Journal of Korea Multimedia Society Vol. 11, No. 4, April 2008(pp. 554-565)

사용자 정의 팔레트에 기반한 점묘화 렌더링에 관한 연구

서상현†, 윤경현††

요 약

프랑스의 신인상파 화가 쇠라(Seurat)는 캔버스위의 독립 색채들은 망막위에서 재조직된다는 이론을 바탕으로 점묘화를 개발하였다. 점묘화는 캔버스에 작은 브러시 스트로크로 가득 채워서 그림을 그리는 방식이다. 이렇게 그려진 그림을 멀리 떨어져서 보면 각각의 브러시 스트로크는 보이지 않고, 혼합된 색상으로 보이게 된다. 이것을 색상의 병치혼합이라고 불린다. 본 논문에서는 점묘화 표현을 위한 회화적 렌더링 기법을 제안한다. 우리는 점묘화에 나타나는 무수히 작은 점들을 자연스럽게 표현하기 위해서 왕타일링(Wang Tiling)기법을 활용한 계층적인 점 구조를 제안한다. 또한 신인상파의 팔레트 사용방법을 기반으로 사용자가 정의한 안료로 표현가능 한 팔레트를 설계한다. 마지막으로, 우리는 설계된 팔레트를 기반으로 계층적인 점구조로 샘플링 된 입력영상을 점묘 화가들이 했던 방식을 사용하여 병치혼합 시킴으로써 최종 결과영상을 얻게 된다.

A Study on Pointillistic Rendering Based on User Defined Palette

Sang-Hyun Seo†, Kyung-Hyun Yoon††

ABSTRACT

The French neo-impressionist painter, George Seurat, introduced pointillism under the theory that the individual pigments of colors on the canvas are reconstructed on the human retina. Pointillism is a painting technique in which many small brush strokes are combined to form a picture in the canvas. When such a painting is seen from a far, the individual stroke color are unnoticeable and they are seen as intermixed colors. This is called juxtaposed color mixture. In this paper, we present a painterly rendering method for generating the pointillism images. For expressing countless separate dots which shown in the pointillism works, we propose a hierarchical points structure using Wang Tile method. Also a user defined palette is constructed based on the usage that Neo-Impressionist painter works on his palette. Lastly, based on this, a probability algorithm will be introduced, which divides the colors in the image(sampled by hierarchical point structure) into juxtaposed colors. A hierarchical points set which undergone juxtaposed color division algorithm is converted into brush strokes.

Key words: Non-Photorealistic Rendering(비사실적 렌더링), Painterly Rendering(회화적 렌더링), Pointillism(점묘주의), Wang Tile(왕타일), Juxtaposition of Colors(색상 병치)

1. 서 론

사람이 만들어낸 예술적인 영상들을 컴퓨터로 재현해 내는 방법이 비사실적 렌더링이다[1]. 비사실적 렌더링은 기존의 사실적 렌더링과 큰 차이점을 가지고 있다. 특히 비사실적 렌더링 분야 중 스트로크 기반 회화적 렌더링은 사실적 렌더링 기술과 더 많은 차이를 보이고 있다. 사실적 렌더링의 기본 단위가

※ 교신저자(Corresponding Author) : 서상현, 주소 : 서울특별시 동작구 흑석동 221(156-756), 전화 : 02)824-3018, FAX : 02)824-3018, E-mail : shseo@cglab.csc.cau.ac.kr
접수일 : 2007년 10월 30일, 완료일 : 2008년 3월 20일
† 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 재학중
†† 정회원, 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
(E-mail : khyoon@cau.ac.kr)
※ 본 논문은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 정보통신선도기반기술개발사업의 연구결과로 수행되었읍니다

픽셀인 반면, 회화적 렌더링에서는 픽셀의 집합으로 이루어진 브러시 스트로크(붓놀림, Brush Stroke)를 렌더링의 기본단위로 하고 있기 때문이다.

많은 연구자들이 스트로크 기반 회화적 렌더링 알고리즘들을 소개하였다. 회화적 렌더링에 대한 연구는 표현 방법에 따라 사용자의 상호작용에 의한 물리적 회화 시뮬레이션 방법[2], 3차원 오브젝트에 직접 스트로크를 매핑하는 오브젝트 기반 방법[3] 그리고 2차원 영상으로부터 스트로크를 생성하는 이미지 기반 방법[4-7]으로 구분할 수 있다. 특히 이미지 기반 회화적 렌더링 알고리즘은 영상처리 기술을 통해 입력영상을 분석하고 분석된 데이터를 스트로크의 표현(브러시방향, 위치, 색상, 길이 등)에 사용하였다.

이러한 많은 회화적 렌더링 연구 중에 색상에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 대부분의 이전 연구자들은 브러시 스트로크의 색상으로 입력영상의 색상을 그대로 쓰거나 원 색상에 랜덤한 값을 추가해서 사용하는 아주 단순한 방법을 사용한다. 하지만 회화에서 브러시 스트로크의 색상은 아주 중요한 요소이며 연구의 대상이 될 수 있다.

회화의 색상은 화가들의 경험이나 과학적 이론을 바탕으로 만들어진다. 특히 인상파나 신인상파의 화가들은 눈에 들어오는 빛의 재해석을 통해 색상을 결정하여 그림을 완성하였다. 이런 화가들의 색상 선택은 랜덤한 값을 추가하는 단순한 방법으로는 정확하게 재현할 수 없다는 것은 자명하다.

본 논문에서는 감히 특정 화파에 속해있는 예술작가의 색상 특징 분석을 통해 회화작품을 시뮬레이션하고자 한다. 이는 회화적 렌더링 알고리즘에 있어 최초의 시도라고 할 수 있다. 우리는 시뮬레이션의 대상으로 그림의 특징이 명확한 쇠라를 선택했다. 쇠라는 신인상파(점묘주의)의 대표적인 화가이며 평론가들에게 색채에 대해서 가장 과학적인 화가라고 불리고 있다. 특히 피사체의 색이 표현되는 과정에 대한 동시대 과학자들의 연구를 학습하여 실제 작품에 적용시켰다.

우리는 점묘화의 시뮬레이션을 위해 쇠라의 작품에서 나타나는 특징의 분석하고 각 특징을 표현할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 2절에서 점묘화 표현에 관련된 연구와 그 연구의 수준에 대해서 간략하게 알아보고 3절에서 쇠라작품에 나타나는 대표적인 특징을 정리하며 4절에서는 각 특징을 표현할 수 있는 각각의 알고리즘을 소개한다. 마지막으로 5절에서는 제안된 알고리즘을 통해 만들어진 다양한 결과를 분석해 보고 6절에서 결론을 짓도록 하겠다.

2. 이전 연구

스트로크 기반 회화적 렌더링에 관한 이전의 연구들은 브러시 스트로크의 모양, 크기, 위치와 질감을 결정하는데 초점을 맞추고 있다. 스트로크 기반의 회화적 렌더링에 관한 연구는 Paul Haeberli[4]에 의해 시작되었다. Paul Haeberli의 사용자 입력을 통한 페인팅 시스템은 입력된 위치의 원본색상을 그대로 브러시 스트로크의 색상으로 사용한다. 이 연구에서는 점묘표현을 위해 단순히 스트로크의 형태만 원형을 갖도록 처리했다. Litwinowicz[5]는 방향과 질감을 이용해 브러시 스트로크를 생성했다. 스트로크를 입력 영상의 기울기에 수직한 방향으로 생성하고, 기울기의 크기가 임계치보다 작은 경우 주변 영역의 기울기를 보간하여 사용했다. 이후 Hertzmann[6]은 스플라인 곡선을 이용해 브러시 스트로크를 생성하고, 입력영상을 여러 레이어로 나누고 각 레이어는 크기가 다른 브러시 스트로크를 생성해 렌더링한 후 각 레이어를 겹쳐 표현함으로써 최종결과 영상을 생성하는 멀티 레이어 시스템을 제안했다. 이 알고리즘에서는 브러시 크기를 줄이고, 길이가 0인 스트로크를 사용하여 점묘 스트로크를 생성했으며 브러시 색상의 색조(Hue)와 명암(Intensity)에 임의의 랜덤 값을 추가함으로서 점묘화를 표현하였다. 이후 Hays[7]는 회화적 렌더링을 애니메이션에 적용하는 기법을 제안했다. 이 기법은 스트로크의 방향을 설정하기 위해 입력영상의 그래디언트 정보를 보간하기 위해 Radial Basis Functions(RBFs)을 이용한다. Hays 알고리즘 역시 스트로크 텍스쳐의 모양을 원형으로 하고 스트로크의 색상을 임의의 값으로 사용함으로써 점묘화를 표현하였다.

앞서 언급한 여러 개의 스트로크기반의 회화적 렌더링 알고리즘에서 점묘화를 표현방법은 단순히 스트로크의 모양을 점으로 했을 뿐 실제 신인상파화가가 고려했던 색의 분할에 대한 것은 전혀 고려하지 않고 입력영상의 색상을 그대로 활용하거나 약간의 랜덤을 추가하여 사용하였다. 이에 우리는 점묘화의

색상에 대한 분석을 통해 점묘화의 색상분해 원칙을 알아보고 실제 알고리즘에 적용시키고자 한다. 그림 1은 이전 연구자에 의한 점묘화 영상을 보여주고 있으며 모두 입력영상의 색상이나 약간의 랜덤을 추가하여 브러시의 색상을 결정하였다.

3. 신인상주의 : 점묘화의 특징

19세기 초 프랑스 화가 쇠라는 동시대의 칼라이론[8-10]에 대한 연구를 통해 새로운 화법을 창안하였다[11]. 이를 점묘주의 또는 분할주의라고 부른다. 점묘화는 신인상주의(Neo-Impressionism)가 사용하는 독창적인 기술이다.

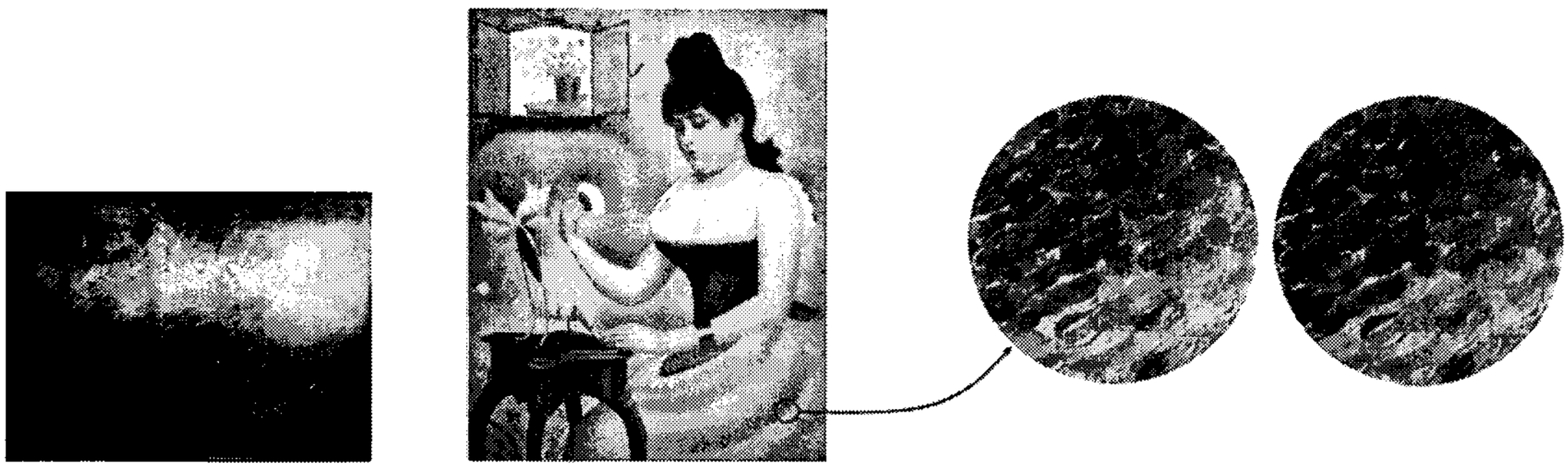
신인상파의 가장 독특한 특징은 캔버스를 작은 브러시 스트로크로 가득 채워서 그림을 그렸다는 것이다. 다시 말해 눈에 보이는 색조를 대상의 색과 대상에 닿는 빛의 색, 근접한 대상들에 의해 반사되는 색으로 각각 분해한 후 그 색들을 조그만 색점으로 바꾸었다는 것이다. 이러한 특이한 기법은 분할된 부분들이 색채구성을 한다는 의미에서 분할주의 또는 점묘주의라고 불리게 된다. 이렇게 그려진 그림을 멀리 떨어져서 보면 각각의 작은 스트로크는 보이지 않고, 눈의 착시현상에 의해 혼합된 색상으로 보이게 된다. 이것을 병치혼합이라 하는데, 물감을 직접 혼합하여 그리는 것보다 색상을 순수하고 강렬하게 보이게 한다.

이러한 표현을 위해 그들은 자연의 색을 태양 스펙트럼에 가장 가까운 순색만을 팔레트위의 안료로 사용하였으며 순색안료의 명암표현을 위해 흰색의 안료만을 섞어 색을 사용하였다[12]. 또한 병치혼합의 효과적인 표현을 위해 스트로크의 크기를 아주 작게 하여 표현하였다.

점묘화는 일반적으로 단순히 브러시 스트로크의 형태를 작은 점으로 그리는 화법으로 알려져 있지만 실제적인 점묘화의 궁극적인 목표는 순색끼리 이루어진 점을 병치혼합 함으로써 보는 이로 하여금 새로운 색으로 인식되게 하는 것이다. 다시 말해 점 형태의 스트로크 이상의 의미를 내포하고 있는 것이다. 그림 2는 쇠라의 작품과 팔레트에서 나타나는 특징을 보여

(a) Haeberli[3] (b) Hertzmann[5] (c) Hays[6]

그림 1. 이전 연구자들의 점묘화 결과영상



(a) 쇠라의 팔레트[14] (b) 쇠라의 작품의 특징을 나타내는 확장영역

그림 2 쇠라의 팔레트와 의 그림에 나타나는 점묘의 병치혼합 ("Young Woman Powdering Herself" 1889-90)

주고 있으며 다음은 그 특징들을 정리한 것이다.

특징1. 작은 브러시 스트로크 : 망막위의 시각혼합을 위해 작은 브러시 스트로크를 사용하였다.

특징2. 병치 혼합에 의한 색 분할: 하나의 색을 표현하기 위해서 피사체의 원 색상과 빛의 색, 그리고 주변으로부터 오는 주변 색으로 분류하여 색상을 분해하였다[11].

특징3. 인접한 점의 명도유지 : 이 특징은 대부분의 인상파 작품에서 나타나는 현상이다. 인접한 점들이 분할되어 색상(Hue)이 틀리다 할지라도 그 명도(Lightness)는 거의 비슷하다[12].

특징4. 팔레트에서의 안료혼합 : 그림 2-(a)와 같이 스펙트럼상의 순색에 해당하는 안료를 기본색으로 하였으며 서로의 안료를 섞지 않고 각 안료에 흰색만을 섞어 명도(밝기)조절을 하였다[13].

4. 알고리즘

본 논문에서는 스트로크 기반의 점묘화 렌더링 알고리즘을 제안한다. 스트로크 기반의 렌더링은 스트로크의 위치, 색상, 방향, 모양, 질감 표현이 그 요소기술이 된다. 이러한 각 요소를 점묘화 시뮬레이션을 위해 다음과 같이 처리하였으며 점묘화의 색상결정에 중점을 두고 연구하였다.

스트로크의 위치: 점묘 스트로크의 고른 분포를 위해 재귀적인 왕타일링(Recursive Wang Tiling)기법[14]을 이용하여 입력영상을 점으로 채워나간다. 이는 점의 밀도를 재귀 횟수(Recursive Depth)를 통해 쉽게 제어 할 수 있는 장점이 있다. 또한 재귀횟수별로 생성되는 점을 Tree형태의 계층구조로 변환함으로써 색상분할을 위한 자료구조 사용한다(4.3절).

스트로크의 색상: 사용자가 임의로 정의한 안료의 색상을 기본으로 하여 팔레트를 설계하고 쇠라의 색상분해 원칙에 따라 색을 분해하여 표현한다(4.1, 4.4절).

스트로크의 모양: 실제 점묘 스트로크를 그린 후 캡처한 텍스쳐를 이용하여 표현한다(4.5절).

스트로크의 질감: 점묘 텍스쳐의 엠보싱 데이터를 따로 만들어 질감표현을 한다(4.5절).

스트로크의 방향: 점묘에 있어서 방향성은 크게 영향이 없으므로 텍스쳐를 그대로 사용한다(4.5절).

이러한 스트로크의 속성결정 이전에 히스토그램 변환을 통한 입력영상의 전처리 과정이 포함된다(4.2절). 이는 입력영상을 주어진 팔레트로 표현 가능한 색상 범위로 변환이 필요하기 때문이다. 점묘화 표현을 위한 스트로크의 속성 결정 및 전처리에 대한 자세한 내용은 각 절에서 자세히 설명하도록 하겠다. 그림 3은 제안된 알고리즘의 흐름을 간단하게 보여주고 있다.

4.1. 팔레트 생성

본 절은 3절에서 설명한 특징3을 이용해 팔레트를 설계하는 과정을 설명한다. 쇠라는 캔버스에 안료를 섞지 않고 스펙트럼의 색인 순색을 사용하여 점을 찍어나가는 방법(병치혼합)을 사용하여 그림을 그려나갔다. 단 안료자체의 순색에 흰색을 섞는 것은 허락하였다. 이는 흰색 자체가 빛을 의미하며 흰색을 섞는 다는 것은 명도를 높여주는 것을 의미하기 때문이다. 우리는 이러한 사실을 기반으로 팔레트를 설계하였다.

일단 기본 순색을 무엇으로 할 것 인가를 결정하였다. 일단 쇠라의 팔레트색은 역사적 사료가 존재하지 않기 때문에 참조할 수 없었다. 하지만 같은 신인상파 화가인 시냑이 사용한 13가지의 팔레트 색 이름을 구할 수가 있었다[15]. 본 연구에서는 시냑의 기본 순색을 팔레트의 기본색이라 정의하여 실험하였다. 이는 쇠라의 팔레트라고 정의내릴 수는 없지만 의미

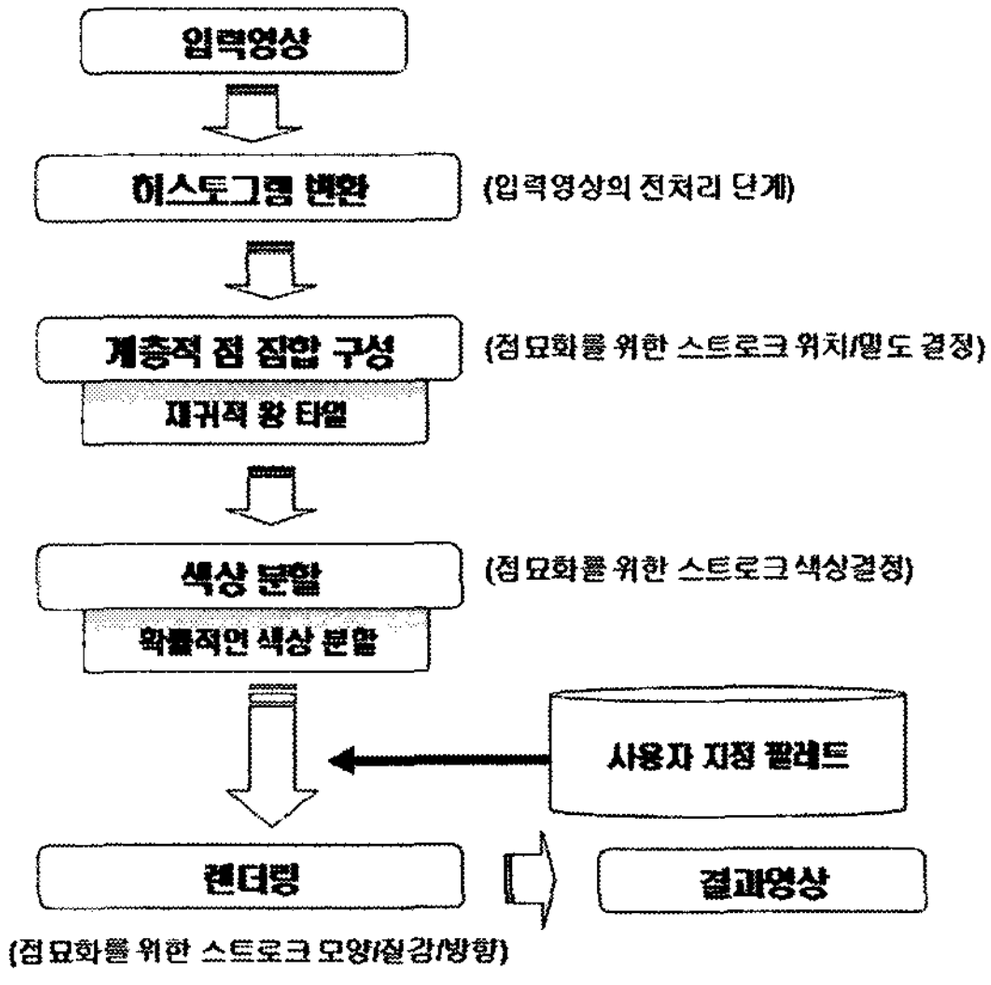


그림 3. 알고리즘 단계적 흐름도

있다고 할 수 있다. 이러한 팔레트의 안료의 색은 사용자의 입력에 따라 다양하게 조절 될 수 있다. 앞서 언급했듯이 쇠라는 순색 또는 순색과 흰색(파스텔)을 사용한다. 이와 같은 사실을 이용하면 쇠라가 사용한 색의 범위를 줄 일 수 있으며 하나의 안료가 표현되는 범위를 구할 수 있다. 이는 다음과 같이 근사화(Approximation)될 수 있다.

하나의 안료(순색)에 흰색을 혼합한다는 것은 RGB공간에서 해당 안료의 위치로 부터 흰색(1.0, 1.0, 1.0)으로 가는 선위에 존재하는 색들과 연결될 수 있다(그림 4-(c)). 이는 실제 물리적인 현상을 고려하지 않고 이상적인 경우라고 할 수 있지만 우리는 이렇게 제약을 가함으로써 색의 범위를 줄이고자 한다. 그러나 이러한 라인위의 색 또한 무한 샘플링이 가능하다. 그래서 우리는 실제 예술가들이 팔레트 사용 시 명암의 단계를 임의의 단계로 나누어서 사용한다는 이론에 입각하여 정의된 안료의 명도단계 또한 k-단계로 정의하였다. 이렇게 함으로써 한 가지 안료로 표현되는 색상의 개수를 제한될 수 있다.

다시 정리하면 각 정의된 팔레트 안료의 순색 $P_1, P_2, ..., P_n$ 은 RGB공간에서 $(r_1, g_1, b_1), (r_2, g_2, b_2), ..., (r_n, g_n, b_n)$으로 정의되고 P_i 에서 흰색으로 가는 라인(그림 4-(c))을 명도의 단계 k로 샘플링한다. 이때 RGB공간에서 같은 명도 값을 갖는 k개의 가상의 평면(그림 4-(b))을 생성하고 이 평면들과 P_i에서 흰색으로 가는 라인과의 교차점을 이용하여 k개의 표현 가능한 색상을 구하게 된다. 이와 같은 방법으로 팔레트색($P_{i,j}$, i: 안료번호,j: 명도단계)을 생성한다. 이렇게 되면 선택가능 한 유한개의 팔레트를 생성할 수 있다. 이때 주어진 안료에 검은색 안료를 섞지 않기 때문에 주어진 안료의 명암보다 어두운 팔레트는 생성되지 않으므로 팔레트의 최소($L_{\min}$)/최대($L_{\max}$) 명암범위가 계산되어 진다. 이러한 명암범위는 입력영상의 전처리 과정에 활용된다.

그림 4는 실험으로 시냑의 팔레트 안료의 색상을 이용해 명도단계(k)가 12일 경우 생성되는 최종 팔레트를 보여준다. 그림 4-(d)에서 볼 수 있듯이 검은색에 가까운 어두운 명도는 존재하지 않으며 붉은색과 파랑, 보라정도만이 어두운 명도를 대표하고 있다.

실제 쇠라의 작품의 어두운 부분에서는 붉은색과 파랑색의 보색점묘의 특징을 쉽게 볼 수 있다. 이는 색의 사용에 있어 검은색을 배제한 순색만을 사용했고 어두운 명도를 표현할 수 있는 안료 또한 제한되어 있기 때문이다. 안료의 종류와 색상, 팔레트의 명도 단계 등은 사용자의 입력에 의해 변경 가능하며 그에 따라 다양한 결과가 나올 수 있다. 또한 입력영상의 종류에 따라서 다양한 팔레트를 사용할 수도 있다. (Ex, 쇠라의 경우, 후기로 갈수록 그리는 대상이 실내 또는 실외 인지에 따라 사용되어지는 색상의 종류나 계열이 달라지는 것을 볼 수 있다). 그림 9에서 팔레트의 변화에 따른 렌더링 결과를 볼 수 있다.

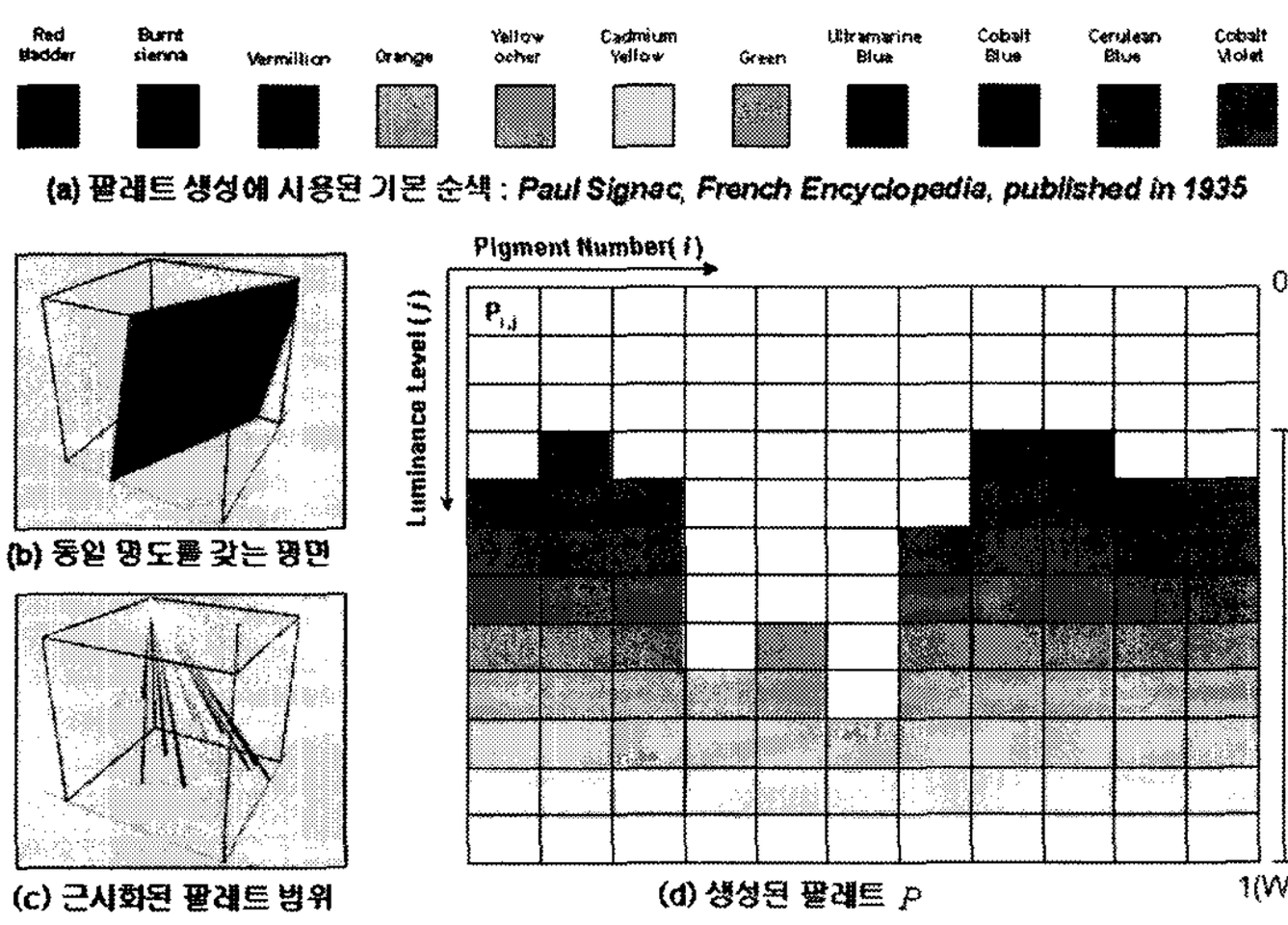
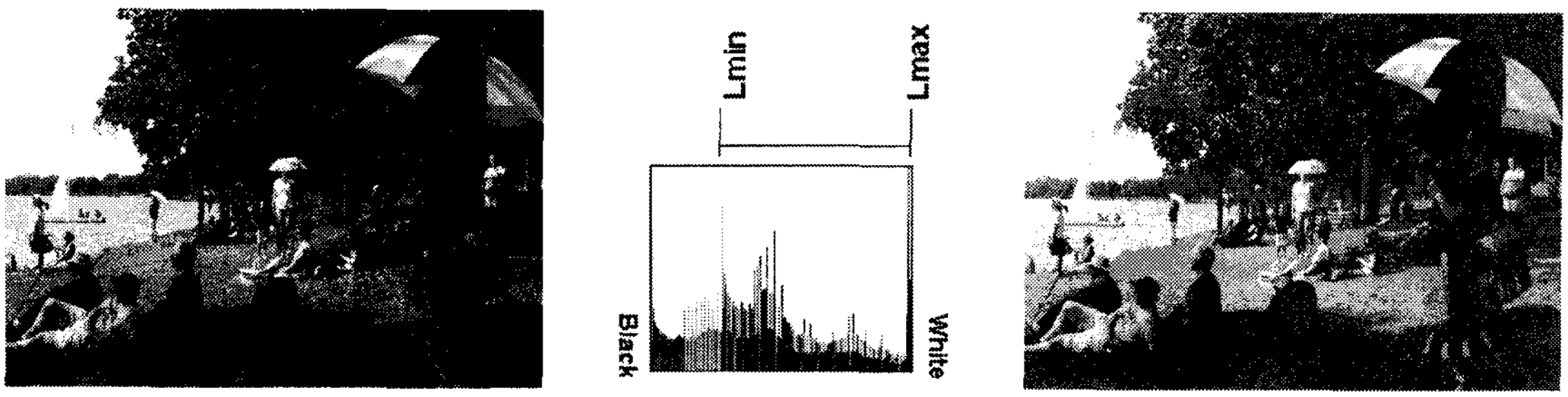


그림 4. 시냑의 팔레트에 기반하여 생성된 팔레트의 예



(a) 입력 영상 (b) 변환된 히스토그램 (c) 히스토그램 변환된 영상

그림 5. 입력영상의 히스토그램 변환을 통한 전처리 (붉은색 : 입력영상의 히스토그램, 검은색 : 변환영상의 히스토그램)

4.2. 입력영상의 전처리: 히스토그램 변환

본 논문에서는 2D 입력 영상을 팔레트를 기반으로 병치혼합을 하는 알고리즘을 소개하고 있다. 입력영상에는 다양한 명암 색상이 분포하고 있다. 하지만 그림 4-(d)에서 보듯이 설계된 팔레트가 표현가능한 명암의 표현범위($L_{\min} \sim L_{\max}$)가 정해져 있다. 따라서 입력영상을 팔레트에서 표현 가능한 명암의 범위로 변환시켜줄 필요가 있다. 이를 위해서 히스토그램 변환을 통해 입력영상의 명암범위를 표현가능범위로 압축시켜준다. 이렇게 함으로써 입력영상에서 팔레트에서 표현되어 질 수 있는 없는 어두운 명암범위는 제거된다(그림 5). 이는 정의된 팔레트의 표현가능 명도범위에 따라서 적절하게 적용되어야 한다.

4.3. 왕 타일(Wang Tile)을 이용한 계층구조의 점묘 위치 설정

본 절은 3절에서 설명한 특징1의 무수히 많은 작은 점들을 표현하는 방법을 설명한다. 자연물은 비주기적이고 혼돈적인 객체들로 구성되어 있다. 이러한 비주기적이며 혼돈적인 객체(Chaos Object)를 표현하기 위해 사용되는 대표적인 방법이 왕타일(Wang Tile)이다. 왕 타일은 텍스쳐 합성[16]이나 무한공간에 객체를 배치[17]하는데 사용되어진다. 이는 점묘화에서의 점의 분포하는 방식과 유사하다.

본 논문에서는 색점의 임의적인 분포를 위해 Kopf [14]의 재귀적 왕타일(Recursive Wang Tile)을 단순화 하여 사용한다. 먼저 각 기본 왕 타일($K_h^2 \times K_v^2$ 개)을 정의하고 다트 쓰로잉 알고리즘[18]을 이용하여 점을 원하는 개수만큼 분포시킨다(그림 7-(a)). 각 기본 왕 타일은 자식타일들로 재분할 될 수 있도록 규칙을 정의하며 각 왕 타일은 재귀적으로 분할된다(그림 7-(c). 분할되는 깊이(Depth)에 따라서 점의 밀도가 조절되며 분할되는 깊이(Subdivision Depth)가 깊어질수록 점의 분포는 조밀해 진다. 각 분할 후에는 깊이별로 점들이 생성되게 되며 입력영상은 이러한 왕타일 내부에 포함된 점들로 샘플링 된다(그림 7-(d)). 자세한 과정은 Kopf의 논문을 참고하기 바란다.

초기 왕타일에 포함된 점(Depth= 0)을 기준으로 하위레벨의 점들은 계층적인 구조를 갖게 된다(그림 7-(b)). 이때 각 자식 점의 부모 점의 소속관계는 공간거리와 RGB 색상거리의 합에 의해 결정한다. 수식 (1)은 자식과 부모의 포함관계의 기준이 되는 값을 계산한다.

$$dist = w_c \cdot dist_c + w_s \cdot dist_s \quad (1)$$

$dist_c$는 색상거리를 $dist_s$는 공간거리를 의미한다. w_c와 w_s는 각각 색상거리와 공간거리에 대한 가중치 값이며 합은 1이다. 여기서 색상거리를 고려하는 이유는 계층구조를 구축함에 있어서 입력영상의 경계를 손상시키지 않고 계층구조가 만들어지도록 하기 위해서 이다. 본 논문에서는 실험을 위해 가중치 값을 각각 0.5를 사용하였다. 그림 6은 색상거리를 고려해야 하는 이유를 보여주고 있다. 부모 점 P_1, P_2가 있다고 했을 경우, 자식점 C_1은 공간거리만 고려했을 경우는 P_2의 자식노드가 되어야 한다. 하지만 C_1은 P_1의 자식이 되어야 한다. 색상을 고려해야 하기 때문이다.

계층구조의 점집합을 구성하는 각 점은 입력영상에서의 위치, 색상정보와 자식노드로의 포인터를 포함하고 이렇게 결정된 계층적인 구조는 다음 절에서

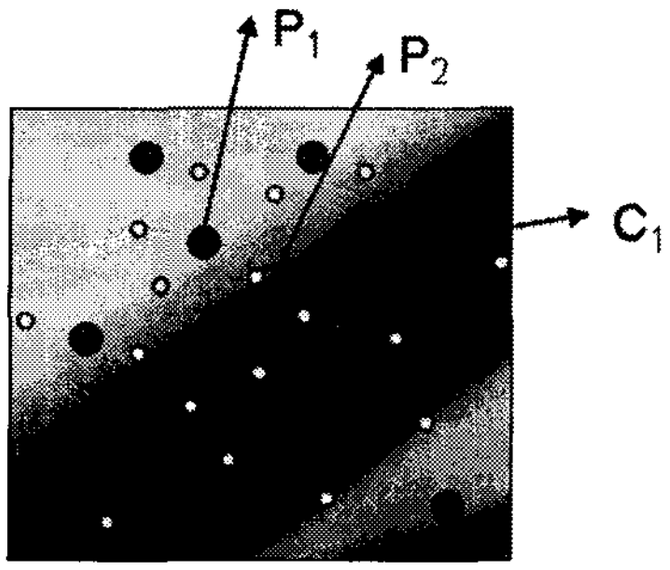


그림 6. 계층 포함관계

설명하는 색상의 분해과정에 의해 자식 점들로 색상 분해가 이루어진다. 그림 7은 8개의 기본 왕 타일과 계층적으로 구성된 점의 구조를 보여주고 있다.

4.4. 색상 분해

점묘화의 핵심은 색의 분할이다. 3절에서 설명한 점묘화의 특징2, 3번을 해결하기 위한 해결책을 이번 절에서 설명한다. 먼저 특징2에서 설명했듯이 쇠라는 색상을 객체의 원래 색과 빛에 의한 반사색, 그리고 주변으로부터 오는 주변 색으로 분류하여 색을 분해하였다[19]. 먼저 객체의 원색이란 원색과 가장 가까운 팔레트 색이며 빛의 색이란 빛이 흡수되고 나머지 반대의 색들이 반사되는 것으로 보색을 의미한다. 보색이란 휴 휠(Hue Wheel)에서 반대쪽(180도)에 위치한 색으로 RGB 공간에서 가장 멀리 떨어져 있는 색과 비슷한 의미로 통한다. 다시 말해 보색은 두색상의 색상 거리가 최대가 되는 것을 의미한다. 마지막으로 주변색이란 주변으로부터 반사되는 임의의 색이라고 할 수 있다.

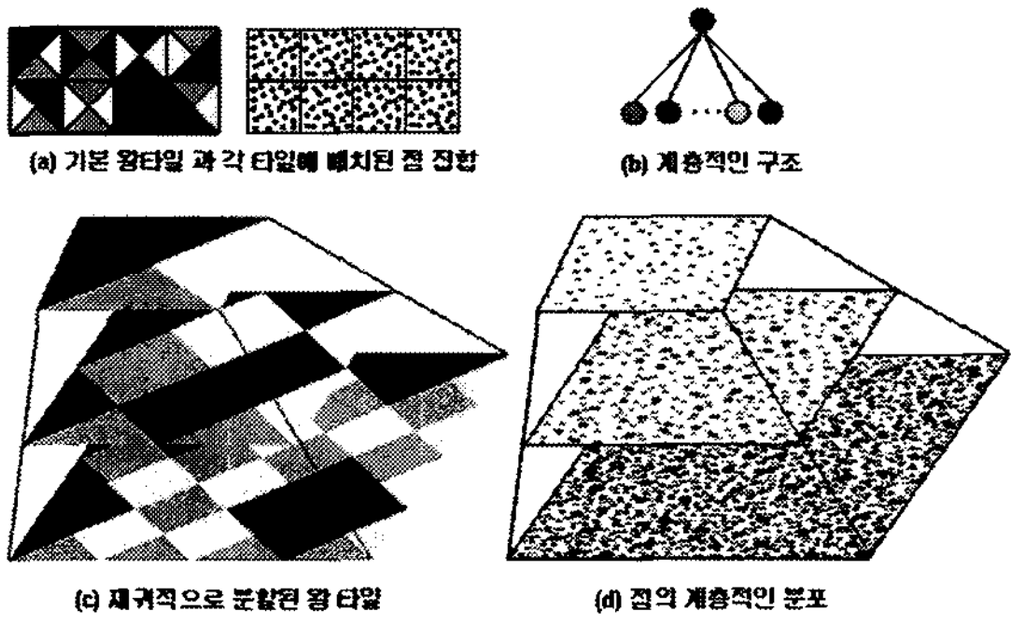


그림 7. Wang Tiling 과정과 그에 해당하는 점의 계층적인 구조

본 논문에서는 4.3절에서 구성된 계층적인 점을 부모에서 자식으로 색을 분해하는 방법을 사용한다. 이때 자식 점의 색, 그리고 그에 반사되는 빛의 색(보색), 그리고 주변 색을 고려한다. 또한 특징3을 지키기 위해 원본 영상의 명도 또한 유지해야 한다.

이를 위해 색상분할 알고리즘을 제안한다. 명도 유지를 위해서 부모 색(P_c)과 자식 색상들($C_0, C_1, ..., C_n$)이 있다면 먼저 P_c와 명도레벨($L=LumLvele(P_c)$)과 같은 팔레트의 행을 선택하게 된다. 선택된 같은 명도레벨의 팔레트 색(L-행)들은 자식 노드가 분할될 수 있는 후보들$\{P_{0,L}, P_{1,L}, ..., P_{n,L}\}$이 된다. 자식 점의 색($C_i$)은 후보들 중에 있는 원색($C_o$), 보색($C_c$), 주변색($C_e$)으로 변화하게 된다.

$P_{i,L} \in (C_o, C_c, C_e)$

C_o : 후보들 중 C_i 과 가장 가까운 팔레트 색

C_c : 후보들 중 C_i 과 가장 먼 팔레트 색

C_e : 모든 후보 팔레트색

이때 확률적이 방법을 사용한다. 여기서 확률이란 C_i가 C_o, C_c, C_e로 변화될 확률이며 각 확률은 $P(o)$, $P(c)$, $P(e)$로 정의되며 $P(o)+P(c)+P(e)=1$을 만족한다. 확률적으로 자식 점을 변화시키기 때문에 다양한 결과가 나올 수 있다. 일반적으로 $P(o)$가 커지게 되면 결과는 입력영상에 가까워지고 $P(e)$가 커지게 되면 기대하지 않은 결과가 나올 수 있다. $P(c)$는 보색병치를 위해 필요한 부분이며 적당하게 조절할 필요가 있다. 이러한 확률적인 방법 때문에 같은 자식 점에 대해서도 다양한 분할 결과가 얻어질 수 있다. 어색한 결과를 줄이기 위해서 하나의 부모와 자식들에 대해서 m개의 결과 집합($R^0, R^1, ..., R^m$)을 만들어 하나의 결과($R^j = R_0^j, R_1^j, ..., R_n^j$)선택하게 된다. 이때 선택기준은 자식노드의 색상의 평균과 분할된 색상들의 평균값의 차이가 최소가 되는 것이다. 그림 8은 하나의 부모와 자식 점들에 대한 색상 분할 과정을 보여주고 있다. 여기서 팔레트의 색상 수, 명도레벨 등의 설정에 따라서 다양한 점묘화 결과들을 만들어 낼 수 있게 된다.

4.5. 브러시 스트로크 생성

점묘주의의 표현 도구는 점이다. 점은 매우 짧은

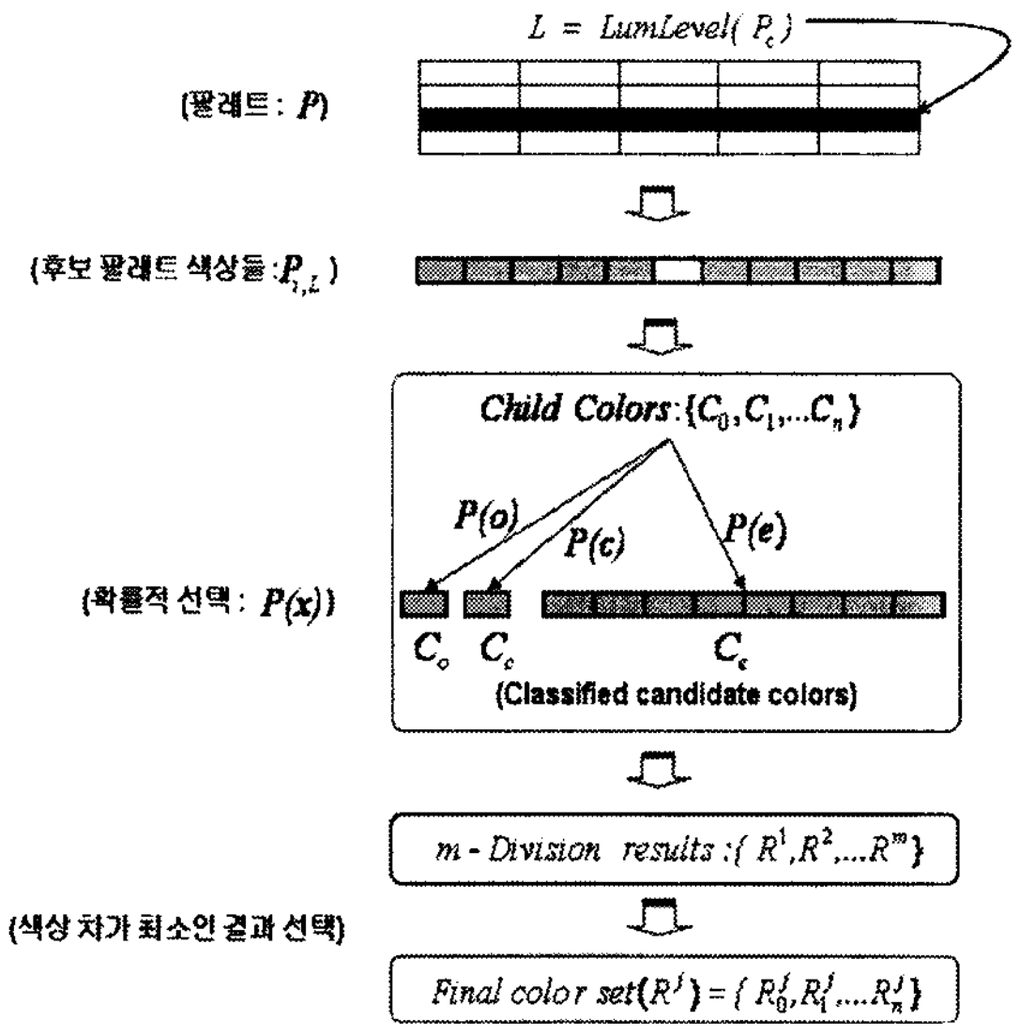


그림 8. 팔레트의 색상으로 분할되는 과정

스트로크로 만들어진다. 본 논문에서는 점묘 스트로크의 표현을 위해 텍스쳐 브러시(Texture Brush)를 사용한다. 점묘 텍스쳐는 실제 유화 붓을 이용해 아크릴 판에 점을 찍은 후 캡처하여 사용하였다. 이때 브러시의 깊이효과 표현을 위해 엠보싱 식을 이용한다. 빛의 방향에 따라 양각과 음각을 표현할 수 있다. 또한 엠보싱 정도에 따라 다양한 깊이 효과를 표현할 수 있다. 이렇게 만들어진 엠보싱 스트로크는 점묘의 색상이 할당되고 렌더링 과정에서 캔버스위에 그려지게 된다. 그림 9는 실제 캡쳐한 점묘 텍스쳐(그림 9-(a))와 빛의 방향에 따른 음/양각 표현(그림 9-(b)), 그리고 실제 색이 할당되어 표현되는 점묘 브러시(그림 9-(c))를 보여주고 있다. 그림 9-(d)는 실제 텍스쳐를 캔버스에 그려진 예를 보여주고 있다.

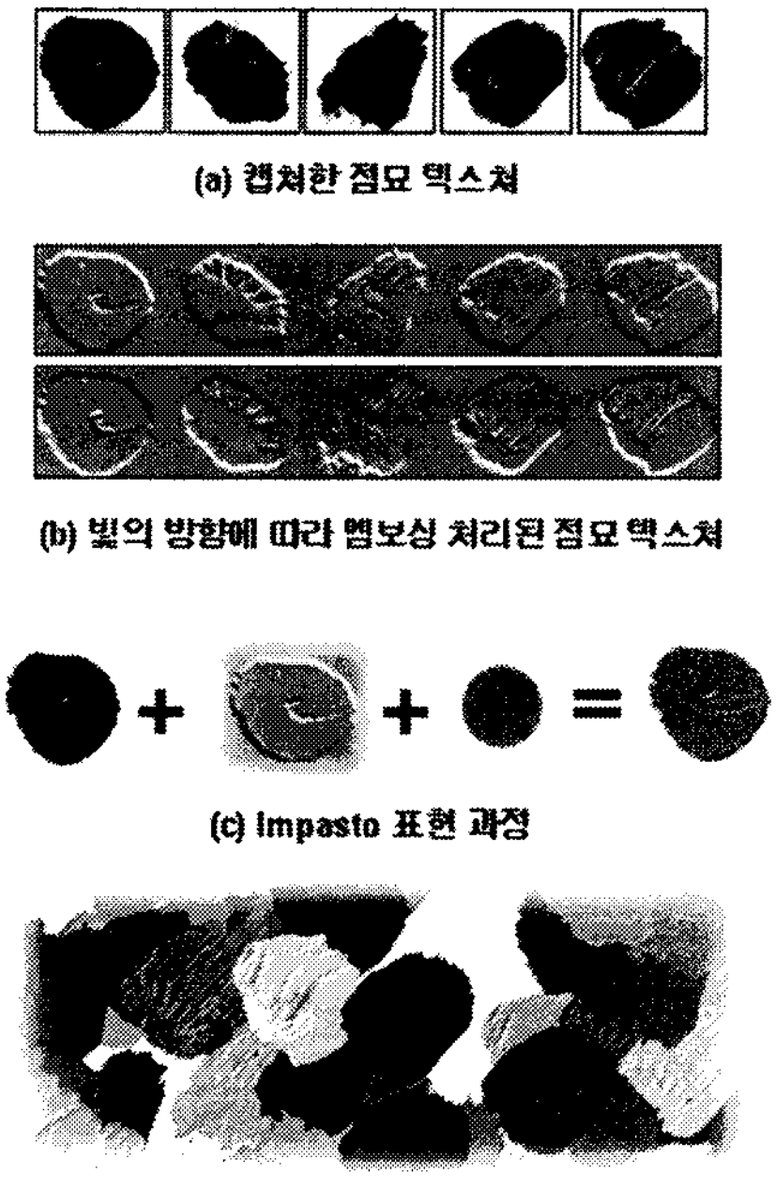


그림 9. 점묘 브러시 생성과정

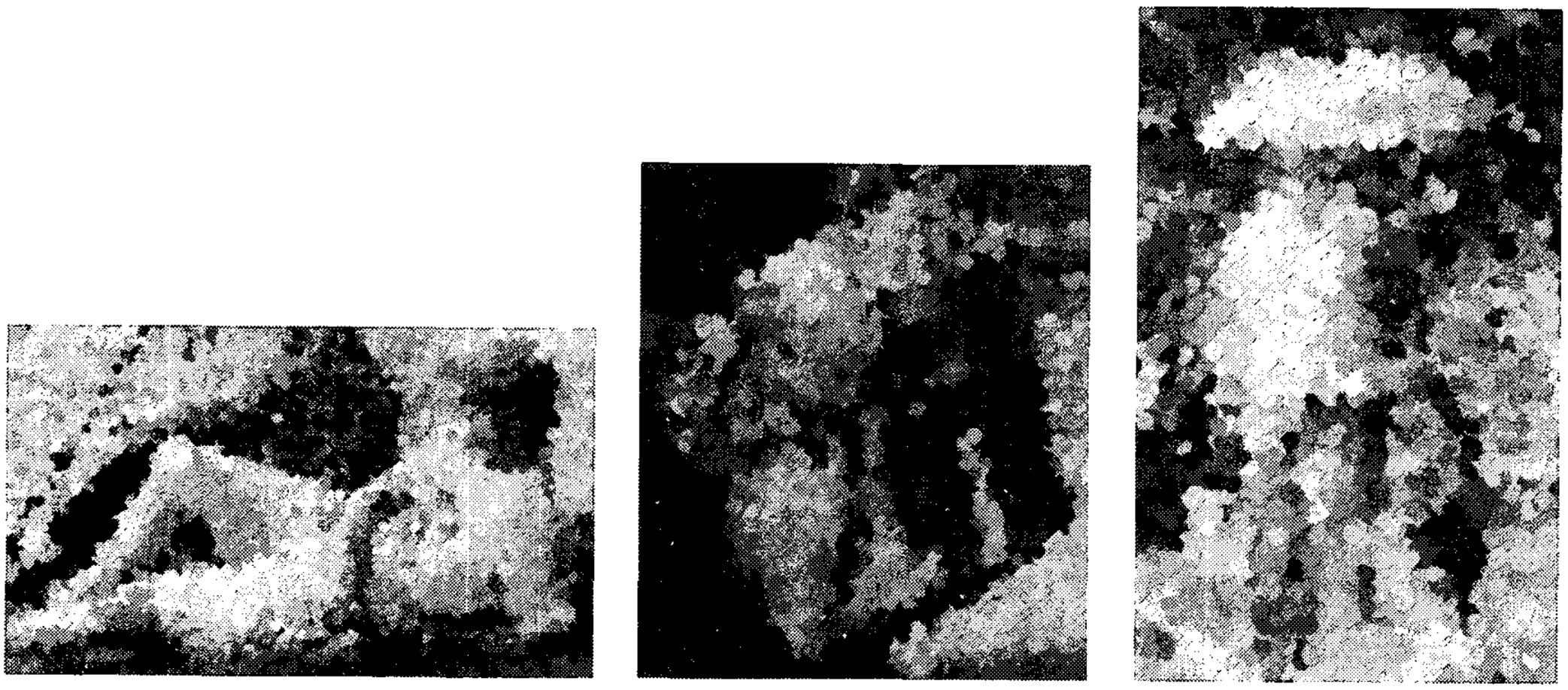
본 논문에서는 스트로크의 그리는 순서 또한 고려한다. 전통적으로 보색은 쉐이드 정보(빛의 정보)를 보정하기위해 사용되어 진다. 그래서 보색의 속성을 갖는 스트로크는 제일 나중에 그려지는 것이 일반적이다. 또한 화가들은 그림의 전체적인 표현에 있어서 밝은 부분에서 어두운 부분의 순서로 그린다. 쇠라또한 그 범주를 벗어나지 않는다. 스트로크 순서의 중요성을 고려하기위해 우리는 점을 명암단계와 보색의 속성에 따라 정렬하고 밝은 영역에서 어두운 톤으로, 색의 종류는 원색, 주변색, 빛의 색(보색)의 순서로 그려나간다.

5. 결과 분석

본 연구에서 제안하는 알고리즘은 입력으로 팔레트 안료의 색, 점의 밀도(재귀 깊이), 색상분할 확률 값 등의 파라미터가 입력으로 주어진다. 이러한 파라미터 변경을 통해 다양한 결과를 얻을 수 있다. 그림 10, 11, 12는 입력영상과 결과영상을 보여주고 있다. 그림 10-(a)은 4.2절에서 실험한 시냑의 안료에 기반하여 생성된 팔레트를 사용한 결과영상이다. 그림 10-(b)(c)(d)는 그림 10-(a)의 일부분을 확대한 영상이다. 확대된 영역을 보면 점묘의 질감효과를 볼 수 있으며 우리가 제안한 점묘 스트로크 표현기법이 물리적인 시뮬레이션 없이 질감 표현을 효율적으로 할 수 있음을 볼 수 있다. 그림 11은 자식 점의 색 분할시 확률의 조정에 따른 결과 영상을 보여주고 있다. $P(o)$가 커지게 되면 결과는 입력영상에 가까워지고 $P(e)$가 커지게 되면 임의의 주변 반사색이 많아져 예측하기 힘든 결과를 얻을 수 있음 볼 수 있다. 실제 쇠라의 작품의 특징에 따라 다를 수 있으나 일반적으로 $P(o)=0.8, P(c)=0.1, P(e)=0.1$ 값을 사용하는 것이 가장 가까운 결과를 얻었다. 그림 12는 팔레트의 변화에 따른 결과 영상이다. 팔레트 역시 입력영상의

(a) 입력 영상

(b) 결과영상



(c) 부분 확대영상 1

(d) 부분 확대영상 2

(e) 부분 확대영상 3

그림 10. 점묘화 렌더링 결과 (입력 해상도: 300*200, 결과 해상도: 7500*5000, 브러시 크기 : 30, 타일당 점개수 : 512, 재귀깊이 : 4, $P(o) = 0.8, P(c) = 0.1, P(e) = 0.1$)

복잡도나 대상에 따라 조절이 가능하다.

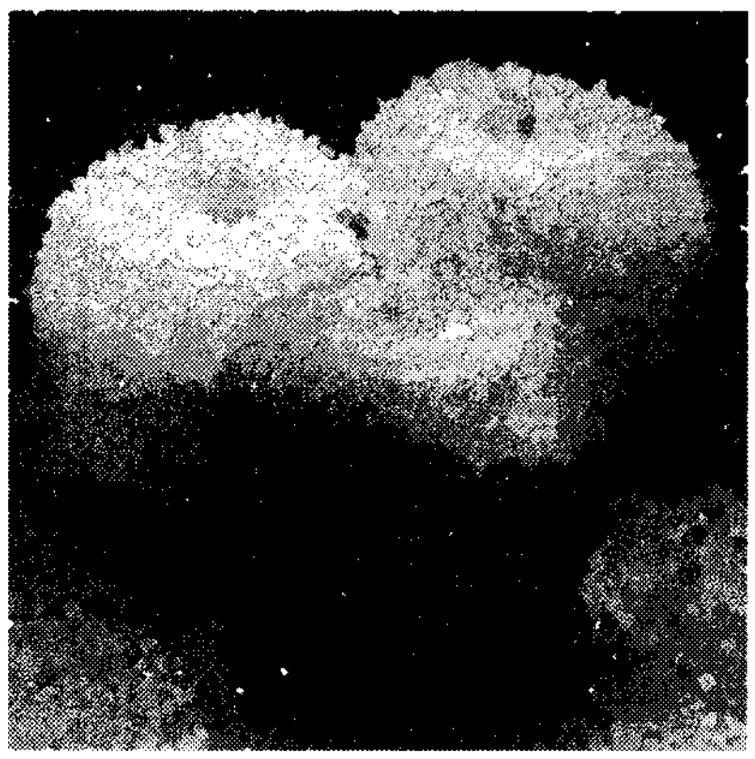
6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 신 인상파화가인 쇠라의 작품의 분석을 통해 나온 특징들을 시뮬레이션 하기 위한 알고리즘을 제안하며 이전 연구들에서는 고려된 적이 없는 신인상파의 색상분해 방법에 그 초점을 맞추고 있다. 본 연구는 지금까지 시도된 적 없는 새로운 시도라고 말할 수 있다.

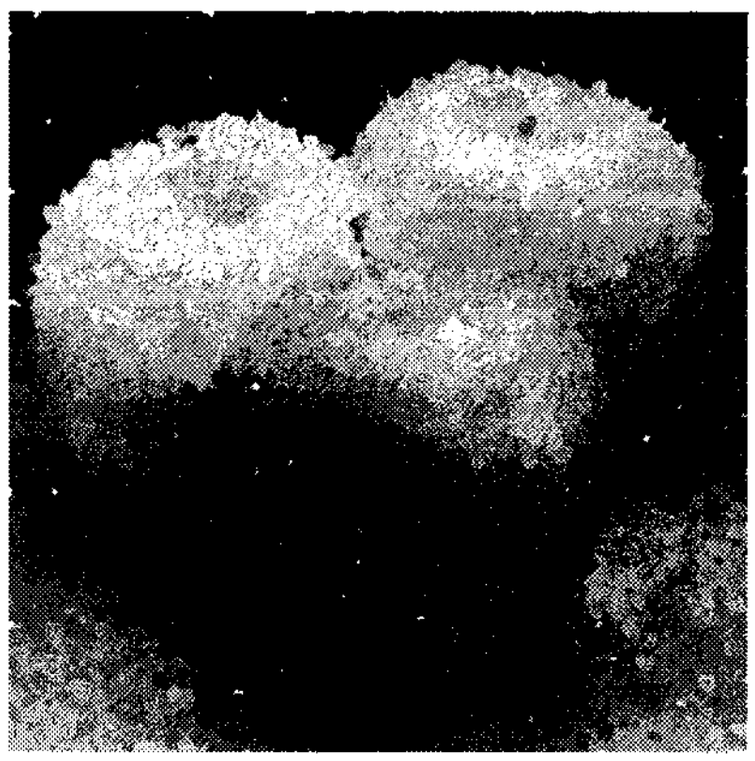
우리는 분석된 특징과 색상분해 알고리즘이 적용 가능 하도록 알고리즘을 설계 하였다. 먼저 실험방법으로 그 시대의 팔레트를 구성하는 안료를 기반으로 제한된 색상을 정의하고 색상분할이 이루어지는 규칙이 적용되기 쉽도록 왕타일을 이용한 계층적인 점 구조를 설계하였다. 계층적인 점 구조는 쇠라의 작품에서 나타나는 수많은 점들의 밀도를 쉽게 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 구조를 바탕으로 점묘화의 핵심이 되는 원색, 빛의 색, 주변색의 병치혼합의 표현을 위한 색상의 분할 및 결정 알고리즘을 제안하였다. 마지막으로 점묘 브러시 스트로크를 표현하기위한 알고리즘을 소개하였다.

(a) 입력영상

(b) 결과1 ($P(o)=0.8, P(c)=0.1, P(e)=0.1$, 재귀깊이 : 4)

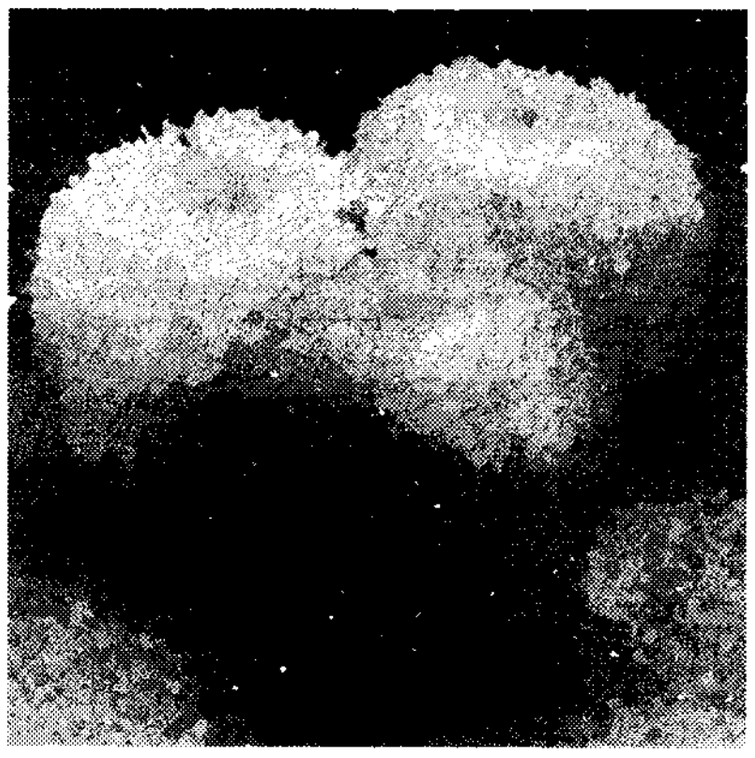


(b)결과2 ($P(o)=1.0, P(c)=0.0, P(e)=0.0$, 재귀깊이 : 2)



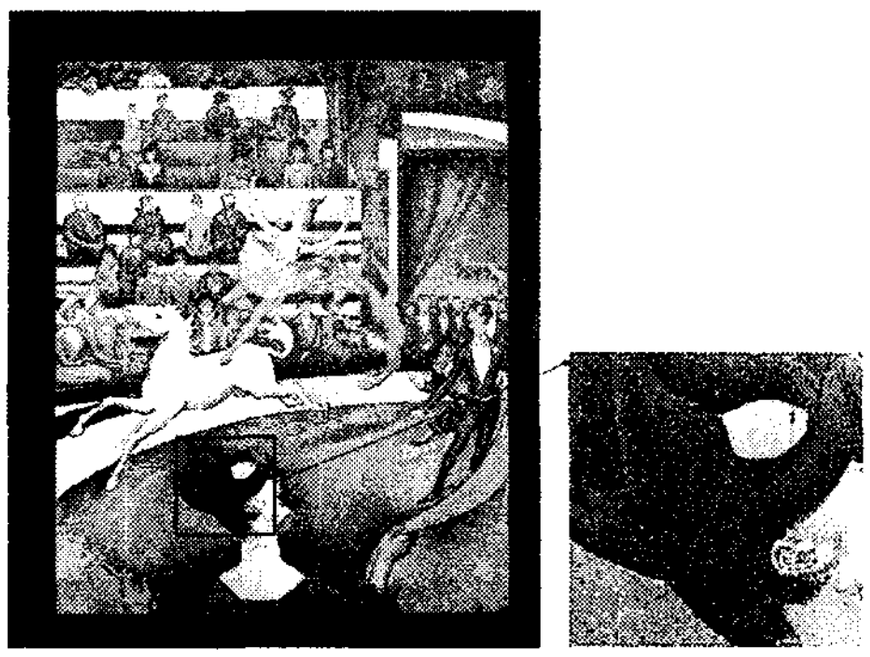
(b)결과3 ($P(o)=0.8, P(c)=0.1, P(e)=0.1$)

(b) 결과4 ($P(o)=0.6, P(c)=0.3, P(e)=0.1$,



(b)결과5 ($P(o)=0.4, P(c)=0.2, P(c)=0.4$)

그림 11. 확률에 따른 점묘화 결과 (브러시 크기 : 30, 입력 해상도 : 300*300, 결과1 해상도: 6000*6000, 결과2-5 해상도 : 1200*1200)



(a) 쇠라의 작품으로부터 입력영상 (The Circus, 1890-1891)

(b) 결과 1 (11개의 안료를 사용한 팔레트)

(c) 결과 2 (3개의 안료를 사용한 팔레트)

(b) 결과 3 (8개의 안료를 사용한 팔레트)

그림 12. 팔레트의 변화에 따른 렌더링 결과

실제 작가의 모사에 대한 결과는 평가하기 모호한 부분이 많이 있다 하지만 그를 위한 시도는 계속되어야 하며 본 논문이 그 시작이 될 것이다. 향후 쇠라의 작품에서 나타나는 점묘색상의 특징분석을 통해 정확한 데이터(ex, 명암단계, 명암단계에 따른 병치호합의 비율 등)를 얻게 된다면 본 연구의 확률적 색상분할 알고리즘이 사용자 입력이 아니라 자동적인 확률 제어가 가능한 색상분할 알고리즘으로 탄생할 것으로 생각된다.

또한 알고리즘의 적용분야 확장을 위해 다양한 화가들의 작품에 나타나는 색의 동시대비(보색대비, 명도대비, 채도대비, 한난대비 등)에 대한 연구가 필요하며 이를 토대로 점묘화 이외의 다른 화풍의 스트로크 생성기술(특히 색상)에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2007 학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

[1] Tomas Strouthotte, Stefan Schlechtweg, "Non-Photorealistic Computer Graphics - Modeling, Rendering, and Animation," Morgan Kaufmann Publishers, 2002

[2] William Baxter, Jeremy Wendt, Ming C. Lin, "IMPaSTo: a realistic, interactive model for paint," In proceeding of NPAR2004, pp. 145-148, 2004.

[3] Barbara J. Meier, "Painterly rendering for animation," In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp. 477-484, 1986.

[4] P. Haeberli. "Paint by numbers: Abstract image representations," In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp. 207-214, 1990.

[5] P. Litwinowicz. "Processing images and video for an impressionist effect." In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp. 407-414, 1997.

[6] A. Hertzmann. "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes." In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp. 453-460, 1998

[7] J. Hays and I. Essa. "Image and video based painterly animation." In Proceedings of NPAR 2004, pp. 113-120, 2004.

[8] M. E. Chevreul. The Principles of Harmony and Contrast of Colors, SCHIFFER, 1987.

[9] C. Blank, Grammar of Painting and Engraving, Cambridge : Ther Ribderside Press, 1874.

[10] Rood, Modern Chromatics, Van Nostrand Reinhold Company, 1973.

[11] Robert L. and Herbert, Seurat Drawing and Painting, Yale University Press, 2001.

[12] Luong, Seth, Kleing and Lawrence, "Isoluminant Color Picking for Non-Photorealistic Rendering," In Proceeding of Graphics Interface 2005, pp. 233-240, 2005.

[13] John Gage, Color and Culture, Thames & Hudon, 2001.

[14] M,F Cohen, J. Shade, S. Hiller and O, Deussen, "Wang tiles for image and texrture getneration," In Proceeding of ACM SIGGRAPH, pp. 287-294, 2003

[15] http://painting.about.com/library/blimpressionistpalette.htm

[16] J. Kopf, D. Cohen-Or, O. Deussen and D. Lischinski, "Recursive Wang Tiles for Real-Time Blue Noise," In Proceedings of ACM SIGGRAPH, pp. 509-518, 2006.

[17] S. Hiller, H. Hellwig, and O. Deussen. "Beyond stippling methods for distributing objects on the plane." In Proceeding of EG2003, pp. 515-522, 2003.

[18] R. Cook, "Stochastic sampling in computer graphics," In Proceeding of ACM SIGGRAPH, pp. 51-72, 1986.

[19] 이명옥, 김제완, 김학현, 이상훈, 이식, 명화속 흥미로운 과학 이야기" SIGONGART, 2007.

서 상 현

1998년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 졸업
2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사졸업
2003년~2005년 (주)지노시스템 기술연구소 선임연구원
2001년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 재학중
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, Proceduralism, GIS

윤 경 현

1980년 중앙대학교 공과대학 전자계산학과 졸업
1983년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 석사
1983년~1985년 한국전기연구소 연구원
1988년 University of Connecticut 전자계산학과 석사
1991년 University of Connecticut 전자계산학과 박사
1991년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 렌더링, Proceduralism, GIS,영상기반모델링과 렌더링, 비사실적 렌더링