

비사실적 렌더링(NPR)을 위한 컬러기반 점묘화 기법

(Color-based Stippling for Non-Photorealistic Rendering)

장 석[†] 홍 현 기^{**}
(Seok Jang) (Hyun-Ki Hong)

요 약 점묘화(stippling)는 펜과 잉크를 이용한 수많은 점들로 대상을 표현하는 예술 기법이다. 기존 비사실적 렌더링(Non-Photorealistic Rendering; NPR)에서 점묘화 연구들은 단색의 점들을 사용하여 그 레이 영상이나 표면의 재질 등을 표현하였다. 본 논문에서는 2차원 영상의 컬러 정보를 해석하여 다양한 컬러의 점들로 표현하는 새로운 점묘화 기법이 제안된다. 제안된 방법은 입력 영상의 HSV 모델로부터 해석된 정보를 이용하여 컬러 가중치 함수(weight function)를 정의한다. 그리고 정의된 컬러 가중치 함수를 통해 점의 적절한 개수와 크기를 자동으로 계산한다. 제안된 방법은 컬러 가중치가 적용된 펜로즈(Penrose) 샘플링을 사용하여 점을 분포하기 위해 소요되는 처리시간을 크게 단축하였다. 그리고 먼셀(Munsell)의 색상모델에 기반한 컬러 지터링(jittering)으로 실제 컬러 점묘화에 가까운 표현을 구현하였다. 제안된 컬러 점묘화 기법은 처리속도가 매우 빠르고 다양한 컬러 점들로 영상을 표현하므로 애니메이션, 디지털 아트, 컴퓨터 그래픽 도구 등에 다양하게 활용될 수 있다.

키워드 : 점묘화, 비사실적 렌더링, HSV 컬러모델, 컬러 지터링, 펜로즈 샘플링

Abstract The stippling techniques, which represent objects with numerous points using pen and ink. The previous stippling techniques for Non-Photorealistic Rendering(NPR) use single-colored points to represent the tone of gray image or the material of surface. This paper presents a new stippling technique with various colored points based on the analysis of color information. By using the color information of the input image on HSV model, we define the color weight function that allows to determine automatically the number and size of points. The color jittering based on Munsell's color model can generate stippling drawings using various colored points to represent the image. Our color stippling method is expected to be used in many areas such as animation, digital art, video processing and CG tool.

Key words : stippling, Non-Photorealistic Rendering, HSV color model, color jittering, Penrose sampling

1. 서 론

전통적인 점묘화 기법은 펜이나 붓을 사용하여 수많은 점들로 영상을 표현하는 회화 방식이다. 특히 원색의 점들을 다양하게 분포시켜 원하는 색상과 형태를 표현하는 독특한 특징은 매우 과학적이다. 일반적으로 예술가가 하나의 점묘화 작품을 만들기 위해서는 수많은 점

들을 직접 하나씩 그려 대상을 표현해야 하기 때문에 작품이 완성되기까지 많은 시간이 소요된다. 1990년대 후반부터 컴퓨터 그래픽스의 한 분야인 비사실적 렌더링(Non-Photorealistic Rendering ; NPR)에서 점묘화 기법을 컴퓨터로 구현하는 연구가 계속 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존의 점묘화 기법에 대한 연구들은 단순히 단색의 점을 이용하여 영상의 밝기나 물체의 재질을 표현하고 있으며 처리속도의 개선이 요구된다. 그림 1과 같이 다양한 컬러를 가진 점들을 사용하여 사진과 같은 영상을 신인상주의 화가들의 실제 작품과 같이 회화적으로 표현하는 방법에 대한 연구는 제안되지 않았다.

본 논문에서는 컬러 정보를 해석하여 다양한 컬러의

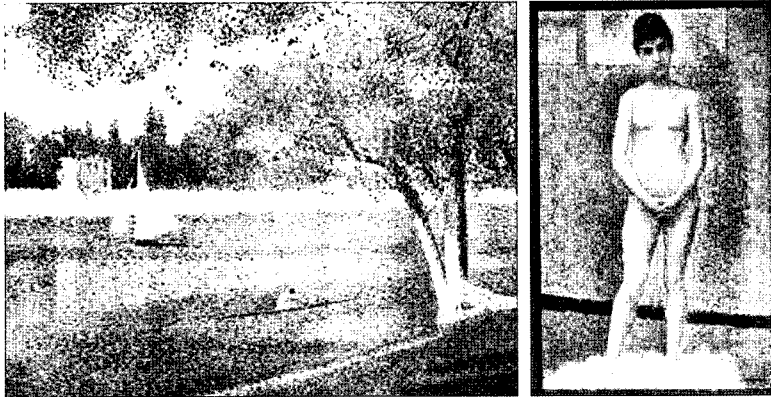
· 이 논문은 2005년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것임

† 학생회원 : 중앙대학교 영상공학과
seokj@wm.cau.ac.kr

** 종신회원 : 중앙대학교 영상공학과 교수
honghk@cau.ac.kr

논문접수 : 2005년 3월 29일

심사완료 : 2005년 11월 7일



(a) 봄의 그랑드(1887) (b) 서있는 모델(1887)

그림 1 신인상주의 화가 조르주 피에르 쇠라(Georges Pierre Seurat)의 점묘화 작품

점들로 영상을 표현하는 새로운 점묘화 기법을 제안한다. 제안된 방법은 기존연구와 달리 점들을 고르게 분포시키기 위해 오랜 처리시간이 소요되는 보로노이 다이어그램(Voronoi diagram)을 이용하지 않고, 펜로즈 타일링(Penrose tiling)[1]을 응용한 PIS(Penrose-based Importance Sampling) 방법[2]에 컬러 정보로부터 해석된 가중치를 적용하여 실시간에 가까운 처리속도를 보장한다. 또한 점들의 개수와 크기를 영상에 따라 자동으로 결정되도록 하였으며, 컬러 지터링(jittering)을 통해 점묘화의 효과적인 컬러 표현을 나타낸다. 그림 2는 제안된 컬러기반 점묘화 방법의 처리과정을 나타낸다. 본 논문에서 제안된 방법은 처리속도가 매우 빠르고, 효과적인 점묘화의 컬러 표현을 나타내기 때문에 애니메이션, 디지털 아트, 일러스트레이션 등의 분야에 다양하게 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 2장에서 관련된 기존 연구 및 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 제안된 컬러기반 점묘화 기법을 단계별로 기술하며, 4장에서는 기존 연구에 대한 비교실험 결과와 다양한 실험결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 장에서는 기존의 점묘화 기법들을 간략하게 소개하고, 컬러 영상을 컴퓨터를 이용하여 점묘화로 표현하기 위해 실제 점묘화 작품들의 중요한 특징을 분석하고 색상의 원리 등을 소개한다.

NPR 분야에서 초기의 점묘화 연구는 로이드(Lloyd) 방법을 이용한 보로노이 다이어그램을 적용하여 점들을 고르게 분포시키는 브러쉬(brush)를 정의하고, 사용자가 이를 통해 점묘화를 표현하는 방법이 있다[3]. 이 방법은 실제 화가들이 무수히 많은 점들을 뿌리는 과정을 컴퓨터를 이용하여 단순화하여 화가가 점묘화를 그리는 데 소요되는 처리시간을 수 시간으로 단축하였다. 또한 점들을 영상의 밝기에 따라 자동으로 분포시키는 점묘화 방법이 있다[4]. 이 방법은 그레이 레벨의 입력 영상의 밝기를 가중치로 부여한 CVD(Centroidal Voronoi Diagrams)[5]를 반복 적용하여 점들을 영상의 밝기에 따라 자동으로 분포시켜 점묘화 과정의 많은 부분을 자동화하였다. 이후에도 점묘화 연구들은 점들의 모양을 원 형태의 단순한 모양에서 벗어나 다양한 오브젝트를 활용하여 점들을 표현하는 방법[6], 비사실적인 불투명 렌

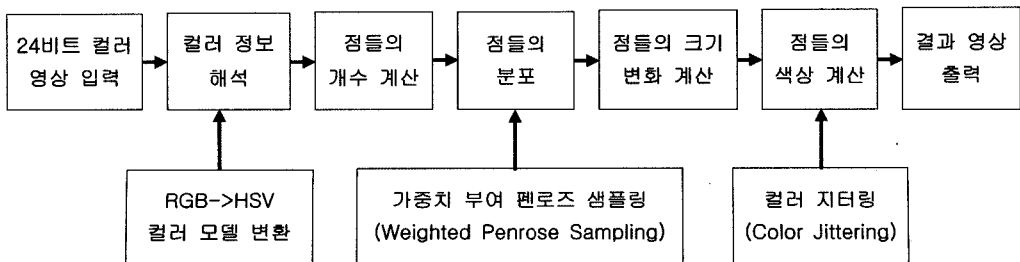


그림 2 컬러기반 점묘화의 처리과정

더링에 적용하는 방법[7], 그리고 3차원 모델의 표면에 점들을 분포시켜 셰이딩(shading)이나 표면의 재질을 표현하는 방법[8] 등이 제안되었다. 그러나 신인상주의 화가들의 작품과 같이 다양한 컬러의 점들로 표현되는 점묘화에 대한 연구는 지금까지 제안되지 않았다.

19세기 후반 신인상주의 작가인 쇠라(G. Seurat)와 시냐크(P. Signac) 등에 의해 발표된 점묘화는 팔레트나 캔버스에서 색을 혼합하여 표현하는 기존의 페인팅 기법과는 달리, 원색의 무수한 점들을 적절하게 조합시켜 사람의 망막위에서 색이 시각적으로 혼합되는 효과를 이용하여 원하는 색을 표현한다[9,10]. 예를 들어, 청색과 황색의 작은 점들을 무수히 배열하여 녹색으로 보이게 하는 원리이다. 그러나 이러한 원리는 그림 3(a)와 같이 색이 섞일수록 검은 색에 가깝게 되는 감산(subtractive) 혼합법의 CMYK 컬러 모델이 적용되는 페인팅이나 프린팅 디바이스 등에 적용된다. 색이 섞일수록 하얀 색이 되는 가산(additive) 혼합법의 RGB 컬러 모델(그림 3(b))이 적용되는 컴퓨터 모니터 등의 디바이스에서는 전통적인 점묘화 기법의 색상표현 원리를 적용하기가 매우 까다롭다. 본 논문에서는 컬러 점묘화 작품에서 색상표현 효과를 모든 출력 디바이스에 적용하기 위해, 일반적인 영상 파일에서 사용되는 RGB 컬러모델(그림 3(c))을 사람이 색상을 인지하는 방식과 유사한 HSV 컬러모델(그림 3(d))로 변환하여 컬러 정보를 해석하였다. 그리고 해당컬러에 대해 색상(hue), 채도(saturation), 명도(value)를 컬러 지터링 방법을 적용하여 각각 변화시킴으로서 다양한 컬러의 점들로 표현되는 점묘화의 색상 표현을 구현하였다.

기존의 컴퓨터를 이용한 점묘화 기법들은 점들을 분포시키는 과정에서 대부분의 처리시간을 소요한다. 점들을 고르게 분포시키기 위해 널리 사용되는 CVD 방법은 각 점을 연결한 의 보로노이 영역을 구하고, 언어진 영역의 중심에 점을 이동시키는 과정을 반복하기 때문에 점들의 개수가 많아지고 입력영상의 크기가 커질수록 처리시간이 크게 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 점들을 효과적이고 빠르게 분포시키기 위해 펜로즈 타

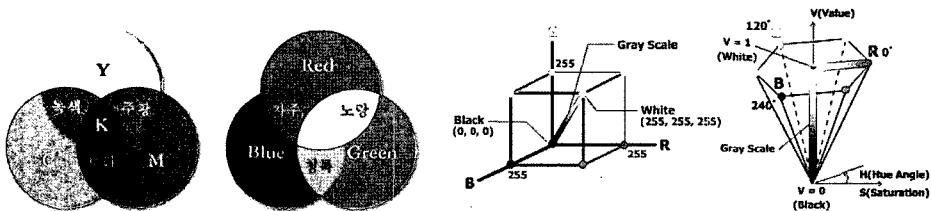
일링을 응용한 PIS 방법을 적용한다. 이 방법은 기본적으로 구성된 타일들을 세부분할(subdivision) 규칙에 따라 분할해 가며 점들을 분포시키는 방식이기 때문에 영역을 반복적으로 계산해야 하는 CVD 방법과 달리 처리속도가 매우 빠르다. 하지만 타일링을 기반으로 하기 때문에 패턴현상이 부분적으로 형성되는 문제점이 있으며, 이를 해결하기 위한 가중치의 고려방법 등을 다음 장에서 기술한다.

3. 컬러기반 점묘화 기법

3.1 컬러 정보 해석 및 컬러 가중치 함수

컬러기반 점묘화 기법을 적용하기 위해 제안된 방법은 입력된 24비트 컬러 영상으로부터 컬러 정보를 해석하여 컬러 가중치 함수를 결정한다. 입력된 영상의 컬러 정보를 해석하기 전에 가우시안 블러(gaussian blur)를 이용하여 입력 영상을 스무딩(smoothing)하여 입력영상에서 이웃한 픽셀 사이의 급격한 변화를 줄임으로써 컬러 노이즈 분포를 감소시키고 근접한 점들의 크기와 색상의 큰 변화에 따른 간섭을 줄여 부드러운 회화표현을 할 수 있다. 대부분의 영상의 컬러 정보는 RGB 모델 기반으로 저장되어 직관적으로 색을 분류하고 해석하기 어렵기 때문에 본 논문에서는 스무딩된 입력영상을 인간의 색 인지 방식과 유사한 HSV 컬러 모델로 변환한다[11,12]. 스미스(Smith)에 의해 소개된 HSV 컬러 모델[13]은 먼셀(Munsell)이 정의한 색상모델[14]과 유사하며 그림 3(d)와 같이 0°에서 360° 사이의 각으로 표현되는 색상, 순수한 색이 포함되는 정도를 나타내는 채도, 색의 밝기를 나타내는 명도로 구분되며, 채도와 명도는 0에서 1사이의 값으로 표현된다. 이러한 특성은 입력 영상으로부터 컬러 정보를 분류하고 해석하기에 용이하여 효과적으로 컬러 분포를 분석하기에 적합하다.

RGB 모델은 다음과 같은 방법을 통해 HSV 모델로 변환되며 변환된 정보들을 이용하여 컬러 분포를 나타내는 컬러 가중치 함수를 정의한다. 먼저 RGB값으로 표현되는 영상의 컬러 정보는 식 (1)과 같이 각 $R, G,$



(a) CMYK 컬러모델 (b) RGB 컬러모델 (c) RGB 컬러모델(3차원) (d) HSV 컬러모델(3차원)

그림 3 다양한 컬러모델

B의 최소값과 최대값을 이용하여 채도(S)와 명도(V)를 계산하고, 다시 각 R, G, B의 최소값과 명도(V)값을 이용하여 식 (2)와 같이 R', G', B'을 계산한다.

$$V = \max(R, G, B), \quad S = \frac{V - \min(R, G, B)}{V} \quad (1)$$

$$R' = \frac{V - R}{V - \min(R, G, B)}, \quad G' = \frac{V - G}{V - \min(R, G, B)},$$

$$B' = \frac{V - B}{V - \min(R, G, B)} \quad (2)$$

다음으로 색상(H)은 60°씩 총 6개의 영역으로 나누어 구별하는데, R, G, B 값이 어느 영역에 속하는가를 판단하여 식 (3)과 같이 색상 값을 구한다. 이때, 상수 1, 3, 5 값은 각각 HSV 컬러모델에서 표현되는 Yellow, Cyan, Magenta의 색상(H) 값을 60으로 나눈 값으로 최종적으로 다시 60을 곱하여 0~360 사이의 범위를 갖는 색상 값으로 계산된다.

$$H = \begin{cases} 5 + B' & \text{if } R = \max(R, G, B) \ \& \ G = \min(R, G, B) \\ 1 - G' & \text{if } R = \max(R, G, B) \ \& \ G \neq \min(R, G, B) \\ 1 + R' & \text{if } G = \max(R, G, B) \ \& \ B = \min(R, G, B) \\ 3 - B' & \text{if } G = \max(R, G, B) \ \& \ B \neq \min(R, G, B) \\ 3 + G' & \text{if } B = \max(R, G, B) \ \& \ R = \min(R, G, B) \\ 5 - R' & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

변환된 HSV 컬러 모델에서 각 색상(H)에 따른 채도(S)와 명도(V)값을 이용하여 식 (4)와 같이 컬러 가중치 함수 $Wc(x, y)$ 를 정의한다.

$$Wc(x, y) = 1 - (1 - S(x, y)) \cdot V(x, y) \quad (4)$$

컬러 가중치 함수를 통해 얻어진 가중치는 0과 1사이의 값을 가지며, 색이 강한 채도가 최대인 부분과 명도가 최소인 검은색 영역에 대해 가중치가 최대가 되고, 색이 흐린 채도가 최소인 부분과 명도가 최대인 밝은 영역에 대해서 가중치가 최소가 된다. 즉, 그림 3(d)의 HSV 컬러 모델에서 육각뿔 윗면의 중심에서 가중치가 최소가 되고, 윗면의 가장자리와 육각뿔의 아래 꼭지점에서 가중치는 최소가 되어 영상의 컬러 성질에 따라

가중치기 부여된다. 계산된 컬러 가중치는 입력영상의 컬러 분포에 따라 점들의 크기, 개수, 위치 등의 자동 계산과정에 효과적으로 적용된다.

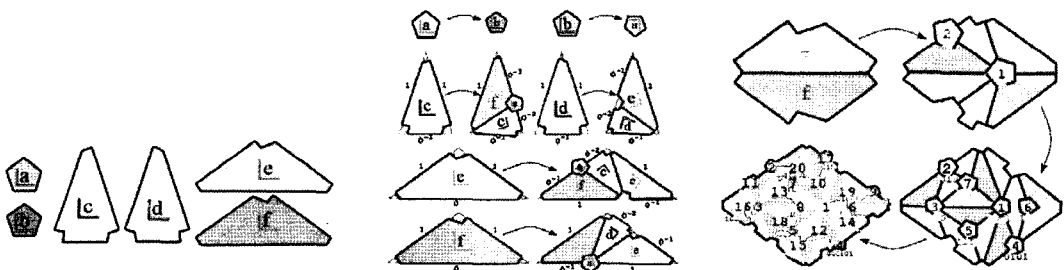
3.2 PIS를 이용한 점들의 분포

대부분의 기존 점묘화 기법은 점들을 무작위(random) 하면서도 고르게 분포시키는 과정에서 많은 처리시간이 소요된다. 일반적으로 사용되는 CVD 방법은 점의 개수와 입력 영상의 크기에 따라 많은 계산을 필요로 한다. 본 논문에서는 실시간 응용 등을 고려하기 위해 매우 빠르게 다수의 점들을 고르게 분포하도록 하기 위해 PIS[8]를 이용하였다. 이 방법은 그림 4(a)의 6개 대표 타일을 식 (5)의 규칙에 따라 (b)와 같이 타일을 분할하여 전체 영역을 무작위하면서도 고르게 샘플링 하는 방법이다. 그러나 이 방법은 타일링에 기반하기 때문에 원하지 않는 패턴현상이 나타나며, 이런 패턴현상은 점묘화 기법에서 결과 영상의 질을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다. 본 논문에서는 실시간 처리의 장점을 지닌 PIS 방법을 점묘화 기법에 적용하기 위해 입력 영상의 컬러정보를 기반한 가중치에 따라 분할레벨을 조절하여 패턴현상을 제거하였다.

$$P_{\text{penrose}} = \begin{cases} a_n \rightarrow \{b_{00*}\} \\ b_n \rightarrow \{a_{00*}\} \\ c_n \rightarrow \{f_{00*}, c_{10*}, a_{10*}\} \\ d_n \rightarrow \{e_{00*}, d_{10*}\} \\ e_n \rightarrow \{f_{00*}, c_{10*}, e_{01*}, a_{10*}\} \\ f_n \rightarrow \{b_{00*}, f_{10*}, f_{01*}, f_{01*}\} \end{cases} \quad (5)$$

가중치가 부여된 PIS를 이용하여 점들을 분포시키는 구체적인 방법은 다음과 같다.

- (1) 그림 4(a)의 대표 타일에서 'e'와 'f' 타일로 구성하여 대상영상의 전체영역을 덮는다.
- (2) 분할 규칙에 따라 타일을 분할한다.
- (3) 분할 레벨이 식 (6)의 k에 도달하면 분할을 멈춘다.
- (4) 최종적으로 구성된 타일 중에 'a'와 'b' 타일의 중심에 점을 위치시킨다.



(a) 대표 타일

(b) 분할 규칙에 따른 타일 변화 예
그림 4 PIS 방법의 원리

(c) 세부분할의 예

$$k = \log_{\phi} \max_{i \in I} (P_n \cdot mag \cdot (1 - Wc(x, y))) \quad (6)$$

여기서, k 는 가중치에 따라 분할레벨을 결정하는 요소이고, Wc 는 점 (x, y) 에서의 컬러 가중치이다. 그리고 ' $\phi = (1 + \sqrt{5}) \div 2$ '는 황금률(The Golden Ratio)을 의미하며 그림 4(b)와 같이 모든 타일들이 서로 조합되도록 하는 역할을 한다. P_n 은 3.3절의 식 (8)에 의해 계산되는 점들의 개수를 의미하고, mag 는 전체 입력영상을 커버하는 초기 타일의 양을 결정하기 위한 상수이다. 즉, mag 값에 따라 전체 영상을 커버하는 점들의 개수가 달라진다. 본 논문에서는 영상의 크기 변화에 따라 mag 값이 일정한 비율로 변화하도록 하였다. 그림 4(c)는 분할 레벨 3까지 처리되는 PIS의 예이다. 이와 같은 컬러 가중치를 부여한 PIS 방법을 적용하면 래스터 스캔(raster scan)으로 인한 소요시간이 절약되어 매우 빠른 시간 안에 다수의 점들을 고르게 분포시키게 된다.

3.3 점들의 크기와 개수

수많은 점들을 사용하여 컬러 영상을 표현하는 점묘화 기법에서 점들의 크기와 개수는 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 점들의 최소크기의 입력만으로 입력 영상에 따라 점들의 개수를 계산하고 세부적으로 변화되는 점들의 크기를 자동으로 계산하는 방법을 제안한다. 점들의 크기와 개수는 식 (7)과 식 (8)에 의해 계산된다.

$$P_s^2(x, y) = P_{smin}^2 + \alpha \cdot P_{smin}^2 \cdot (1 - Wc(x, y)) \quad (7)$$

$$P_n = \int P_s^2(x, y) dx dy \quad (8)$$

여기서, P_{smin} 은 점들의 최소크기를 말하며, P_s 는 세부적으로 변화되는 점들의 크기를 의미한다. 효과적인 점묘화 표현을 위해 가중치에 따라 점들의 크기를 세부적으로 조절되어야 하는데, α 는 점의 크기 변화를 세부적으로 조절하는 상수이다. 결과적으로 점들의 크기와 개수는 그림 5와 같이 점이 포함하는 영역을 사각형의 형태라고 가정할 때, 점의 크기에 따라 영상 전체 넓이



그림 5 점들의 개수를 계산하는 예

에 필요한 점의 개수를 계산하는 원리이다. 또한 효과적인 컬러 점묘화 표현을 위해 점들 사이의 빈 공간을 최소화하면서 동시에 점들이 지나치게 겹치지 않도록 고려해야 한다. 본 논문에서는 다양한 실험을 통해 점들이 약 20% 겹치도록 설정하였다.

3.4 점들의 색상

실제 예술가의 점묘화 작품들(그림 1)과 같이 컬러기반 점묘화를 표현하기 위해서는 점들의 색상을 효과적으로 결정하는 것은 매우 중요하다. 신인상주의 예술가인 쇠라는 다양한 순색 물감의 점을 혼합하여 점묘화를 표현하였다. 그러나 이런 원리는 2장에서 설명한 바와 같이 컴퓨터로 구현하는 점묘화 기법에 적용하기 매우 어렵다. 본 논문에서는 식 (9)와 같이 HSV 컬러 모델에서 컬러 지터링을 통해 점묘화의 색상을 표현하는 방법을 제안한다.

$$\begin{aligned} H_{jitter}(x, y) &= H_{source}(x, y) \pm Rand_h, \\ S_{jitter}(x, y) &= S_{source}(x, y) \pm Rand_s, \\ V_{jitter}(x, y) &= V_{source}(x, y) + Rand_v. \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, H_{jitter} , S_{jitter} , V_{jitter} 는 컬러 지터링된 값이고, H_{source} , S_{source} , V_{source} 는 참조된 값이며, $Rand_h$, $Rand_s$, $Rand_v$ 는 정해진 범위 내에서 무작위로 얻어진 상수이다.

제안된 방법은 입력영상에서 참조된 색을 HSV 컬러 모델에서 정해진 범위 내의 색상, 채도, 명도를 각각 변화시켜 참조된 색과 유사한 색들의 조합으로 실제 예술가의 점묘화 작품과 같은 효과를 표현한다. 즉, 입력영상에서 참조된 값에 정해진 범위 내에서 랜덤하게 얻어진 상수를 더하여 색을 다양하게 변화시킨다. 컬러 지터링 범위는 먼셀의 색상모형에서 색상, 채도, 명도를 각각 10, 5, 5의 기본 단계로 분류한 것을 참조하여, HSV 컬러모델에서 색상은 12개의 기본 단계로 나눈 30°의 범위, 채도와 명도는 각 5 기본 단계로 나눈 0.2의 범위로 설정된다. 이는 점들의 색상을 다양하게 표현하기 위해 컬러 지터링을 통해 선택되는 색상의 범위로서 이를 통해 참조된 색을 표현하기에 적합한 색을 선택할 수 있다. 예를 들어 참조된 색이 노란색인데 검은 색으로 표현되는 것을 막는 효과이다.

4. 실험결과 및 검토

컬러 점묘화 기법을 실험하기 위해 24비트 비트맵 파일 포맷의 컬러 영상을 입력으로 사용하였으며 시스템 환경은 펜티엄 센트리노 1.6GHz CPU, 1G RAM, ATI MOBILE RADEON 9000 32M 그래픽카드에서 실험하였다. 점묘화 기법은 점들이 무작위하고 고르게 분포하면서 패턴현상이 생기지 않도록 하기 위해 실수형 좌표

계를 이용하며, 본 실험에서는 실수형 좌표계인 OpenGL 라이브러리를 사용하였다.

점들을 고르게 분포시키기 위해 널리 사용되는 CVD와 본 논문에서 사용된 PIS의 처리시간을 비교하기 위해 600×600 사이즈의 동일한 크기의 영역에 동일한 개수의 점들을 실험하였다. 표 1의 결과로부터 PIS 방법의 처리시간이 CVD를 사용한 결과보다 약 15,000배 정도 처리속도가 개선되었음을 확인하였다. 그러나 그림 6(b)와 같이 CVD를 사용한 방법에서는 보이지 않던 패턴 현상이 발생하였다. 본 논문에서는 컬러 정보를 가중치로 계산하여 PIS에 적용함으로써 실제 영상에 적용할 때 원하지 않는 패턴 현상이 발생하지 않도록 하였다.

동일한 컬러 영상에 대해 단색의 점을 사용하는 기존의 그레이기반 점묘화 기법과 다양한 색상의 점을 사용하는 컬러기반 점묘화 기법을 비교하였다. 본 실험에서

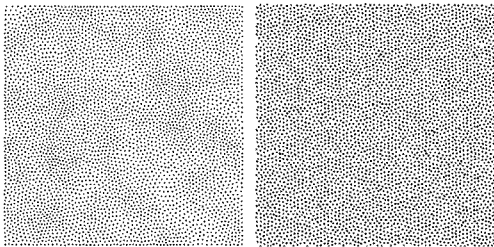
는 PIS 방법으로 점들이 분포하도록 하며, 그레이기반 점묘화(그림 7(a))는 컬러영상을 그레이로 변환하여 적용하였다. 그림 7과 같이 그레이기반 점묘화 영상은 영상의 톤을 유지하여 윤곽 등을 어느 정도 표현하지만 회화적인 표현(그림 1)이 상대적으로 부족하다. 제안된 방법에 의해 얻어진 컬러기반 점묘화 (b)는 실제 예술가의 점묘화 작품과 유사한 회화적인 표현이 가능하다.

동일한 컬러 영상에 대해 점의 최소크기를 변화시켜 실험한 결과를 그림 8에 보였다. 점의 크기가 매우 작으면 입력영상과 거의 유사하게 되어 윤곽은 뚜렷해도 회화적인 표현이 감소된다. 그리고 점의 크기가 지나치게 커지면 입력영상의 윤곽이 잘 드러나지 않게 된다. 따라서 입력 영상에 따라 적절한 점들의 최소크기를 결정하는 방법이 필요하며, 본 논문에서는 사용자가 임의로 선택하도록 하였다. 제안된 방법에서는 그림 8과 같이 점들의 최소크기 입력만으로 점들의 개수가 자동으로 결정된다.

특정한 영상만이 아닌 인물사진, 풍경, 일러스트레이션 등의 다양한 컬러 영상에 대해 제안된 방법을 적용하였으며, 그림 9~11로부터 효과적인 점묘화가 얻어짐을 확인하였다.

표 1 CVD와 PIS의 처리속도 비교

적용방법	점의 개수	처리시간(sec)
CVD	4188	2145.43
PIS	4188	0.14



(a) CVD 방법 (b) PIS 방법

그림 6 처리속도 비교 결과 영상

5. 결론

실제 예술가의 작품과 같이 다양한 색상으로 표현된 점묘화 기법을 컴퓨터 기반의 알고리즘화한 연구는 아직까지 제안되지 않았다. 본 논문에서는 입력 영상의 컬러 정보를 효율적으로 해석하여 점들의 크기와 개수 그리고 색상 등을 효과적으로 표현하는 새로운 컬러기반 점묘화 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 만셀의 색상 모형에 기반한 컬러 지터링을 통해 회화적인 색상 표현



(a) 그레이기반 점묘화



(b) 컬러기반 점묘화

그림 7 결과 영상 비교



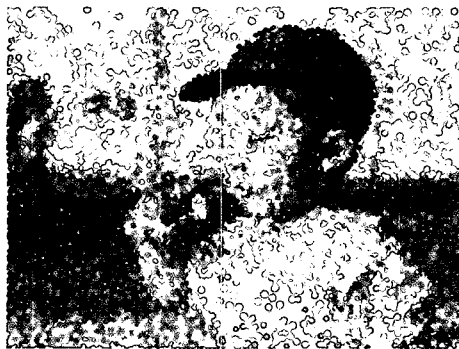
(a) 입력영상: 소년, 800 × 600 픽셀



(b) 결과1: $P_{smin} = 2.4$ 픽셀, $P_n = 99,979$, $t = 3.21$ 초



(c) 결과2: $P_{smin} = 4.8$ 픽셀, $P_n = 25,039$, $t = 1.23$ 초



(d) 결과3: $P_{smin} = 9.6$ 픽셀, $P_n = 6,258$, $t = 0.75$ 초

그림 8 점의 최소크기 변화에 따른 실험 결과 영상



(a) 입력영상: 씨 뿌리는 사람, 1024 × 768픽셀



(b) $P_{smin} = 3.6$ 픽셀, $P_n = 119,036$, $t = 3.60$ 초

그림 9 다양한 종류의 컬러 영상에 대한 실험 결과 1

을 하였으며, 컬러 가중치가 고려된 PIS를 적용하여 점들을 분포시킴으로써 처리시간을 크게 개선하였다. 또한 점들의 크기와 개수가 점들의 최소 크기의 입력만으로 자동 계산되어 손쉬운 점묘화 표현이 가능하다. 제안된 방법은 애니메이션, 그래픽 저작도구 등의 다양한 분야에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. Glassner, "Andrew Glassner's notebook: Pen-

rose tiling," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 18, No. 4, pp. 78-86, 1998.

[2] V. Ostromoukhov, C. Donohue, P. Jodoin, "Fast Hierarchical Importance Sampling with Blue Noise Properties," *Proc. of SIGGRAPH 2004*, pp. 488-495, August 2004.

[3] O. Deussen, S. Hiller, K. van Overveld, and T. Strothotte, "Floating points: A method for computing stipple drawings," *Proc. of Eurographics 2000*, pp. 40-51, April 2000.



(a) 입력영상: 꽃병과 과일, 600 × 733 픽셀

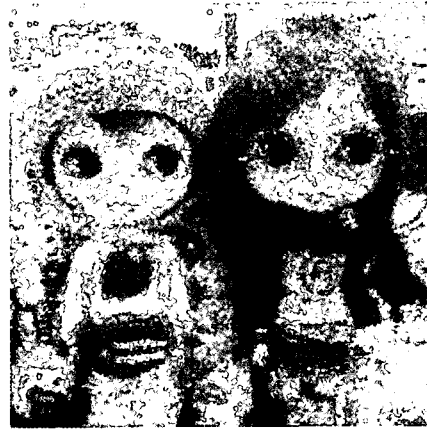


(b) $P_{min} = 4.8$ 픽셀, $P_n = 42,503$, $t = 1.54$ 초

그림 10 다양한 종류의 컬러 영상에 대한 실험 결과 2



(a) 입력영상: 인형들, 600 × 600 픽셀



(b) $P_{min} = 4.8$ 픽셀, $P_n = 24,748$, $t = 1.30$ 초

그림 11 다양한 종류의 컬러 영상에 대한 실험 결과 3

- [4] A. Secord, "Weighted voronoi stippling," *Proc. of 2nd International Symposium on Non-Realistic Animation and Rendering*, pp. 37-43, 2002.
- [5] Q. Du, V. Faber, and M. Gunzburger, "Centroidal voronoi tessellations," *Siam Review*, Vol. 41, No. 4, pp. 637-676, 1999.
- [6] S. Hiller, H. Hellwig, O. Deussen, "Beyond Stippling - Method for Distributing Objects on the Plane," *Proc. of Eurographics 2003*, Vol. 22, NO. 3, pp. 515-522, Sept. 2003.
- [7] A. Lu, C. Morris, D. Ebert, P. Rheingans, and P. Hansen, "Non-photorealistic volume rendering using stippling techniques," *Proc. of IEEE Visualization 2002*, pp. 211-218, 2002.
- [8] A. Lu, C. J. Morris, J. Taylor, D. S. Ebert, C. Hansen, P. Rheingans, M. Hartner, "Illustrative Interactive Stipple Rendering," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 9, No. 2, pp. 127-138, 2003.
- [9] M. Schapiro, "Modern art: Nineteenth and twentieth centuries," George Braziller, 1982.
- [10] A. Distel, "Georges Seurat(1859-1891)," Metropolitan Museum of Art, 1991.
- [11] M. Schwarz, W. Cowan, J. Beatty, "An experimental comparison of RGB, YIQ, LAB, HSV, and opponent color models," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 6, No. 2, pp. 123-158, 1987.
- [12] F. A. Baqai, J. H. Lee, A. U. Agar, J. P. Allebach,

"Digital color halftoning - problems, algorithms, and recent trends," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, No.1, pp. 87-96, Jan. 2005.

- [13] A. R. Smith, "Color gamut transform pairs," *Proc. of SIGGRAPH 1978*, Vol. 12, No. 3, pp. 12-19, Aug. 1978.
- [14] A. H. Munsell, "A Color Notation," Munsell color company, 1939.
- [15] A. Hertzmann, "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes," *Proc. of ACM SIGGRAPH 98*, pp. 453-460, July 1998.



장 석

2003년 단국대학교 전자공학과 학사 졸업. 2005년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사 졸업. 관심분야는 컴퓨터 그래픽스, 컬러영상처리, 컴퓨터비전 등



홍 현 기

1993년 중앙대학교 전자공학과 공학사
1995, 1998년 중앙대학교 대학원 전자공학과 공학석사, 공학박사. 1998년 9월~1999년 8월 서울대학교 자동제어특화연구센터 연구원. 1999년 9월~2000년 2월 중앙대학교 정보통신연구소 연구교수. 2002년 2월~2003년 1월 Univ. of Colorado at Denver 방문 연구원. 2000년 3월~현재, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 조교수 재직 중. 관심분야는 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 응용 등임