

칼라변환을 이용한 브러쉬 스트로크의 생성에 관한 연구

박영섭, 윤경현

중앙대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터그래픽스연구실

{cookie, khyoon}@cglab.cse.cau.ac.kr

A Study of Brush Stroke Generation Using Color Transfer

Park Young Sup, Yoon Kyung Hyun

Computer Graphics Lab. CS&E, Chung-Ang University

요 약

본 논문에서는 회화적 렌더링에서 칼라변환을 이용한 브러쉬 스트로크의 생성에 관한 새로운 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 브러쉬 스트로크 생성을 위한 전체적인 구성은 다음과 같다. 첫째, 두 장의 사진(한 장의 소스 이미지와 한 장의 참조 이미지)을 입력으로 하여 칼라 변환 이론을 적용하여 색상 테이블이 바뀐 새로운 이미지를 생성한다. 이 방법은 소스 이미지의 칼라 분포 형태를 참조 이미지의 칼라 분포 형태로 변환하기 위해, 선형 히스토그램 매칭이라 불리는, 간단한 통계학적 방법을 이용한다. 둘째, 가우시안 블러링과 소벨 필터를 이용하여 에지를 검출한다. 검출된 에지는 브러쉬 스트로크 렌더링 시 에지 부분에서 스트로크를 클리핑 함으로써 이미지의 윤곽선 보존을 위해 사용된다. 셋째, 브러쉬 스트로크의 방향을 결정하기 위한 방향맵을 생성한다. 방향맵은 입력 영상에 대한 영역 분할 및 병합을 토대로 만들어진다. 영역별 각 픽셀들에 대해 이미지 그래디언트에 기초한 일정한 방향을 부여함으로써 방향맵을 구성한다. 넷째, 구성된 방향맵을 참조하여 브러쉬 스트로크 생성의 기초가 되는 베지어 곡선(Bezier Curve)의 제어점(Control point)을 설정한다. 실제 회화작품에서 사용되는 브러쉬 스트로크는 일반적으로 곡선의 형태를 이루므로 곡선 표현이 가능한 베지어 곡선을 이용하여 브러쉬 스트로크를 표현하였다. 마지막으로, 생성된 브러쉬 스트로크를 에지부분에서 클리핑하고 배경색을 참조하여 블렌딩하거나 푼 조명 모델을 이용하여 이미지에 적용하게 된다.

Keyword : Non photorealistic rendering, Painterly rendering, color transfer, directional brush stroke

1. 서론

컴퓨터 그래픽스의 렌더링 분야에서는 사실적 영상 생성에 목적을 두고 많은 연구가 진행되어 왔으나, 최근 비사실적 렌더링에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 비사실적 렌더링은 기존의 광선추적법, 레디오시티 등과 같이 사실적인 영상을 생성해내는 렌더링 방법과 달리, 사람이 만들어낸 예술적인 이미지들을 컴퓨터로 표현해 내려는 렌더링 기술이다. 본 논문에서는 비사실적 렌더링 방법들 중 손으로 그린 듯한 효과를 시뮬레이션하는 회화적 렌더링[1, 2, 3, 4, 7]에 대하여 연구하였다.

화가들은 자기 자신의 스타일로 그림을 그린다. 이런 스타일은 그림을 그리는데 있어서 브러쉬 스트로크의 색상, 모양, 위치, 방향 그리고 질감 같은 요소들에 의해서 표현된다. 무엇보다도, 색상은 화가의 주관적인 동기에 매우 의존적이다. [그림 1]은 녹색과 빨간색을 나란히 배치하였을 때 강렬한 보색대비효과를 느낄 수 있다는 것을 보여준다. 본 논문에서는 색상 대비가 잘 표현된

반 고흐 작품을 참조영상으로 사용하였으며 색상의 분포를 분석하고 색채이론을 바탕으로 회화적 렌더링에서 브러쉬 스트로크의 색상을 재구성하고 방향성을 가지는 브러쉬 스트로크를 생성하는 방법을 제안한다.



(A) 보색대비효과



(B) 보색대비효과가 잘 표현된 반 고흐의 작품

[그림 1] 녹색과 빨간색을 나란히 배치하였을 때 강렬한 색채대비효과를 얻을 수 있다. 이러한 색채대비효과는 주로 반 고흐 작품에서 많이 나타나는 특징이다.

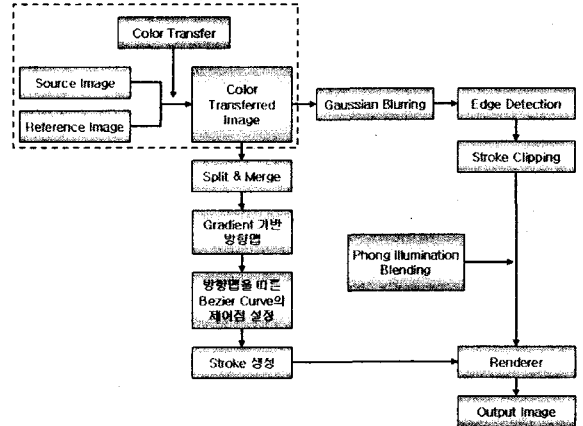
2. 관련연구

회화적 렌더링의 기존 연구에서는 브러쉬 스트로크의 색상을 선택하기 위해 크게 두 가지 방법으로 나뉘어진다. 하나는 소스 영상의 색상을 그대로 사용하는 방법이다 [1,2,3]. 이 방법은 소스 영상에서 제공하는 많은 색상을 그대로 사용하기 때문에 [그림 1]과 같은 색채대비효과는 표현될 수는 없다. 다른 하나는 한 장의 소스 영상과 한 장의 참조 영상만을 이용하여 브러쉬 스트로크의 색상을 결정하기 때문에 참조 영상에서 사용된 색상에 매우 의존적이다 [8]. 이 방법은 하나의 영상에 대하여 하나의 통계적 수치($\alpha\beta$ 색상 공간에서 각 채널별 평균값과 표준편차를 말함)를 계산하고 픽셀단위로 영상 전체에 색상변환을 적용하였다. 이 방법의 단점은 각 $\alpha\beta$ 채널별로 소스 영상의 색상분포와 참조영상의 색상분포가 유사하지 않을 경우 색상 변환이 제대로 수행되지 않는다는 점이다. 본 논문에서는 이런 단점을 극복하고자 소스 영상과 참조 영상에서 사용된 색상을 대부분의 화가들이 유화를 그릴 때 많이 사용하는 12가지 색상을 기준으로 영역을 나누어서 각 영역별로 1차 통계치 데이터를 계산하고 색상 변환을 시도하였다.

Shiraishi는 소스 영상의 국부 영역을 근사하기 위해 색도(chromaticity) 정보를 고려하였다 [4,7]. 브러쉬 스트로크의 속성은 국부 소스 영상과 브러쉬 스트로크의 색상 차로 얻어진, 색상 상위 영상(color difference image)의 영상 모멘트를 계산하였다. 모멘트는 색상의 한 축인 영도만을 이용하였으며 브러쉬 스트로크의 모양 및 방향을 계산할 수 있다. 이 방법에서 얻은 브러쉬 스트로크의 방향은 영상의 기울기에 따라 방향을 결정하는 기존 방법들 [2,3]과 큰 차이가 없다. 본 논문에서는 영역분할 및 병합에 기반한 방향성을 갖는 스트로크 생성을 연구하여 손으로 그린 듯한 효과를 시뮬레이션하는 방법을 제안한다.

Reinhard는 색상 컬렉션을 목표로 색상 변환을 테스트 하였다 [5]. 이 방법은 색상 팔레트가 유사한 영상들한테는 매우 적당한 방법이다. 이 논문의 주요 특징은 Ruderman의 $\alpha\beta$ 색상 공간을 확인한 것이다. Ruderman의 방법은 사실상 통계적이며 픽셀 단위로 이루어진다 [6]. 본 논문에서는 Ruderman의 방법과는 달리 세 가지 색상 공간을 이용한다. 칼라 양자화는 LUV 색상 공간에서 실행된다. 브러쉬 스트로크의 색상을 선택하는 것은 실세계의 칼라 영상의 범위에 적당한 $\alpha\beta$ 색상 공간에서 실행된다. $\alpha\beta$ 색상 공간의 각 축은 상관관계가 매우 적다. 마지막으로 소스 영상의 대표 색상 집합과 참조 영상들의 대표 색상 집합 사이의 대응 관계를 설정하는 것은 HSI 색상 공간에서 실행된다.

3. 브러쉬 스트로크



[그림 2] 시스템 구조

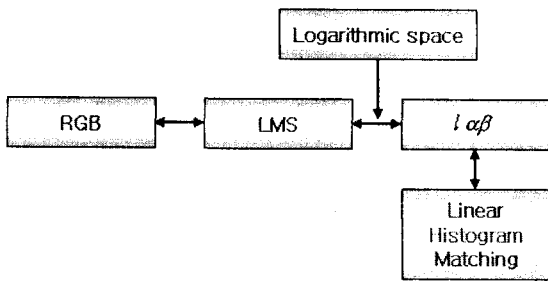
사진 영상으로부터 실제 회화 작품(특히 고흐 작품)과 같은 결과를 얻기 위해 일반적으로 입력 영상에 방향성을 가진 브러쉬 스트로크를 적용하고 색상대비가 뚜렷한 고흐 작품을 참조하여 색상 테이블을 생성한다. 본 논문의 브러쉬 스트로크 생성과 적용을 위한 시스템 구조를 [그림 2]에 나타내었으며, 전체적인 구성은 다음과 같다. 첫째, 두 장의 사진(소스 이미지와 참조 이미지)을 입력으로 하여 칼라 변환 이론을 적용하여 색상 테이블이 바뀐 새로운 이미지를 생성한다. 이 방법은 소스 이미지의 칼라 분포 형태를 참조 이미지의 칼라 분포 형태로 변환하기 위해, 선형 히스토그램 매칭이라 불리는, 간단한 통계학적 방법을 이용한다. 둘째, 가우시안 블러링과 소벨 필터를 이용하여 에지를 검출한다. 검출된 에지는 브러쉬 스트로크 렌더링 시 에지 부분에서 스트로크를 클리핑 함으로써 이미지의 윤곽선 보존을 위해 사용된다. 셋째, 브러쉬 스트로크의 방향을 결정하기 위한 방향맵을 생성한다. 방향맵은 입력 영상에 대한 영역 분할 및 병합을 토대로 만들어진다. 영역별 각 픽셀들에 대해 이미지 그라디언트에 기초한 일정한 방향을 부여함으로써 방향맵을 구성한다. 넷째, 구성된 방향맵을 참조하여 브러쉬 스트로크 생성의 기초가 되는 베지어 곡선(Bezier Curve)의 제어점(Control point)을 설정한다. 실제 회화작품에서 사용되는 브러쉬 스트로크는 일반적으로 곡선의 형태를 이루므로 곡선 표현이 가능한 베지어 곡선을 이용하여 브러쉬 스트로크를 표현하였다. 마지막으로, 생성된 브러쉬 스트로크를 에지부분에서 클리핑하고 배경색을 참조하여 블렌딩하거나 풍 조명 모델을 이용하여 이미지에 적용하게 된다.

3.1 브러쉬 스토르크의 색상 결정

전형적인 3채널 이미지가 가장 잘 알려진 칼라 공간으로 표현될 때, 각각의 채널값들 사이에는 상호관계가 있다. 예를 들어, RGB 칼라 공간에서, 만일 B 채널이 크다면, 대부분의 픽셀들은 R 채널과 G채널도 큰 값을 가지게 된다. 이는 만일 픽셀 칼라 값에 변화를 준다면, 모든 칼라 채널을 수정해야한다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 각 채널들 사이의 상관관계를 최소화하는, 인식기반 칼라 공간 $l\alpha\beta$ 으로 변환하여 선형 히스토그램 매칭 방법을 적용한다[5,6]. 칼라 변환은 [그림 3]의 순서를 따른다.

3.1.1 $l\alpha\beta$ 칼라 공간으로의 변환

$l\alpha\beta$ 칼라 공간은 LMS 칼라 공간의 변형이기 때문에 먼저 RGB 칼라 공간을 LMS 칼라공간으로 변환한다.

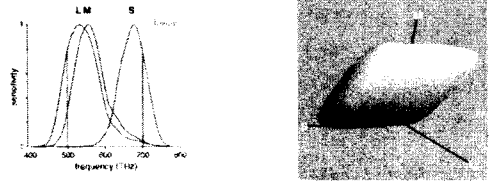


[그림 3] 칼라 변환 순서

[식 1]은 RGB 칼라 공간을 LMS 칼라 공간으로 변환해주는 식이다.

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

LMS 칼라 공간은 기본적인 칼라 공간이다. 각 파라미터 (L, M, S)는 세 가지 원뿔 형태의, 눈에 들어오는 빛의 입자수와 비례한다. [그림 4]은 LMS 칼라 공간을 보여준다.



[그림 4] LMS 칼라 공간

둘째, LMS 칼라 공간에서의 데이터는 [그림 4]에서 보여주는 것처럼 기울어져 있다. 이를 없애기 위해 [식 2]를 이용하여 로그 공간으로 변환한다.

$$\begin{aligned} L' &= \log L \\ M' &= \log M \\ S' &= \log S \end{aligned} \quad (2)$$

마지막으로, [식 3]을 이용하여 각 채널들 사이의 상관관계를 최소화하는, 인식기반 칼라 공간 $l\alpha\beta$ 으로 변환한다.

$$\begin{aligned} l &= \frac{1}{\sqrt{3}}(L' + M' + S') \\ \alpha &= \frac{1}{\sqrt{6}}(L' + M' - 2S') \\ \beta &= \frac{1}{\sqrt{2}}(L' - M') \end{aligned} \quad (3)$$

[식 4]에서 보여주는 것처럼 l 축은 Achromatic 채널이며, α 축은 Yellow-blue 보색채널이고 β 축은 red-green 보색 채널이다.

$$\begin{aligned} \text{Achromatic} &\propto r + g + b \\ \text{Yellow - blue} &\propto r + g - b \\ \text{Red - green} &\propto r - g \end{aligned} \quad (4)$$

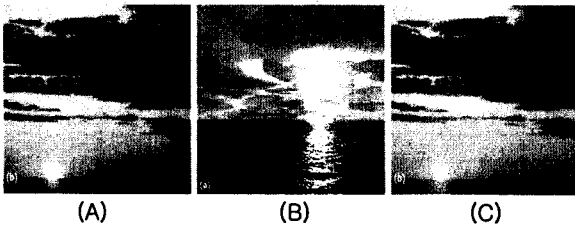
3.1.2 선형 히스토그램 매칭

선형 히스토그램 매칭은 한 영상의 칼라 분포가 다른 영상의 칼라 분포와 유사한 분포를 가지도록 하기 위해서 영상의 픽셀값을 처리하는 방법이다. 다시 말해서, 소스 이미지(일반적인 사진영상)와 참조 이미지(고흐 그림)가 있을 때, 참조 이미지의 색상이 주는 분위기와 느낌을 소스 이미지에서도 느낄 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해 $l\alpha\beta$ 칼라 공간에서 각각의 축에 대해서 평균과 표준편차를 계산한다. 그 다음에 [식 5]를 이용하여

소스 이미지의 색상을 변환한다.

$$\begin{aligned}
 l &= \frac{\sigma_l}{\sigma_s} (l - l_s^m) + l_r^m \\
 \alpha &= \frac{\sigma_r}{\sigma_s} (\alpha - \alpha_s^m) + \alpha_r^m \\
 \beta &= \frac{\sigma_b}{\sigma_s} (\beta - \beta_s^m) + \beta_r^m
 \end{aligned} \tag{5}$$

l 는 색상이 변환된 소스 이미지의 $l\alpha\beta$ 칼라 공간이며, (l, α, β) 는 색상이 변환되지 않은 소스 이미지의 $l\alpha\beta$ 칼라 공간이며, m_s, m_r, σ_s 와 σ_r 는 $l\alpha\beta$ 칼라 공간의 각 축에 대한 소스 이미지와 참조 이미지의 평균과 표준편차이다.



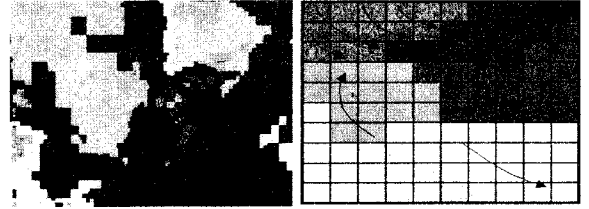
[그림 5] 선형 히스토그램 매칭을 적용한 결과 영상. (A) 소스 이미지 (B) 참조 이미지 (C) 색상이 변환된 소스 이미지

[그림 5]는 선형 히스토그램 매칭을 적용한 결과 영상이다. 선형 히스토그램 매칭의 결과는 이미지의 유사도에 매우 의존적이다. 예를 들어, 만일 소스 이미지에는 녹색 계열을 많이 포함하고 있고 참조 이미지에는 파랑 계열을 많이 포함하고 있다면 평균과 표준편차를 이용하는 통계학적인 변환은 좋은 결과 영상을 생성하기는 힘들다. 본 논문에서는 3.4.2절에서 제시하는 방법을 이용하여 이를 줄이고자 한다.

3.2. 브러쉬 스트로크의 방향 결정

[그림 6]에서 보는 바와 같이 일반적으로 실제 회화 작품에서 브러쉬 스트로크는 각 영역별로 동일한 방향성을 가진다. 또한 에지 경계를 따라 스트로크의 방향이 서로 다르다. 이러한 영역별 방향성 구현을 위해 스트로크 적용을 위한 입력 이미지의 영역 분할 및 병합이 필요하다. 본 논문에서는 [12]를 참조하여 브러쉬 스트로크의 방향 제어를 위한 영역 분할 및 병합에 기반한 방향맵을 생성하고, 이 방향맵을 이용하여 브러쉬 스트로

크가 영역별로 동일한 방향을 유지하도록 하였다.

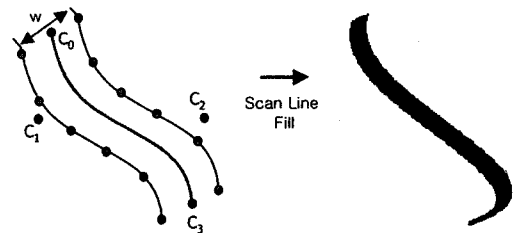


(a) 영역 병합 (b) 방향맵
[그림 6] 영역 분할 및 병합을 이용한 방향맵과 스트로크 적용 결과

3.3 브러쉬 스트로크의 모양 결정

본 논문에서는 [12]를 참조하여 브러쉬 스트로크의 모양을 결정하였다. 브러쉬 스트로크의 시작점은 쿼드 트리로 분할된 이미지에서 하나의 영역을 3x3 픽셀 그리드(grid)로 나눈 후 그리드의 중앙점이 선택되도록 하였다. 브러쉬 스트로크의 모양은 일반적으로 곡선으로 표현되므로 곡선 표현이 가능한 베지어 곡선을 이용하였다.

브러쉬 스트로크의 넓이는 결정된 4개의 제어점을 따르는 베지어 곡선을 기준으로 상하 또는 좌우 양 방향으로 주어진 넓이만큼 확장하여 표현하였다. 이렇게 확장된 베지어 곡선에서 3픽셀 간격으로 점을 추출하여 다각형을 형성하고, 스캔 라인(scan line fill) 알고리즘을 이용하여 다각형의 내부를 입력 이미지에서 스트로크의 시작점에 해당하는 색깔로 채운다. [그림 7]은 브러쉬 스트로크의 모양 결정 방법을 보여준다.



[그림 7] 브러쉬 스트로크의 모양 결정

3.4 Underpainting

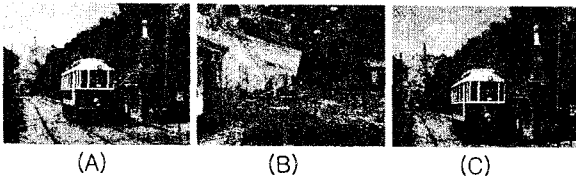
언더페인팅은 다른 이미지의 위에 브러쉬 스트로크를 렌더링함으로써 시뮬레이션할 수 있다. Meyer[13]는 배경 이미지에 브러쉬 스트로크를 렌더링하였다.

Hertzmann[2]는 소스 이미지를 블러링하고 블러된 이미지 위에 브러쉬 스트로크를 렌더링하였다.

아티스트들은 종종 색조(tints), 셰이드, 톤으로 칼라를 설명한다. 색조(tints)는 순수 물감에 흰 물감을 섞음으로써 채도가 감소하는 결과가 나온다. 셰이드는 순수 물감에 검정 물감을 추가함으로써 밝기를 감소시킨다. 톤은 순수 물감에 흰색과 검정색을 추가함으로써 변화한다. 이런 모든 단계는 HSV 칼라 공간에서 Hue는 같고 S와 V가 다른 색상을 만들어준다. 본 논문에서는 12단계로 나누어서 사용하는 12 칼라 변환을 적용한 영상을 언더 페닝으로 사용을 하여 고흐 작품과 비슷한 분위기를 내는 영상을 만들고자 한다.

3.4.1 Single Color Transfer

이 방법은 Reinhard의 방법으로 소스 이미지와 참조 이미지의 색상을 하나의 히스토그램으로 간주하고 선형 히스토그램 매칭을 적용하였다[5,6]. [그림 8]은 Single 칼라 변환을 적용한 영상이다. 이는 소스 이미지와 참조 이미지간에 색상의 유사도가 높아야 좋은 결과를 얻을 수 있다는 단점을 가지고 있다. 예를 들어, [그림 8(B)]의 참조영상은 노란색이 많은 영향을 미치고 있으나 밤하늘의 곤색과 바닥의 브라운색이 노란색과 대치하여 색상대비효과를 잘 표현하고 있다. 그러나 참조영상과는 달리 [그림 8(C)]의 결과 영상은 전반적으로 노란색을 띠고 있다.



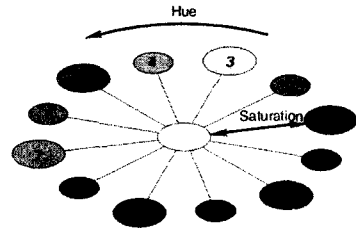
[그림 8] Single Color Transfer를 적용한 영상. (A) 소스 이미지 (B) 참조 이미지 (C) 칼라 변형된 이미지

3.4.2 12 Color Transfer

일반적으로 유화에서 많이 사용되는 색상은 총 12가지 색이다. 1차색인 (노랑, 시안, 마젠타), 2차색은 (초록, 빨강, 파랑), 그리고 1차색과 2차색을 혼합하면 6개의 3차색이 나타난다. [그림 9]은 HSV 칼라 공간에서 12단계로 나누어진 Hue를 나타낸 것이다.

본 논문에서는 소스 이미지와 참조 이미지를 [그림 9]처럼 12가지 색상으로 분류를 하고 각 색상에 대하여 평균과 표준편차를 구하여 색상 변환 과정을 적용하였다. [그림 10]은 12 칼라 변환을 적용한 영상이다. 이 방법은 색상변환을 적용할 때 색상의 분포가 유사도가 높은

경우에만 적용이 가능한 3.4.1의 방법과는 달리 각 12가지의 색상별로 나누어 색상변환을 적용함으로써 영상 간 색상의 유사도에 의존하는 가 낮은 경우에도 잘 적용할 수 있음을 보여준다. 예를 들어 참조영상의 노란색, 곤색, 그리고 갈색 계통의 색상이 [그림 9(C)]에서도 잘 나타나고 있다.



[그림 9] 12단계로 나누어진 Hue



[그림 10] 12 Color Transfer를 적용한 영상. (A) 소스 이미지 (B) 참조 이미지 (C) 칼라 변형된 이미지

4. 렌더링

본 논문에서 제안된 렌더링 방법은 다음과 같다. 먼저 조명 모델을 적용하지 않고 렌더링된 결과의 에지 이미지인 밝기맵(intensity map)을 구한다. 그리고 풍 조명 모델을 적용하기 위해 필요한 이미지 픽셀들에 대한 법선 벡터와 조명 벡터를 구한다. 여기서 정반사를 시뮬레이션하지 않기 때문에 시선 벡터가 필요 없다. 법선 벡터는 펄린 노이즈[14]와 밝기맵(Intensity Map)을 이용하여 생성하였으며, 조명은 일정하게 고정시키고 풍 조명 모델을 적용하였다[15].

5. 결과

기존 연구[12]에 대한 구현 결과와 본 논문에서 제안한 방법으로 구현된 결과들을 본 장에서 제시한다. [그림 11]과 [그림 12]는 소스 이미지와 참조 이미지를 입력으로 하고, 이를 Single 또는 12 칼라 변환을 거친 다음, 브러쉬 스트로크를 생성하고 마지막으로 질감 표현을 위해 풍 조명 모델을 적용하였다. 칼라 변환에서

Single 칼라 변환을 적용하였을 경우 [그림 11](C)와 [그림 12](E)처럼 참조이미지에 대한 전체 분위기를 만들어낼 수 있다. 그러나 특정 색상에서 표현하는 강렬한 분위기는 연출할 수가 없다. 예를 들어, [그림 12](B)의 하늘부분에서 나타나는 강렬한 분위기를 Single 칼라 변환을 통해서만 만들 수가 없다. 본 논문에서는 특정 색상의 분위기를 표현할 수 있도록 12 칼라 변환을 통해서 [그림 12](G)와 (H)같은, 참조 이미지에서 보여주는 강렬한 인상을 보여주는 분위기를 소스 이미지에 적용하였다.

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 소스 이미지(사진)와 참조 이미지(고흐 작품)를 이용하여 색상에 대한 통계적 분석을 하고 이를 선형 히스토그램 매칭 방법을 사용하여 소스 이미지의 색상을 참조 이미지인 고흐 작품의 분위기를 연출하였다. 또한 사진 영상으로부터 회화적 표현을 만들어 내기 위한 브러쉬 스트로크의 방향 생성 방법에 대하여 제시하였다. 칼라변환과정에서는 HSV 칼라 공간에서 Hue 값에 따라 Single 칼라변환과 12 칼라변환을 제시하였다.

입력영상으로 사용되는 사진 영상과 고흐 작품은 실제로 HSV 칼라 공간 중 Hue의 값에 대한 분포가 고르지를 못하다. 이는 임의로 12가지 색상으로 나누었을 경우 통계적 분석치인 평균값 및 표준편차에서 차이가 많이 나타난다. 이는 선형 히스토그램 매칭을 적용할 때 올바른 값을 찾을 수 없다는 것을 많은 실험을 통해서 결론을 얻었다. 이에 대응하는 색상의 분포에 대한 정확한 분할이 필요하다.

또한, 실제 회화 작품에서 보여지는 브러쉬 스트로크는 영역별 방향성외에 질감, 그레이징(grazing) 효과 그리고 색 혼합 등의 성질을 가지고 있다. 이러한 효과를 표현하기 위해 실제 물감의 유체역학적인 특징을 분석하여 시뮬레이션하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부 국가지정연구소(2000-N-NL-01-C-285)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[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] Michio Shiraishi and Yasushi Yamahuchi, "An algorithm for automatic painterly rendering based on local source image approximation", NPAR2000:First International Symposium on Non Photorealistic Animation and Rendering, pp 53-58, June 2000

[5] 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

[6] 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, 2001

[7] Diego Nehab and Luiz Belho, "Multiscale moment-based painterly rendering", In SIGGRAPH'02, pp 244-251, IEEE, 2002

[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] J.S. Cha, Y.S. Park, K.Y. Yoon, "A Directional Stroke Generation Algorithm for Painterly Rendering", Computational Science and Its Applications - ICCSA 2003, LNCS2669, pp. 326-335, 2003

[13] B.J. Meier, "Painterly rendering for animation", Proceedings of SIGGRAPH 96, 477-484, 1996

[14] K. Perlin's Web Page, <http://mrl.nyu.edu/~perlin>

[15] Foley, van Dam, Feiner, and Hughes, "Computer Graphics : Principle and Practice", Addison Wesley Press.



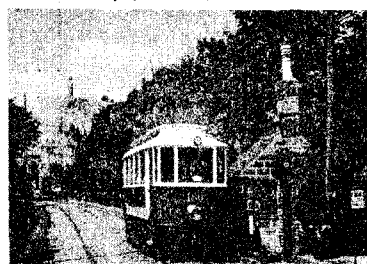
(A) 참조이미지(고흐작, Cafe Terrace on the Place du Forum, Arles, at Night)



(B) 소스이미지



(E) (B)이미지에 브러쉬 생성 및 렌더링 영상



(C) 소스이미지에 Single 칼라변환을 적용한 결과영상



(F) (C)이미지에 브러쉬 생성 및 렌더링 영상



(D) 소스이미지에 12 칼라변환을 적용한 결과영상
[그림 11] Single 칼라 변환과 12 칼라 변환을 적용한 영상과 이 영상들에 브러쉬 스트로그를 생성하고 렌더링한 결과영상.



(G) (D)이미지에 브러쉬 생성 및 렌더링 영상



(A) 소스이미지



(B) 참조이미지(고흐작, Wheat Field with Crows)



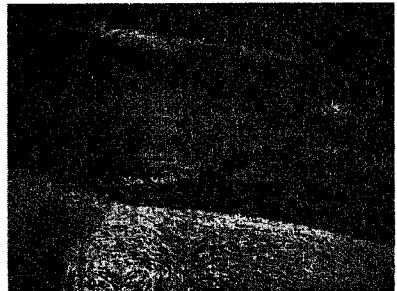
(C) 소스이미지에 브러시를 적용한 결과영상



(D) (C)이미지를 렌더링한 결과영상



(E) 소스이미지에 Single 칼라변환을 적용한 결과영상



(F) (E)이미지를 렌더링한 결과영상



(G) 소스이미지에 12 칼라변환을 적용한 결과영상



(H) (G)이미지를 렌더링한 결과영상

[그림 12] Single 칼라 변환과 12 칼라 변환을 적용한 영상에 브러쉬 생성 및 질감표현을 위한 풍 조명모델 적용한 결과영상