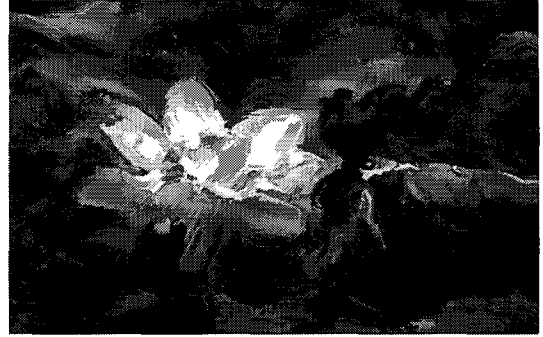
그림 8(C)의 그라디언트 영상은 rate 값 2.0을 적용하였다. 이 결과 영상은 10장의 참조 영상을 이용하여



(A) 소스 영상



(B) 팔레트 색상

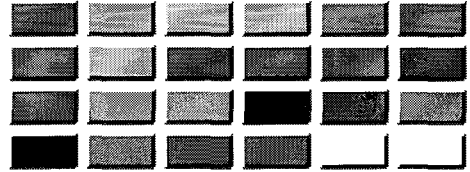


(C) 결과 영상

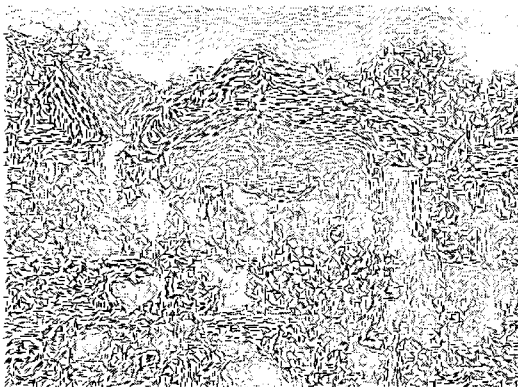
그림 7. 소스 영상과 팔레트 색상을 이용하여 렌더링 한 결과 영상



(A) 소스 영상



(B) 팔레트 색상



(C) 그라디언트 영상(rate : 2.0)



(D) 결과 영상

그림 8. 소스 영상과 열 장의 참조 영상으로부터 생성된 팔레트 색상을 이용하여 렌더링 한 결과 영상

23가지 팔레트색상을 생성하였기 때문에 입력 영상의 색과 유사한 색을 선택할 수 있었다. 이는 팔레트 색상의 색이 많을수록 입력영상의 색과 유사하게 렌더링 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 8(D)의 지붕부분에서 그라디언트 보간을 통한 브러시 스트로크의 방향이 잘 나타나 있다. 직선으로 이루어진 입력 영상과는 달리 길고 다양한 곡선을 표현함으로써 동적인 효과를 표현하였다. 그림 9는 차가운 색상 그림 9(C)와 따뜻한 색상 그림 9(D)로 나누어서 팔레트 색상을 생성하여 렌더링 하였다. 이 결과 영상에서는 브러시 스트로크의 색상을 한색과 난색으로 나누어서 각각 적용한 것이다. 결론적으로, 팔레트 색상을 만들기 위해 N장의 참조 영상을 이용할 수 있으며 참조 영상이 추가될 때마다 팔레트 색상은 색상간

의 거리를 고려하여 재구성된다. rate값이 클수록 영향을 받는 에지 주변의 영역이 커진다는 것을 알 수 있다. 또한, 브러시 스트로크의 방향은 에지의 방향에 의해 결정되기 때문에 실제 화가들의 주관적인 의도에 의존한 동적인 요소를 표현하였다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 동적인 방향성을 가지는 브러시 스트로크 생성을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 브러시 스트로크의 색상은 입력 영상에 존재하는 색상만을 이용하여 회화적 표현을 한 기존 방법들[1-3,6]과는 달리 실제 화가들(특히, 반 고흐)의 작품을 참조로 하여 팔레트 색상을 만들고 이러한 팔레트 색상을



(A) 소스 영상



(B) 소스 영상



(C) 차가운 계열의 팔레트 색상



(D) 따뜻한 계열의 팔레트 색상



(E) 결과영상



(F) 결과 영상

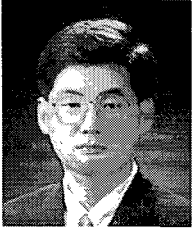
그림 9. 소스 영상과 팔레트 색상을 이용하여 렌더링 한 결과 영상

기반으로 브러시 스트로크의 색상을 선택하여 입력 영상에서 느낄 수 없는 강렬한 효과를 표현하였다. 동적인 방향성을 가지는 브러시 스트로크를 생성하기 위해 입력 영상의 에지 정보와 특정 픽셀에서 에지까지의 거리를 이용하여 특정 픽셀의 그라디언트를 보간하였다. 이 방법은 입력 영상의 모든 픽셀에 대하여 기울기를 구하는 기존 방법들[1,2]과는 달리 강한 에지들을 기반으로 주변 픽셀의 기울기를 재계산함으로써 동적 브러시 스트로크를 표현하였다. 브러시 스트로크의 폭은 각 레이어별로 적용되는 영역 크기에 따라 2~16 픽셀의 폭으로 회화적 표현을 적용하였다. 모양은 소용돌이치는 듯한 곡선을 표현하기 위해 스플라인곡선을 이용하여 상하 또는 좌우 방향으로 주어진 너비만큼 확장하여 표현하였다.

실제 회화 작품에서 나타나는 브러시 스트로크는 팔레트 색상, 영역별 방향성, 모양 그리고 크기 외에 질감, 글레이징(gazing) 효과 그리고 색 혼합 등의 성질을 가지고 있다. 이러한 효과를 표현하기 위해 실제 물감의 유체역학적인 특징을 분석하여 시뮬레이션하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

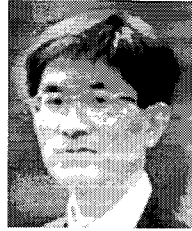
- [1] Paul Haeberli, "Paint by Numbers: Abstract image representations", SIGGRAPH 90 Proceeding, pp 207-214, 1990.
- [2] Aaron Hertzmann, "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes", SIGGRAPH 98 Proceeding, pp 453-460, 1998.
- [3] Peter Litwinowicz, "Processing Images and Video for an impressionist effect", SIGGRAPH 97 Proceeding, pp 407-414, 1997.
- [4] E.Reinhard, M.Ashikhmin, B.Gooch, and P. Shirley, "Color transfer between images", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 21, No.5, pp 34-41, 2001.
- [5] D.L.Ruderman, T.W.Cronin, and C.C.Chiao, "Statistics of cone response to natural images : implications for virtual coding", Journal of Optical Soc. of America, Vol. 15, No. 8, pp 2036-2045, 1998.
- [6] Diego Nehab and Luiz Belho, "Multiscale moment-based painterly rendering", In SIGGRAPH'02, pp 244-251, IEEE, 2002.
- [7] G.R. Greenfield, D.H.House, "Image Recoloring Induced by Palette Color Associations", Journal of WSCG, Vol. 11, No. 1, 2003.
- [8] Y.Chang, S.Saito, and M.Nakajima, "Color Transformation Based on the Basic Color Categories of a Painting", Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH, pp 157, 2002.
- [9] Y.Deng, C.Kenney, M.S.Moore, and B.S. Manjunath, "Peer group filtering and perceptual color image quantization", In Proc. of ISCAS, pp.21-24, 1999.
- [10] Kenneth Castleman, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1996.
- [11] R.W. Floyd and L.Steinberg, "An Adaptive Algorithm for spatial Gray Scale", In Society for Information Display Digest, Vol. 17, pp 75-77.
- [12] Thaddeus Beier, Shawn Neely, "Feature Based Image Metamorphosis", SIGGRAPH 92 Proceeding, pp 35-42, 1992.
- [13] Y. Deng, B.S. Manjunath and Hyundoo Shin, "Color Image Segmentation", Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2446~2451, 1999.



박 영 섭

1995년 대전대학교 전자계산학과(공학사)
2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과(공학석사)
2001년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 회화적 렌더링, 모자이크 렌더링, 영상기반 렌더링, 영상 모핑



윤 경 현

1980년 중앙대학교 전자계산학과(공학사)
1983년 중앙대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)
1983년~1985년 한국전기연구소 연구원

1988년 Univ. of Connecticut 전자계산학과(공학석사)

1991년 Univ. of Connecticut 전자계산학과(공학박사)

1991년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 렌더링, Proceduralism, GIS, 영상기반모델링과 렌더링, 비사실적 렌더링