

회화적 렌더링에서의 대기원근법의 표현에 관한 연구

장재니[†], 류승택^{**}, 서상현^{***}, 이호창^{****}, 윤경현^{*****}

요 약

우리는 회화적 렌더링에 대기원근법이라는 실제 회화의 거리표현법을 표현하는 알고리즘을 제안한다. 대기원근법은 공기 중에서 일어나는 빛의 산란 현상을 회화적으로 표현하는 기법으로, 거리와 고도, 대기의 밀도에 따라 산란 정도가 변한다. 우리는 산란 현상의 이러한 특성을 반영하기 위해, 입력 영상에 대응하는 깊이 정보와 사용자 정의 매개변수를 사용하여 표현의 정도를 조절한다. 촬영정보를 반영하는 매개변수와 깊이 정보를 기반으로 각 픽셀의 거리와 고도를 계산하고, 표현을 제어하는 매개변수로 거리와 고도에 따른 산란 효과의 정도를 사용자 의도에 따라 조절한다. 추가적으로, 깊이 정보를 이용해 찾아낸 윤곽선의 색을 강조해 줌으로써 근경과 원경 사이의 거리감을 명확히 한다. 우리는 우리의 알고리즘을 다양한 풍경 영상에 적용해 실험해 보았고, 기존의 연구들에 비해 거리감이 강조된 회화적 렌더링 결과를 얻을 수 있었다.

A Study on Aerial Perspective on Painterly Rendering

Jae-Ni Jang[†], Seung Taek Ryoo^{**}, SangHyun Seo^{***},
Hochang Lee^{****}, Kyung-Hyun Yoon^{*****}

ABSTRACT

In this paper, we propose an algorithm which represents the distance depiction technique of real painting that named "Aerial Perspective" in painterly rendering. It is a painting technique that depicts the attenuations of light in the atmosphere, and the scattering effect is changed by the distance, altitude and density of atmospheres. For the reflection of these natures, we use the depth information corresponding to an input image and user-defined parameters, so that user changes the effect level. We calculate the distance and altitude of every pixel with the depth information and parameters about shot information, and control the scattering effects by expression parameters. Additionally, we accentuate the occluding edges detected by the depth information to clarify the sense of distance between fore and back-ground. We apply our algorithm on various landscape scenes, and generate the distance-emphasized results compared to existing works.

Key words: Non-Photorealistic Rendering(비사실적 렌더링), Painterly Rendering(회화적 렌더링), Aerial Perspective(대기원근법)

1. 서 론

회화는 화가의 의도를 평면인 매개체 위에 그림으로 표현하는 예술의 한 영역이다. 화가는 거리감 표현이나 질감 표현, 색감 표현 등, 화가의 의도를 회화에 나타내기 위해 다양한 표현법들을 고안하여 사용

* 교신저자(Corresponding Author): 장재니, 주소: 서울특별시 동작구 흑석동 중앙대학교 제2공학관 5층 컴퓨터그래픽스연구실(156-756), 전화: 02)824-3018, FAX: 02) 824-3018, E-mail: picatong11@cglab.cau.ac.kr

접수일 : 2010년 3월 31일, 수정일 : 2010년 7월 16일

완료일 : 2010년 8월 31일

[†] 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학박사 (E-mail: shseo@cglab.cau.ac.kr)

^{****} 정회원, 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 (E-mail: hclee@cglab.cau.ac.kr)

^{*****} 정회원, 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수 (E-mail: khyoon@cau.ac.kr)

* 본 연구는 교육과학기술부의 중견연구자 지원 사업(20100018445) 및 서울시 산학연 협력사업(PA090920M09317)에 의해 수행된 연구입니다.

^{**} 정회원, 한신대학교 컴퓨터공학부 부교수 (E-mail: stryoo@hs.ac.kr)

해 왔다. 이 중 거리표현법은 회화의 매개체의 특성으로 인해 고안되었다. 회화의 매개체(캔버스 등)는 평면적 특성을 가지는데, 이 특성은 거리 정보의 소실을 야기한다. 즉, 회화에 표현된 장면에서는 거리감을 느끼기 어렵게 된다. 화가들은 이러한 평면적 한계를 극복하고 회화에 거리감을 표현하기 위해 오래 전부터 투시도법을 비롯한 많은 거리표현법들을 고안해냈다[1].

대기원근법(Aerial Perspective)은 먼 거리에 위치한 물체에 나타나는 대기의 산란 효과를 재현하는 기법으로, 거리감 표현을 위해 사용되는 고전적 회화 기법이다[2-5]. 공기 중에서는 빛의 산란으로 인해 거리가 멀어짐에 따라 물체의 윤곽선이 희미해지고, 채도가 감소하며, 물체의 빛깔에 푸름이 더하는 물리적 현상이 나타난다. 대기원근법에서는 거리감 표현을 위해 이러한 현상을 더욱 강조해서 표현하기도 한다. 그럼 1a는 대기원근법이 실제 회화에서 사용된 사례이다. 선명하게 표현된 전경에 비해 원경은 윤곽선이 불분명하고 채도가 낮으며 푸른색이 가미되어 표현된 것을 알 수 있다.

회화에서 거리감을 표현하기 위한 또 다른 방법으로 윤곽선 강조 기법을 들 수 있다. 회화에서 서로 다른 거리에 있는 비슷한 색깔의 두 물체가 인접하여 표현될 경우, 두 물체 사이의 원근관계를 인지하기 어렵게 된다. 이에 따라 화가들은 윤곽선 근처의 색깔 톤을 변화시키는 윤곽선 강조 기법을 사용함으로써 전경과 후경의 구별을 보다 명확히 표현했다. 그럼 1b는 윤곽선 강조 기법이 사용된 실제 회화의 사례이다. 원래 비슷한 색으로 보이는 건물들과 배경의

구별을 위해 윤곽선 근처의 색이 변형되어 칠해졌다.

회화적 렌더링은 비사실적 렌더링의 한 분야로, 입력 영상의 지역 정보를 이용해 회화적인 느낌의 결과물을 생성하는 기술이다[6]. 1990년에 회화적 렌더링이 소개된 후로 움직임 표현[7], 색상 톤[8], 질감 표현[9] 등 다양한 표현 기법에 대한 연구들이 진행되어 왔으나, 거리감 표현에 관한 연구는 활발히 연구되지 않았다.

이에 따라 우리는 실제 회화에서 쓰이는 거리표현법인 대기원근법을 회화적 렌더링에서 표현하기 위한 알고리즘을 제안한다. 거리감 표현을 위해서는 거리 정보가 필요하므로 우리는 깊이 정보가 포함된 영상을 입력으로 사용한다. 주어진 깊이 정보와 사용자 입력으로 주어지는 화각 정보와 지평선 정보를 이용해 입력 영상의 각 픽셀까지의 거리와 높이를 계산하고, 산란 수식으로 각 픽셀의 산란 정도를 산출한다. 기존에 게임 등에서는 대기원근법의 표현을 위해 깊이만을 고려하는 수식을 주로 사용하였으나, 우리는 이를 변형하여 거리와 고도를 모두 고려하여 산란 정도를 계산한다. 또한 깊이 정보를 이용해서 전경에 해당하는 사물의 윤곽선을 식별한 뒤 윤곽선 근처의 색깔 톤을 변경해 줌으로써 윤곽선을 강조하여, 원경과 근경 사이의 거리감을 강조한다. 또한, 윤곽선 강조기법을 추가적으로 사용함으로써 장면에 나타난 사물의 원근 관계를 명확히 하고자 했다.

우리 연구의 기여도는 다음과 같다. 우리는 거리와 고도 모두를 고려한 대기원근법의 산란 모델을 제안한다. 우리의 산란 모델을 사용함으로써 기존의 모델에 비해 사용자의 의도에 따라 다양하게 거리감



그림 1. (a) "Banks of the Seine in Autumn" by A. Sisley, 1876
 (b) "Noli Me Tangere" by Titian, 1511

을 조절할 수 있었으며, 이를 회화적 렌더링에 맞게 표현했다. 이는 향후 회화적 렌더링이 아닌 다른 비사실적 렌더링 분야에도 적용될 수 있을 있을 것으로 기대한다.

2. 관련 연구

회화적 렌더링이 처음으로 제안된 것은 Haeberli[10]에 의해서이다. 그는 브러쉬 스트로크를 이용한 비사실적인 렌더링을 제안했고, 각 브러쉬의 속성을 숫자로 나타냈다.

Litwinowicz[11]는 입력 영상의 윤곽선 지도(edge map)를 따라 브러쉬를 클리핑(clipping)하는 기술을, Hertzmann[12]은 다중 레이어 기법을 제안하였으며, Hays와 Essa[13]는 기존 연구들의 장점을 취하면서 입력 영상의 윤곽선 세기에 따라 브러쉬 크기를 다르게 하는 방법을 통해 장면 묘사의 정확도를 크게 향상시켰다.

Gooch[14]는 영상에 나타난 객체들을 구분함으로써 객체 형태 묘사의 정확도를 높이는 성과를 보였다. 반면에 Lee[7]은 한 장의 입력 영상 대신 관찰한 연속된 프레임을 입력 영상으로 받아 움직임 묘사 기법을 회화적 렌더링으로 표현했다. Shugrina[8]은 화가의 표현 의도에 따라 칠하는 색을 달리 하는 것에 착안하여 작품의 색감을 통해 분위기를 변화시키는 기술을 선보였으며, Baxter[9]는 물감을 두텁게 칠하여 질감과 입체적인 효과를 내는 임파스토(imasto) 기법을 회화적 렌더링으로 표현했다. [7]과 [14]가 각각 객체의 정확한 형태 묘사와 움직임을, [8]이 화가의 감정을 색감으로, [9]가 임파스토 기법을 통해 캔버스 상의 입체감과 물감과 브러쉬의 질감을 표현한 반면, 우리는 대기원근법을 통해 묘사하는 장면의 거리감을 표현한다.

거리감 표현을 고려한 회화적 렌더링은 Jang의 연구[15]이 있다. 그는 깊이 정보를 이용해서 입력 영상의 윤곽선을 추출하고, 윤곽선의 색상 톤을 변화시키는 윤곽선 강조 기법을 적용함으로써 입력 영상에 나타난 사물들 사이의 원근 관계를 명확히 표현하려 했다. 이들이 정물 위주의 입력 영상에 집중한 것에 비해, 우리는 풍경에서의 거리감 표현에 연구 중점을 두었으며, 이들의 성과를 응용하여 우리의 연구에 적용했다.

대기원근법과 관련한 NPR 분야의 연구로는 [16]

이 있다. 이들은 3차원 모델에 대한 2차원 투 텍스처(2D toon texture) 알고리즘을 제안하였는데, 3차원 지형 모델에서 거리 값에 따라 텍스처 좌표를 결정해 하여 대기원근법과 유사한 효과를 보이는 응용을 선보였다. 우리는 이들과 달리 2차원 입력 영상과 그에 대응하는 깊이 정보를 이용하여 대기원근법의 효과를 표현한다.

영상 처리 분야에서는 대기 중에서 일어나는 빛의 산란으로 인해 영상이 흐려지고 윤곽선이 불분명해져서 사물을 식별하기 어렵게 된 사진을 복원하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 흑백 영상 복원에 관한 연구[17]과 컬러 영상 복원에 관한 연구[18]를 그 예로 들 수 있는데, 이들은 대기의 산란 현상을 시뮬레이션 하는 지수 감쇠 모델을 정의하고, 다양한 매개변수를 조절함으로써 소실된 영상 정보를 복원을 시도했다. 우리는 이들과는 반대로 주어진 입력 영상에 지수 감쇠 모델을 통해 대기 산란을 표현하고자 한다.

3. 회화적 렌더링에서의 거리감 표현

그림 2는 우리의 시스템을 도식화 한 것이다. 우리의 시스템은 [13]이 제안한 다중 레이어 회화적 렌더링 기법을 기반으로 하며, 입력 영상을 묘사하는 4개의 레이어와 거리감 표현을 위한 2개의 레이어를 사용한다. 장면 묘사를 위한 레이어들은 [13]의 알고리즘에 의해 생성되며, 거리감 표현을 위한 2개의 레이어는 각각 본 논문에서 제안하는 대기원근법 알고리즘을 따르는 대기원근법 레이어와 [15]의 알고리즘을 따르는 윤곽선강조 레이어로 구성된다.

대기원근법 렌더링 알고리즘은 세 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째는 거리 및 고도 계산으로, 주어진 깊이 정보와 촬영 정보를 이용해 각 픽셀에 나타난 지점의 거리와 고도를 계산한다. 두 번째는 산란 효과 계산 단계로, 이전 단계에서 계산된 거리/고도 정보와 사용자 입력으로 주어지는 거리/고도 산란계수를 이용하여 각 픽셀의 산란 지수를 계산한다. 제안된 알고리즘에서는 산란 지수의 계산을 위해 거리와 고도를 고려한 산란 모델을 정의하여 사용한다. 마지막으로 산란 효과 적용 단계에서는 거리에 따른 선택적 블러와 컬러 블렌딩을 통해 영상에 산란 효과를 적용한다.

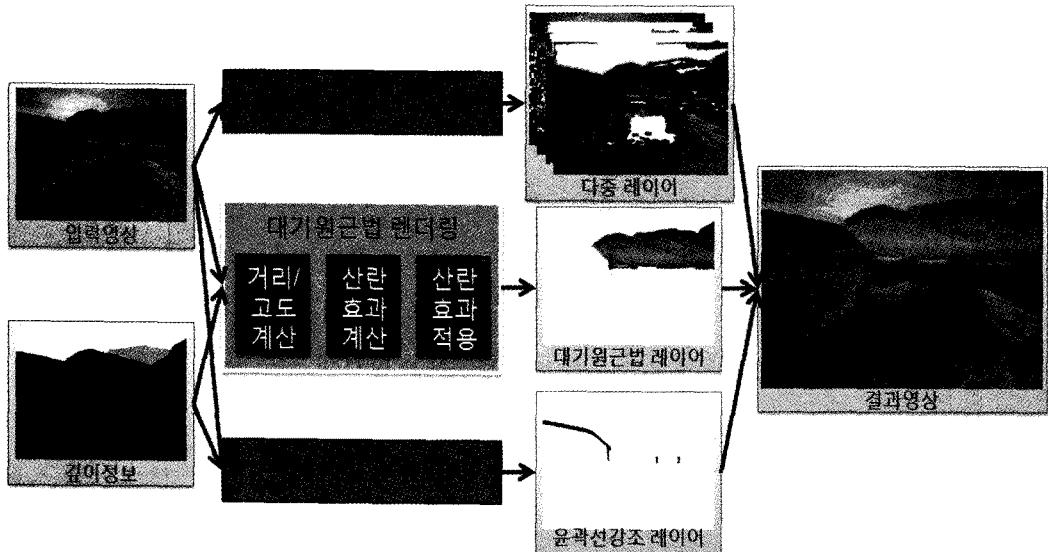


그림 2. 시스템 개요도

산란 효과가 적용된 영상을 이용해 대기원근법 렌더링을 생성한 뒤, 6개의 레이어를 캔버스에 차례로 그려줌으로써 최종 결과 영상을 생성한다.

3.1 대기원근법 알고리즘

화가들은 대기원근법을 표현함에 있어서, 단순히 빛의 산란 현상을 시뮬레이션 하는 것에 그치지 않고 주관적인 의도에 따라 재해석하여 표현하기도 했다. 이에 따라 우리의 알고리즘에서도 사용자의 의도에 따라 대기원근법의 표현을 조절할 수 있도록 한다.

대기원근법의 표현을 조절하기 위해서는 빛의 산란에 영향을 미치는 요소들을 제어할 수 있어야 한다. 빛의 산란에 영향을 미치는 요소로는 관찰 지점 까지의 거리와 대기의 상태, 그리고 밀도를 들 수 있다. 거리가 멀수록 공기에 의해 산란이 많이 일어나며, 공기 중 수분이나 먼지 등의 입자가 많을수록, 즉 흐럴수록 산란이 많이 일어난다. 또한, 대기의 농도가 짙을수록 산란의 정도가 심하다. 따라서 지면 근처에 비해 공기의 밀도가 낮은 고고도(高高度) 지역에서는 대기의 산란이 상대적으로 적게 일어난다.

따라서 우리는 거리와 고도에 따른 산란 효과의 변화를 표현하기 위해 아래와 같은 매개변수를 사용자로부터 입력받아 깊이 정보로부터 고도 정보를 산출하고, 거리와 고도에 따른 산란 효과를 조절한다.

- y_0 : 입력 영상의 지평선의 y 좌표

- θ_0 : 카메라 수직 화각

- β_{sc} : 거리 산란 계수

- β_h : 고도 산란 계수

먼저, 고도에 따른 산란 효과를 조절하기 위해서는 고도에 대한 정보가 필요하다. 우리는 영상의 활영 정보인 y_0 와 θ_0 를 이용해 깊이 정보로부터 고도 정보를 계산한다. 계산된 고도 정보와 함께 대기의 상태를 정의하는 β_{sc} 와 고도에 따른 공기 밀도 차이를 나타내는 β_h 를 사용함으로써, 전체적인 산란 효과의 정도와 고도에 따른 산란 정도를 조절케 했다. β_{sc} 와 β_h 는 모두 0보다 큰 값을 가진다.

3.1.1 거리 및 고도 계산

우리는 입력 영상의 거리와 고도를 계산함에 있어서 관찰 지점의 고도는 0이고 입력 영상은 좌우 수평인 상태에서 활영된 것으로 가정한다. 사용자 정의 매개변수로 주어진 y_0 와 θ_0 를 이용하면 그림 3과 같이 활영 단면을 재구성 할 수 있다.

그림 3에서 A는 활영지점, \overrightarrow{AC} 는 활영 방향, \overrightarrow{AC} 의 길이는 입력 영상 내 최대 깊이 값에 대응한다. 이 때, θ_0 로부터 $\triangle ABB'$ 를 구성할 수 있으며, 이는 활영 장치의 뷰 프러스팅(view frustum)으로 생각할 수 있다. 따라서, 영상의 세로 픽셀 수를 h_{img} 라고 할 때, \overline{AB} 상의 사물은 영상의 가장 위($y=1$), \overline{AC} 상의 사

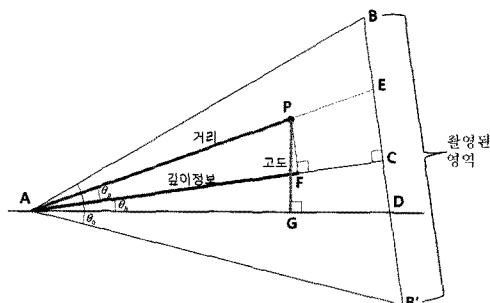


그림 3. 각 픽셀까지의 거리와 고도의 계산

물은 가운데($y = h_{img}/2$), \overline{AB} 상의 사물은 가장 아래($y = h_{img}$)에 나타나게 된다.

그림 3에서 \overline{AD} 가 지평선을 의미할 때,
 $\overline{BB} : \overline{BD} = h_{img} : y_0 - \frac{h_{img}}{2}$ 이므로 삼각함수를 이용하여 $\theta_h (= \angle CAD)$ 를 구할 수 있다. 이와 유사하게 점 P 가 픽셀 k 에 나타난 사물의 실제 위치라고 할 때, 영상 내의 픽셀 k 의 y 좌표를 이용해 k 에 대한 $\theta_p (= \angle EAC)$ 를 구할 수 있다.

θ_p 와 각 픽셀의 깊이 값 \overline{AF} 를 통해 각 픽셀까지의 거리 $R(k)$ ($= \overline{AP}$)를 계산하고, 얻어진 $R(k)$ 와 $\theta_p + \theta_h$ 를 이용해 해당 픽셀의 고도 $H(k)$ ($= \overline{GP}$)를 계산할 수 있다.

그림 4c는 주어진 입력영상 그림 4a와 그에 대응하는 깊이 정보 그림 4b에 대해 $\theta_0 = 43^\circ$, $y_0 = 201$ 으로 입력하여 거리와 고도 값을 계산한 예이다. 지면 근처의 픽셀은 원래의 깊이 값과 계산된 거리 값이 동일하지만, 고도가 높은 픽셀의 경우 깊이보다 큰 거리 값이 산출되는 것을 확인할 수 있다.

3.1.2 산란 효과 계산 및 적용

대기 중에서 일어나는 빛의 산란 효과를 표현하는

Beer-Lambert 법칙[수식 1] [19,20]은 컴퓨터 그래픽스 분야에서도 산란 효과를 렌더링하기 위해 빈번히 사용된다. 이 법칙은 빛의 투과율을 입사광의 세기(I_0)에 대한 매질을 통과한 빛의 세기(I)의 비율로 정의하고, 이것은 매질의 산란계수(σ_{sc})와 매질의 두께(l)를 이용해 지수함수로 나타내는데, σ_{sc} 와 l 의 값이 클수록 산란이 증가하여 빛의 투과율(T)이 낮아진다.

$$T = I/I_0 = e^{-\sigma_{sc}l}$$

[수식 1]

σ_{sc} 와 l 은 우리의 알고리즘에서 각각 β_{sc} 와 $R(k)$ 에 대응한다. 따라서 산란계수가 높거나 거리가 멀수록 산란이 많이 일어나게 된다. 하지만 Beer-Lambert 법칙을 이용한 기존의 방식은 빛이 반사되는 지점과의 거리만을 고려하여 고도에 따른 산란 정도의 차이를 표현하지 못하는 한계가 있다. 따라서 우리는 이러한 점을 보완하기 위해 고도에 따른 산란 정도의 차이를 추가로 사용하여 거리와 고도에 따른 효과를 사용자의 의도에 맞게 조절할 수 있는 산란 모델을 제안한다. [수식 2]로 표현되는 우리의 산란 모델은 산란 효과지수 f 를 결정한다. f 는 $0 \leq f \leq 1$ 의 범위를 가지며, 값이 클수록 산란의 정도가 심하고, 값이 작을수록 산란이 적게 일어난다.

$$f = (1 - e^{-\beta_{sc}R(k)})e^{-\beta_h H(k)}$$

[수식 2]

거리 매개변수인 β_{sc} 는 위의 과정에서 구해진 픽셀 k 에 해당하는 거리 $R(k)$ 와 함께 거리에 따른 산란 효과 정도를 결정한다. β_h 는 고도 매개변수로, 위의 과정에서 구해진 해당 픽셀의 고도 $H(k)$ 와 함께 고도에 따른 산란 효과 정도에 영향을 미친다. β_{sc} 와 β_h 는 0보다 큰 실수의 값을 가지며, β_{sc} 의 값이 증가할수록 산란의 정도가 강해지고, β_h 의 값이 증가할수록 고도에 따른 산란의 차이가 크게 나타난다.



그림 4. (a) 입력영상 (b) 입력 깊이 정보 (c) 계산된 거리 정보

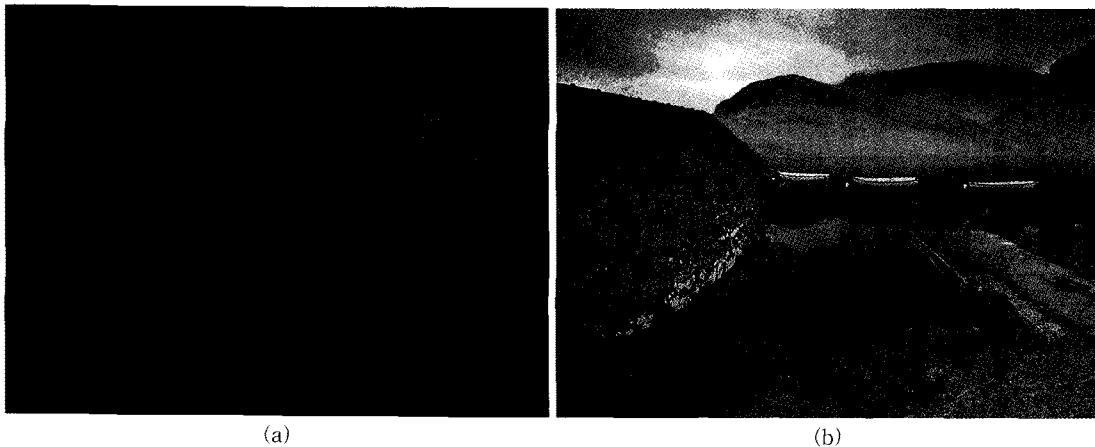


그림 5. (a) 계산된 효과 맵 (b) 산란 효과 적용 결과

그림 5a는 그림 4c와 동일한 설정으로 $\beta_{sc} = 6.0$, $\beta_h = 6.0$ 을 사용하여 계산된 f 를 시각화한 영상이다.

각 픽셀의 효과 적용 지수 f 를 결정하고 나면, 이를 이용하여 선택적 블러를 적용함으로써 윤곽선이 흐려지는 효과를, 컬러 블렌딩을 이용하여 채도가 감소하는 효과를 적용했다.

멀리 있는 물체의 윤곽선이 흐려지는 효과를 표현하기 위해서 입력 영상에 가우시안 블러를 사용했다. 이 때, 거리에 따라 윤곽선이 흐려지는 정도에도 차이를 두기 위해 f 값을 이용해 각 픽셀마다 블러 커널의 크기를 달리 한다. 커널의 크기는 입력 영상의 크기에 따라 1차적으로 정해진다. 우리는 커널 크기에 f 를 곱해줌으로써 산란이 적게 일어나는 곳에서는 윤곽선 흐려짐의 효과를 약하게 적용하고, 산란이 많이 일어나는 곳에서 윤곽선 흐려짐의 효과를 명확히 느낄 수 있게 했다.

하지만 커널의 크기만 조절하여 블러를 사용할 경우, 커널의 크기가 작은 근경은 영향을 받지 않지만, 커널의 크기가 상대적으로 큰 원경에는 원경의 색이 영향을 미치게 됨으로써, 그림 6c와 같이 근경의 색이 원경 쪽으로 번져나가는 현상이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이런 현상을 제거하고 원경의 윤곽선만 흐려지게 하기 위해서 거리 정보를 이용한 선택적 블러를 사용했다. 그림 6a와 같이 블러 커널이 원경과 근경에 걸쳐 있을 경우, 커널의 중심 픽셀보다 근경에 해당하는 픽셀들의 가중치를 0으로 하여 그림 6b 블러의 결과에 영향을 주지 않게 한다. 이 방법을 통해 근경의 색이 원경으로 번져나가는 현상을 막고,

원경에 선택적으로 블러를 적용할 수 있다. 그림 6d 거리를 이용한 선택적 블러로 원경을 흐리게 한 후, 각 픽셀을 수식 3에 따라 컬러 블렌딩 함으로써 채도가 낮아지는 효과를 적용했다.

$$C_s = f \times C_f + (1-f) \times C_0 \quad [수식 3]$$

f 는 수식 2로 계산된 산란 효과 지수이며, C_0 는 선택적 블러가 적용된 영상의 색깔, C_f 는 블렌딩 하는 색깔, C_s 는 산란 효과를 적용하여 얻은 색깔을 의미한다. 본 논문의 모든 결과에는 C_f 로 흰색을 사용했다. 그림 5b에서 그림 5a의 f 값으로 대기원근법이 적용된 결과를 확인할 수 있다.

3.2 윤곽선 강조 알고리즘

우리는 입력영상에 대기원근법을 적용하는 한 편, 근경의 윤곽선 부분을 원본 색에 비해 어두운 색으로 덧칠해 줌으로써 근경과 원경 사이의 거리감을 더욱 강조되도록 했다. 우리는 이를 위해 [21]의 연구를 변형해서 사용했다.

$$\Delta D = G * D - D \quad [수식 4]$$

가우시안 필터(Gaussian filter) G 와 주어진 깊이 정보 D 를 회선(convolution)한 버전과 원본 깊이 정보 D 의 차이로 구해지는 공간 중요도 함수 ΔD 를 이용해 윤곽선의 위치를 특정 지을 수 있다. $|\Delta D| > 0$ 은 주변의 깊이 값이 변화하는 부분으로 윤곽선에 가까운 부분이다. 주어진 깊이 정보에서 근경이 원경보다 작은 값을 가진다고 가정할 때, $\Delta D > 0$ 인 부분은 근경 그림 7a, $\Delta D < 0$ 인 부분은 원경 그림 7b임을

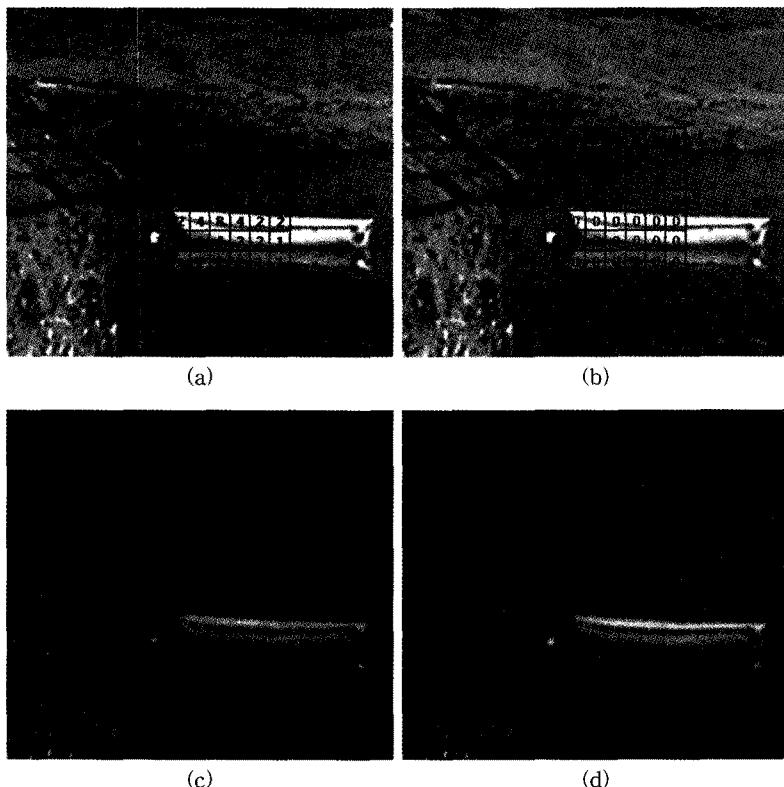


그림 6. (a) 일반적 블러의 커널 (b) 선택적 블러의 커널
(c) 거리 정보를 따른 블러 결과 (d) 거리 정보에 따른 선택적 블러 결과

알 수 있다. 우리가 관심을 가지는 부분은 $\Delta D > 0$ 인 근경의 윤곽선 부분이다.

$\Delta D > 0$ 인 부분을 ΔD^+ 이라고 할 때, ΔD^+ 의 값이 클수록 윤곽선에 가까운 부분이고, ΔD^+ 의 값이 작을수록 윤곽선에서 먼 부분이다. ΔD^+ 의 값을 이용

해서 수식 5에 따라 입력 영상의 색깔을 변형해주면 윤곽선 부분이 뚜렷하게 나타난다.

$$I'(k) = I(k) \cdot (1 + \Delta D^+ \cdot \lambda) \quad [수식 5]$$

사용자 정의 매개변수 λ 는 윤곽선 강조 효과의 적용 정도를 결정한다. 0보다 작은 값을 사용하면 윤곽

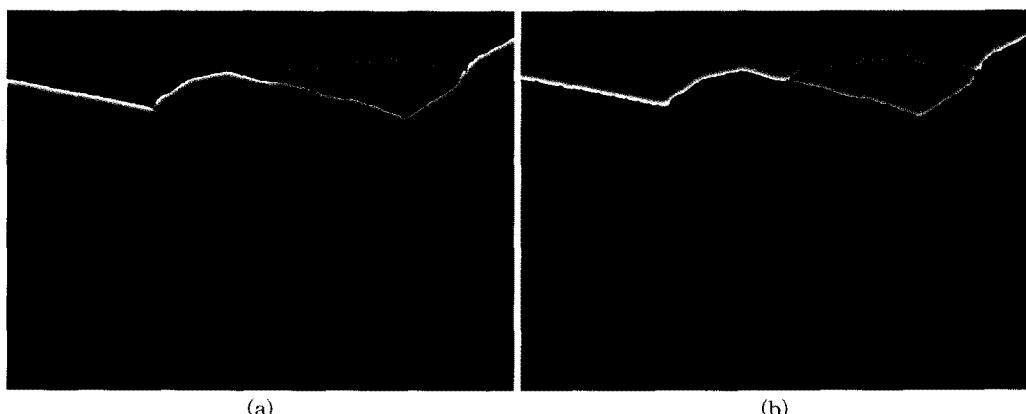


그림 7. (a) $\Delta D < 0$: 원경의 윤곽선 부분 (b) $\Delta D > 0$: 근경의 윤곽선 부분

선이 어두워지는 효과를, 0보다 큰 값을 사용하면 밝아지는 효과를 얻을 수 있다. 우리는 윤곽선을 원래의 색깔보다 어둡게 표현하기 위해 0보다 작은 λ 를 사용했다.

4. 렌더링

우리는 거리감 강조 기법을 표현하기 위해 다중 레이어 렌더링 방식을 사용한다. 영상 묘사를 위한 4개의 레이어와 대기원근법과 윤곽선 강조 기법의 표현을 위한 각각의 레이어를 추가하여 총 6개의 레이어를 사용되는데, 각각의 레이어를 언급된 순서에 따라 렌더링 함으로써 최종 결과 영상을 완성한다.

영상 묘사를 위한 4개 레이어는 [13]의 알고리즘을, 윤곽선 강조 레이어는 [15]의 알고리즘을 따라 렌더링 되며, 우리가 제안하는 대기원근법 레이어는 [13]을 변형한 방법으로 그 특징은 아래와 같다.

대기원근법은 대기의 산란효과를 표현해주는 거리표현법이므로, 산란 효과를 표현하고자 하는 곳, 즉 산란 효과 지수 f 의 값이 충분히 큰 곳에만 브러쉬를 생성해준다. 브러쉬의 생성 후에는 입력 영상의 그라디언트 정보에 따라 브러쉬를 회전시켜 주고, 에지 맵에 따라 브러쉬의 길이를 적절히 정해준다.

브러쉬의 모양이 정해지고 나면, 브러쉬의 색깔을 결정한다. 대기원근법 레이어에서는 브러쉬의 색깔을 입력 영상에서 추출하는 대신, 입력 영상에 대해 산란 효과를 적용한 결과 영상에서 색깔을 추출함으로써 대기원근법의 효과를 표현했다.

5. 결 과

우리의 알고리즘은 입력 영상에 대한 정밀한 깊이 정보를 필요로 한다. 하지만 실제 풍경을 대상으로 한 정확한 깊이 정보를 얻기가 어려워 본 논문에서는 결과를 생성하기 위해 수작업으로 제작된 깊이 정보를 사용했다.

그림 8은 우리의 렌더링의 전체 과정을 설명하는 것으로, 우리의 렌더링에서는 서로 다른 크기의 브러쉬를 표현하는 4개의 레이어와 대기원근법과 윤곽선 강조 기법을 표현하는 2개의 레이어를 합하여 총 6개의 레이어를 사용한다. 그림 8a~d는 다양한 크기의 브러쉬를 표현하기 위한 레이어로, 레이어의 순서는

브러쉬의 크기에 따른다. 첫 번째 레이어 그림 8a의 브러쉬 크기가 가장 크고, 마지막 레이어 그림 8d의 브러쉬가 가장 작다. 그림 8e는 대기원근법을, 그림 8f는 윤곽선 강조를 표현한 레이어이다. 모든 레이어를 순서대로 하나의 디지털 캔버스 위에 칠하여 최종 결과 그림 8g를 얻는다.

우리는 매개변수를 변화시킴으로써 하나의 입력 영상에 대해 대기산란 효과를 다양하게 적용해 보았다. 입력 영상 그림 9a에 대해 지평선의 위치를 $y_0 = 201$, $\theta_0 = 43^\circ$ 로 설정하여 β_{sc} 와 β_h 를 변화시키며 결과를 만들었다. 그림 9b는 $\beta_{sc} = 6.0$, $\beta_h = 6.0$ 으로 설정하였을 때의 결과이다. 그림 9c는 거리 산란 지수 β_{sc} 를 12.0으로 증가시킨 결과로, 그림 9b과 비교해 볼 때 산란효과가 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, β_{sc} 는 그림 9c와 동일하게 12.0으로 하였지만 높이 산란 지수 β_h 를 2.0으로 한 그림 9d에서는 고도에 따른 산란 효과의 변화가 적은 것을 볼 수 있다. 위의 결과를 통해 β_{sc} 가 증가할수록 거리에 따른 산란 효과가 많이 적용되고, β_h 가 증가할수록 고도에 따른 효과의 차이가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

그림 10는 윤곽선 강조 기법을 적용여부에 따른 결과를 비교한 것으로, 입력영상 그림 10a와 깊이 정보 그림 10d를 사용하여 결과 영상 그림 10b와 그림 10e를 얻었다. 그림 10b는 우리가 제안한 대기원근법 알고리즘을 적용한 것이고, 그림 10e는 거기에 [16]의 윤곽선 강조 알고리즘까지 적용한 것이다. 이를 확대한 그림 10c와 그림 10f를 비교해보면 건물의 윤곽선이 강조되어 표현된 것을 확인할 수 있다. 그러나 깊이 정보에 기반 한 윤곽선 추출 방법을 사용한 결과, 깊이 값의 차이가 큰 건물과 하늘 사이의 윤곽선 부분은 뚜렷하게 강조되어 표현되었으나 상대적으로 깊이 값의 차이가 적은 건물들 사이는 윤곽선의 변화가 적었다.

그림 11은 같은 영상에 대한 기존 알고리즘과의 비교이다. 그림 11a는 그림 9a를 입력으로 한 기존의 회화적 렌더링[13] 결과이고, 그림 11b는 그림 9c와 동일한 사용자 매개 변수로 우리의 알고리즘을 적용한 렌더링 결과이다. 그림 11a는 영상의 정보를 사실적으로 잘 표현하고 있다. 이에 반해 그림 11b에서는 전경의 묘사는 기존의 알고리즘과 같이 사실적으로 하되, 원경의 표현에 있어서는 대기원근법을 적용하

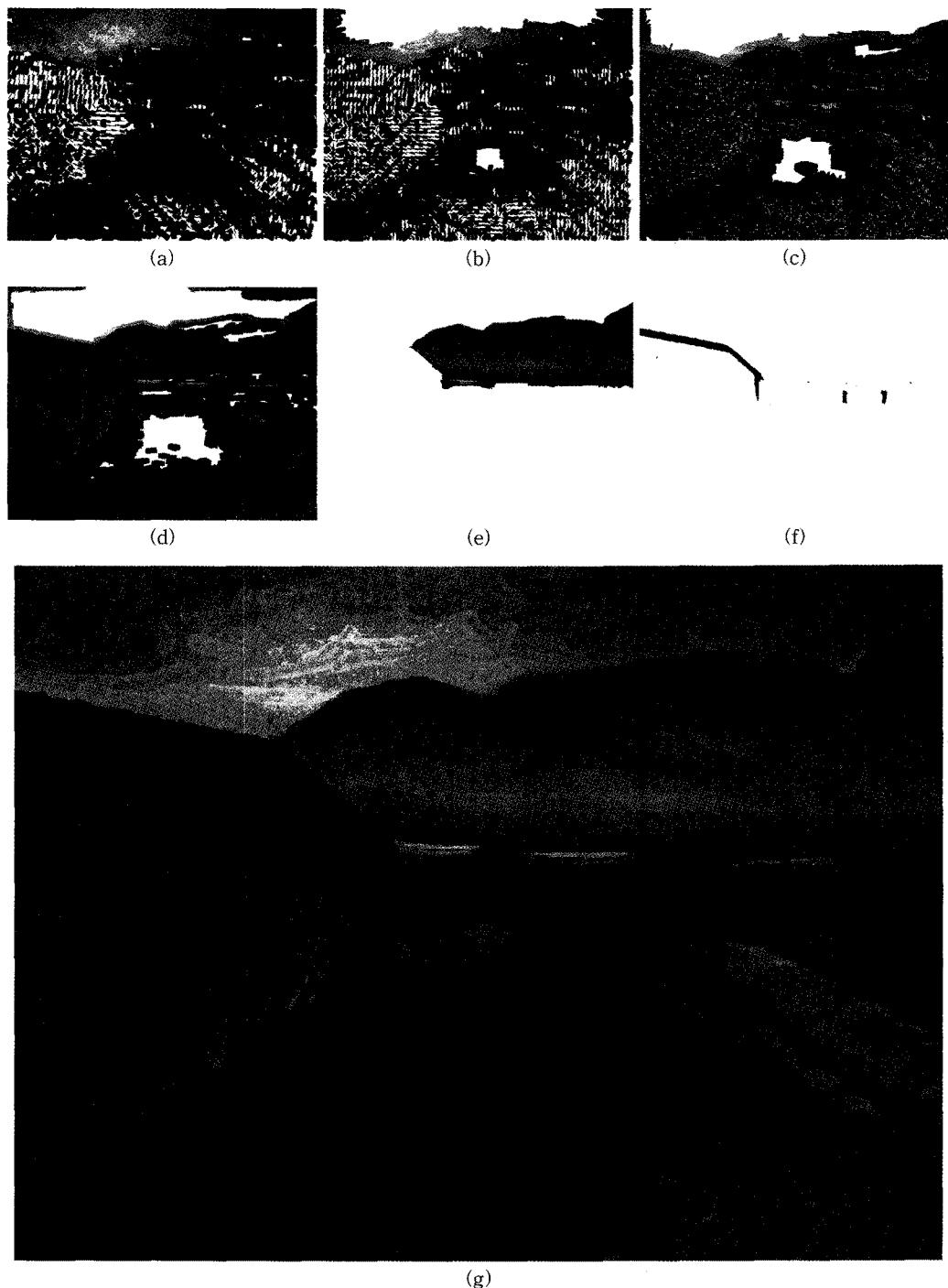


그림 8. (a~d) 레이어 1~4 (e) 대기원근법 레이어 (f) 윤곽선 강조 레이어 (g) 결과 영상

여 거리감을 강조했다. 그림 11b를 그림 11a와 비교해 보면 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 따라 원경에 나타난 사물들의 윤곽선이 흐려지고 채도가 낮게

표현된 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 또 다른 입력 영상에 대해 우리의 알고리즘을 실행한 결과이다.

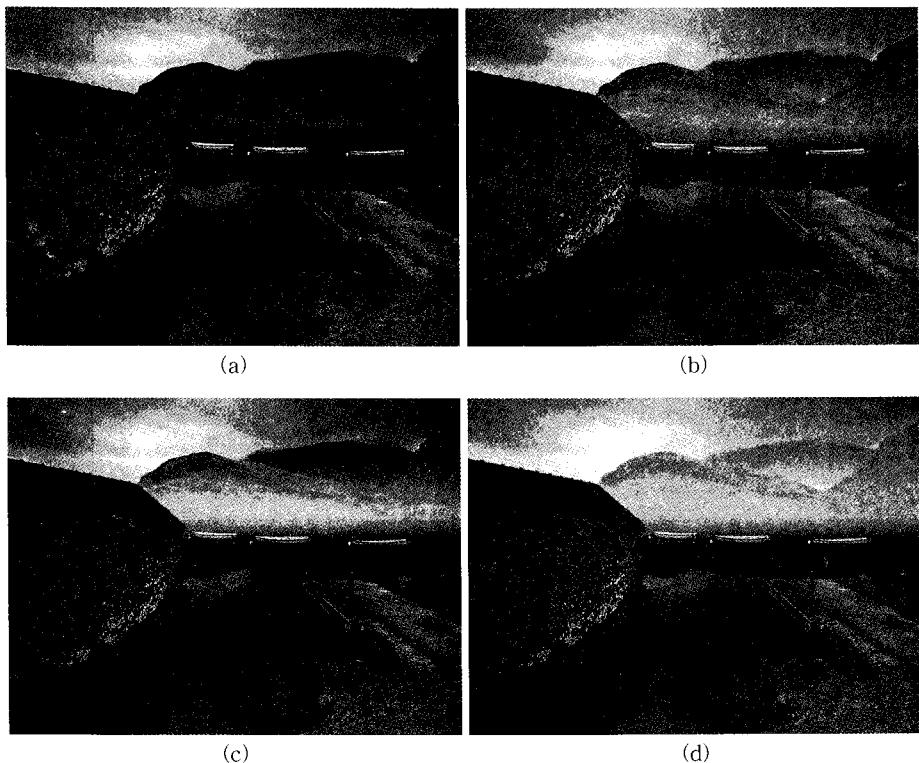


그림 9. (a) 입력영상, $y_0 = 201$, $\theta_0 = 43^\circ$,
산란효과 적용 결과 (b) $\beta_{sc} = 6.0$, $\beta_h = 6.0$ (c) $\beta_{sc} = 12.0$, $\beta_h = 6.0$ (d) $\beta_{sc} = 12.0$, $\beta_h = 2.0$

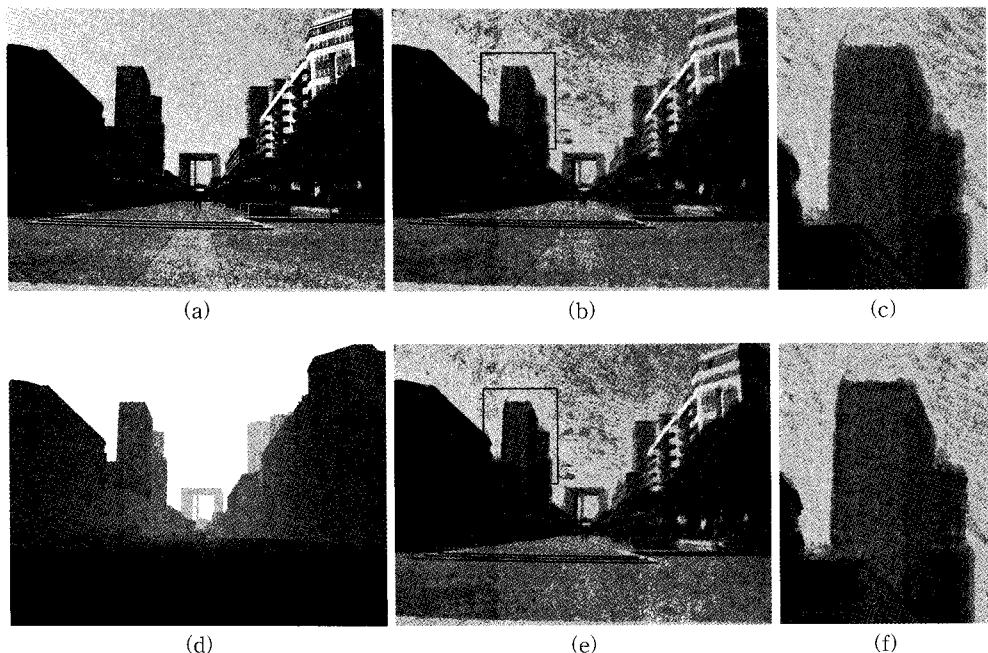
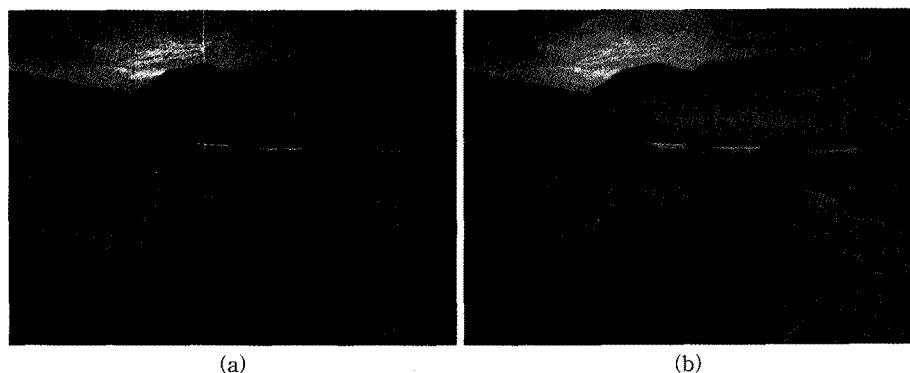


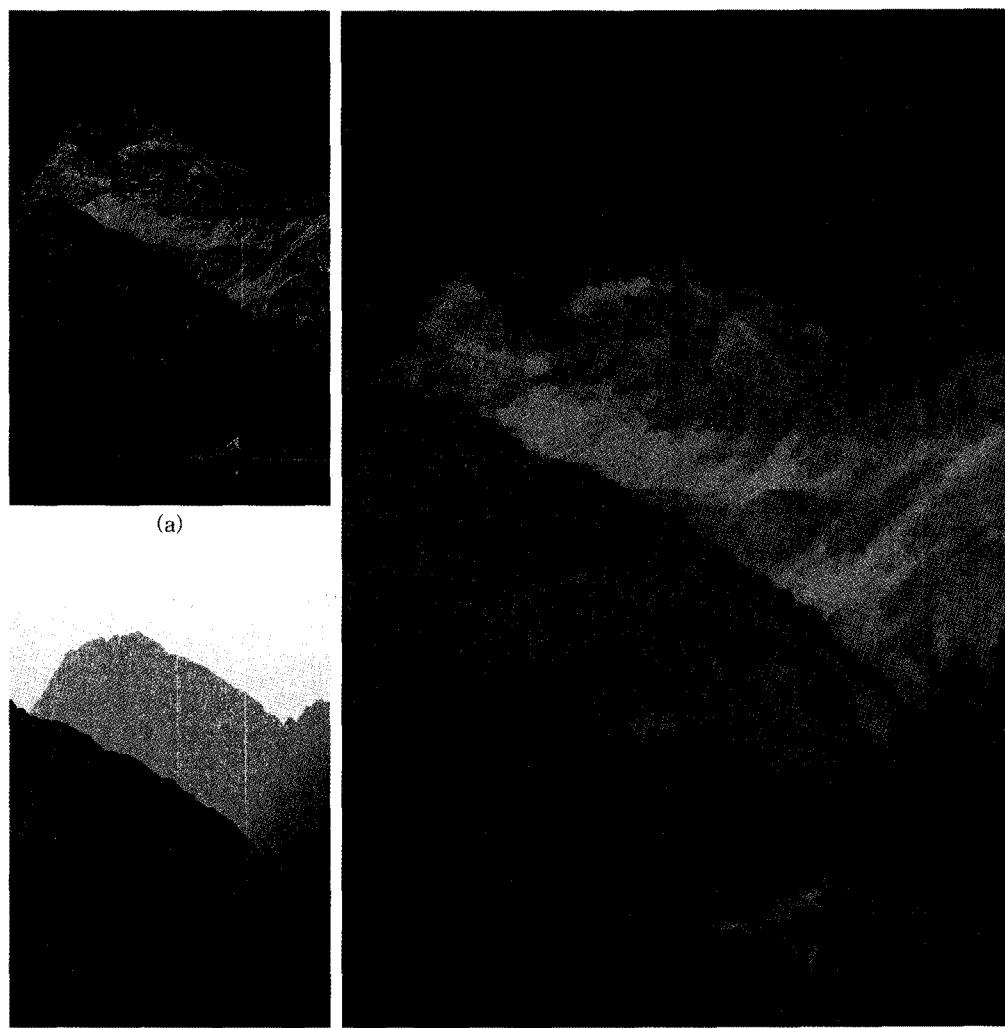
그림 10. 윤곽선 강조 기법의 적용 여부에 따른 결과 비교
($y_0 = 420$, $\theta_0 = 38^\circ$, $\beta_{sc} = 0.5$, $\beta_h = 1.0$)



(a)

(b)

그림 11. (a) 일반 회화적 렌더링 결과 (b) 대기원근법 렌더링 적용 결과



(a)

(b)

그림 12. (a) 입력영상 (b) 깊이 정보 (c) 결과 영상
($y_0 = 380$, $\theta_0 = 45^\circ$, $\beta_{sr} = 2.0$, $\beta_h = 3.0$)

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 대기 중 빛의 산란 효과를 표현하는 대기원근법을 회화적 렌더링에 적용하는 기법을 제안하였다. 거리와 고도에 따라 달라지는 산란 효과를 표현하기 위해 촬영에 관련된 정보와 표현하고자 하는 산란 정도를 매개변수로 하는 산란 모델을 만들었으며, 이를 통해 거리와 고도에 따른 산란 정도를 사용자의 의도에 따라 조절할 수 있게 했다. 또한, 거리에 따른 선택적 블러를 적용함으로써 가까이 있는 물체의 윤곽선이 흐려지지 않도록 했다.

우리는 최종적으로 지정한 색상과의 컬러 블렌딩을 통해 회화적 렌더링에서 대기원근법을 표현하였다. 논문의 결과 영상들은 모두 흰색과 블렌딩한 것으로, 실제 화가들의 주관적인 색 표현을 재현하지는 못했다. 이러한 화가들의 주관적 표현을 반영하기 위해서는 색체이론에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

근경의 윤곽선 강조는 깊이 값의 차이를 고려한 윤곽선 인식 방법으로 인해 인접한 물체와의 거리감 표현이 불분명하다. 윤곽선 선택 알고리즘의 개선을 통해 인접한 물체 사이의 거리감 강조가 가능할 것으로 판단된다.

우리는 향후 연구로 점묘의 후광 효과(halo effect)를 고려하고 있다. 이 기법은 대기원근법과 같이 거리 표현에 관한 회화표현법으로, 표현 범위나 색깔 등의 결정에 있어서 흥미로운 연구 주제이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Durand, "Limitations of the Medium and Pictorial Techniques," *SIGGRAPH 2002 Course Note*, pp.27-45, 2002.
- [2] L. Da Vinci, *Leonardo on Painting : An Anthology of Writings by Leonardo Da Vinci With a Selection of Documents*, Yale University Press, 1989.
- [3] M. Kemp, *The Science of Art*, Yale University Press, 1990.
- [4] M. G. J. Minnaert, *Light and Color in the Outdoors*, Springer Verlag, 1993.
- [5] R. L. Solso, *Cognition and the Visual Arts*, MIT Press, 1994.
- [6] A. Hertzmann, "A survey of stroke-based rendering," *Computer Graphics and Applications*, IEEE 23, 4, pp.70-81, 2003.
- [7] H. Lee, C.H. Lee and K. Yoon, "Motion based Painterly Rendering," *Computer Graphics Forum*, 28, 4, pp.1207-1216, 2009.
- [8] M. Shugrina, M. Betke and J. Collomosse, "Empathic painting: interactive stylization through observed emotional state," In Proc. of NPAR, pp.87-96, 2006.
- [9] W. Baxter, J. Wendt and M.C. Lin, "IMPaSTo: a realistic, interactive model for paint," Proc. of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering, pp.48-56, 2004.
- [10] P. Haeberli, "Paint by Numbers: Abstract Image Representations," *Computer Graphics*, vol.24, no.4, pp.207-214, 1990.
- [11] P. Litwinowicz, "Processing Images and Video for An Impressionist Effect," SIGGRAPH 97 Conference Proceedings, pp. 407-414. August 1997.
- [12] A. Hertzmann, "Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes," Proc. of SIGGRAPH 1998, pp.453-460, 1998.
- [13] J. Hays and I. Essa, "Image and Video Based Painterly Animation," Proc. of NPAR2004, pp.113-120, 2004.
- [14] B. Gooch, G. Coombe and P. Shirley, "Artistic Vision: Painterly Rendering Using Computer Vision Techniques," In Proceedings of the NPAR 2002 Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (Annecy, France), pp.83-90, 2002.
- [15] J.N. Jang, S.T. Ryoo, S.H. Seo and K.H. Yoon, "Distance Depiction on Painterly Rendering using Depth Information," Proc. of FCV 2010, pp.38-41, 2010.
- [16] P. Barla, J. Thollot and L. Markosian, "X-Toon: An Extended Toon Shader," In Proceedings of NPAR 2006, pp.127-132, 2006.
- [17] J. P. Oakley and B. L. Satherley, "Improving

- Image Quality in Poor Visibility Conditions Using a Physical Model for Contrast Degradation," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 7, No. 2, pp.167-179, 1998.
- [18] J. P. Oakley and H. Bu, "Correction of Simple Contrast Loss in Color Images," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 16, No. 2, pp.511-521, 2007.
- [19] J. D. J. Ingle and S. R. Crouch, *Spectrochemical Analysis*, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- [20] J. T. Houghton, "The Physics of Atmospheres 3rd Edition," Cambridge University Press, 2002.
- [21] T. Luft, C. Colditz, O. Deussen, "Image Enhancement by Unsharp Masking the Depth Buffer," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp.1206-1213, 2004.



장 재 니

2009년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 공학사
2009년~현재 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 공학석사 과정
관심분야 : 영상기반 렌더링, 비사실적 렌더링



류 승 택

1996년 중앙대학교 공과대학 전자계학학과 학사
1998년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 공학석사
2002년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학박사
2004년~현재 한신대학교 컴퓨터공학부 부교수

관심분야 : 영상기반 렌더링, 비사실적 렌더링, 실시간 렌더링



서 상 현

1998년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 공학사
2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학석사
2003년~2005년 (주)지노시스템 기술연구소 선임연구원
2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 공학박사
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, Proceduralism, GIS



이 호 창

2006년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 공학사
2008년 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 공학석사
2008년~현재 중앙대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 공학박사 과정

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, Image Stylization, GPGPU



윤 경 현

1980년 중앙대학교 공과대학 전자계산학과 학사
2000년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 학사
1983년~1985년 한국전기연구원 연구원
1988년 University of Connecticut 전자계산학과 석사
1991년 University of Connecticut 전자계산학과 박사
1991년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, GIS, 영상기반모델링 및 렌더링, 비사실적 렌더링