

히스토그램 매칭을 이용한 회화적 스트로크 렌더링 기법 연구

용한순⁰ 이수연 윤경현
중앙대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터 그래픽스 연구실
{hansoon⁰, henim, khyoon}@cglab.cse.cau.ac.kr

A Study of Painterly Stroke Rendering Techniques Using Histogram Matching

Han-Soon Yong⁰, Soo-Yeon Lee, Kyung Hyun, Yoon
Computer Graphics Lab, School of Computer Science & Engineering, Chung-Ang University

요 약

본 논문은 회화적 렌더링(painterly rendering)을 위한 다양한 크기를 갖는 곡선 브러시 스트로크(brush stroke)의 생성에 관한 알고리즘과 그 구현 방법을 다루고 있다. 논문에서 제시하는 알고리즘은 한 장의 영상을 입력으로 하여, 화가가 손으로 그린 듯한 느낌을 주는 결과 영상을 만들어 낸다. 결과 영상은 브러시의 크기에 따라 몇 개의 계층(layer)으로 구성되며 각 계층들은 일련의 스플라인 커브(spline curve)로 모델링된 곡선 브러시 스트로크들로 이루어진다. 또한 결과 영상의 회화적 느낌을 강조하기 위하여 입력 영상의 색상을 변환하는 과정을 포함하고 있다.

1. 서론

본 논문은 회화적 렌더링(painterly rendering)을 위한 알고리즘을 제안하고 있으며, 이 알고리즘은 다양한 크기와 곡선 브러시 스트로크(brush stroke)에 관한 구현 방법을 다루고 있다. 또한 결과 영상에서 보다 회화적인 느낌이 들도록 입력 영상의 색상을 변환하는 과정을 포함하고 있다. 첫째, 크기가 다양한 브러시를 함께 사용하고, 둘째, 브러시 스트로크를 곡선으로 생성하고, 셋째, 입력 영상의 색상을 변환하여 사용하여 결과 영상의 회화적 느낌을 효과적으로 표현할 수 있도록 하였다.

비사실적 영상을 만들어내기 위한 연구에는 크게 두 가지 연구 흐름이 있다[1]. 하나는 어떻게 하면 실제계 미술 도구(real world artistic media)의 물리적 특성을 충실하게 흉내 낼 수 있는가 하는 물리적 시뮬레이션 측면의 접근[2, 3]이고, 다른 하나는 어떻게 하면 입력 영상으로부터 사용자의 간섭 없이 자동으로 회화적 이미지를 만들어 낼 수 있는가 하는 절차(process)의 자동화 측면에서의 접근[5, 6]이다.

본 논문은 위의 두 연구 흐름 중에서 후자인 절차의 자동화 측면에 관한 연구이다. 따라서 본 논문에서는 브러시 스트로크의 물리적 특성에 관한 연구는 포함되지 않으며, 자동으로 효과적인 브러시 스트로크의 생성을 목표로 한다.

2. 다양한 크기를 갖는 브러시 스트로크

회화적 영상을 만들어 내는 데 있어서, 같은 크기의 브러시 스트로크들만을 사용하는 것은 작품(결과 영상)을 단조롭게 만드는 경향이 있다[1]. 실제 화가의 작품을 보더라도 배경과 같이 전체 작품의 구도에서 강조되지 않는 부분은 굵은 브러시로 그리고, 화가가 강조하고자 하는 부분은 가는 브러시로 세밀하게 표현한다. 본 논문에서는 결과 영상에서 다양한 크기의 브

러시 스트로크가 함께 표현되도록 하기 위해서 브러시 크기에 따른 목록을 입력으로 받아 각각의 브러시 크기마다 하나의 계층을 만들고 이들 계층을 브러시 크기가 큰 계층부터 브러시 크기가 작은 계층을 쌓아 결과 영상을 만들어 간다.

먼저, 결과 영상의 각 계층마다 입력 영상을 블러링하여 참조 영상을 만든다. 이 때 브러시의 크기를 인자로 하여 블러링이 이루어지며, 브러시가 굵을수록 참조 영상은 블러링이 많이 된다. 다음으로, 참조 영상과 결과 영상을 비교하여 그 차이가 미리 정해진 임계 값(threshold) 보다 큰 영역을 찾는다. 만일 임계 값보다 차이가 큰 영역이 발견되면 그 영역은 브러시의 크기가 더 작은 새로운 브러시 스트로크로 덮이는 영역이 된다. 임계 값보다 차이가 적은 영역에 대해서는 아무런 동작을 취하지 않고 그대로 둔다. 이와 같은 작업을 브러시 크기에 따라 브러시의 크기가 가장 큰 계층부터 가장 작은 계층까지 반복하면 다양한 크기의 브러시 스트로크가 함께 표현된 결과 영상을 얻을 수 있다(그림 3).

3. 곡선 브러시 스트로크

브러시 스트로크를 일정한 길이로 그리거나 직선으로만 표현하는 것은 회화적 영상을 만드는데 효과적이지 못하다. 실제 화가는 브러시 스트로크를 그리는데 있어서 직선으로만 그리지도 않을뿐더러 브러시 스트로크의 길이도 다양하다. 이러한 브러시 스트로크의 특징은 화가의 화풍(style of painting)을 결정짓는 중요한 요인이기도 하다. 직선 브러시 스트로크가 갖는 한계를 극복하기 위해서, 본 논문에서는 브러시 스트로크를 큐빅 B 스플라인을 통해 곡선으로 모델링 하였다. 이를 위해서 본 논문에서는 참조 영상의 그레이디언트 방향을 기반으로 컨트롤 포인트를 찾는다. 컨트롤 포인트는 그레이디언트 방향에 수직인 직선 위에 놓이게 되며 그 중에서도 전체 브러시 스트로크의 곡률을 최소화하는 위치를 컨트롤 포인트로 선택하였다(그림 1).

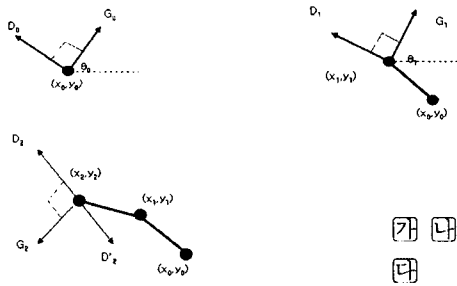


그림 1 (a)에서 시작 위치인 (x_0, y_0) 에서 그래디언트 방향은 G_0 이다. 이 때 컨트롤 포인트는 G_0 에 수직인 D_0 방향에 놓이게 되며 (b)에서는 브러시의 크기인 R만큼 떨어진 위치에 (x_1, y_1) 를 찾는다. (x_1, y_1) 에서 그래디언트 방향은 G_1 이고 이에 수직인 D_1 방향을 구할 수 있다. (c)에서는 (x_1, y_1) 에서 D_1 방향으로 다시 R만큼 떨어진 (x_2, y_2) 를 컨트롤 포인트로 찾는다.

[1]에서 그래디언트 방향을 계산하는 방법으로 참조 영상의 밝기 값(luminance)에 소벨 필터(Sobel filter, 그림 2)[6]를 적용하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 한 픽셀(pixel) 위치에서 그래디언트 방향을 구하기 위해 이웃한 여덟 픽셀의 밝기 값을 사용한다.

H_x	1	0	-1
	2	0	-2
	1	0	-1

H_y	-1	-2	-1
	0	0	0
	1	2	1

그림 2 Sobel filter masks

이 방법은 이웃한 여덟 픽셀의 밝기 값이 같은 경우, 그래디언트 방향은 가로와 세로 모두 0이 되어 그 위치에서 브러시 스트로크를 생성하지 못하는 문제점이 있다. 이 점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 그래디언트 방향을 구하는데 사용되는 소벨 필터가 회전(convolution)되는 영역의 크기를 3×3 으로 한정하지 않고 확장하여 적용하였다. 먼저 기존의 방법으로 소벨 필터 마스크를 사용하여 그래디언트 값을 계산한 후, 그 결과가 가로와 세로 모두 0이면 소벨 필터 마스크의 각 요소간 거리를 1 증가시켜 다시 그래디언트 값을 계산한다. 그 결과가 0이 아닐 때까지 이 과정을 반복하며, 최종 그래디언트 값은 소벨 필터 마스크의 각 요소간 거리로 계산된 값을 나누어 해당 위치에서의 그래디언트 방향으로 추정한다.

4. 히스토그램 매칭을 이용한 색상 변환

실제 화가가 회화 작품을 그릴 때, 화가는 눈에 보이는 자연 그대로의 색을 사용하지 않는다. 화가는 자신이 느끼는 대로 색을 표현하며 이는 회화 작품의 중요한 특징이 된다. 또한 색은 작품 전체에서 분위기를 나타내기도 하고, 화가만의 특징이 되기도 한다. 본 논문에서는 입력 영상의 색상을 변화시켜 보다 실제 화가가 그린 것과 같은 결과 영상을 만들어 내도록 하였다.

입력 영상의 색상을 변환하는 방법으로 본 논문에서는 색상 참조 영상을 입력으로 받아, 입력 영상의 히스토그램 분포를 색상 참조 영상의 히스토그램 분포에 일치시키는 방법을 사용하였다. 이를 위하여 색상을 변환하는 방법으로 색상별 룩업 테이블(look-up table)을 사용하였다. 먼저, 입력 영상과 색상

참조 영상의 색상별 히스토그램 분포를 통하여 룩업 테이블을 만들고 이 룩업 테이블을 입력 영상에 적용하여 색상 참조 영상의 히스토그램 분포와 유사한 영상을 만들어 낸다.(그림 4의 (a)와 (b))

룩업 테이블을 적용한 영상의 히스토그램 분포는 색상 참조 영상의 히스토그램 분포와 전체적으로는 유사하지만, 픽셀들은 고른 분포를 가지지 못한다. 이는 룩업 테이블의 값이 이산적인(discrete) 부분에서 삼하게 나타나며, 이러한 특성은 영상의 질을 낮출 뿐 아니라 그래디언트 방향을 계산하여 곡선 브러시 스트로크를 생성하는데도 좋지 않은 결과를 낳는다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 각 색상별 룩업 테이블이 연속적인(consecutive) 형태를 갖도록 조작하여 사용한다.

5. 적용 결과 고찰 및 결론

그림 3은 브러시 크기가 큰(반지름 : 8) 계층부터 작은(반지름 : 2) 계층이 적용되어 나가는 과정을 보여준다. 또한 그림 3에서는 각 계층의 브러시 스트로크들이 직선이 아닌 곡선으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 각각 입력 영상(가), 색상 참조 영상(나)을 가지고 색상 변환 없이 렌더링한 결과 영상(다), 색상을 변환한 영상(라)을 가지고 렌더링한 결과 영상(마)을 보여주고 있다. 입력 영상의 색상별 히스토그램 분포를 색상 참조영상의 히스토그램 분포에 일치시키기 위한 룩업 테이블을 (a)와 같이 그래프로 보여주고 있다.

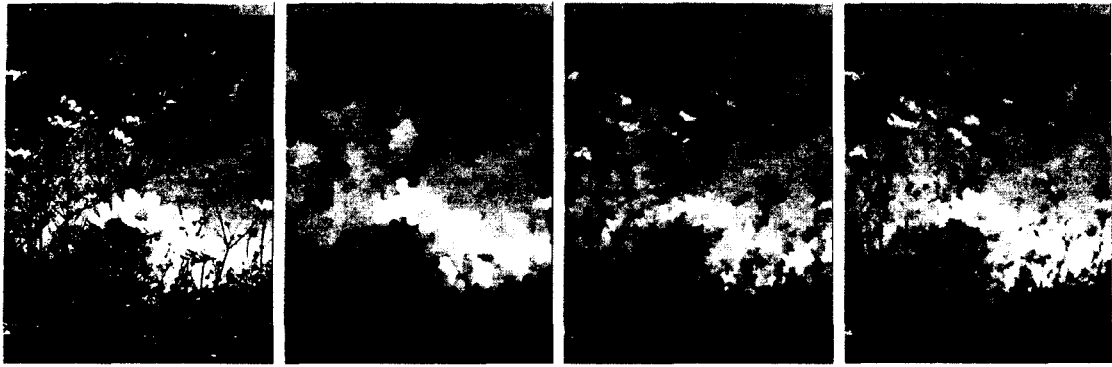
본 논문에서는 효과적인 회화적 렌더링을 위한 알고리즘으로 기존의 알고리즘이 그래디언트에 기반을 두어 곡선 브러시 스트로크를 생성할 때, 그래디언트 방향을 계산할 수 없는 경우 소벨 필터를 확장하여 그래디언트 방향을 추정하는 방법을 제안하였으며, 색상 참조 영상을 도입하여 입력 영상의 색상을 변환시켜 보다 회화적인 느낌이 들도록 하였다.

6. 감사의 글

본 논문은 한국 과학기술부 국가지정연구실 사업(No. 2000-N-NL-01-C-285)의 지원을 받아 수행되었습니다.

7. 참고문헌

- [1] Aron Hertzmann, Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes SIGGRAPH '98
- [2] CASSIDY J. CURTIS, SEAN E. ANDERSON, JOSHUA E. S. EIMS, KURT W. FLEISCHER, DAVID H. SALESIN. Computer-Generated Watercolor. SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, pp. 421-430. August 1997.
- [3] FRACTAL DESIGN CORPORATION. Fractal Design Painter.
- [4] HAROLD COHEN. The Further Exploits of Aaron, Painter. Stanford Humanities Review. Vol.4, No.2. pp. 141-158. 1995
- [5] PAMELA MCCORDUCK. AARON's CODE: Meta-Art, Artificial Intelligence, and the Work of Harold Cohen. New York: W. H. Freeman & Co. 225 pages. 1991.
- [6] Randy Crane, A Simplified approach to Image Processing, A Prentice Hall, 1997



(a) 입력 영상

(b) 중간 영상 1

(c) 중간 영상 2

(d) 결과 영상

그림 3. 크기가 다른 3개의 브러시로 결과 영상을 만들어내는 과정. 입력 영상(a), 크기가 8인 브러시로 그린 첫 번째 계층의 중간 영상 (b), 그 위에 크기가 4인 브러시로 그린 후의 중간 영상(c), 다시 그 위에 크기가 2인 브러시로 그린 후의 결과 영상(d)



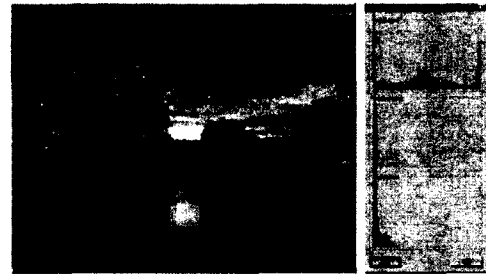
(a) 입력 영상



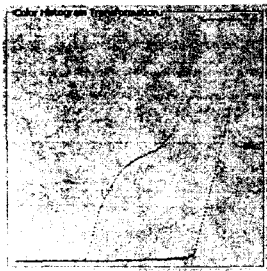
(a) 입력 영상에 색상을 변환한 영상



(a) 색상 변환을 적용하지 않은 결과 영상



(a) 색상 변환을 적용한 결과 영상



(a) 히스토그램 매칭 함수



(a) 색상 참조 영상

그림 4. 입력 영상(a), (a)를 색상 변환 없이 렌더링한 결과 영상(b), 색상 참조영상(c)으로 색상을 변환한 영상(d), 색상을 변환한 후 렌더링한 결과 영상(e), (a)의 히스토그램 분포를 (c)의 히스토그램 분포와 일치시키기 위한 히스토그램 변환 함수(f)