

Mean Shift Segmentation을 이용한 수채화 효과 생성 기법

이상걸*, 김철기**, 차의영*

Retouching Method for Watercolor Painting Effect Using Mean Shift Segmentation

Sang-Geol Lee*, Cheol-Ki Kim**, Eui-Young Cha*

요 약

본 논문에서는 영상처리에서 많이 사용하는 양방향 필터링(bilateral filtering)과 평균 이동 분할(mean shift segmentation)을 이용하여 일반적인 사진을 수채화 효과가 나도록 하는 리터칭 기법에 대하여 제안한다. 먼저 양방향 필터링을 이용하여 사진의 외곽선 부분은 보존하면서 고주파 성분을 약화시키도록 한다. 그리고 양방향 필터링된 영상에서 각각 DoG(Difference of Gradient) 에지 추출과 평균 이동 분할을 수행한다. 이때 DoG 에지 추출은 원영상의 RGB 색상 공간을 CIELAB 공간으로 변환 후 휘도(luminance) 성분만 이용하여 추출하도록 하며 두 결과를 결합하여 최종 영상을 생성한다. 본 논문에서 제안하는 기법으로 다양한 사진에 대하여 실험한 결과 수채화 효과가 잘 나타나는 것을 확인하였으며 특히 주광에서 촬영한 풍경 사진들에 대하여 보다 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

Abstract

We propose a retouching method that converts a general photography to a watercolor painting image using bilateral filtering and mean shift segmentation which are mostly used in image processing. The first step is to weaken high frequency components of the image, while preserving the edge of image using the bilateral filtering. And after that we perform DoG(Difference of Gradient) edge extraction and mean shift segmentation respectively from the bilateral filtered image. The DoG edge extraction is performed using luminance component of the image whose RGB color space is transformed into CIELAB space. Experimental result shows that our method can be applied to various types of image and bring better result, especially against the photo taken in daylight.

▶ Keyword : 수채화 효과(watercolor painting effect), 양방향 필터링(bilateral filtering), 평균 이동 분할(mean shift segmentation)

· 제1저자 : 이상걸 교신저자 : 김철기

· 투고일 : 2010. 04. 29, 심사일 : 2010. 05. 24, 게재확정일 : 2010. 08. 03.

* 부산대학교 컴퓨터공학과 ** 부산대학교 디자인학과

※ 이 논문은 2010년 한국컴퓨터정보학회 제42차 하계 학술대회에 발표한 "Mean Shift Segmentation을 이용한 수채화 스타일 변환 기법"을 확장한 것임.

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0087838)

I. 서론

컴퓨터 그래픽스 분야에서 사실적인 영상의 표현은 실제와 같이 표현할 수 있을 정도로 기술이 많이 발전해왔다. 그래서 1990년대 후반 이후로 기존의 사실적인 영상 생성과는 달리 사람이 손으로 그린 듯이 자연스럽게 표현하는 비사실적 렌더링(non-photorealistic rendering)에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다[1]. 비사실적 렌더링에는 점이나 선으로 영상의 내용을 함축하여 표현하거나 예술적으로 표현하는 등 다양한 분야가 있다[2-5]. 선과 같은 간결한 표현으로 영상의 내용을 전달하는 것은 다양한 곳에 활용 가능하며 물체의 구조를 표현하는 기술적인 일러스트레이션 등에 실제로 많이 사용되고 있는 방법이다. 그리고 사실적 영상을 화가들이 표현하는 것과 유사하게 페인팅한 것처럼 표현하는 분야는 감성적으로 유용한 분야이다.

그 중 사진과 같은 2차원 영상을 분석하여 회화적으로 렌더링 하는 것은 사실적인 영상을 보다 감성적으로 표현할 수 있다는 점에 있어 중요한 분야라 할 수 있다. 또한 디지털 카메라의 보급으로 디지털 사진의 활용이 넓어지고 있으며 사진을 보다 시각적으로 보기 좋도록 하기 위해 편집을 하거나 다양한 효과를 주는 리터칭 등이 중요해지고 있다. 이미 포토샵과 같은 영상을 편집할 수 있는 고성능의 응용프로그램이 보급되면서 많은 사람들이 활용하고 있다. 그러나 일반적으로 포토샵과 같은 응용프로그램을 사용하여 사진을 편집하기 위해서는 복잡한 단계를 거치거나 전문적인 기술이 필요하며 시간 소요도 많은 등의 어려움이 있다.

따라서 본 논문에서는 2차원 영상을 비사실적 렌더링하는 한 방법으로 영상처리 알고리즘을 기반으로 복잡한 절차를 거치지 않고 자동화하여 사진을 수채화 효과가 나도록 하는 리터칭 기법에 대하여 제안한다. 본 논문의 구성은 2장에서 관련 연구에 대하여 살펴보고 3장에서는 제안하는 수채화 효과 생성 기법에 대하여 기술하며 실험 결과와 분석을 하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 2차원 영상의 비사실적 렌더링

2차원 영상의 비사실적 렌더링 기술은 펜으로 그린 그림처럼 표현하는 펜 렌더링과 만화와 같은 효과를 얻는 카툰(cartoon) 렌더링, 그리고 수채화, 점묘화 등과 같은 회화적

(painterly) 렌더링 등 다양한 분야가 있다. 이러한 분야들 중 대표적인 렌더링 기법의 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Hertzmann이 제안한 다중 스트로크를 이용한 회화적 렌더링 연구가 있다[6]. 이 연구는 색상 차이값에 기반하여 다양한 브러시 크기를 생성하여 표현하는 방법으로 회화를 그릴 때 실제로 일어나는 페인팅 과정을 알고리즘으로 적용한 대표적인 연구이다.

DeCarlo와 Santella는 사진을 추상화 하는 방법을 제안하였다[7]. 다양한 스케일로 세그멘테이션(segmentation)을 수행하여 계층적으로 표현하는 방법이다. 이 때 아이트래킹(eye-tracking) 장치를 활용하여 사람의 시선이 집중하는 곳에는 세밀하게 표현하고 그렇지 않은 곳에는 보다 추상적으로 표현하도록 하는 방법이다. 그리고 각각의 세그멘테이션 결과 영역을 스무딩(smoothing)하고 윤곽선의 두께를 조절하여 그림으로써 사진을 효과적으로 추상화하였다. 그러나 이들의 연구는 아이트래킹과 같은 추가적인 하드웨어 장치를 필요로 하는 문제를 가진다.

Winnemöller 등은 실시간 비디오 추상화를 제안하였다[8]. 이들은 시각적 정보를 보존하거나 인지적으로 중요한 정보를 강조하면서 영상을 단순화 하는 것을 목표로 하였다. 양방향 필터(bilateral filter)를 이용하여 확장된 비선형적 확산(extended nonlinear diffusion)을 수행하고 에지 성분을 추출하여 휘도 성분 양자화(luminance quantization)한 결과와 결합하여 영상을 추상화하였다. 이들의 추상화 결과는 카툰 렌더링과 같은 효과를 나타내게 된다.

2. 기존의 수채화 효과 기법

기존의 수채화 효과를 표현하는 방법으로 Curtis 등이 제안한 물리적인 접근 방법이 있다[9]. 종이에 수채 물감이 착색되는 물리적인 과정을 모델화한 방법으로 정물에 효과적인 특징을 가진다. 그러나 각 객체에 맞는 모델화를 생성하는데 많은 시간이 소요되는 문제가 있다.

또 다른 연구로 Lei와 Chang이 제안한 실시간 처리 방법이 있다[10]. 이 방법은 하드웨어 픽셀 셰이더(shader)를 이용하여 실시간 렌더링이 가능하도록 한 것이다. 이들은 Sobel 에지를 추출하여 맵을 생성하고 버텍스(vertex) 셰이더와 프래그먼트(fragment) 셰이더를 이용하여 3차원 모델의 수채화 영상을 생성하였다.

이러한 기존의 접근 방법들과는 다르게 본 논문에서는 수채화에서 시각적으로 나타나는 경계선 부분의 표현과 색상면의 뭉개짐 등을 표현할 수 있도록 영상처리 알고리즘을 사용하여 표현하는 개선된 방법을 제안한다.

III. 본론

1. 제안하는 수채화 효과 생성 기법

1.1 양방향 필터링(bilateral filtering)을 이용한 전처리

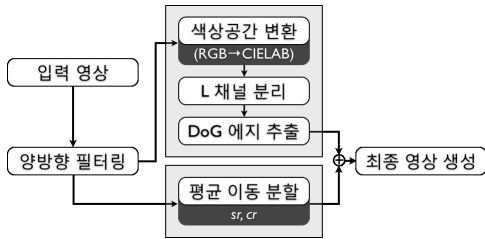


그림 1. 처리 과정 개요
Fig. 1. Workflow overview

그림 1은 본 논문에서 제안하는 방법의 전체 처리 과정에 대한 개요이다. 먼저 영상을 입력받은 후 양방향 필터링을 수행하여 전처리 단계를 거친다. 영상 처리에서 고주파 성분을 제거하는 블러링(blurring) 연산을 수행하기 위해 흔히 사용하는 가우시안 필터링(Gaussian filtering)과는 다르게 양방향 필터링은 경계선 부분의 특징은 보존하면서 고주파 성분을 제거하여 스무딩하는데 효과적인 방법이다. 따라서 물체를 표현하는 경계 부분은 윤곽선으로 잘 표현하면서 색상면을 부드럽게 퍼지도록 표현하는 수채화 효과에 적용하기 좋은 필터링이다.

양방향 필터링은 식 (1)와 같이 정의한다[11].

$$BF[I]_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(I_p - I_q) I_q \dots\dots\dots (1)$$

여기서 W_p 는 정규화 값이며 식 (2)와 같이 정의한다.

$$W_p = \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(I_p - I_q) \dots\dots\dots (2)$$

I 는 이미지이며 p, q 는 픽셀 위치. G_{σ_s} 와 G_{σ_r} 은 각각 spatial Gaussian과 range Gaussian 이다. σ_r 은 range 파라미터로 값이 커지면 가우시안 블러(Gaussian blur)에 근접하게 된다. 그리고 σ_s 는 spatial 파라미터로 값이 커지면 더 큰 특징들을 스무딩하게 된다.

1.2 Luminance 성분에서의 DoG 에지 추출

기본적으로 2차원 영상에서 사용하는 RGB 색상 모델은 영상의 특징을 추출하기에는 부적합하다. 그리고 에지 부분에서는 색상 차이보다는 명암의 차이로 구분하는 것이 효과적이다. 따라서 RGB 색상 모델을 CIELAB 색상 모델로 변환하여 휘도 성분인 L채널의 값을 사용하여 에지를 추출한다.

```
// RGB 색상 공간을 CIELAB 공간으로 변환
I[x,y] = ConvertRGBtoCIELAB(RGB(x,y));

// L채널 분리
L[x,y] = SplitLChannel(I[x,y]);

// luminance 성분에서 기울기 강도를 결정
for(y=0; y<imageHeight; y++)
  for(x=0; x<imageWidth; x++)
    // Gx, Gy 계산
    gx = (L[x+1, y] - L[x-1, y]) / 100;
    gy = (L[x, y+1] - L[x, y-1]) / 100;
    // 기울기 강도 계산
    g = sqrt(gx*gx+gy*gy);
    // 정규화 및 에지맵 생성
    if(g > max_gradient)
      G[x, y] = 1;
    else
      G[x, y] = g/max_gradient;
    if(g/max_gradient<min_edge_strength)
      E[x, y] = 1;
    else
      E[x, y] = 1-g/max_gradient;
    end
  end
end
```

그림 2. 에지 추출 의사코드
Fig. 2. Pseudocode of edge extraction

본 논문에서는 Winnemöller 등(8)의 연구에서 사용한 에지 추출 방법을 이용하였다. L채널의 값으로 DoG(Difference of Gaussian) 연산을 수행하여 에지를 추출한다. 양방향 필터링을 통해 에지 성분은 보존하면서 잡음을 제거하였기 때문에 에지 성분을 효과적으로 추출할 수 있게 된다. 본 논문에서 구현한 에지 추출의 의사코드는 그림 2와 같다.

max_gradient 값은 특정 기울기 이상의 값을 가지는 에지를 포화(saturated) 시키는 값이며 min_edge_strength는 특정 기울기 이하의 값을 가지는 에지를 제거하는 값이다. 본 논문에서는 max_gradient ∈ [0.25, 0.4], min_edge_strength ∈ [0.05, 0.15]를 사용하였다. 에지 추출 결과로 생성되는 에지맵은 0에서 1사이의 실수값을 가지게 된다.

1.3 평균 이동 분할(Mean shift segmentation) 수행 및 최종 영상 생성

사진과 같은 사실적인 영상을 회화적 느낌이 나도록 추상화하기 위해서는 복잡한 색상을 단순화하여 표현해야 한다. 복잡한 색상 분포를 단순화하기 위해서 비슷한 색상들을 묶어서 영역화 하여 표현하는 군집화 단계가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 평균 이동(mean shift) 알고리즘을 이용하여 분할(segmentation) 함으로써 색상 표현을 단순화할 수 있도록 한다.

평균 이동 분할은 색상 분포가 최대를 이루는 군집을 찾는 방법이다. 다차원(x, y, R, G, B) 공간에 존재하는 데이터 점들의 집합에서 평균 이동 알고리즘은 윈도우를 스캔하면서 최대 밀도를 갖는 덩어리(clumps)를 찾는다. 이때 위치(x, y)와 색상(R, G, B) 값의 범위가 다르므로 각각의 차원별로 다른 크기의 윈도우를 사용해야 한다. 그래서 공간 좌표에서의 윈도우 크기를 표현하는 sr (spatial radius)과 색상 공간에서의 윈도우 크기를 표현하는 cr (color radius)을 사용한다. 평균 이동 알고리즘에서 윈도우가 움직이면서 만나는 모든 점들은 수렴된 정점에 속하는 점들이 된다. 그러므로 가장 밀집도가 높은 곳에서 방사형으로 퍼져나가는 포함 관계가 형성되고, 이를 이용하여 영상 분할이 이루어진다.

평균 이동 분할의 구현은 입력 영상의 모든 픽셀에 대하여 평균 이동 연산을 반복 수행하는 것이다. 이때 공간-색상 결합 초공간에서의 픽셀 이웃은 식 (3)에 의해 정해진다.

$$(x, y) : \begin{aligned} X - sr &\leq x \leq X + sr, & \dots\dots\dots (3) \\ Y - sr &\leq y \leq Y + sr, \\ \| (R, G, B) - (r, g, b) \| &\leq cr \end{aligned}$$

여기서 (R, G, B)와 (r, g, b)는 각각 입력 영상의 모든 픽셀 (X, Y)와 현재 위치 (x, y)에서의 색상 벡터이다.

픽셀 이웃에서 평균 공간값(x', y')과 평균 색상값 (R', G', B')이 다음 반복에서 중심값으로 사용된다.

반복 수행이 끝난 후 초기 픽셀(반복 시작 지점에서의 픽셀)의 색상 성분은 최종값으로 설정되며 이 값은 식 (4)와 같이 마지막 반복 수행에서의 평균 색상값이 된다.

$$I(X, Y) \leftarrow (R^*, G^*, B^*) \dots\dots\dots (4)$$

마지막으로 1.2절에서 구한 에지맵을 평균 이동 분할 수행 결과 영상과 결합하여 수채화 효과가 적용된 최종 영상을 생성한다. 에지맵의 값은 0에서 1사이로 정규화된 실수값을 가지고 있으므로 분할 결과 영상의 R, G, B 각 채널에 에지맵의 값을 각각 곱하여 최종 영상을 생성한다.

2. 실험 결과 및 분석

실험에서 풍경, 정물, 인물과 같이 다양한 환경에서 촬영한 사진에 대하여 다양한 파라미터 값들을 적용하여 효과가 잘 나타나는지 살펴보았다. 실험 영상은 디지털카메라로 직접 촬영한 영상들과 인터넷을 통해 수집한 풍경, 인물, 정물을 포함하는 다양한 종류의 영상 170개를 사용하였다. 그리고 OpenCV 1.1을 사용하여 Mac OS X 10.6 환경에서 구현하고 Core2Duo 3Ghz와 4GB RAM을 가지는 시스템 환경에서 실험하였다.

그림 3은 파라미터 변화에 따른 평균 이동 분할 적용 결과를 보여준다. 그리고 그림 4는 그림 3의 입력 영상에 대하여 각 파라미터 변화에 따른 처리 시간 결과를 나타낸다.

그림 3의 (b), (c), (d)에서와 같이 cr 값이 증가함에 따라 수행 시간은 약간 줄어들지만 큰 차이가 없으며, 오히려 색상의 번짐이 과하게 일어나서 수채화 붓 느낌이 사라지게 된다. 그리고 그림 3의 (e), (f)를 보면 sr 값이 증가함에 따라 적용 효과는 크게 차이나지 않지만 그림 4와 같이 수행 시간은 크게 상승하게 된다. 따라서 우리는 수행 시간을 최소화하면서 효과가 두드러지는 유효한 파라미터 범위를 실험을 통하여 정하였다.

본 논문에서는 각 파라미터의 범위를 sr ∈ [10, 20], cr ∈ [15, 25]로 사용하였으며 수행 시간은 영상의 크기에 따라 비례하며 900x600 픽셀 크기의 기준에서 평균적으로 약 3초 정도가 소요되었다. 영상마다 색상의 복잡도가 달라서 평균 이동 분할 수행 시 시간의 편차가 발생하였다.

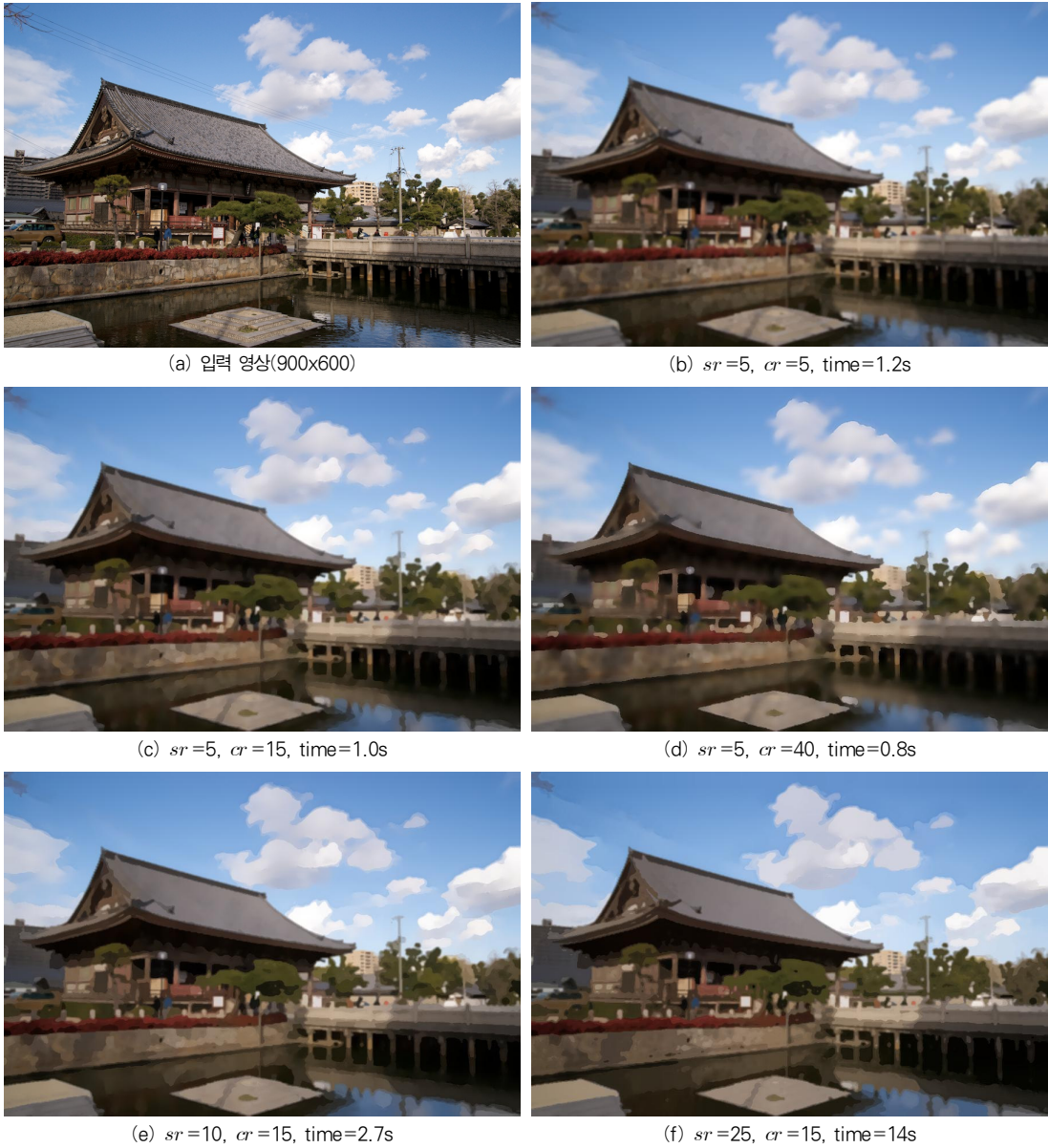


그림 3. 파라미터(sr, cr) 변화에 따른 평균 이동 분할 결과
Fig. 3. Mean shift segmentation results by variable parameters(sr, cr)



그림 4. 파라미터 변경에 따른 수행 시간
Fig. 4. Processing time by variable parameters

다음으로 그림 5는 Winnemöller 등[8]의 연구 방법과 비교한 결과이다. Winnemöller 등이 연구한 방법은 실시간 비디오 추상화에 주안점을 두고 있으며 추상화 된 결과 영상은 카툰 효과를 가지게 된다. 두 결과를 비교해 보았을 때 본 논문에서 제안하는 방법이 카툰 효과와는 다르게 수채화 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있다.



그림 5. 카툰 효과(Winnemöller 방법)와 제안된 방법 비교
Fig. 5. Cartoon rendering(Winnemöller) method vs. proposed method

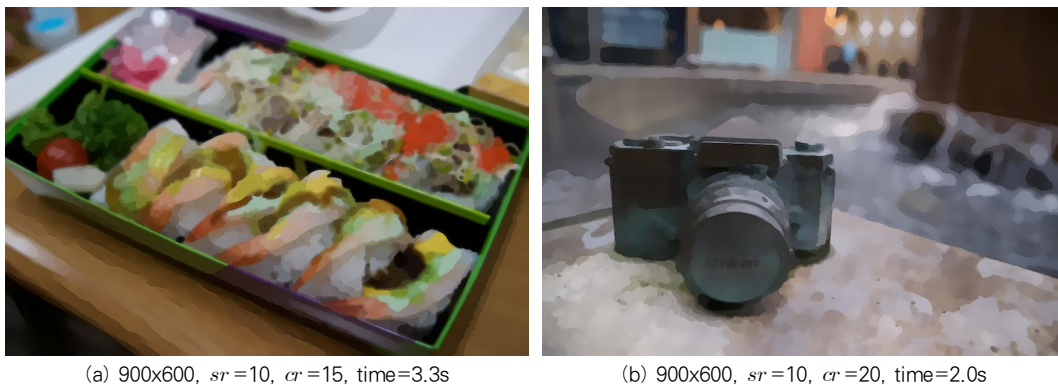


그림 6. 정물 사진 적용 결과
Fig. 6. Still photo results



(a) 900x600, $sr=10$, $cr=20$, time=2.5s



(b) 900x600, $sr=10$, $cr=15$, time=2.1s

그림 7. 풍경 사진 적용 결과
Fig. 7. Landscape photo results



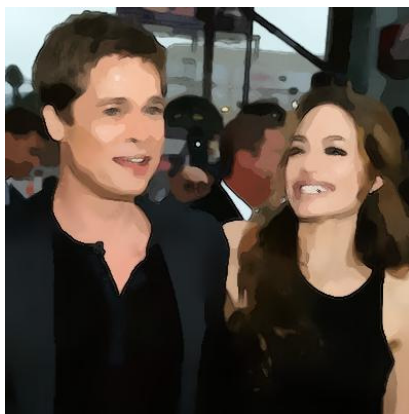
(a) 540x612, $sr=10$, $cr=20$, time=1.7s



(b) 600x894, $sr=10$, $cr=15$, time=2.2s



(c) 1024x1500(부분표시), $sr=10$, $cr=15$, time=5.2s



(d) 400x400, $sr=10$, $cr=20$, time=0.9s

그림 8. 인물 사진 적용 결과
Fig. 8. Portrait photo results

그림 6, 7, 8은 정물, 풍경, 인물과 같은 다양한 종류의 사진에 대하여 실험한 결과를 보여준다. 실험 결과를 보면 풍경과 정물을 담은 사진에서 적용 결과가 효과적으로 나타남을 확인할 수 있다. 그림 8의 (c), (d)와 같이 인물 사진에서는 눈과 코 등의 부분에서 에지가 두드러지는 등의 문제로 다소 부자연스럽기도 한 결과가 나타나지만 그림 8의 (a), (b)와 같이 얼굴을 클로즈업 한 사진에서는 효과가 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 영상처리 알고리즘을 이용하여 사진과 같은 2차원 영상을 수채화 효과가 나도록 리터칭하는 새로운 방법을 제안하였다. 영상처리에서 많이 사용하는 양방향 필터링과 평균 이동 분할을 이용하여 각각에 사용되는 파라미터를 조정함으로써 사진에 따라 다양한 결과를 나타낼 수 있도록 하였다. 다양한 조건의 풍경, 정물과 인물 사진에 대하여 적용해본 결과 주광상태의 풍경 사진에서 보다 효과적인 결과를 나타냄을 확인하였으며 인물 사진에서도 효과가 나타남을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 디지털 영상을 재가공 하는 전문가들에게는 보다 간편한 작업을 제공하는데 도움이 될 수 있으며 자동화를 통하여 일반인들도 수채화 효과가 나도록 사진을 손쉽게 리터칭할 수 있을 것이다. 그리고 디지털 사진을 표현할 수 있는 휴대폰 등과 같은 다양한 모바일 장치와 디지털 액자 등에 적용하여 엔터테인먼트 기능으로도 활용 가능할 것이다.

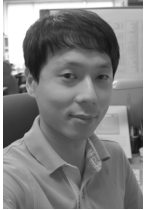
그러나 본 논문에서 제안하는 방법을 적용한 결과 인물 사진에서 눈, 코, 입 부분에서 윤곽선이 두드러짐으로 인하여 효과가 반감되는 경우가 있었다. 이러한 단점을 해결하고 보다 자연스러운 효과를 내기 위해서는 윤곽선 성분의 추출과 표현에 대한 개선이 필요할 것이다.

참고문헌

[1] 김성예, 이지형, 김보연, 김희정, 구분기, "비사실적 렌더링 기술 동향," 전자통신동향분석, 제 20권, 제 4호, 43-57쪽, 2005년 8월.
 [2] B. Gooch, G. Coombe and P. Shirley, "Artistic Vision: Painterly Rendering Using Computer Vision Techniques," Proc. of ACM NPAR2002, pp. 83-90, June 2002.

[3] A. Hertzmann, "Fast Paint Texture," Proc. of ACM NPAR2002, pp. 91-96, June 2002.
 [4] J. Hays, I. Essa, "Image and Video Based Painterly Animation," Proc. of ACM NPAR2004, pp. 120-133, June 2004.
 [5] A. Lu, C. J. Morris, J. Taylor, D. S. Ebert, C. Hansen, P. Rheingans, M. Hartner, "Illustrative Interactive Stipple Rendering," IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol. 9, No. 2, pp. 127-138, April-June 2003.
 [6] A. Hertzmann, "Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes," Proc. of ACM SIGGRAPH1998, pp. 453-460, July 1998.
 [7] D. DeCarlo, A. Santella, "Stylization and Abstraction fo Photographs," Proc. of ACM SIGGRAPH 2002, pp. 769-776, July 2002.
 [8] H. Winnemöller, S. C. Olsen, B. Gooch, "Real-Time Video Abstraction," Proc. of ACM SIGGRAPH 2006, pp. 1221-1226, July 2006.
 [9] C. J. Curtis, S. E. Anderson, J. E. Sems, K. W. Fleischer, D. H. Salesin, "Comptuer-generated watercolor," Proc. of ACM SIGGRAPH1997, pp. 421-430, August 1997.
 [10] E. Lei, C. Chang, "Real-Time Rendering of Watercolor Effects for Virtual Environments," LNCS, Vol. 3333, pp. 474-481, November-December 2004.
 [11] S. Paris, P. Kornprobst, J. Tumblin, F. Durand, "A gentle introduction to bilateral filtering and its applications," ACM SIGGRAPH 2008 classes, pp. 1-45, August 2008.

저 자 소 개



이 상 결
 2003 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부
 공학사
 2005 : 부산대학교 컴퓨터공학과
 공학석사
 2005 - 현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과
 박사과정
 관심분야 : 영상처리, NPR, 인공신경망,
 패턴인식



김 철 기
 1999 : 부산대학교 전자계산학과 이학사
 2001 : 부산대학교 전자계산학과
 이학석사
 2003 : 부산대학교 전자계산학과
 이학박사
 2003 - 2005 : 밀양대학교 컴퓨터
 공학부 조교수
 2006 - 현재 : 부산대학교 디자인학과
 부교수
 관심분야 : 감성공학, 영상처리, 색채론,
 인터랙티브디자인



차 의 영
 1979 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1982 : 서울대학교 전자계산학과 공학
 석사
 1998 : 서울대학교 컴퓨터공학과 공학
 박사
 1981 - 1985 : 한국전자기술연구소
 연구원
 1995 - 1996 : University of
 London 방문교수
 1995 - 현재 : 부산대학교 컴퓨터
 공학과 교수
 관심분야 : 로봇비전, 패턴인식,
 영상처리, 인공신경망