

회화적 렌더링을 위한 MHN 필터 기반 브러시 스트로크 생성기법

서상현[†], 윤경현[‡]

요 약

본 연구에서는 MHN(Maximum Homogeneity Neighbor) 필터링을 이용한 회화적 렌더링의 브러시 스트로크생성 알고리즘을 제안한다. 기존의 입력 영상의 기울기(gradient)를 브러시 스트로크의 생성에 이용하는 연구와 달리 영상을 구성하는 픽셀의 동질성(homogeneity)에 기반을 두어 스트로크를 생성하였다. 이를 위해 입력 영상에 MHN 필터를 적용하여 하나의 브러시 스트로크로 그려질 수 있는 동질성 영역을 추출하고 추출된 영역으로부터 최소자승법으로 브러시 스트로크의 중심축을 계산한 후, 팽창함수를 정의하여 브러시 스트로크를 생성하였다. 이 방법은 기존의 경사도 기반 스트로크 생성 방법을 복잡한 입력영상에 적용했을때 발생하는 문제점인 스트로크 방향의 비일관성을 해결할 수 있다. 또한 두께가 일정하지 않은 브러시 스트로크를 표현할 수 있어 결과 영상의 회화적 느낌을 높일 수 있다.

MHN Filter-based Brush Stroke Generation for Painterly Rendering

Sang-Hyun Seo[†], Kyung-Hyun Yoon[‡]

ABSTRACT

We introduce a new method of painterly rendering. Instead of using the gradient direction of the source image to generate a brush stroke, we extract regions that can be drawn in one stroke using MHN filtering followed by identification of connected components, and make a brush stroke from each, based on an approximation to the medial axis. This method results in realistic-looking brush strokes of varying width that have an irregular directions where necessary.

Key words: Painterly Rendering(회화적 렌더링), Picture Generation Algorithm(회화 생성 알고리즘), Brush Stroke Generation(브러시 스트로크 생성), Region Extraction(영역 추출), MHN Filter(MHN 필터)

1. 서론 및 관련연구

본 논문은 2차원 영상을 입력으로 하여 화가들이 손으로 그린 듯한 영상을 만들어 내는 회화적 렌더링의 브러시 스트로크 생성을 연구하였다. 회화적 렌더링은 비사실적 렌더링의 한 분야로 기존의 사실적 렌더링과 큰 차이가 있다. 사실적 렌더링의 렌더링

기본 단위가 픽셀인 반면에 회화적 렌더링에서는 픽셀의 집합으로 이루어진 브러시 스트로크(붓놀림, Brush Stroke)를 렌더링 기본단위로 하고 있다.

브러시 스트로크 기본의 회화적 렌더링에 관한 연구는 Haeberli[3]에 의하여 처음 시도되었다. Haeberli[3]는 픽셀이 아닌 브러시 스트로크를 렌더링 기본단위로 하여 결과영상을 렌더링 하였다. 또한 브러시 스

* 교신저자(Corresponding Author) : 윤경현, 주소 : 서울시 동작구 흑석동 221(150-756), 전화 : 02)820-5308, FAX : 02)824-3018, E-mail : khyoon@cau.ac.kr

접수일 : 2006년 1월 19일, 완료일 : 2006년 5월 25일

[†] 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정

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

[‡] 정회원, 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수

* 본 논문은 2005학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것임

트로크의 시작 위치, 색, 크기, 방향, 모양과 같은 속성을 제안하였으며, 이를 속성을 달리하여 다양한 스타일의 브러시 스트로크를 이용하여 렌더링하였다.

이후 스트로크에 기반을 둔 회화적 렌더링에 관한 연구 중에서 Litwinowicz[1]는 질감을 입힌 직선 브러시 스트로크를 입력 영상의 기울기 방향을 따라 배치하여 결과 영상에서 회화적 느낌을 표현하였다. 이 연구에서는 입력 영상에서 일정한 간격으로 브러시 스트로크의 시작 위치를 정하고 스트로크의 모양을 직선으로 한정하였다. 또한 이 논문의 가장 두드러지는 특징은 브러시 스트로크의 방향을 결정하는데 있어서 그 이전 연구들이 사용자 입력에 의존했던 것과 달리 입력 영상으로부터 입력 영상의 기울기를 이용하여 자동으로 결정하였다는 점이다.

Hertzmann[4]은 실제 회화 작품에서 브러시 스트로크의 크기가 일정하지 않고 모양이 곡선인 것에 주목하여 다양한 크기를 가진 곡선 브러시 스트로크를 제안하였다. 이 연구에서는 브러시의 크기에 따라 레이어(layer)를 나누고 각 레이어마다 브러시의 크기를 할당하여 곡선 스트로크를 그려 넣고 이를 적층(accumulation)하여 결과 영상을 완성하였다. 이 연구는 브러시 스트로크의 모양을 기준의 직선 형태에서 곡선 형태로 확장한 점에 큰 의의가 있다. 또한 다양한 크기의 브러시를 사용하여 서로 크기가 다른 브러시 스트로크를 만들었기 때문에 입력 영상에서 배경과 같이 넓은 부분은 굵은 브러시 스트로크로 표현이 되고 세세한 부분은 가는 브러시 스트로크로 표현할 수 있다.

이와 같이 기준의 스트로크에 기반을 둔 회화적 렌더링 알고리즘에서는 브러시 스트로크의 방향을 입력 영상의 기울기(Gradient)정보를 이용해 계산하였다[1,4,9]. 이와 같은 가정은 입력 영상에서 기울기의 변화가 크지 않은 경우에 회화적 느낌을 잘 나타낼 수 있지만 그렇지 않은 경우에는 브러시 스트로크들이 일정한 방향을 갖지 않아 회화적 느낌을 떨어뜨린다. 즉, 복잡하지 않은 전원의 풍경 영상은 기울기의 변화가 크지 않기 때문에 기준의 렌더링 알고리즘을 적용하기에 무리가 없지만 정물이나 인물 영상은 세세한 부분에서 영상의 기울기 변화가 크기 때문에 어색하게 표현되는 문제가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 Nehab[10]와 Shiraishi[11]는 이미지 모우먼트(image moment)를

이용해 같은 칼라정보를 같은 지역적 영역을 근사화해 하나의 브러시 스트로크를 만들어 내는 방법을 소개했다.

Gooch[2]또한 브러시 스트로크를 생성하는데 있어서 입력 영상의 기울기에 의존하지 않고, 입력 영상에서 하나의 스트로크로 표현될 수 있는 영역을 추출하여 이를 브러시 스트로크로 만들었다. Gooch의 연구는 브러시 스트로크의 방향성을 입력 영상의 기울기에 의존하지 않았다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다. 그러나 하나의 브러시 스트로크로 표현될 영역을 추출하는 과정에서 영역이 경계선(Edge)에 걸쳐 추출되는 경우가 있다. Gooch는 이러한 문제를 해결하기 위해 영역추출시 영상의 깊이정보를 추가로 사용해야하는 단점을 가지고 있었다. 또한 추출된 등성이 집합(Ridge Set)을 인접한 점들끼리 묶어 중심축을 유도해 내는 과정에서 시간이 많이 소요된다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 Gooch[2]와 같이 영상의 기울기 정보를 사용하지 않고 영상처리 기법을 이용해 브러시 스트로크를 생성해 내는 알고리즘을 소개한다. 또한 Gooch의 단점중에 하나인 동질성 영역에서 스트로크의 중심축을 유도해내는 과정의 복잡성을 단순화하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 동질성영역을 추출을 위해서 적응적 필터(adaptive filter)의 일종인 MHN(Maximum Homogeneity Neighbor)필터[5]를 사용하였다. MHN필터는 영상의 경계선(Edge)부분은 강조하고 이외의 부분에서는 잡음을 제거하는 필터로 Gooch의 문제점중의 하나인 동질성 영역이 경계선에 걸쳐 추출되는 문제를 최소화 하였다. 또한 추출된 동질성 영역의 중심축을 유도하기 위해 최소자승법의 근사화 방법을 이용함으로써 계산의 복잡도를 줄이고, 자연스러운 곡선 스트로크를 생성할 수 있도록 하였다.

이렇게 함으로써 기울기 기반 스트로크 방향 생성 방법을 복잡한 영상에 적용하였을 때 발생하는 스트로크가 일정한 방향을 갖지 않는 문제, 경계선의 정밀한 표현의 부족한 문제를 해결했다. 또한 두께가 일정하지 않은 브러시 스트로크를 표현할 수 있어서 결과 영상의 회화적 느낌을 높일 수 있었다.

2. 시스템 구성

본 연구에서는 기울기를 이용하지 않고 입력영상

에서 동질성 영역을 이용하여 브러시 스트로크를 생성해 내는 방법을 소개하고 있다.

(그림 1)은 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 시스템 구성도를 보여주고 있다. 먼저 입력 영상으로부터 MHN 필터링을 적용하여 필터링된 영상과 인덱스 맵을 얻는다. MHN 필터링된 영상으로부터 하나의 브러시 스트로크로 그려질 수 있는 영역을 추출하기 위하여 연결요소(connected component)기법을 이용한다. 이때 영상의 색뿐만 아니라 MHN 필터링 과정에서 생긴 MHN 인덱스 맵을 이용하여 영상의 경계선에 걸치지 않는 영역을 추출해낸다. 이후 추출된 영역으로부터 브러시 스트로크를 만들어낸다. 이렇게 만들어진 스트로크들을 캔버스에 칠함으로써 하나의 회화적 느낌의 결과 영상을 만들어낸다. 이는 Gooch 방법[2]에 비해 동질성 영역이 에지에 걸쳐 추출되는 현상을 줄일 수 있다. MHN 필터링 적용과정은 3.1절에서 자세히 설명하고 있다.

또한 추출된 영역은 스트로크를 만들어간다. 먼저 추출된 영역은 구멍 메우기(Hole Filling)을 비롯한 형태론적 연산(Morphological Operation)을 적용하여 그림자나 빛의 하이라이트 때문에 추출되지 못한 영역을 보충한다. 이 영역으로부터 브러시 스트로크를 추출하기 위해서 중심축을 찾는다. 축을 찾기 위해 추출된 영역의 가장자리 퍽셀을 제외하고 등성이의 퍽셀들을 등성이 집합(Ridge Set)으로 골라낸 후 이 등성이를 이루는 퍽셀들로부터 근사법을 이용하여 스트로크의 중심축이 되는 3차원 곡선을 얻어낸다. 이렇게 얻어진 곡선 중심축에 두께를 주어 하나의 스트로크를 완성한다. 스트로크의 자세한 생성과정은 3.2, 3.3 절에서 자세히 설명한다.

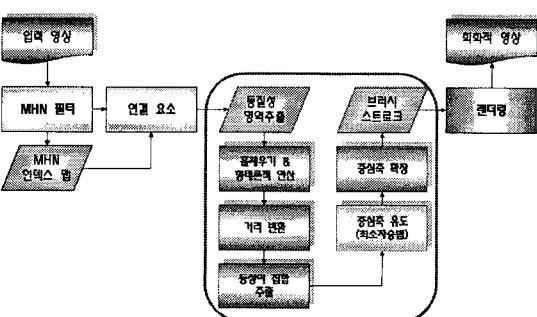


그림 1. MHN필터를 이용한 회화적 렌더링 시스템 구성도

3. MHN 필터 기반 브러시 스트로크 생성 방법

3.1 영역 추출

3.1.1 입력 영상에 MHN 필터링 적용

입력 영상으로부터 스트로크를 만들어가기 위해서는 하나의 브러시 스트로크로 그려질 영역을 추출하는 것이 중요하다. 효율적인 영상 추출을 위해서는 영상의 경계선 부분에서는 경계선을 강조하고 너무 세세한 부분이나 노이즈가 있는 부분에서는 영상을 부드럽게 만들 필요가 있다. MHN 필터[5]는 영상의 경계선을 살려주면서 영상에서 잡음을 제거하여 부드럽게 만드는 효과가 있기 때문에 위와 같은 상황에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 MHN 필터링을 적용한 영상으로부터 영역을 추출하였다(그림 2.(b)). 또한 MHN 필터링을 적용할 때 중심 퍽셀의 값을 결정한 이웃 퍽셀의 인덱스를 따로 저장하여 MHN 인덱스 맵을 함께 생성하였다(그림 2.(c)). MHN 인덱스 맵은 입력 영상 퍽셀의 색 정보와 함께 연결요소[7]기법을 이용한 영역추출 알고리즘 적용시 선택되는 영역과 선택되지 않는 영역을 구분하는 기준으로 사용된다.

3.1.2 연결요소기법을 이용한 영역 추출

본 연구에서는 실제로 MHN 필터링된 영상에서 스트로크 영역을 추출하기 위하여 연결요소기법을 이용하였다. 연결요소기법은 하나의 시작점에 계속적으로 팽창 연산(dilation operation)을 적용하여 연결되어 있는 같은 영역을 찾아나가는 영역 분할 방법의 일종이다. 연결요소에서 연결성(connectivity)은

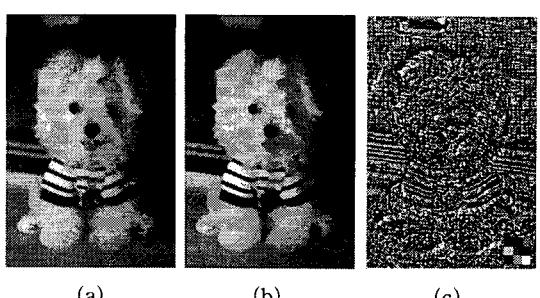


그림 2. (a) 입력 영상. (b) MHN 필터링된 영상. (c) MHN 인덱스 맵(MHN 인덱스 맵의 오른쪽 아래에는 9개의 이웃 영역을 색으로 표시하였다.).

집합 형태의 구조적 요소(structuring element)에 의해 정의된다. 본 연구에서는 3×3 의 8방향 연결성을 갖는 구조적 요소를 이용하였고 같은 영역을 판단하기 위하여 시작 위치의 픽셀의 색과 MHN 인덱스 맵의 이웃 영역의 인덱스를 함께 고려하여 기준을 정했다. 또한 연결요소기법을 이용하여 영역을 추출할 때는 추가로 제약이 필요하다. 입력 영상에서 하늘과 같은 부분에 영역을 추출하는 경우 하나의 브러시 스트로크로 만들어지기에 너무 큰 영역이 추출될 수 있기 때문에 연결요소가 어느 한계 이상으로 커지는 것을 막을 필요가 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 브러시 스트로크의 시작 위치를 정할 때 사용했던 격자의 크기에 배수로 최대 추출될 수 있는 영역의 크기를 제한하였다.

3.1.3 형태론적 연산의 적용

추출된 영역이 그림자나 빛의 하이라이트 효과 때문에 구멍이 생길 수도 있고 브러시 스트로크로 만들기에는 추출된 영역의 외곽선이 거칠 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 추출된 영역에 몇 가지 형태론적 연산을 적용한다. 먼저, 추출된 영역에 구멍 메우기(hole filling)를 적용하여 그림자나 빛의 하이라이트 효과를 제거한다. 다음으로 추출된 영역에서 노이즈를 제거하고 외곽선을 부드럽게 만들기 위하여 팽창(dilation) 연산과 침식(erossion) 연산을 수행하였다. 이들 형태론적 연산을 추출된 영역에 적용하는 것은 이후 '3.2 브러시 스트로크 생성'에서 브러시의 중심축을 유도하는데 도움이 된다. 위에서 설명한 구멍 메우기를 비롯한 형태론적 연산의 과정을 (그림 3)에서 보여주고 있다.

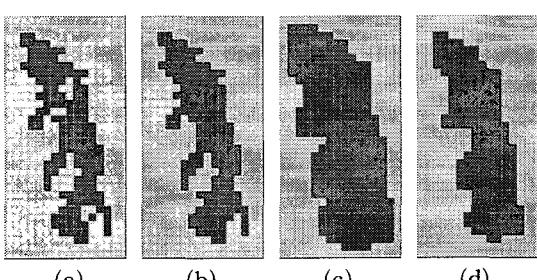


그림 3. (a) 추출된 영역. (b) 구멍 메우기를 수행한 결과. (c) 팽창 연산을 적용한 결과. (d) 침식 연산을 적용한 결과

3.2 브러시 스트로크 생성

3.2.1 영역의 거리 변환을 통한 등성이 집합 추출

앞 절에서 설명한 방법으로 추출된 영역은 브러시 스트로크로 만들어지기 위해서 거리 변환(distance transform)[7]을 적용한다. 거리변환을 통해 등성이에 위치한 점들의 집합(ridge set)을 골라낸다. 추출된 영역 내의 모든 점에 대해서 외곽선까지 최단 거리를 계산하는 방법은 다음과 같다. 먼저 추출된 영역의 각 픽셀에 대해서 '2'를 할당하고 픽셀이 존재하지 않는 곳에는 '0'을 할당한다. 다음으로 모든 픽셀에 대해서 자기 자신과 이웃하는 8개의 픽셀들의 값 중에서 제일 작은 값이 자기 자신의 값보다 크거나 같을 때 이웃하는 8개의 픽셀들의 값 중에서 제일 작은 값에 '2'를 증가 시켜 설정한다.(만일 대각선 방향으로 이웃하는 픽셀이 가장 작은 값을 가진다면 '3'을 증가 시켜 설정한다.) 이 과정을 추출된 영역 전체에 대해서 수행되는 동안 픽셀의 값이 변하지 않을 때까지 반복한다. (그림 4)는 등성이 집합의 추출과정을 단계별로 보여주고 있다.

3.2.2 최소 자승 근사법을 이용한 중심축 유도

(그림 4)와 같이 영역의 거리 변환을 통해 얻어진 등성이 집합을 이용하여 브러시 스트로크의 중심축을 유도하였다. Gooch[2]는 이 단계에서 등성이 집합을 이웃한 연결성에 따라 토큰(token)으로 묶어 브러시 스트로크의 축을 만들었다. 그러나 이 방법은 시간이 오래 걸리고 복잡하다.

본 연구에서는 토큰을 생성하지 않고 등성이 집합에 최소 자승법 근사법(least square approximation method)을 적용하여 중심축을 유도하였다. 주어진 등성이 집합으로부터 브러시 스트로크의 중심축을

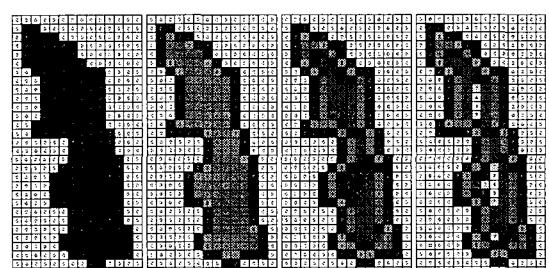


그림 4. 거리 변환을 거쳐 외곽선까지 최단 거리가 계산되는 과정

유도하는 과정은 다음과 같다. 등성이 집합을 R 이라 하고 구하려는 중심축을 $p(x)$ 하면 등성이 집합 R 의 한 점 (x_i, y_i) 에 대해서 $p(x)$ 와의 오차 E_i 는 다음의 식 (1-1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 E_i 를 양의 값으로 만들기 위해 제곱 형태를 이용한다.

$$E_i = (y_i - p(x_i))^2 \quad (1-1)$$

이때 $p(x)$ 를 3차식으로 정의하여 $p(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 라고 하면 식 1-2와 같다.

$$E_i = (y_i - (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d))^2 \quad (1-2)$$

주어진 등성이 집합 R 의 원소의 개수가 n 개 일 때, 등성이 집합 R 과 중심축 $p(x)$ 와의 오차는 식 (1-3)과 같이 각 원소에 대한 오차의 합과 같다.

$$E = \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - (ax_i^3 + bx_i^2 + cx_i + d))^2 \quad (1-3)$$

중심축 $p(x)$ 는 식(1-3)의 오차 E 가 가장 작게 만드는 식이므로 E 를 가장 작게 만드는 $p(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 의 a, b, c, d 를 구하면 된다. 이를 위하여 식 (1-3)을 각각 a, b, c, d 에 대해 미분하여 식을 정리하면 다음의 식(1-4)와 같은 수식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{n-1} y_i x_i^3 &= a \sum_{i=0}^{n-1} x_i^6 + b \sum_{i=0}^{n-1} x_i^5 + c \sum_{i=0}^{n-1} x_i^4 + d \sum_{i=0}^{n-1} x_i^3 \\ \sum_{i=0}^{n-1} y_i x_i^2 &= a \sum_{i=0}^{n-1} x_i^5 + b \sum_{i=0}^{n-1} x_i^4 + c \sum_{i=0}^{n-1} x_i^3 + d \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2 \\ \sum_{i=0}^{n-1} y_i x_i &= a \sum_{i=0}^{n-1} x_i^4 + b \sum_{i=0}^{n-1} x_i^3 + c \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2 + d \sum_{i=0}^{n-1} x_i \\ \sum_{i=0}^{n-1} y_i &= a \sum_{i=0}^{n-1} x_i^3 + b \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2 + c \sum_{i=0}^{n-1} x_i + d \sum_{i=0}^{n-1} 1 \end{aligned} \quad (1-4)$$

이렇게 얻어진 식(1-4)에서 미지항은 a, b, c, d 이다. 각 미지항은 식(1-4)에 피보팅(pivoting)과 후진 대입법(back substitution)을 이용하여 계산하였다 [8]. (그림 5.(a))에서 보이는 굵은 선이 위와 같은 방법으로 얻어진 중심축을 보여주고 있다.

3.2.3 다양한 두께의 브러시 스트로크 생성

본 논문에서는 최소 자승법을 이용하여 유도된 브러시 스트로크의 중심축으로부터 브러시 스트로크로 만든다. 여기서 추출된 영역에서 등성이 정보를 추출할 때 계산해둔 외곽선까지의 최단 거리를 이용하였다. 스트로크의 중심축 상의 픽셀이 갖는 외곽선

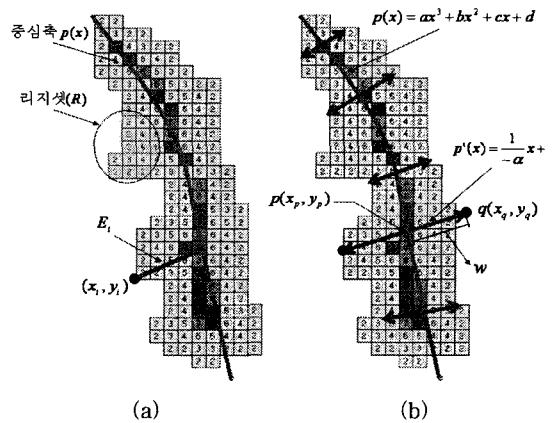


그림 5. (a) 등성이 집합으로부터 유도된 브러시 스트로크의 중심 축. (b) 유도된 중심 축을 외곽선까지의 최단 거리에 따라 부풀리는 과정

까지의 최단 거리만큼 중심축에서 수직인 방향으로 팽창시켜 브러시 스트로크를 생성하였다. 이 방법은 기존의 브러시 스트로크가 일정한 두께를 가진다고 가정하였을 때 보다 실제에 가까운 브러시 스트로크를 생성할 수 있다(그림 5.(b)).

브러시 스트로크의 두께는 다음과 같은 방법으로 계산한다. 먼저, 브러시 스트로크의 중심축은 다음의 식(2-1)처럼 3차식으로 표현된다.

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2-1)$$

식(2-1)은 연속함수이기 때문에 x 에 대해서 미분 가능하며 이를 미분하여 중심 축 식(2-1) 위의 한 점 (x_p, y_p) 에서 접하는 접선의 기울기(a)를 구하면 다음과 같다.

$$\alpha = 3ax_p^2 + 2bx_p + c \quad (2-2)$$

점 (x_p, y_p) 에서 접선의 기울기가 α 이면 이 접선에 수직인 법선의 기울기는 $-\frac{1}{\alpha}$ 이고 법선의 방정식은 다음의 식(2-3)과 같다.

$$p'(x) = -\frac{1}{\alpha}x + \beta \quad (2-3)$$

이때 중심축 위의 점 (x_p, y_p) 로부터 법선의 방향으로 스트로크의 두께(w)만큼 떨어진 점을 (x_q, y_q) 라고 하면 중심축 위의 점 (x_p, y_p) 와 법선 위의 점 (x_q, y_q) 는 다음의 식(2-4)를 만족시킨다.

$$\sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2} = w \quad (2-4)$$

또한 점 (x_p, y_p) 는 법선 식(2-3) 위에 존재하기 때문에 다음의 식(2-5)도 만족시킨다.

$$y_q = -\frac{1}{\alpha}x_q + \beta \quad (2-5)$$

따라서 중심축으로부터 ω 만큼 떨어진 점 (x_p, y_p) 는 식(2-4)과 식(2-5)로 부터 계산할 수 있다.

4. 구현 결과

본 논문에서는 입력 영상의 기울기에 의존하지 않고 동질성 영역을 추출한 후 해당 영역에 적합한 브러시 스트로크를 생성하여 회화적 렌더링을 수행하였다.

(그림 6)은 입력 영상에 대해서 연결 요소기법으로 영역을 추출할 때 제약 조건을 다르게 주어 회화

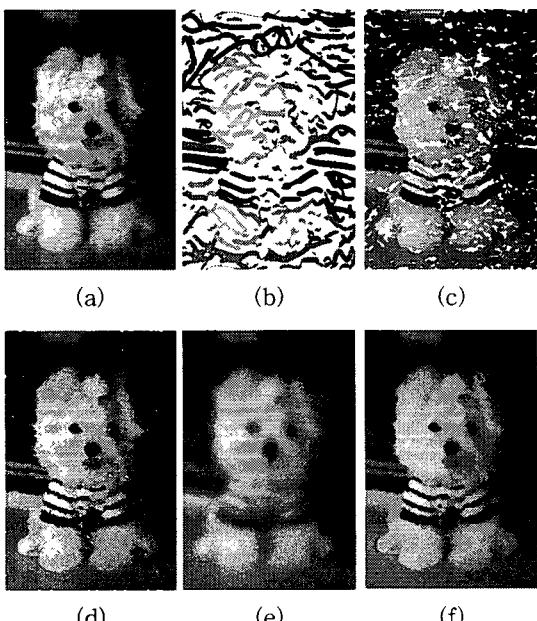


그림 6. (a) 입력 영상
 (b) 격자 크기가 16일 때 렌더링한 결과 영상
 (c) (b) 위에서 격자 크기를 8로 조정한 후 다시 렌더링한 결과 영상
 (d) (c) 위에서 격자 크기를 4로 조정한 후 최종 렌더링한 결과 영상
 (e) 언더페인팅 기법을 적용하기 위하여 (a)에 블러 링을 적용한 영상
 (f) 언더페인팅을 적용한 결과 영상

적 영상을 만들어가는 과정을 보여준다. 본 알고리즘에서 브러시 스트로크의 크기는 추출되는 영역의 크기에 관련되어 있고 추출되는 영역의 크기는 스트로크의 시작 위치를 결정하는 격자의 크기와 연결 요소 기법의 색과 인덱스의 기준 값에 따라 결정된다. (그림 6.(a))는 입력 영상이고 (그림 6.(b))는 크기가 큰 브러시 스트로크가 추출되도록 사용자 입력 값을 설정한 후 영역을 추출하여 렌더링한 결과이다. (그림 6.(c))와 (그림 6.(d))는 (그림 6.(b))에 크기가 조금씩 작은 브러시 스트로크들을 덧칠하여 얻어진 결과 영상이다. (그림 6.(d))에서 브러시 스트로크가 칠해지지 않은 영역은 좀 더 작은 브러시 스트로크를 생성하거나 브러시 스트로크를 좀 더 많이 생성하면 칠해질 수 있는 영역이다. 그러나 추가로 브러시 스트로크를 생성하지 않고 언더 페인팅(under-painting) 기법을 활용하면 손쉽게 해결될 수 있다. 언더 페인팅 기법은 실제 유화를 그릴 때 사용되는 기법으로 캔버스에 작품을 그리기 전에 영역을 크게 나누어 각 영역마다 바탕색을 넓게 칠한 후 그 위에 브러시 스트로크들을 그리는 기법이다. 따라서 (그림 6.(f))는 (그림 6.(e)) 위에 (그림 6.(d))를 올려놓는 것으로 언더 페인팅 기법을 활용한 결과이다.

(그림 7)은 기준의 영상의 기울기 정보와 굵기가 일정한 브러시 스트로크를 사용한 Herzmann 연구 [4]와 본 논문에서 연구한 결과를 비교한 것이다. Herzmann은 스트로크의 방향을 설정할 경우 입력 영상의 기울기정보를 이용하였다. (그림 7.(a))는 입력 영상이고 (그림 7.(b))는 다양한 크기의 곡선 브러시 스트로크를 생성하여 영상을 렌더링한 결과이다.

(그림 7.(c))는 브러시 스트로크의 방향을 결정하는데 일정한 크기 이상의 기울기만을 고려하고 나머지 영역에 대해서는 보간법을 적용하여 (그림 7.(b))와 같은 방법으로 영상을 렌더링한 결과이다. (그림 7.(b))와 (그림 7.(c))를 비교해보면 (그림 7.(c))가 (그림 7.(b))에 비하여 브러시 스트로크들이 가지런히 정렬되어 있는 것을 볼 수 있다. (그림 7.(d))는 본 논문에서 제안한 알고리즘으로 브러시 스트로크를 생성하여 렌더링한 결과 영상이다. 영상에서 동질성 영역을 추출하여 브러시 스트로크를 만들었기 때문에 결과 영상에서 원쪽의 밤송이 가시가 기준 연구에 비하여 뚜렷하게 표현되었다.

(그림 8)은 본 연구와 밀접한 관련이 있는 Gooch[2]

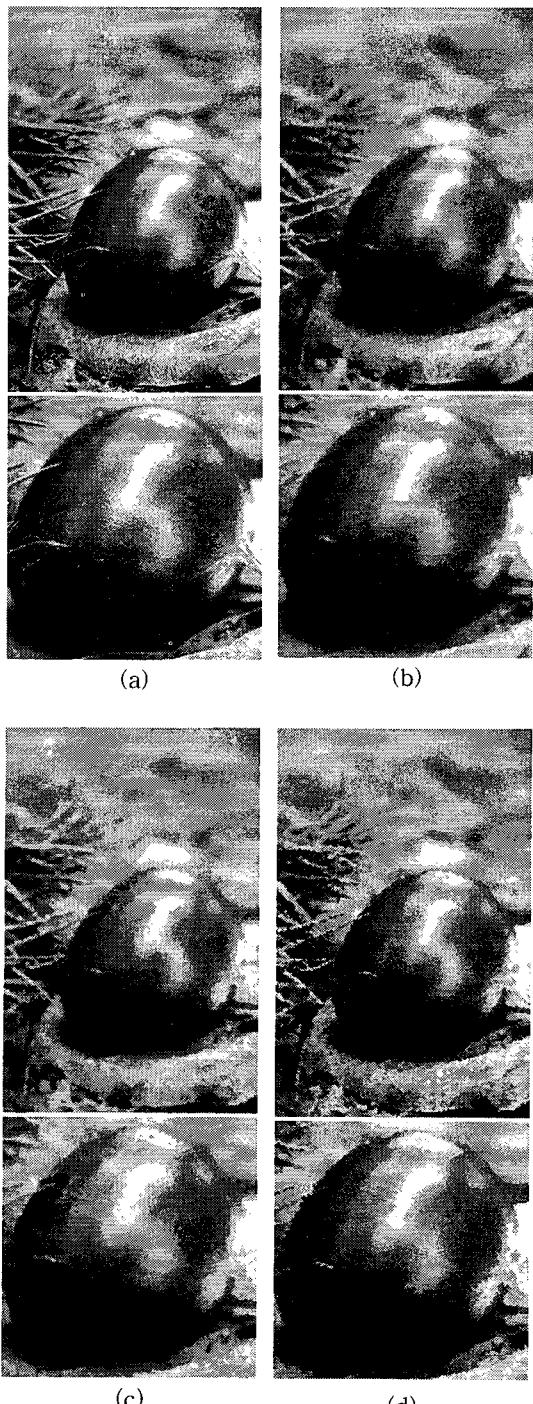


그림 7. (a) 입력 영상
 (b) 기울기에 기반을 두고 스트로크를 생성하여 렌더링한 결과 영상
 (c) (b)에 기울기 보간법을 적용한 결과
 (d) 본 논문의 회화적 렌더링 결과

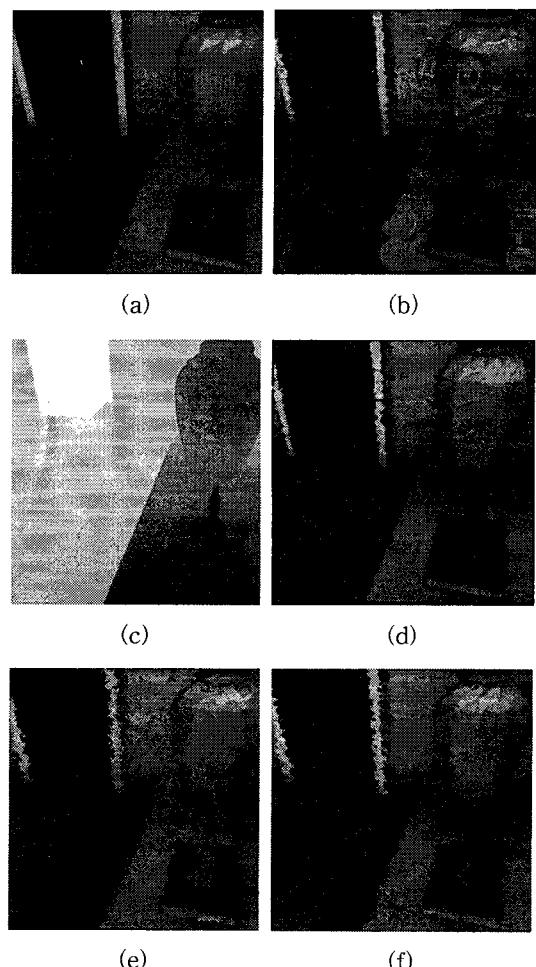


그림 8. (a) 입력 영상
 (b) 회화적 렌더링 결과 영상(2)
 (c) (a)의 깊이 정보
 (d) 깊이 정보를 이용한 회화적 렌더링 결과 영상(2)
 (e) 깊이 정보 없이 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과 영상
 (f) (e)에 언더페인팅 기법을 적용한 결과영상

의 연구 결과와 비교한 영상이다. (그림 8.(a))는 입력 영상이고 (그림 8.(b))는 (그림 8.(a))를 Gooch의 방법으로 렌더링한 결과영상이다. (그림 8.(c))는 (그림 8.(a))에 대한 깊이 정보이고 (그림 8.(d))는 (그림 8.(a))를 렌더링하는데 깊이정보(그림 8.(c))를 추가 정보로 하여 렌더링한 결과이다. (그림 8.(e))는 (그림 8.(a))를 본 논문에서 제안한 방법으로 (그림 8.(c))와 같은 추가 정보 없이 렌더링한 결과이다. Gooch의 연구결과 (그림 9.(b))와 (그림 8.(d))가 비

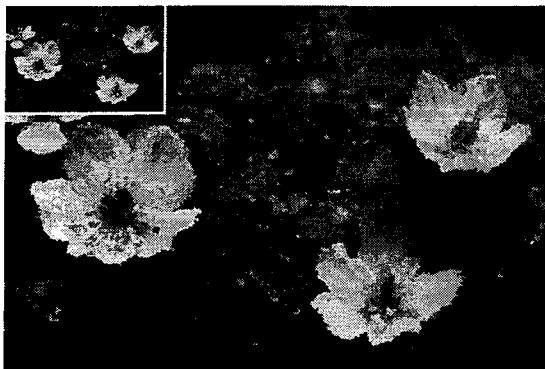


그림 9. 회화적 렌더링 입력과 결과영상 1

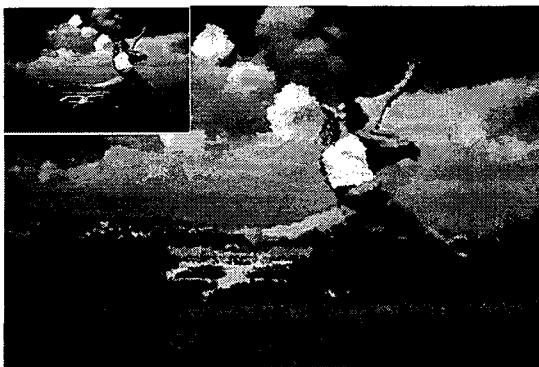


그림 10. 회화적 렌더링 입력과 결과영상 2

교를 위하여 언더페인팅 기법을 사용하지 않았기 때문에 (그림 8.(e))도 언더페인팅 기법을 적용하지 않았다. (그림 8.(f))는 (그림 8.(e))에 언더페인팅 기법을 적용한 결과 영상이다.

(그림 9)와 (그림 10)은 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 이용하여 렌더링한 결과 영상이다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 새로운 회화적 렌더링 알고리즘을 제안하였다. 입력 영상으로부터 브러시 스트로크를 생성하는데 있어서 입력 영상의 기울기를 사용하지 않고 하나의 브러시 스트로크로 그려질 수 있는 영역을 추출하여 이 영역으로부터 브러시 스트로크의 중심축을 유도하고 이를 부풀려 브러시 스트로크로 만들었다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존 연구들에 비해서 다음과 같은 차이점이 있다.

첫째, 하나의 브러시 스트로크로 그려질 수 있는

영역을 추출하는데 입력 영상에 MHN 필터링을 적용한 영상을 이용하였다. MHN 필터링은 영상의 경계선과 같은 부분은 강조하고 그렇지 않은 부분은 노이즈를 제거하여 부드럽게 만드는 특성을 갖는 필터로 MHN 필터링된 영상은 경계선은 강조되면서 잡음은 제거되어 영역을 추출하는데 전처리를 하지 않거나 단순히 양자화하였을 때보다 동질성이 높은 영역을 추출할 수 있어 영역의 경계를 정확히 표현할 수 있는 브러시 스트로크로 만드는데 효과적이다.

둘째, 추출된 영역으로부터 브러시 스트로크의 중심축을 유도하는데 있어서 기존의 연구에서 적용하였던 방법들보다 간단한 최소 제곱 근사법을 사용하였다. 이 방법을 이용하여 브러시 스트로크의 중심축을 3차식으로 유도하여 기울기와 곡률 면에서 부드러운 브러시 스트로크를 만들 수 있었다. 또한 보간법이 아닌 근사법을 사용하였기 때문에 기존 연구에서처럼 등성이 정보를 추출하여 세선화하고 그룹화하는 알고리즘을 적용하지 않아도 되는 장점이 있다.

셋째, 연결요소 기법으로 영역을 추출하는데 있어서 MHN 필터링할 때 얻어지는 MHN 인덱스 맵을 영역 추출에 활용하였다. 또한 추출된 영역으로부터 브러시 스트로크를 만들기 때문에 브러시 스트로크를 구성하는 모든 픽셀의 정보를 저장하였다. 이 알고리즘으로 회화적 애니메이션을 제작할 때 브러시 스트로크를 관리하는데 이용하여 애니메이션에서 프레임 간 스트로크의 시간적 일관성유지를 위해 사용될 수 있다.

본 논문에서 사용한 연결요소 기법은 효과적인 영상 분할 알고리즘이지만 이는 입력 영상의 크기에 따라 수행 속도가 느려지는 단점이 있다. 따라서 효과적으로 영상을 분할할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 논문은 회화적 렌더링의 연구 흐름에서 절차의 자동화 측면에서 연구되었다. 따라서 보다 회화적인 느낌의 영상을 만들기 위해서는 실세계 미술 도구의 물리적 시뮬레이션에 관한 연구가 함께 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2005학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- [1] P. Litwinowicz, "Processing images and video for an impressionist effect," *proc. SIGGRAPH 97*, pp. 407~414, 1997.
- [2] B. Gooch, G. Coombe, and P. Shirley, "Artistic vision: painterly rendering using computer vision techniques," *proc. NPAR 2002*, pp. 83~91, 2002.
- [3] P. Haeberli, "Paint by numbers: abstract image representation," In *Computer Graphics* (proc. SIGGRAPH 90) 24(4): 207-214. 1990.
- [4] A. Hertzmann. "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes," *proc. SIGGRAPH 98*, pp. 453-460, 1998.
- [5] M. Nagao and T. Matsuyama, "Edge preserving smoothing," *Computer Graphics and Image Processing*, vol 9, pp. 374-407, 1979.
- [6] Y. Wang. "Strukturzuordnung zur automatischen ober-flaechenrekonstruktion," in *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universitaet Hannover*, Nr. 207, 1994.
- [7] R. Jain, R. Kasturi, and B. Schunck, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [8] R. Burden and J. Faires, *Numerical Analysis*, 6th edition, Brooks/Cole, ISBN 0-534-95532-0, 1997.
- [9] J. S. Cha, Y. S. Park, and K. H. Yoon, "A Directional Stroke Generation Algorithm for Painterly Rendering," *LNCS*, Vol. 2669 No. 3, pp. 326~335, 2003.

- [10] D. Nehab and L. Velho, "Multiscale moment-based painterly rendering," *proc. SIBGRAPI 2002*, pp.244-251. 2002.
- [11] M. Shiraishi and Y. Yamaguchi. "An algorithm for automatic painterly rendering based on local source image approximation," *proc. NPAR2000*, pp.53 - 58, 2000.



서 상 현

1998년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 졸업
2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사졸업
2003년 ~2005년 (주)지노시스템 기술연구소 선임연구원
2001년 ~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 재학중
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, Proceduralism, GIS



윤 경 현

1980년 중앙대학교 공과대학 전자계산학과 졸업
1983년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 석사
1983년 ~1985년 한국전기연구소 연구원
1988년 University of Connecticut 전자계산학과 석사
1991년 University of Connecticut 전자계산학과 박사
1991년 ~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 렌더링, Proceduralism, GIS, 영상기반모델링과 렌더링, 비사실적 렌더링