

한 장의 2차원 이미지를 이용한 동양화적 비사실적 렌더링 (Oriental Painting non-photorealistic Rendering by using a Single 2-D Image)

방 승 주 [†] 박 경 주 ^{**}
(Seungju Bang) (Kyoungju Park)

요 약 본 논문에서는 한 장의 2-D 이미지를 입력으로 받아 자동적으로 동양화처럼 보이는 그림으로 바꾸어 주는 비 사실적 렌더링(NPR) 시스템을 제안한다. 동양화의 선은 두께가 다양하고 끝이 갈라지는 특성이 있고, 농담의 변화를 주어 대상 물체의 입체감을 표현하는 경향이 있다. 본 논문에서는 이미지의 외곽선 추출을 바탕으로 curvature를 사용하여 선을 따라 변하는 두께를 가진 선을 생성한다. 또한 기존에 수채화 스타일에서 제안된 농담 표현방법과는 반대로 지역적인 세부표현을 증가시키고 광역적인 농담을 줄여준다. 본 논문은 외곽선 추출, 선 그리기를 통하여 다양한 두께의 선을 표현해 주는 방법과, 이미지의 필터링과 intensity 변환을 통한 농담을 표현하는 일련의 연속적인 방법을 제안한다.

키워드 : 비사실적 렌더링, 동양화, 선, 이미지, 프로세싱

Abstract This paper presents an automatic Oriental ink-rendering technique that recreates the artistic style of Oriental paintings from a single image. In Oriental paintings are characterized by strokes with various

· 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이고(No. 2009-0054429, 2009-0074861). 2009년도 중앙대학교 우수연구자연구연구비 지원에 의한 것임
· 이 논문은 2009 한국컴퓨터종합학술대회에서 '한 장의 2-D 이미지를 이용한 동양화적 비사실적 렌더링'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 중앙대학교 첨단영상대학원
formlife1225@nate.com

^{**} 종신회원 : 중앙대학교 첨단영상대학원 교수
kjpark@cau.ac.kr

논문접수 : 2009년 8월 14일

심사완료 : 2009년 12월 4일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

thickness and disordered dispersion. In this study, a stroke drawing method was developed based on the canny edge detector and radial curvature that are suitable for lines with varied thickness even along a single stroke. A dispersion-shading method was likewise developed by applying a set of iterated dual-filtering, and intensity-exaggeration methods. The dispersion-shading method is designed to increase the local shade details, to decrease the global shade. Unlike the existing watercolor-rendering and abstraction system the proposed dispersion-shading method achieves disordered shade details rather than simplification.

Key words : Non-photorealistic rendering, Oriental-painting, Stroke, Image Processing

1. 서론

동양화적인 작업은 서양화와 매우 다른 독특한 작품을 만들 수 있다. 이는 서양에서 볼 수 없는 종이와 먹 그리고 붓의 매우 복잡한 상호 관계 때문에 다양한 특색이 나타났다. 이러한 효과는 매우 매력적이며, 선과 농담이 매우 중요한 요소가 된다. 선은 붓의 압력, 속도에 따라 다양한 두께가 나타나며, 농담은 물과 먹의 비율에 따라 입자가 집중되는 정도의 차이로부터 야기된다. 때문에 기존에 연구되어 왔던 서양화의 NPR 기법을 동양화에 그대로 적용하는 것은 적합 하지 않다.

최근 선을 스타일화 하는 방법과 농담을 표현하는 다양한 방법이 제시되었다. 펜과 잉크의 효과를 내는 선 그리기[1]뿐 아니라, 몇 가지의 두께를 가지는 선을 표현 하는 방법 또한 제안되었다[2]. 농담을 표현에 있어서, 수채화적인 농담 표현방법이 제시되었을 뿐만 아니라[3] 유체 시뮬레이션을 기반으로 먹의 효과를 내는 방법을 제안하였다[4]. 또한 동양화적인 NPR 방법으로 3D 동물 모델을 동양화처럼 바꾸어주는 NPR 시스템을 제안되었으며[5] 3D 나무와 돌 모델을 이용하여 먹의 효과를 주는 방법도 제안되었다[6]. 이후에 Adrina et al. 은 두 장의 2차원 이미지를 사용하여 깊이 정보를 추출하고 이를 동양화적인 구도표현에 활용하는 NPR 시스템을 제안하였다[7].

하지만 지금까지 제안된 동양화적인 NPR 방법들은 3차원 모델 혹은 입체영상(stereopsis pair)을 입력으로 받는 등 입력데이터의 깊이(depth)정보가 요구되었다. 혹



그림 1 실제 동양화

은 붓을 모델링하거나 유체 시뮬레이션을 이용하여 먹의 번지는 모습을 표현하여 사용자 상호작용을 필요로 하는 페인팅 툴을 제공하였다. 때문에 2차원 단일 실사 영상을 입력으로 받아 사용자 상호작용 없이 자동적으로 동양화적인 이미지를 생성해 주는 연구는 부족 하였다.

본 논문에서 제안되는 방법은 깊이 정보 없이 2차원 단일 실사 영상을 입력으로 받아 동양화적인 영상을 결과로 출력하는 것이다. 동양화는 그림 1과 같이 한 개의 선을 따라 다양한 두께가 나타나며 전체적인 농담보다 세부적인 농담을 표현한다. 때문에 선을 표현하는 단계에서는 물체의 윤곽선을 따라 다양한 두께가 있는 선을 생성하여 표현하도록 한다. 농담표현의 단계에서는 입력 영상의 전체적인 농담을 줄이고 지역적인 세부사항을 강조한다. 이러한 일련의 연속적인 과정을 통하여 동양화적인 이미지를 생성하는 방법을 제안한다.

2. System Overview

그림 2는 전체적인 시스템의 개요를 나타낸다. 첫째로 1장의 2차원 이미지를 입력으로 받는다. 이렇게 받은 이미지는 둘로 나뉘어 처리한 후 다시 합치게 되는데 그 중 하나는 선을 그리는 단계이고 다른 하나는 안의 농담을 표현하여 주는 단계이다. 선을 그리는 단계는 다시 세 단계로 나뉘어지는데 첫째 외곽선 추출, 둘째 라인 피팅, 마지막으로 선의 두께 표현이다. 첫째로 입력된 이미지의 윤곽선을 추출하여 준다. 이렇게 추출된 외곽선을 기반으로 자연스러운 선을 표현하기 위해 작은 특징점들은 버리고 커브의 각도가 너무 큰 윤곽선들은 작은 커브 몇 개로 나누어 주며, 또한 너무 큰(긴) 특징점들은 몇 개의 작은 특징점들의 그룹으로 나누어 주도록 한다. 이렇게 나뉜 윤곽선들을 각각 커브 피팅을 이용하여 부드럽게 만들어 준다. 마지막 단계에서는 curvature의 크기 값을 이용하는데[8] 이 값에 따라 선의 두께를

다르게 그려주어 선의 두께를 다양화 해준다. 농담 표현은 첫째로 반복적인 필터링을 통하여 농담의 불규칙성을 증가시켜주며, 이렇게 증가된 불규칙성을 intensity 변환을 통하여 극대화 시켜준다.

3. 선 그리기

3.1 외곽선 추출

입력으로 받은 이미지에 가장 일반적인 캐니 필터를 적용하여 윤곽선을 추출 하도록 한다[9]. 여기에서는 주어진 입력 이미지 $I(x)$ 에서, 소벨 오퍼레이터를 사용하여 gradient map $g(x)$ 를 생성하며 $g(x)$ 는 $I(x)$ 의 x,y 위치에서의 기울기 벡터를 나타낸다. 여기서 윤곽선의 강함을 나타내기 위하여 기울기 맵을 일반화한 $\hat{g}(x)$ 를 구한다. 처음으로 우리는 $\hat{g}(x)$ 가 t_h 보다 큰 값을 찾는다. 이렇게 찾은 픽셀에서 기울기 벡터 $g(x)$ 방향의 수직인 방향으로 따라가면서 $\hat{g}(x)$ 이 t_l 보다 높은 값들은 모두 연결시킨다. 이 방법을 더 이상 포함될 포인트가 없을 때까지 계속하여 반복한다. 본 논문에서는 t_h 가 이미지 전체 기울기 평균의 2/3으로 자동적으로 지정해 주었으며 t_l 은 t_h 의 절반이 되도록 한다.

3.2 라인 피팅

위의 과정에서 추출된 윤곽선을 기반으로 한 선으로 표현될 특징 점들을 의미 있는 윤곽선으로 묶어준다. 여기서 우리는 캐니 필터링과 유사하게 $\hat{g}(x)$ 를 기반으로 하는 기울기 크기와 기울기의 각도를 사용하도록 한다. 첫째로 지역적으로 기울기의 크기 값이 최대인 픽셀을 시작점으로 잡는다 그 후에 기울기와 직각이 되는 방향으로 따라간다. 여기에서 우리는 약한 윤곽선은 버리고 강한 윤곽선만을 결과에 반영하도록 한다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{\hat{g}(p_s) \cdot \hat{g}(p_e)}{\|\hat{g}(p_s)\| \|\hat{g}(p_e)\|}\right)$$

p_s 와 p_e 는 시작포인트와 마지막 포인트를 나타내며 위의 식의 값이 180° 보다 커지는 부분이 마지막 포인트로 결정된다. 또한 추출된 외곽선이 위의 조건을 만족하더라도 한 그룹에 포함되는 픽셀의 개수는 n_{max} 를 넘지 않도록 한다. 마지막으로 여기에서 n_{min} 이하의 픽셀을 포함하는 그룹은 제거하여준다. 본 논문에서는 선을 자연스럽게 그리기 위하여 경험적으로 n_{max} 를 이미지의 높이와 넓이를 더한 것의 10%로 하였고 n_{min} 은 그것의 1%로 정하여 주었다. 이렇게 나뉘어진 윤곽선들은 길거나 원형 모양을 의미 있는 윤곽선인 여러 개의 짧은 선이나 커브, 혹은 반원모양으로 바꾸어 준다. 우리는 이렇게 나뉘어진 픽셀들을 부드럽게 하기 위하여 각각의 그룹마다 따로 커브 피팅을 하여주며 본 논문에서는 Bezier 커브를 사용하여 피팅을 하여 주었다.

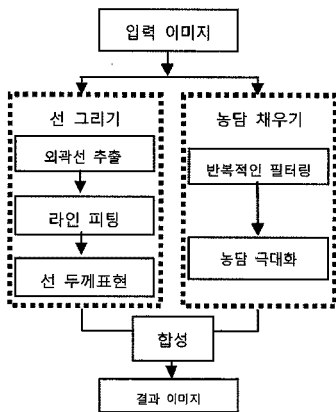


그림 2 시스템 구성도

3.3 선 두께 표현

선의 다양한 두께표현은 동양화의 선에서 중요한 특징이다. 우리는 이 선의 두께를 표현하기 위해 Goodwin et al. 의 Isophote Distance의 방법 채용하였다[9]. 여기에서는 우리가 앞서 구했던 기울기로부터 curvature 맵 $l_c(x)$ 를 구하며 $c(x)$ 는 x,y 좌표에서 curvature 벡터이다. 이 curvature 의 크기에 따 굵기를 표현해 주며 그 식은 다음과 같다.

$$|p_x| < \alpha * |\hat{c}_x(p)| \quad |p_y| < \alpha * |\hat{c}_y(p)|$$

$$x^{new} = x^{cur} + p_x, y^{new} = y^{cur} + p_y$$

$P = x,y$ 이며, 좌표 값을 나타내며 $|\hat{c}_x(p)|$ 와 $|\hat{c}_y(p)|$ 는 각각 x 와 y 방향으로의 curvature 의 크기를 나타낸다. 또한 α 는 두께를 지정해 주는 값으로써 $[0,k]$ 의 값을 가지며 k 에 따라서 선의 두께가 바뀌게 된다. 이는 각 픽셀에서 가지고 있는 curvature 의 크기와 그 픽셀의 위치의 값 사이에 있는 모든 픽셀이 외곽선에 포함되게 되며 이를 통하여 두께를 표현할 수 있게 된다.

지금까지의 선 그리기 과정은 아래 그림 3에서 볼 수 있다. 그림 3(a)를 입력 이미지로 받아서 캐니 필터를 적용한 후 (b), 그룹을 지어준다(c). 이 후 작은 특징 점들은 버리고 커브피팅을 하여준다(d). 이렇게 생성된 선에 두께를 생성하여줌으로써(e) 선 그리기가 마무리 된다.



그림 3 (a) 입력 이미지, (b) 윤곽선 추출, (c) 라인 그룹화 (d) 커브피팅 및 버림 (e) 두께 표현

4. 농담 표현

농담을 표현하기 위해서는 2가지 과정을 거친다. 첫째로는 성격과 결과가 전혀 다른 2가지 필터를 이용하여 불규칙적인 패턴, 에지 다크닝(edge darkening) 등과 같은 새로운 효과를 얻어내며, 그 다음으로는 이렇게 생성된 효과를 intensity 변환을 통하여 농담을 극대화 시키도록 한다.

4.1 (비 균일) 블러링과 샤프닝

이 과정에서는 두 가지의 성격이 전혀 다른 필터를 사용하여 새로운 효과를 얻어내고자 한다. 하나는 가우시안 블러 필터이며 또 다른 하나는 라플라시안 샤프닝 필터이다. 가우시안 필터는 이미지를 부드럽게 만들며 윤곽선 부분을 뭉개버리지만 샤프닝 필터는 이와 반대되게 이미지를 날카롭게 만들며 윤곽선부분을 살려준다.

본 논문에서는 이 두 가지의 필터를 커널 사이즈를 다르게 하여 번갈아 가며 이미지에 반복적으로 적용하였다. 여기에서 가우시안 필터와 라플라시안 필터의 커널 사이즈를 다르게 적용하였을 때 전체적인 농담은 입력 이미지를 따라가지만 지역적으로 보았을 때 물과 먹과 같이 불규칙적인 농담 패턴이 생기게 되며 다음 그림 4에서 확인할 수 있다.

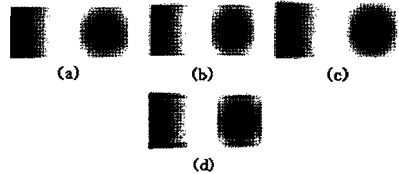


그림 4 (a) 오리지널 이미지 (b) 라플라시안 샤프닝 필터링 이미지 (c) 가우시안 블러링 필터링 이미지 (d) 두 개의 필터를 다른 커널 사이즈로 반복적으로 적용한 이미지

여기에서 우리는 가우시안 필터의 커널 사이즈는 이미지 전체의 1%로 하였고 라플라시안 샤프닝 필터 사이즈는 3x3으로 하였다. 또한 이 두 개의 필터를 반복적으로 적용시켜 주었는데 반복 횟수는 5~6회 정도로 해 주었다.

4.2 농담 극대화

위에서 얻어진 내부의 불규칙적인 모습, 또는 농담을 극대화하기 위하여 우리는 intensity 변환을 사용한다. 픽셀마다 $[0,255]$ 까지 퍼져 있는 intensity 값을 다음 식을 이용하여 0과 255에 더욱 집중되도록 만들어 주며 이를 위해서 x^3 의 식을 이용하였다.

$$s(r) = \begin{cases} s_1 * (r/r_1)^3, & (r < r_1) \\ (L - s_1 - 1) * (- (r_2 - r) / (r_2 - r_1))^3 \\ L - 1, & (r > r_2) \quad + L - 1, (r_1 < r < r_2) \end{cases}$$

여기서 L 은 이미지에서 픽셀이 가지는 최대 값이고, $s, r,$ 은 각각 입력 intensity 값과 출력 intensity 값이며 r_2 는 임계치 값으로 이보다 큰 intensity 값은 모두 이미지의 최대값으로 설정하여 준다. 또한 s_1 은 우리가 intensity 값을 변환해 주고 싶은 정도이다. 기본적으로 s_1 의 값은 3으로 지정해 주었고 r_2 의 값은 240으로 지정해 주었다. 이 과정에서 농담을 더욱 극대화 시켜주기 위해서는 s_1 의 값을 조정하거나 r_2 의 값을 조정하는 방법이 있다. 하지만 그 방법보다는 본 논문에서 제시된 파라미터를 기반으로 반복적으로 적용하여 주는 것이 농담을 극대화시키는데 더욱 효율적이다. 아래의 그림 5(c)는 필터링을 반복적으로 적용하여준 그림 5(b)에서



그림 5 (a) 입력 이미지 (b) 반복적인 필터링 이미지 (c) 농담 극대화 이미지 (d) 농담 극대화 반복 이미지

농담의 극대화를 적용시켜준 모습이며, 그림 5(d)는 농담 극대화를 반복적으로 적용 시켜준 모습이다. 본 논문에서는 반복 횟수는 3~4번 정도 적용시켜 주었다.

이렇게 생성된 스트로크와 내부농담을 합성하여주면 그림 6과 같은 결과를 얻게 된다.

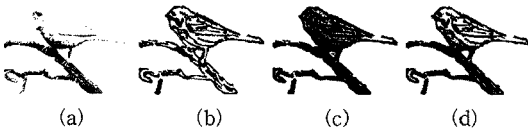


그림 6 (a) 입력이미지, (b) 선 그리기 이미지, (c) 흑백 결과이미지, (d) 컬러 결과 이미지

여기에서 볼 수 있듯이, 선의 굵기 표현만으로 동양화적 느낌이 살아나는 것을 볼 수 있으며 내부 농담을 흑백 이미지뿐만이 아니라 컬러 이미지로도 표현 가능하며 또 다른 동양화의 느낌을 얻을 수 있다.



그림 7 화선지 텍스처를 적용한 결과 이미지

또한 그림 7과 같이 완성된 결과 영상에 한지 텍스처를 적용함으로써 더욱 동양화적인 효과를 표현한 것을 보여 주었다.

포토샵에서도 비슷하지만 다른 효과를 내는 필터를 제공한다. 그림 8(b)는 watercolor 필터를 적용한 모습이다. 수채화의 농담을 표현하였다. 그림 8(c)는 brushwork를 적용한 결과이다. 이는 동양화의 모습과 비슷해 보이지만 물체의 외곽선을 표현하는 스트로크가 부족하다. 그림 8(d)와 (e)는 물체를 둘러싸는 외곽선을 표현해 주었을 뿐만 아니라 그 선을 따라 두께가 바뀌는 모습 또한 표현해 주었다. 또한 내부의 농담은 불규칙적으로 번지는 모습의 표현뿐만 아니라 세부적인 농담의 강조를 표현하였다.

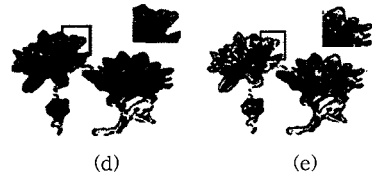
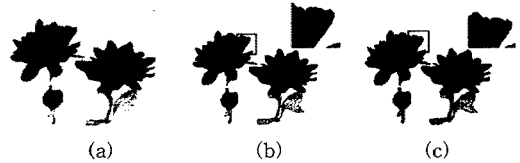


그림 8 포토샵 필터링과 비교; (a) 입력 이미지 (b) watercolor (c) Brushwork (d) 컬러 결과 이미지 (e) 흑백 결과 이미지

5. 결론

2차원 단일 영상을 입력으로 하여 선 그리기와 농담 표현을 통하여 동양화로 렌더링 해 주었다. 본 논문에서 선을 따라 두께가 바뀌는 모습을 표현하기 위하여 각 픽셀의 curvature를 이용하였다. 내부 농담 표현을 위해서는 반복적인 필터링을 통해 농담의 불규칙적인 모습을 표현하였고 intensity 변환을 통해 이를 극대화 시켜 주었다.

본 논문에서는 사용자의 상호작용(user interaction) 없이 선을 따라 두께가 바뀌는 선과 불규칙적인 농담을 생성하여 동양화 같은 이미지를 결과로 얻었다. 이는 사용자가 전문적인 지식이나 3차원적인 모델 혹은 입체영상 없이 주변에서 쉽게 얻을 수 있는 실사영상 한 장으로 쉽게 동양화적인 이미지를 얻어낼 수 있으며 포토샵, 일러스트 등 상용 소프트웨어에도 플러그인으로 쉽게 적용이 가능하다.

현재 렌더링에서는 스트로크의 모습이 부드럽지만 실제 동양화에서는 거칠고 갈라지는 모습과 선을 따라 intensity 값도 달라지는 모습을 보이고 있다. 때문에 갈라짐과 선을 따라 intensity 값이 변할 수 있도록 알고리즘 개선이 필요하다. 또한 현재 유체시뮬레이션이 실시간으로 가능한 만큼 더욱 사실적인 내부 농담 표현을 위해 유체시뮬레이션을 적절히 적용할 필요가 있다.

참고 문헌

[1] Winkenbach G, Salesin DH. Computer-generated pen-and-ink illustration. In: *Proceedings of the 21st annual conference on computer graphics and interactive techniques*, pp.91-100, 1994.

[2] Bousseau, Adrien and Neyret, Fabrice and Thollot, Joelle and Salesin, David. Video watercolorization using bidirectional texture advection. *ACM Trans.*

Graph, 104, 2007.

- [3] Orzan A., Bousseau A., Barla P., thollot J.: Structure-preserving manipulation of photographs. In NPAR '07: *Proceedings of the 5th international symposium on Nonphotorealistic animation and rendering ACM*, pp.103-110.
- [4] Nelson S.-H. Chu. MoXi: real-time ink dispersion in absorbent paper, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques archive ACM SIGGRAPH 2005 Papers, pp.504-511, 2005.
- [5] Yeh JW, Ouhyoung M. Non-photorealistic rendering in Chinese painting of animals. *Journal of System Simulation*, 14(6), 1220-4, 2002.
- [6] Way DL, Shih ZC. The synthesis of rock textures in Chinese landscape painting. *Eurographics 2001*;20(3):123-31.
- [7] Adrian David Cheok. Humanistic Oriental are created using automated computer processing and non-photorealistic rendering, *Computer & Graphics*, pp.280-291, 2007.
- [8] Todd Goodwin, Ian Vollick, Aaron Hertzmann, Isophote distance: a shading approach to artistic stroke thickness, *Proceedings of the 5th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*, pp.53-62, 2007.
- [9] Canny. A Computational Approach to Edge Detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp.679-698, 1986.