

# 동적인 브러시의 굵기 및 위치를 사용한 회화적 렌더링

이호창<sup>1</sup>, 박영섭<sup>2</sup>, 윤경현<sup>3</sup>  
중앙대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터그래픽스 연구실<sup>1 2 3</sup>  
{fanpanic<sup>1</sup>, cookie<sup>2</sup>}@cglab.cse.cau.ac.kr, {khyoon}@cau.ac.kr<sup>3</sup>

## Painterly rendering using Brush stroke with dynamic size and position

Ho Chang Lee<sup>1</sup>, Young Sup Park<sup>2</sup>, Kyung-Hyun Yoon<sup>3</sup>  
Computer Graphics Lab, CS&E, Chung-Ang University<sup>1 2 3</sup>

### 요약

회화적 렌더링의 궁극적 목적은 주어진 영상을 사람이 직접 그린 듯한 회화적 느낌을 가미하는 것이다. 이러한 회화적 느낌을 표현하기 위한 중요한 요소에는 브러시의 그리는 방향과 다양한 브러시 사이즈, 그리고 캔버스 위에 브러시로 그려지는 위치 등이 있다. 본 논문에서는 브러시의 방향을 효과적으로 표현하기 위해 영상의 방향 보간을 먼저 하였다. 그리고 입력 영상과 캔버스의 최대 차이점에서 에지와의 거리를 고려하여 동적인 브러시의 사이즈를 표현 하였다. 그리고 그려진 주변의 일정 영역 안에서 다시 최대 차이점을 찾아나가는 방법으로 다음 브러시의 위치를 결정하였다. 이렇게 실제 회화를 그리는 과정을 따라감으로써 사실적인 회화적 렌더링의 결과를 얻을 수 있었다.

**Keyword:** 비사실적 렌더링, 회화적 렌더링, 보간법, 스트로크

## 1. 서론

회화적 렌더링은 사용자에게 의해서 입력된 영상을 이용하여 회화적 느낌을 표현해 나가는 과정이다. 입력 영상으로부터 회화적 느낌을 표현하기 위해서는 브러시 방향, 브러시의 사이즈, 그리고 브러시가 그려지는 위치, 등이 중요한 표현요소가 된다.

실제 사람이 회화를 그릴 때에는 하나의 붓으로도 힘의 조절에 의해 다양한 굵기를 표현할 수 있다. 또한 일정 격자 간격으로 붓을 칠해가는 것이 아닌 그린 위치에서 그 주변부를 먼저 칠해 나간다. 하지만 기존의 회화적 렌더링 알고리즘에서는 고정적인 격자 간격으로 브러시를 그려나가는 방법을 사용하였다. 그리고 브러시의

사이즈를 하나 또는 레이어의 개수만큼 고정적으로 정해놓고 사용하였다. 고정적 격자 간격 그리기를 하면 브러시가 많이 칠해져야 할 특정 부분을 세밀하게 표현하지 못했다. 또한 동일한 브러시 사이즈만을 사용하면 사실적인 회화적 브러시 효과를 내는데 방해가 되었다.

본 논문에서는 기존에 사용되었던 고정적인 격자 간격의 브러시 위치 선정과 하나 또는 몇 개로 한정되어 있는 브러시 사이즈의 단점을 개선하는 알고리즘을 제시한다. 먼저 방향보간을 통하여 브러시의 일관된 방향성을 가지게 하고 동적인 브러시의 위치 선정을 함으로써 기존의 격자 단위로 그릴 곳을 찾아가던 방법보다

사실적인 위치 선정이 가능해 졌다. 또한 다양한 브러시 사이즈를 사용함으로써 기존의 고정된 브러시 사이즈를 사용하는 것보다 좀 더 세밀한 부분을 잘 표현할 수 있게 되었다. 방향보간과 동적인 위치 선정, 그리고 다양한 브러시 사이즈에 대한 새로운 알고리즘을 통해서 기존의 렌더링보다 좀더 사실적인 붓터치의 느낌을 표현할 수 있었다.

## 2. 관련 연구

기존의 연구들은 브러시 스트로크가 그려질 위치를 찾을 때 격자 단위로 찾아 나가는 지터 그리드(jittered grid) 방법을 사용한다[1,2,3]. 그리고 동일한 사이즈의 브러시 사이즈를 사용하였다. [4]와[6]에서는 다양한 브러시 사이즈에 대한 방법을 제시하였으나 직선 스트로크 만이 가능하였다. 이를 개선하기 위해서 hertzmann[5] 은 직선 스트로크와 획일적인 브러시 사이즈의 단점을 개선한 새로운 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘에서는 각 점의 그래디언트 수직방향으로 여러 점을 찾아 곡선 스트로크를 표현하였다. 또한 다중 레이어(layer) 기법을 적용하여 각 레이어 별로 다른 브러시 스트로크 사이즈를 적용하여 여러 사이즈를 사용할 수 있는 방법을 제시하였다. 하지만 이 방법 역시 지터 그리드 기법을 이용하기 때문에 브러시 스트로크가 칠해지는 위치가 동일 간격을 포함하고 있다. 또 다중 브러시 사이즈를 사용 하지만 각 레이어 별로 하나의 사이즈만을 사용하기 때문에 3~4 개 정도의 브러시 사이즈만을 표현할 수 있다는 한계를 가지고 있다.

본 논문에서도 지터 그리드 방법을 이용하였다. 그러나 기존 연구들과 다르게 현재 칠해진 위치에서 주변 색 차이를 고려하여 다음 붓이 그려질 위치를 격자단위가 아닌 동적으로 찾아간다. 또한 브러시 사이즈를 주변 에지와의 거리계산을 통해 사용자가 지정한 값 안에서 동적으로 표현 될 수 있도록 하였다.

hertzmann 은 각 레이어 별로 가우시안 블러 필터를 다르게 적용하여 블러링을 하였다. 블러링을 하지 않고 원본 이미지와의 색 차이를 고려하여 색을 결정하면 주변과의 색 차이가 심하여 결과영상에 노이즈가 심하기 때문이다. 이때 적용되는 필터의 크기에 따라 영상 주변부는 블러링이 안될수 있다. 이로 인해 주변부에서는 노이즈가 심할 수 있다.

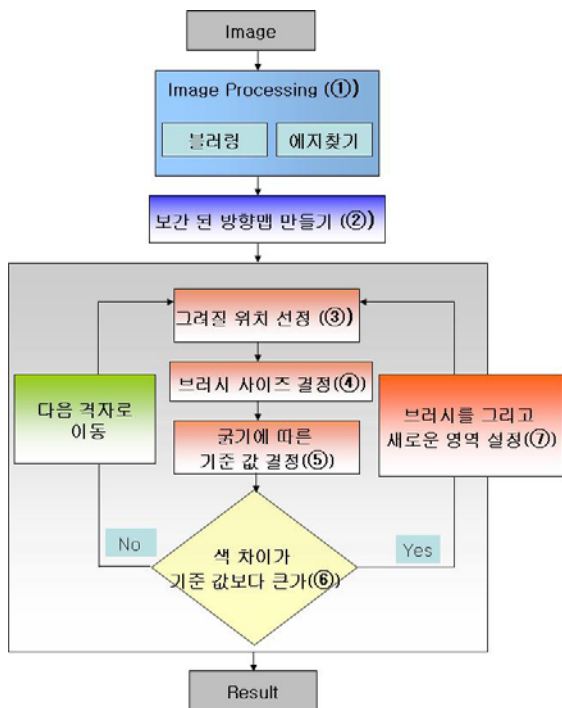
본 논문에서는 각 레이어 별로 블러링 되는 정도를 다르게 해서 색 차이를 줄이던 기존 방법대신 모든 레이어에 동일하게 작은 가우시안필터를 적용하여 주변에 블러링이 안 되는 부분을 최소화 하였다. 대신 해당 위치에서 브러시가 그릴지를 정하는 기준 차이값을 브러시 사이즈에 따라 계산하여 좀더 효과적인 렌더링 결과를 가져올 수 있도록 하였다.

Hays[8]는 스트로크의 일관된 방향성을 만들기 위해 RBF 기법[7]을 적용하여 전역 보간법을 사용하였다. 모든 점에 대하여 전역 보간법을 이용하여 하는 것과 자신의 주변의 강한 에지 들을 찾은 후 그것들에 의해서만 보간이 이루어 지는 것과 큰 차이를 보이지 않아 본 논문에서는 전역 보간법을 사용하지 않고 국부 보간법[9]을 사용하여 일관된 방향성을 표현하였다.

## 3. 동적인 브러시의 굵기 및 위치를 사용한 회화적 렌더링

[그림 1]은 본 논문에서 제안하는 회화적 렌더링 기법의 시스템 흐름을 보여주고 있다. 먼저 [그림 1(①)]과 같이 입력영상에 대한 이미지 처리과정이 필요하다. 이 단계에서는 렌더링에 필요한 블러링과 에지 찾기 과정이 수행된다. 블러링된 이미지와 에지를 사용해 국부보간법[9]을 한다 [그림 1(②)]. 보간 과정을 통해 방향이 일관된 방향맵을 만들수 있다. 그리고 사용자가 정한 레이어 단계만큼 다음 과정을 반복한다. 먼저 브러시가 그려질 위치를 선정해야 한다[그림 1(③)]. 그려질 위치가 선정되면 해당 위치에 알맞은 브러

시의 사이즈를 구한다[그림 1(④)]. 그 후 구해진 브러시 사이즈를 가지고 일정 기준 값을 구한다 [그림 1(⑤)]. 구해진 일정 기준 값과 현재 색 차이를 비교해 그려줄지를 판단한다[그림 1(⑥)]. 색 차이가 기준 차이값보다 작으면 다음 격자로 넘어가 [그림 1(③)]의 과정부터 반복한다. 색 차이가 기준 차이 값보다 크면 브러시를 그려주고 그려진 브러시를 중심으로 새로운 영역을 정한다 [그림 1(⑦)]. 그리고 새로운 영역 안에서 [그림 1(③)]의 과정을 반복한다. 위 과정 중 본 논문에서 중심이 되는 보간된 방향맵 만들기[그림 1(②)], 동적인 그려질 위치 선정과정[그림 1(③)], 동적인 브러시 사이즈 결정[그림 1(④)], 그리고 그려줄지를 결정하는 기준 차이값 결정과정[그림 1(⑤)] 에 대해서는 다음 장에서 자세히 설명하였다.



[그림 1] 알고리즘의 시스템 흐름도

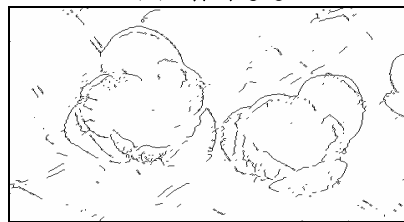
### 3-1. 보간된 방향맵 만들기

회화적 렌더링에서 브러시를 칠해 나갈 때 일정한 방향성을 유지해야 한다는 것은 중요한 요소 중 하나이다. 본 논문에서는 강한 에지에 의해 보간이 되는 국부 보간법[9]을 사용하여 방향 맵을 구현하였다. 강한에지란 각 픽셀의

그래디언트값중 그 값이 특별하게 큰 픽셀들을 말한다. [그림 2-(a)]는 사용된 원본 이미지이며 캐니 에지(Canny Edge) 방법을 이용하여 에지를 찾는다[그림 2-(b)]. 그리고 이중 강한에지만을 추출한다[그림 2-(c)].



(a) 입력영상



(b)입력 영상으로부터 구한 에지



(c) 에지로부터 얻어진 강한에지

[그림 2] 입력영상으로부터 추출된 강한 에지

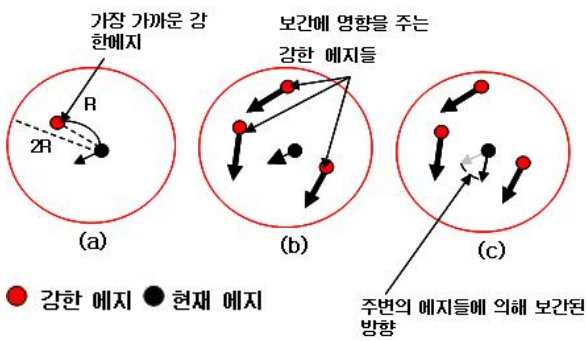
[그림 3]은 찾아낸 강한에지들을 사용하여 방향 보간을 하는 과정을 보여준다. [그림 3-(a)]는 현 위치에서 가장 가까운 강한 에지와 거리( $R$ )를 찾는 과정이다. [그림 3-(b)]는 현재 에지의 보간에 영향을 줄 수 있는 영역( $2R$ ) 안의 강한 에지들( $E_i$ )을 나타낸다. 구해진 강한 에지들에 일정한 가중치( $w_i$ )를 [수식 1]을 통해 구한다. 그리고 각 강한에지의 방향값( $EV_i$ )에 자신의 가중치를 곱해 모두 더한다[수식 2]. 더해진 값( $GSUM$ )을 가중치의 합으로 나누어 현재 픽셀( $P_{(x,y)}$ )의 방향값( $PV_{(x,y)}$ )을 구한다[수식 3]. [그림 3-(c)]는 강한 에지들에 의해 기존의 방향이 보간되는 모습을 보여준다.

$$w_i = \left(\frac{R}{d_i}\right)^2 \quad - \text{[수식 1]}$$

$$GSUM += w_i * EV_i \quad - \text{[수식 2]}$$

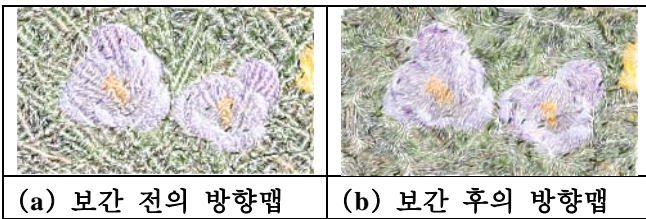
$$PV_{(x,y)} = \frac{GSUM}{\sum_i^n w_i} \quad - \text{[수식 3]}$$

$R$  = 가장 가까운 강한에지와의 거리  
 $d_i$  =  $i$ 번째 강한에지와 현재 픽셀과의 거리  
 $w_i$  =  $i$ 번째 강한에지의 가중치  
 $GSUM$  = 누적된 강한에지의 방향값  
 $E_{i(x,y)}$  =  $i$ 번째 강한에지의 위치  
 $P_{(x,y)}$  = 현재 픽셀의 위치  
 $EV_i$  =  $i$ 번째 강한에지의 방향값  
 $PV_{(x,y)}$  =  $P_{(x,y)}$ 의 방향값



[그림 3] 주변의 강한에지에 따른 방향보간 과정

[그림 4]는 방향 보간 전과 보간 후의 방향맵을 비교하고 있다. [그림 4-(b)]는 주변의 강한에지에 의해 보간을 함으로써 [그림 4-(a)] 보다 일관된 방향성을 얻을 수 있었다.

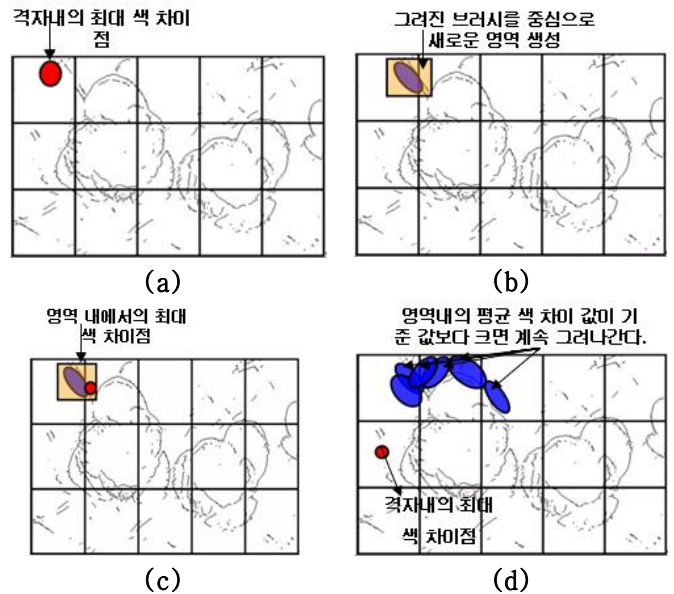


[그림 4] 보간 전과(a)과 후(b)의 방향맵 비교

### 3-2. 동적인 그려질 위치 선정

보통 화가들은 실제 회화를 그릴 때 붓을 가지고 한곳을 그리기 시작하면 그 주변부를 먼저 그린 후 다른 곳을 그리기 시작한다. 또한 윤곽선 주위를 먼저 그리고 그 주위 부분을 정밀하게 그린다. 그러나 기존 연구[1,2,3,5]는 캔버스를 격자 단위로 넘어가면서 하나의 격자당 하나의 브러시 스트로크를 그려 나간다. 이 알고리즘은 특정 부위를 세밀하게 묘사하거나 윤곽선을 따라 그려나가는 느낌들을 명확히 표현하지 못한다. 본 논문에서는 기존과는 다른 새로운 알고리즘을 제시

하였다. [그림 5]는 동적인 브러시의 위치를 찾아나가는 방법을 보여주고 있다. 먼저 격자 내에서 블러링된 영상과 캔버스간의 색상 차가 가장 큰 최대 차이점을 찾는다[그림 5-(a)]. 하나의 브러시 스트로크를 그린 후 다음 격자로 넘어가는 것이 아닌 [그림 5-(b)]와 같이 그려진 브러시를 기준으로 새로운 영역을 정한다. 그리고 새로운 영역에서 최대 색 차이점과 평균 색 차이값을 구한다[그림 5-(c)]. 구해진 평균 색상차이가 일정 기준 값보다 크면 영역 안의 최대 차이점에서 브러시 스트로크를 그려준다. 주변의 최대 차이값을 찾아가며 그려가다 일정 영역의 색 차이값이 기준 차이값보다 작아지면 [그림 5-(d)]와 같이 다음 격자로 넘어가 브러시를 그리는 과정을 반복한다. 일정 기준 값을 찾는 과정은 3-4 절에서 설명한다. 현 위치에서 다음 그려질 위치를 유추해 나감으로 고정적 격자 방식보다 사실성 있고 동적인 브러시의 위치선택이 가능하다.



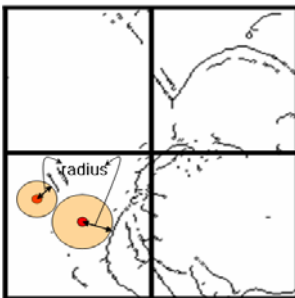
[그림 5] 다음 그려질 곳을 찾아가는 과정

### 3-3. 동적인 브러시의 사이즈 결정

실제 회화에서는 하나의 붓으로도 화가의 힘에 의해 다양한 사이즈 표현 가능하다. 그러나 기존의 연구들[1,2,3,5]은 브러시의 사이즈가 정해져 있었다. 본 논문에서는 기존의 획일적이고 정적인 브러시 사이즈를 사용하는 것이 아닌

다양한 브러시 사이즈를 동적으로 적용하여 표현하였다.

먼저 사용자로부터 각 레이어 별로 최대 브러시 사이즈(Maxsize)와 최소 브러시사이즈(Minsize)를 입력으로 받는다. 해당 레이어에서의 브러시 사이즈는 최대와 최소 브러시 사이즈 안에서 결정된다. 가장 가까운 에지와의 거리에 따라 브러시의 사이즈가 결정된다. 이때 에지의 양이 많으면 상대적으로 거리가 길게 많이 나올 수 있고 적으면 작은 브러시 사이즈가 많이 나올 수 있다. 따라서 레이어 별로 케니에지 필터에 들어갈 값들을 조절하여 에지가 찾아지는 양을 조절하였다. [그림 6-(a)]는 그려질 위치에 따라 에지와의 거리 다양하게 나올 수 있음을 보여준다. 그리고 [그림 6-(b)]는 계산된 거리(radius)를 가지고 브러시 사이즈를 정하는 기준을 설명하고 있다. 브러시의 방향은 3-1 절 단계를 통해 일관된 방향성을 가지고 있다. 그리고 에지 주변의 방향성은 대부분 윤곽선의 방향과 수평하다. 따라서 에지와의 거리는 그려주는 방향의 수직이고 이를 통해 브러시 사이즈를 구하는데 사용하였다.



If radius > Max size  
Brush size = Maxsize

If radius < Min size  
Brush size = Minsize

Else Brush size = radius

(a) 최단 에지까지 거리 (b) 굵기 선정 조건

Brush size: 적용될 브러시 사이즈  
radius: 현재위치와 최단에지사이거리  
Maxsize: 사용자가 입력한 최대브러시 사이즈  
Minsize: 사용자가 입력한 최소브러시 사이즈

[그림 6] 동적인 브러시의 사이즈 찾기 과정

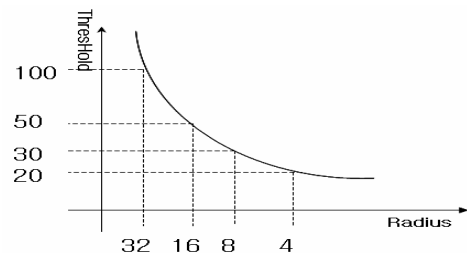
### 3-4. 브러시 굵기에 따른 기준 차이 값 결정

기존 연구[5]에서는 고정된 기준 차이값을 사용하여 브러시가 그려질지를 결정한다. 그러나 본 논문에서는 기준 차이값을 일정한 계산식에 의해 도출하였다. 일반적으로 회화를 그릴 때 큰

브러시에서 작은 브러시를 칠해 나가므로 큰 브러시에는 기준 차이값을 크게, 작은 브러시에는 기준 차이값을 작게 하여 점점 더 세밀한 표현이 가능하도록 하였다. 색상차이는 [수식 4]를 사용하여 구한다. 수식에서 사용된  $r1, g1, b1$  과  $r2, g2, b2$  는 각각 현재 픽셀 에서의 블러링된 이미지와 캔버스의 빨간색, 녹색, 파란색을 의미한다.

$$|(r1, g1, b1) - (r2, g2, b2)| = \sqrt{(r1-r2)^2 + (g1-g2)^2 + (b1-b2)^2} \quad \text{--- [수식 4]}$$

[그림 7] 과 같이 최대 값 차이를 100, 최소 값 차이를 0 으로 기준하였을 때 최대 브러시 크기 32 에서 최소 브러시 크기 4 까지 각각의 값을 다르게 주었다. 따라서 큰 브러시 는 대략적인 이미지를 표현할 수 있고 작은 브러시는 정밀한 이미지를 그려나가게 되어 있다.



[그림 7] 반지름에 따른 기준 색 차이값 그래프

## 4. 영상 결과

[그림 8] 은 기존에 사용되던 렌더링의 레이어별 결과이고 [그림 9]는 본 논문에서 제시한 알고리즘을 사용하여 나온 결과이다. 두 영상을 비교해 보면 격자간격으로 그려나가지 않고 주변을 따라 덧 칠해 가기 때문에 [그림 8-(a)]보다 [그림 9-(a)]에 더 많은 브러시가 그려진 것을 볼 수 있었다. 또한 [그림 9]에서 좀더 일관된 방향성을 가지고 영상이 세밀하게 묘사된 것을 볼 수 있었다. [그림 10]은 보간을 한 것과 하지 않은 것을 비교한 영상이다. 보간을 통해서 일관된 방향성을 가지는 결과영상[그림 10-(b)]을 얻을 수 있었다. 그리고 [그림 11]은 주변 덧 칠을 하지 않고 하나씩 그려 나간 것과 주변에 덧 칠을 한 결과이다.

주변부를 덜 칠할수록 같은 조건에서도 더 세밀한 영상결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. [그림 12]는 이 알고리즘으로 풍경화 스타일의 영상에 적용시켜본 결과이다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존에 사용되어오던 일정한 브러시 사이즈 및 위치에 대한 단점을 개선하고자 방향을 보간하고, 위치, 사이즈를 동적으로 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 방향 보간을 통하여 일관된 방향성을 만든 후 그려질 위치에 대해 고정적인 격자 단위 그리기보다 좀더 유연한 위치 찾기 방법을 사용했다. 그리고 브러시의 사이즈를 주변 에지와와의 거리에 따라 다양한 굵기를 표현하는 방법을 제시하였다. 이 과정을 통하여 나뭇잎이나 풍경 같은 영상에서 필요로 하는 붓 터치의 느낌을 효과적으로 표현가능 하였다. 하지만 이 알고리즘 역시 격자에 의존하기 때문에 격자 간격이 작아지면 기존 렌더링과의 차이를 크게 느끼지 못하게 되므로 격자 단위를 사용하지 않는 렌더링 방법에 대한 향후 연구가 이루어 져야 할 것이다.

또한 브러시의 사이즈 및 위치를 결정하는데 에지와와의 거리 및 색상차이 이외에 영역에 그려진 브러시 스트로크의 빈도와 같은 다른 요소들과의 상관관계 또한 향후 연구되어야 할 것이다.

## 6. 참고 문헌

- [1] ADOBE SYSTEMS. Adobe Photoshop 7.0
- [2] FRACTAL DESIGN CORPORATION. Fractal Design Painter.
- [3] PETER LITWINOWIZ.PROCESSING Images and Video for An Impressionist Effect. SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, pp. 407-414. August 1997.
- [4] MICROSOFT CORPORATEION. Microsoft Image Composer1.5
- [5] A. Hertzmann, "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes," SIGGRAPH 98

Proceeding, pp.453-460, 1998

[6] S.M.F.TREAVETT And M.CHEN. Statistical Techniques for the Automated Synthesis of Non-Photorealistic Image. Proc. 15<sup>th</sup> Eurographic UK Conference, March 1997

[7] BORS, A. G. 2001. Introduction of the radial basis function (rbf) networks.In Online Symposium for Electronics Engineers, vol. 1 of DSP Algorithms: Multimedia.

[8] J. Hays and I. Essa, "Image and Video Based Painterly Animation" , NPAR2004: Third International Symposium on Non-Photorealistic Acimation and Rendering, pp.133-120, 200

[9] Thaddeus Beier, Shawn Neely, "Feature Based Image Metamorphosis" , SIGGRAPH 92 Proceeding,pp.35-42,1992



(A) Layer1 : Brush Size : 32 Stroke Length: 4



(B) Layer2 : Brush Size : 16 Stroke Length: 4



(C) Layer3 : Brush Size : 8 Stroke Length: 4



(D) Layer4 : Brush Size : 4 Stroke Length: 4

[ 그림 8 ] 기존방식의 렌더링

결과 (opacity: 0.6 gridsize: 1)



(A) Layer1 : Brush Size : 36~28 Stroke Length: 4



(B) Layer2 : Brush Size : 20~12 Stroke Length: 4



(C) Layer3 : Brush Size : 10~6 Stroke Length: 4



(D) Layer4 : Brush Size : 4 Stroke Length: 4

[ 그림 9 ] 동적인 굵기 및 위치를 가지는 렌더링 결과 (opacity: 0.6 gridsize: 1)



(A) 보간 안 한 결과



(B) 보간 한 후 의 영상

[그림 10] 보간한 것과 안한 것과의 영상비교

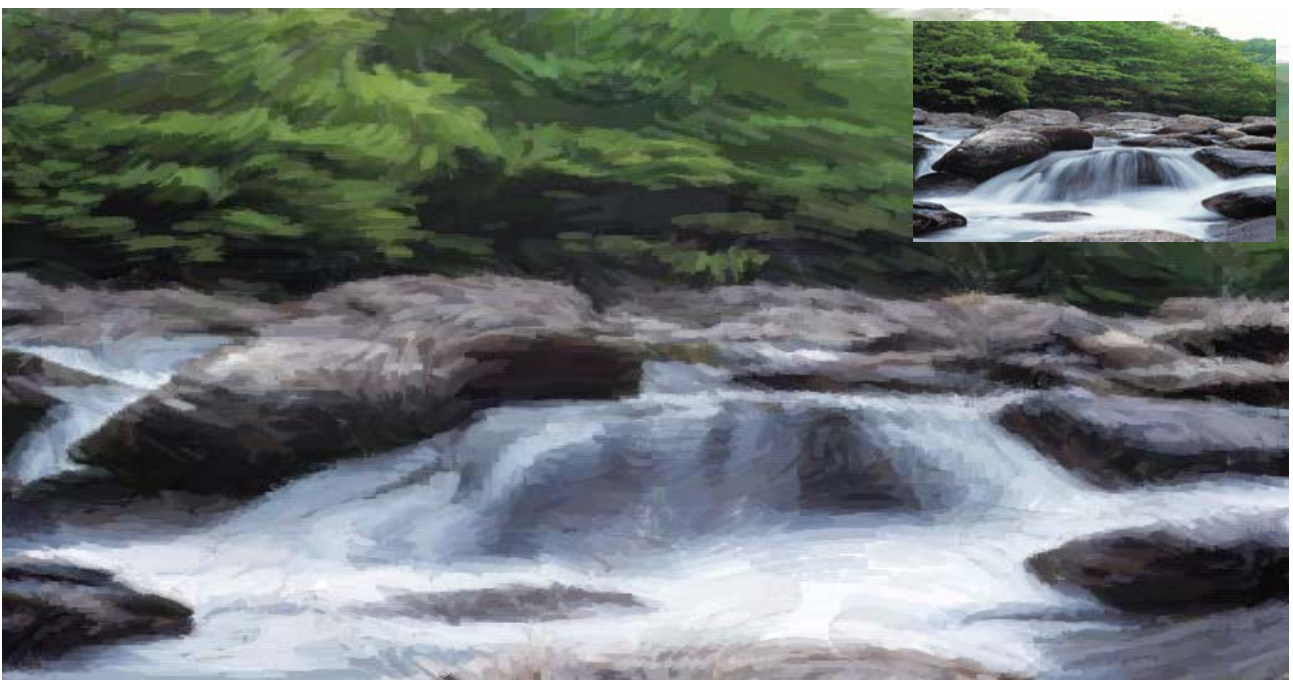


(A) 주변부 탐색하지 않고 한 격자에 하나씩 그려나간 것



(B) 주변부를 탐색하여 더 칠할 부분을 탐색해 나간 것

[그림 11] 주변부를 탐색한 것과 안한 영상의 비교



4개의 레이어 .1번레이어(36~28) 2번레이어(20~12) 3번레이어 (10~6) 4번레이어 (4)  
opacity:0.6 grid size: 1

[그림 12] 풍경화 스타일의 영상에 적용한 결과