

자동화된 색종이 모자이크 렌더링

(Computer Generated Color Paper Mosaic Rendering)

서상현[†] 박영섭^{**} 윤경현^{***}
(Sang Hyun Seo) (Young Sup Park) (Kyung Hyun Yoon)

요약 비사실적 렌더링 기법(NPR, Non-Photorealistic Rendering)에 대한 관심이 증가하면서 여러 컴퓨터 그래픽스 연구자들에 의해서 펜화, 수채화, 인상파 기법 등 예술적 기법들을 표현하기 위한 연구가 진행되어 오고 있다. 비사실적 렌더링 기법에서 가장 초점을 두고 있는 것은 사람이 직접 그리거나 조작한 듯한 표현을 만들어 낼 수 있느냐 하는 것이다. 본 논문은 교육이나 예술적인 표현을 위해 사용되고 있는 종이를 찢어 붙여 표현하는 모자이크 작품을 자동으로 생성해주는 기법을 제시하였다. 이를 위해 종이를 칼이나 가위 같은 도구에 의해 잘려진 것이 아닌 자연스럽게 찢어진 종이표현 기술, 종이의 질감 표현기술, 붙여지는 종이의 형태를 결정하기 위한 다각형 생성기법 등을 제시한다.

키워드 : 컴퓨터그래픽스, 비사실적 렌더링, 랜덤 프랙탈, 보로노이 다이어그램, 노이즈, 필터

Abstract Recently, as it is growing concern about NPR(Non-Photorealistic Rendering), several computer graphics researchers are studying to simulate conventional artistic expressions such as pen-and-ink illustrations, watercolor and impressionism technique. In the NPR it is important thing that someone can produce a representation looked like work drawn or manipulated people directly. In this paper we propose that the technique could make the mosaic work automatically, tore and tagged a paper by hands, used to educational and artistical representation. we suggest various methods to express a shape and texture of paper tore by hands without using cutters or scissors.

Key words : Computer Graphics, Non-Photorealistic Rendering, Random Fractal, Voronoi Diagram, Noise, Filter

1. 서론

기존의 컴퓨터 그래픽스 기법에서는 광선추적법이나 래디오시티와 같이 3차원 데이터와 빛의 관계를 고려하여 렌더링함으로써 사진과 같은(photo-realistic)영상을 제작하는데 중점을 두고 있다. 이러한 전통적인 렌더링 방법에 의해 얻어진 이미지들은 개성이 없고 초현실적(super-realistic)인 느낌을 주는 경우가 많다. 이와 반대로 비사실적 렌더링(NPR, Non-Photorealistic Rendering) 기술은 사진과 같이 사실적

인 영상을 얻어내는 것이 아니라 수채화, 펜화, 인상파 표현방법 등과 같은 전통적인 예술형태를 표현하는 렌더링 기법이다[1]. 즉 예술가가 직접 손으로 그리거나 조작한 것과 같은 이미지나 디자이너들이 제도한 것과 같이 부드럽게 표현되는 렌더링 스타일을 만들어 내는 것이 비사실적 렌더링 기법이 초점을 맞추고 있는 부분이다. 이러한 기법으로 만들어진 영상들은 사진이나 과거의 컴퓨터그래픽스 기술을 이용하여 생성된 컴퓨터그래픽스 영상보다 이미지의 예술성을 높여준다.

조각기 비사실적 렌더링의 제작자들은 펜이나 잉크, 수채물감과 같은 스타일을 흉내내는 것에 관심을 두었다. 비사실적 렌더링 기법은 크게 2D 브러쉬 페인팅과 2D/2.5D 후처리 시스템으로 나눌 수 있으며[2], 3D 모델에 대한 후처리 기법으로서의 비사실적 렌더링 기법들에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 사용자의 개입이 어느 정도로 요구되는가에 따라 자동적 기법과 비 자동적 기법으로 분류된다[1].

· 본 연구는 한국과학재단 목적 연구비(2000-1-30300-002-3)에 의해 지원되었음.

† 비 회 원 : 중앙대학교 영상공학과
ddipdduk@cglab.cse.cau.ac.kr

** 비 회 원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과
cookie@cglab.cse.cau.ac.kr

*** 중신회원 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수
khyoon@cglab.cse.cau.ac.kr

논문집수 · 2001년 5월 24일
심사완료 · 2001년 9월 24일

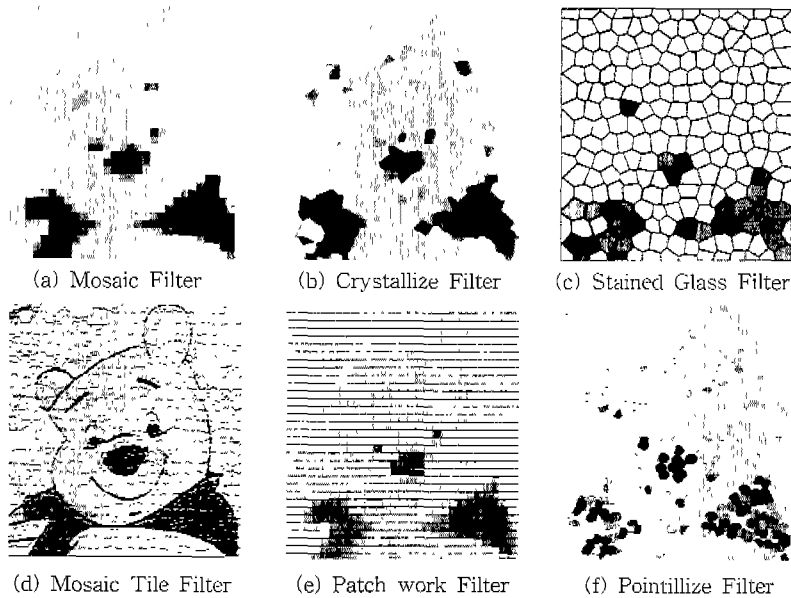


그림 1 포토샵에서 제공되고 있는 모자이크 관련 필터

본 논문에서는 색종이 모자이크 기법을 제안한다. 색종이 모자이크 기법은 색종이, 돌, 색유리 등 작은 조각들을 늘어놓아 일정한 형상이나 모양을 표현하는 기법으로, 중세 비잔틴 양식에서 교회 벽화 장식에 사용되면서 시작되었다. 제안된 색종이 모자이크 기법은 비사실적 렌더링 기법 중, 자동화된 2D 기법으로 분류될 수 있으며 입력으로 들어온 특정한 형태의 2D 이미지를 찢어진 종이의 조합으로써 표현할 수 있는 알고리즘이다.

기존의 상용 소프트웨어에서도 모자이크 기법과 유사한 기능을 제공하고 있지만 색종이 모자이크 기술은 현재까지 제안된 바가 없다. 포토샵 등의 그래픽 소프트웨어에서 제공하고 있는 모자이크와 유사한 기법은 인접된 다각형의 절단면이 칼이나 가위로 자른 듯이 단조롭기 때문에 결과영상은 상당히 기계적이며 인위적인 모습을 보여준다. 본 논문은 종이의 찢어진 효과 등 자연스럽고 인공적이지 않는 영상을 제공하기 위한 종이의 절감생성기술, 찢어진 종이표현 기술, 붙여지는 종이의 다각형 형태 생성기법 등을 제시하고 이를 모자이크 렌더링(Mosaic Rendering)으로 정의한다.

2. 기존 연구

본 논문에서 다루고 있는 색종이 모자이크 기법은 직접 손으로 찢은 종이를 붙여 하나의 새로운 작품을 표현하는 창작기법이다. 이런 색종이 모자이크 기법을 표현

하는 알고리즘은 아직 소개된 바가 없다. 하지만 기존의 상용 그래픽 소프트웨어에서 모자이크와 비슷한 기술들을 제공하고 있다. 그림 1은 상용 그래픽 소프트웨어인 포토샵에서 필터로 제공되고 있는 기법들을 이용해 제작한 영상이다. (a)는 Mosaic 필터로 일정한 크기의 사각형을 생성하고 같은 색으로 칠해진 결과 영상으로 단순한 기술임을 볼 수 있다. (b)는 Crystallize 필터를 적용한 결과영상으로 단순 다각형에 색을 칠해진 결과이다. (c)는 Stained Glass 필터를 적용한 결과영상으로 색의 사용이나 다각형 경계에 대한 처리가 단색으로 인공적인 느낌이 가장 많이 든다. (d) Mosaic Tile 필터를 적용한 영상으로 타일의 입체감을 보여주고 있다. (e)는 Patch work 필터를 적용한 결과영상으로 사각형의 타일을 붙여 놓은 듯한 모습을 보여주고 있다. 마지막으로 (f)는 Pointillize 필터로 영상을 일정한 크기의 원형 점으로 표현하는 점묘화의 표현기법을 보여주고 있다[3].

그림 1에서 볼 수 있듯이 기존 상용 소프트웨어에서 만들어낸 결과영상은 상당히 기계적이며 인위적인 효과를 보여주고 있어 비사실적 렌더링의 초점인 자연스러운 영상제작에는 한계가 있다. 또한 비사실적 렌더링 분야에서 가장 많이 소개되고 있는 페인터리 렌더링(Paintery Rendering) 기법에서 브러쉬 스트로크의 길이나 크기를 짧게 고정시켜 표현함으로써 점묘화나 모자이크와 비슷한 효과를 줄 수 있지만 이것 또한 근본적

으로 표현하고자 하는 기법이 유화나 수채화 작품이기 때문에 종이의 찢어진 표현이나 색종이 모자이크에서 나타나는 현상들을 시뮬레이션 할 수 없다[2][4]. 본 논문에서는 이러한 인위적이고 기계적인 영상이 아닌 사람이 직접 손으로 작업한 듯한 자연스러운 색종이 모자이크 작품을 생성하기 위한 알고리즘을 소개한다.

3. 색종이 모자이크 영상 분석 및 시스템 구조

색종이 모자이크를 컴퓨터로 표현하기 위해서는 실제로 손으로 종이를 찢어 붙였을 경우 나타나는 여러 가지의 특징을 분석할 필요가 있다. 그림 2는 색종이를 이용한 실제 모자이크 작품(그림 2(b))에서 나타나는 중요한 두 가지의 특징을 보여주고 있다.

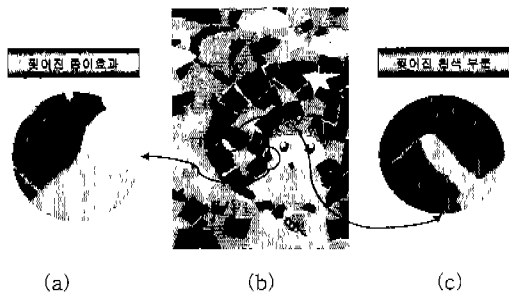


그림 2 색종이 모자이크 작품의 특징

첫 번째 : 그림 2(a)처럼 실제 종이 찢어졌을 경우 그 절단면이 불규칙하다

두 번째 : 그림 2(c)와 같이 종이를 실제로 찢었을 경우 염색되지 않은 종이의 아래 면이 드러나기 때문에 절단면에서 흰색 부분이 나타난다

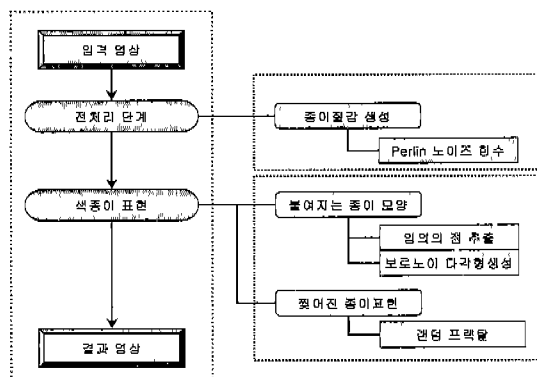


그림 3 시스템 구조

이 두 가지 중요한 특징 이외에 찢어 붙여진 색종이의 조합이 영상의 경계를 넘지 않으며 종이의 자체 특징인 종이의 질감효과가 나타난다. 본 논문에서는 이러한 색종이 모자이크 작품에서 나타나는 특징들을 표현하기 위한 모자이크 렌더링 알고리즘을 제시한다.

그림 3은 본 논문에서 제안된 색종이 모자이크 렌더링 시스템 구조이다. 그림의 왼쪽에서 보는바와 같이 제안된 시스템은 입력영상을 밑그림으로 하여 전처리 단계와 색종이 표현단계의 두 단계로 구분된다. 전처리 단계에서는 종이의 질감을 생성한다. 실제 수행 단계인 색종이 표현단계에서는 붙인 종이의 형태표현을 위한 다각형 생성하고 찢어진 종이의 불규칙한 곡선(찢어진 종이의 절단면) 및 찢어진 부분에서의 흰색부분을 표현한다.

4. 색종이 모자이크 렌더링

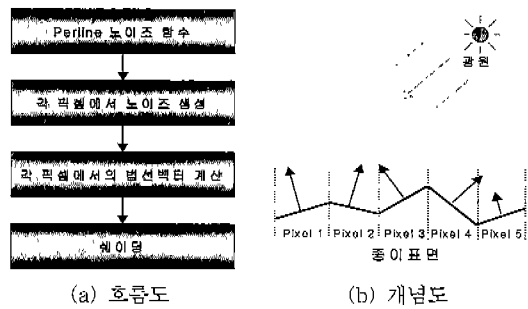
4.1 종이질감 생성

종이는 그 자체가 여러 개의 섬유(fiber)들의 집합으로 구성된다. 따라서 각 섬유 사이의 연결관계(가로결과 세로결)에 의해서 종이의 특성이 결정되고 섬유의 배열에 의해 종이의 질감이 나타나게 된다. 종이의 질감은 컴퓨터 그래픽스의 텍스처 생성기법으로 표현할 수 있다.

컴퓨터 그래픽스 분야에서 물체의 질감을 표현하기 위한 텍스처의 생성은 렌더링에서 중요한 역할을 한다. 특히 비사실적 렌더링 기법에서는 단지 텍스처만을 다르게 사용함으로써, 손으로 그린 듯 한 자연스러운 형태를 생성 할 수 있기 때문에 텍스처의 선택은 더욱 중요한 부분이다. 가장 유용한 텍스처 기법은 프랙탈 노이즈 기저 함수와 함께 Perlin에 의해서 소개되었다[5]. 프랙탈 노이즈 기저 함수는 임의의 메모리나 또는 전처리 계산이 요구되지 않고 모든 위치에 대하여 스칼라 값을 되돌려 받기 때문에 많은 응용분야에서 쉽게 사용되고 있다. Miyata[7]에 의해 제안된 알고리즘은 인상적인 stone wall 패턴을 생성한다. 그러나 이 방법은 매우 유용하기는 하지만, 광범위한 전처리 계산이 필요하고 스칼라 값을 되돌려 받을 수 없기 때문에 일반적으로 노이즈처럼 사용되지는 않는다. 본 논문에서는 종이의 질감을 좀 더 사실적으로 표현하기 위해서 Perlin의 노이즈 함수를 사용하였다. 이 방법은 Cassidy J. Curtis의 Computer-Generated Watercolor에서도 종이의 생성을 위해서 사용되었다[6][7].

이러한 표현을 위해서 노이즈 함수와 보간 함수가 필요하다. 본 논문에서는 여러 가지의 보간 함수들 중, 좀 더 부드러운 형태인 코사인 보간 함수를 사용하였다. 종이의

질감 텍스처는 단지 높이 값만을 적용하여 이미지상의 임의의 좌표 값과 그 좌표에서의 Perlin의 노이즈 함수[5][8] 값을 이용하여 법선벡터를 생성하고 임의의 위치에 빛을 위치시켜 종이의 표면을 셰이딩하여 생성한다(단, 종이를 구성하는 각 픽셀의 높이(h)는 0과 1사이의 값으로 처리). 그림 4는 종이질감을 생성하기 위한 Perlin의 노이즈 함수의 흐름도(그림 4(a)), 개념도(그림 4(b)) 그리고 슈도코드(pseudo code)(그림 4(c))를 보여주고 있다.



```

1) proc PerlinNoise(x, y)
2) total = 0
3) loop i from 0 to n
4) fre = 2^i // 주파수
5) amp = p^i // 진폭
6) total=total+InterpolateNoise(x*fre, y*fre)*amp
7) end of i loop
8) return total
9) end proc
    
```

(c) 슈도 코드

그림 4 Perlin의 노이즈 함수

그림 4에서 변수 $p (=amp)$ 는 각 주파수의 진폭을 명시하기 위해서 사용된 persistence를 나타낸다[10]. 여러 개의 변수의 값에 변화를 줌으로써 다양한 질감을 생성할 수 있다. 그림 5는 그림 4의 Perlin의 노이즈 함수를 이용하여 생성한 종이의 예를 보여주고 있으며 Persistence값의 이 작아질수록 종이가 거칠어진다는 것을 볼 수 있다.]

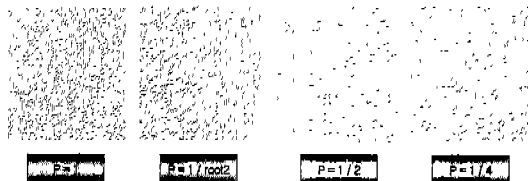


그림 5 Perlin 노이즈 함수에 의해 생성되는 종이 질감

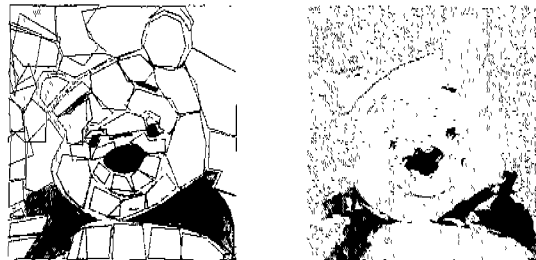
4.2 붙여지는 종이 모양 생성

실제로 색종이 모자이크 영상을 제작하기 위해서는 찢어진 종이가 붙여지는 형태를 결정하는 것이 가장 중요하다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 사용자입력에 의한 다각형 생성방법과 공간분할이나 다각형화에 사용되고 있는 보로노이 다이어그램[10]을 이용한 다각형 생성방법 두 가지를 제안하였다.

4.2.1 사용자 입력에 의한 다각형 생성

사용자의 입력에 의한 다각형 생성의 경우 사용자가 직접 마우스를 이용하여 다각형을 그리는 형태로 원하는 모양, 크기대로 다각형을 생성할 수 있다. 이렇게 생성된 다각형은 그림 9와 같이 링크드 리스트 형태의 데이터로 저장하여 색종이 모자이크의 찢어진 효과표현을 위한 다음 단계의 입력으로 처리된다.

그림 6(a)은 사용자의 입력에 의해 생성한 다각형의 형태를 보여주고 있으며 그림 6(b)은 그 결과영상을 보여주고 있다. 사용자 입력에 의한 다각형 생성방법은 밑그림 영상의 특징(경계면, 세밀한 표현이 필요한 부분)을 직접 눈으로 보면서 처리할 수 있는 장점이 있지만 사용자가 수작업을 통해 세밀한 부분까지 표현을 해야 하기 때문에 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다.



(a) 사용자 입력 다각형

(b) 결과 영상

그림 6 사용자 입력에 의한 다각형 생성 및 결과

4.2.2 보로노이 다이어그램을 이용한 다각형 생성

사용자의 입력에 의한 다각형 생성이 갖는 단점을 극복하기 위해서는 다각형생성의 자동화가 필요하다. 본 논문에서는 자동화된 다각형 생성을 위해서 보로노이 다이어그램을 이용하였다. 보로노이 다이어그램은 면적을 기초로 두고 특정 점의 영향영역에 대한 기하학적 관계를 설정하기 위한 것이다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 점 P가 포함된 영역에 속한 점들은 다른 어떤 점들보다 점 P에 가까움을 알 수 있다. 이러한 조건을 만족하도록 설정된 각각의 영역을 보로노이 다각형이라 하며 반

드시 하나의 대표점을 갖는다. 보로노이 다각형 $V(q_i)$ 는 n 개의 점들의 집합을 $P = \{ q_1, q_2, q_3, q_4, \dots, q_n \}$ 이라고 하고 점 q_i 와 점 q_j 로부터 같은 거리에 있는 직선(이분선, Bisector)를 $B(q_i, q_j)$, 점 q_i 와 점 q_j 중 점 q_i 에 더 가까운 영역(half plane)을 $h(q_i, q_j)$ 라 할 때 다음과 같이 정의 될 수 있다.

$$V(q_i) = \bigcap_{i \neq j} H(q_i, q_j)$$

또한, 각 3개나 그 이상의 이분선이 만나는 점을 보로노이 점(Voronoi Point)라 하고 보로노이 다각형의 두 개의 보로노이 점 사이의 이분선을 보로노이 선(Voronoi Edge)라고 한다.

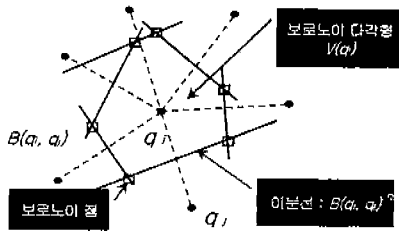


그림 7 보로노이 다이어그램

본 논문에서는 보로노이 다각형을 생성하기 위해서 입력영상을 영역을 균일한 간격(grid size)으로 분할을 한다(그림 8(a), 파라미터로 조절가능). 분할된 각각의 해당 영역내부에 랜덤함수에 의해 특정 점을 생성한다(그림 8(b)). 이렇게 생성된 점들을 대상으로 보로노이 다이어그램을 생성한 후 해당 입력점의 영향을 받는 보로노이 점들의 집합을 각각 계산한다.

여기에서 실제로 보로노이 다각형을 구하게 되면 다각형의 전체면적이 이미지 영역전체와 일치하지 않는다. 이것은 사자 이미지의 꼭지점으로 인해 생기는 현상으로

계산된 보로노이 점들 외에 이미지 사각형의 각 꼭지점 또한 보로노이 점들의 집합에 포함되어야 한다(그림 8(c)). 다음으로 순서 없이 들어온 각 입력점에 대한 보로노이 점들은 입력점(P)를 중심으로 반 시계방향으로 정렬하여 다각형이 되도록 구성한다(그림 8(d)). 이렇게 하여 생성된 각각의 보로노이 다각형들은 역시 그림 9와 같이 링크드 리스트 형태의 데이터로 저장된다.

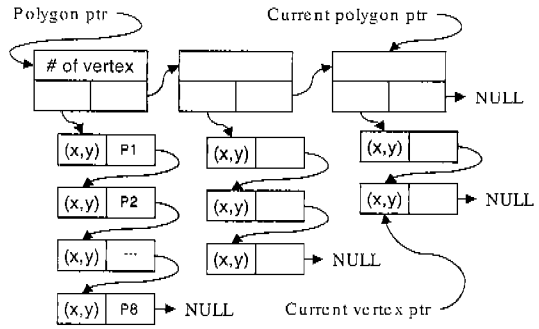


그림 9 다각형 자료구조

4.3 색종이 모자이크 표현

4.3.1 손으로 찢어진 종이모양의 생성

색종이 모자이크 표현 방법은 손으로 색종이를 직접 찢어서 붙이는 방법이다. 손으로 색종이를 찢었을 경우 찢어진 경계면은 불규칙한 모양을 갖는다. 이러한 찢어진 모양을 표현을 위해서는 보로노이 다각형을 구성하는 에지의 두 지점(예를 들어 그림 8(d)의 P1, P2 등)을 연결하는 직선에 불규칙한 높이를 더해 가는 과정이 필요하다. 그러나 단순히 난수 값을 적용하여 더해 가면 그림 10(b)와 같이 사람의 손으로 찢어진 형태와는 거리가 먼 결과를 얻게 된다는 것을 알 수 있다.

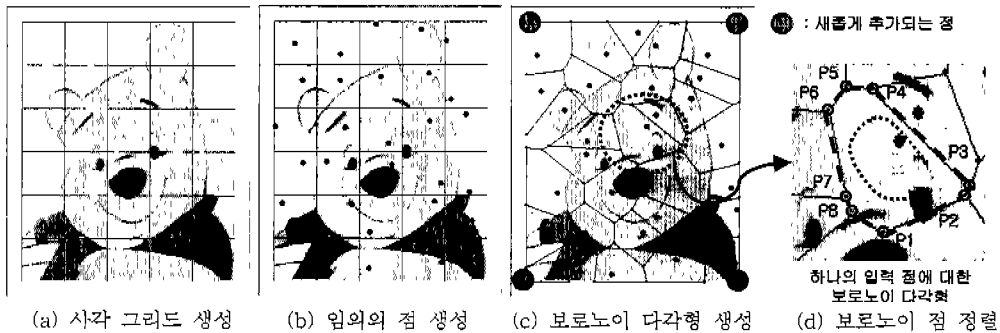
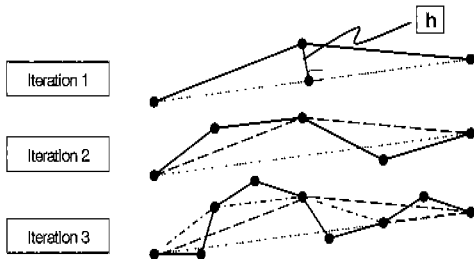
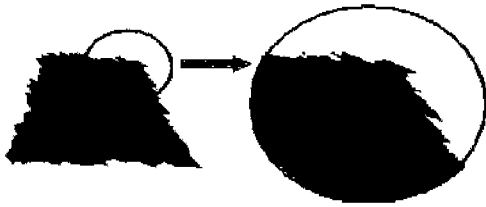


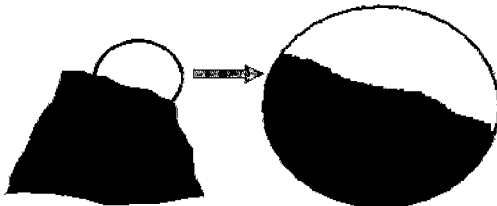
그림 8 보로노이 다이어그램을 이용한 다각형 생성



(a) 각 단계별 중간점 추출 알고리즘 적용



(b) 단순 랜덤함수에 의한 찢어진 색종이



(c) 중간점 추출에 의한 찢어진 색종이

그림 10 색종이의 찢어진 부분 생성

본 논문에서는 이러한 불규칙한 모양을 좀더 사실적으로 표현하기 위해 랜덤 프랙탈(random fractal)방법[11]의 기법 중에서 랜덤 중간점 추출 알고리즘(Random Midpoint Displacement Algorithm)을 이용하였다[9][11]. 랜덤 프랙탈 기법은 자연에서 나타나는 불규칙한 곡선이나 곡면(해안선, 지형)모델링에 주로 사용되고 있다.

이 방법은 직선의 두 점 사이의 중점을 잡아 그 중점에 직선의 수직 방향으로 불규칙한 높이(h , 양수 또는 음수)를 더해나간다. 이러한 과정이 반복 적용됨으로써 최종 불규칙한 라인이 형성되게 된다. 또 분할 레벨(반복적용 횟수)을 증가시키면서 난수의 범위를 줄여나간다. 이렇게 함으로써 불규칙 선의 변위를 최소화되고 찢어진 종이의 형태가 자연스럽게 나타날 수 있다. 또 중점을 잡는다는 것은 직선의 방향으로 1/2로 축소된 부분을 만드는 것이므로 중점에 더해지는 난수의 범위는 원래의 $(1/2)^h$ 배가되어야 한다. 단, h 는 레벨 수에 의해 변하게된다(그림 10(a)). 그림 10(c)는 각 단계별 중간점

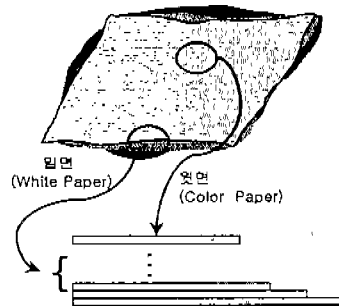
추출 방법에 의해 생성된 하나의 단위 종이를 표현했을 경우 나타나는 불규칙한 모양을 보여준다. 단순 랜덤에 의한 찢어진 종이표현보다 자연스러움을 볼 수 있다.

본 논문에서는 붙여지는 종이의 크기 및 종이를 구성하고 있는 에지 라인의 길이에 따라 중간점 추출의 반복적용 횟수 및 초기 수직방향의 크기(h)값을 조절함으로써 종이의 찢어진 효과를 다양하게 표현하였다.

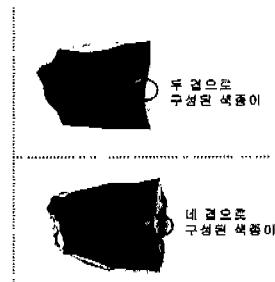
4.3.2 찢어진 종이의 흰색 부분 표현

일반적으로 색종이는 여러 겹의 섬유질로 구성되어있어 종이를 찢었을 경우 절단면이 가위나 칼로 자른 것과 같이 깨끗하지 않고 색상이 없는 흰색의 거친 면이 나타나게 된다. 본 논문에서는 색종이가 찢어졌을 경우 생기는 흰색부분을 표현하기 위해서 찢어진 색종이는 크게 색상을 갖는 부분(color paper)과 흰 색상을 갖는 찢어진(white paper)부분으로 나누어진다고 가정한다. 또 하나의 종이는 여러 겹의 종이 텍스처의 집합으로 구성된다고 가정한다. 그림 11(a)는 본 논문에서 가정된 여러 겹으로 구성된 종이의 구성을 보여주고 있다.

그림 11(a)에서 볼 수 있듯이 가장 위에 위치한 종이는 종이의 질감뿐만 아니라 특정한 색을 갖는 종이이며 그 아래에 위치한 종이는 종이가 찢어졌을 경우 나타나는 흰색부분을 나타내는 종이이다.



(a) 여러 겹으로 구성된 종이구성



(b) 흰색부분이 나타나는 색종이

그림 11 여러 겹의 종이로 구성된 색종이

가장 윗면은 실제의 색종이를 표현하는 부분임으로 임의의 색상을 가질 수 있다(본 논문에서는 밀그림에 투사된 다각형의 중심의 색을 해당 색종이의 색으로 사용함). 그리고 실제로 색상을 갖는 종이는 사용자가 종이의 질감을 느낄 수 없을 정도로 매끄러울 수 있기 때문에 본 논문에서는 색종이의 윗면의 경우에 사용자의 선택에 따라 질감 텍스처의 의 정도를 조절할 수 있도록 하였다. 아랫부분은 흰 색상을 갖으며 각각 점차적인 임의의 명도를 갖는다. 또 종이가 찢어졌을 경우 거친 효과가 나타나기 때문에 찢어진 효과를 표현할 수 있는 텍스처의 특성을 갖는다. 이렇게 여러 면의 종이 가 계속해서 붙여짐으로써 하나의 색종이가 구성된다.

그림 11(b)는 실제 적용된 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 중간점 추출방법에 의해 생성된 찢어진 효과(4.3.1 절) 표현기법이 적용된 여러 겹의 색종이는 랜덤한 효과로 인해 종이의 형태나 크기가 조금씩 틀리게 된다. 이러한 종이를 계속해서 붙이게 되면 아랫부분의 종이 가 윗부분의 종이보다 넓은 경우가 발생하게 되는데 이러한 경우 흰 색상의 아랫부분이 보여지게 된다. 이렇게 함으로써 종이를 찢었을 경우 나타나는 흰색부분을 표현할 수 있다.

5. 구현결과

본 논문의 구현은 Window2000의 운영체제에서 메모리 256MB의 Pentium-III 700 IBM PC상에서 Visual C++ 6.0의 컴파일러를 이용하여 색종이 모자이크 렌더링을 구현하였다.

그림 12~17은 보로노이 다이어그램을 이용하여 자동적으로 생성한 다각형에 색종이 모자이크 렌더링 기술을 적용한 영상을 보여주고 있다.

표 1 그림 12~14에 적용된 각 파라미터 값

| 그림 | 파라미터 | G | P | H | I | T |
|------|------|----|-----|-----|---|-----|
| 그림12 | (a) | 20 | * | 1 | 2 | off |
| | (b) | 15 | * | 1 | 2 | off |
| | (c) | 10 | * | 1 | 2 | off |
| 그림13 | (a) | 10 | 1 | 1 | 2 | on |
| | (b) | 10 | 0.7 | 1 | 2 | on |
| | (c) | 10 | 0.5 | 1 | 2 | on |
| 그림14 | (a) | 10 | * | 0.5 | 2 | off |
| | (b) | 10 | * | 1 | 2 | off |
| | (c) | 10 | * | 1.5 | 2 | off |

표 2 그림 15~17에 적용된 각 파라미터 값

| 그림 | 파라미터 | G | P | H | I | T |
|------|------|------|-----|-----|---|-----|
| 그림15 | (a) | 입력영상 | | | | |
| | (b) | 10 | * | 1 | 3 | off |
| | (c) | 10 | 0.7 | 1 | 2 | on |
| | (d) | 8 | 1 | 1.5 | 2 | on |
| 그림16 | (a) | 입력영상 | | | | |
| | (b) | 10 | + | 1 | 3 | off |
| | (c) | 8 | 1 | 0.8 | 3 | on |
| | (d) | 8 | 1 | 0.8 | 2 | on |
| 그림17 | (a) | 입력영상 | | | | |
| | (b) | 10 | * | 1 | 2 | off |
| | (c) | 8 | 0.8 | 1 | 2 | on |
| | (d) | 8 | 0.6 | 1 | 3 | on |

G : Grid size
 P : Perlin 노이즈함수의 persistence
 T : 가장 윗면의 텍스처 유무
 H : 중간점 추출 방법에서의 초기 높이값
 I : 중간점 추출 반복 횟수

그림 12~14는 본 논문에서 입력으로 사용할 수 파라미터의 값을 변화시켜 적용 후 비교한 영상이며 파라미터의 값은 표 1에서 보여주고 있다. 그림 12은 그리드 사이즈(다각형의 크기), G에 변화를 주어 만들어낸 결과 영상으로 다각형의 크기가 크면 주어진 밀그림의 특징들이 잘 표현되지 않는다는 것을 볼 수 있지만 하지만 다각형의 크기를 밀그림의 정밀도를 표현할 정도로 조절하면 좋은 결과영상이 얻어진다는 것을 볼 수 있다. 그림 13는 텍스처를 생성할 때 노이즈 함수의 Persistence, P에 변화를 주어 적용시킨 영상이다. P 값이 작아질수록 거친 질감의 색종이가 표현되고 P 값이 커지면 부드러운 색종이질감이 표현된다. 그림 14는 중간점 추출 방법에서 종이의 찢어지는 정도(초기 높이값), H에 변화를 준 영상으로 H값이 커질수록 종이의 찢어지는 효과가 두드러진다.

그림 15~17은 다양한 입력영상(밀그림)을 사용하여 모자이크 렌더링한 결과영상이며 표 2는 그림 15~17에서 적용된 파라미터의 값을 보여주고 있다.

결과적으로 가장 윗면의 종이에 텍스처를 적용한 것과 그렇지 않은 것, 초기 입력점들의 간격에 다른 보로노이 다각형크기, 그리고 중간점 추출 알고리즘의 초기 높이값(h)과 반복적용 횟수, 이러한 파라미터의 조절을 통해 다양한 결과영상을 얻어 낼 수 있었다.

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 교육이나 예술적인 표현을 위해 사용되고 있는 종이를 찢어 붙여 표현하는 모자이크 작품을 컴

퓨터를 이용하여 자동으로 생성해주는 기법을 제시하였다. 이렇게 색종이 모자이크 기법을 표현하기 위해서 종이의 질감생성 기술, 찢어진 종이표현 기술, 붙여지는 종이의 형태 생성기술 등 실제 색종이 모자이크 작품에서 볼 수 있는 특징들을 표현할 수 있는 기법들을 제안하여 구현하였다. 질감생성을 위해서는 Perlin의 노이즈 함수를 이용하였으며 찢어진 종이를 표현하기 위해서 중간점 추출 알고리즘을 이용하였다. 또 붙여지는 종이의 형태 생성의 자동화를 위해 보로노이 다이어그램을 이용하였다.

본 논문에서 제안한 색종이 모자이크 렌더링 알고리즘은 종이의 표현에 있어 종이의 질감이나 찢어진 종이의 표현이 가능하게 됨으로써 실제 수작업을 통한 모자이크 작품에서 나타나는 특징들을 표현할 수 있었다. 결과영상은 그림 1에서 보여지고 있는 기존의 상용 소프트웨어에 의해 만들어진 기계적이고 인위적인 영상과는 달리 자연스러움이나 실제적인 면에서 확연히 구분됨을 알 수 있다. 그렇지만 표현되고 있는 색종이 모자이크 효과는 일률적인 크기의 다각형을 만들어 사용했을 때문에 다각형의 크기에 따라 입력영상(밑그림)의 특징이 사라지거나 덩어리감, 공간감, 입체감이 적어지는 모습을 볼 수 있다.

향후 이러한 문제점을 해결하기 위해서 영상의 특징을 표현하고 있는 에지부분에 대한 정보를 어떻게 표현해줄 것인가에 대한 집중적인 연구가 필요하다. 그 대안으로 입력영상의 에지를 기준으로 전체영역을 구분해주는 세그멘테이션(Segmentation)기법을 통해서 영상을 비슷한 영역별로 구분시켜주고 그 나누어진 각각의 영역에서 독립적으로 모자이크 렌더링 기법을 적용한다면 영상의 특징이 살아있는 정확한 모자이크 작품을 얻을 수 있을 것이다. 또한 추출된 에지 정보를 이용하여 적응적인(adaptive) 다각형 생성기법을 적용한다면 붙여지는 종이의 크기를 다양화할 수 있어 사실적인 결과를 얻을 수 있을 것이다. 마지막으로 종이가 겹쳐 붙여졌을 경우 생기는 입체감을 표현하기 위한 알고리즘 개발도 있어야 할 것이다.

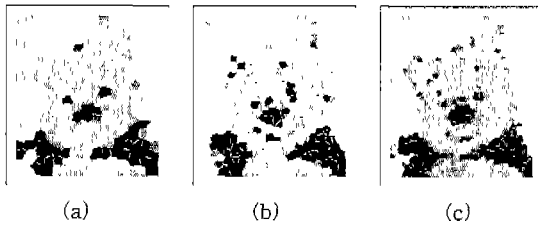


그림 12 다각형 크기에 따른 결과영상

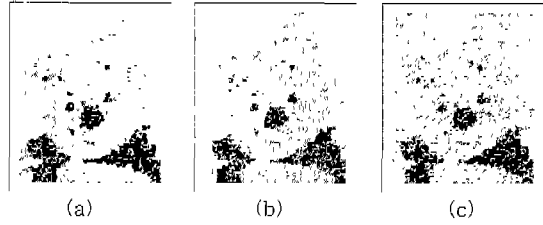


그림 13 텍스처 질감의 거친 정도에 따른 결과영상



그림 14 종이의 찢어진 정도에 따른 결과영상

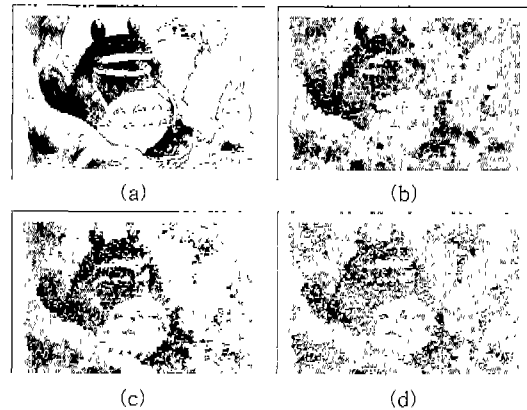


그림 15 모자이크 렌더링을 이용한 결과 영상 1

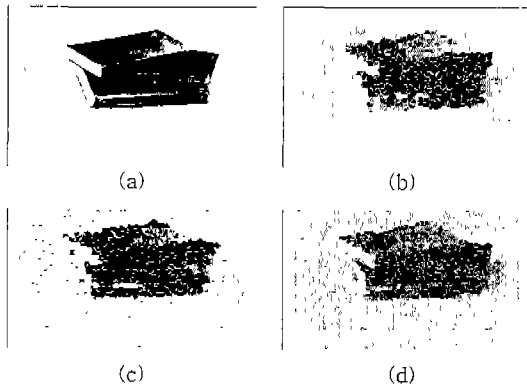


그림 16 모자이크 렌더링을 이용한 결과영상 2

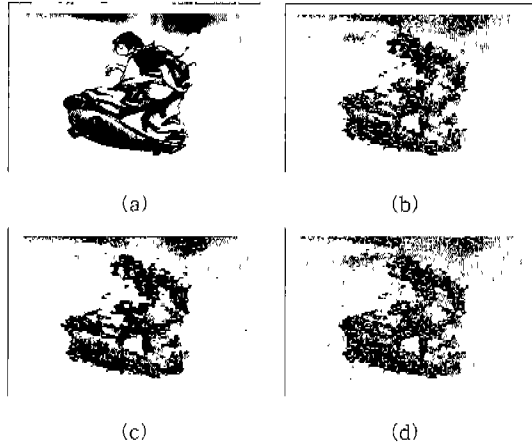


그림 17 모자이크 렌더링을 이용한 결과영상 3

감사의 글

본 논문은 정보통신부 국가지정 연구실 사업(No. 2000-N-NI-01-C-285)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] Non-Photorealistic rendering, SIGGRAPH 99 Course #17.
 [2] Peter Litwinowicz, "Processing Images and Video for An Impressionist Effect," In SIGGRAPH'97 Proceedings, pp.407-414, 1997.
 [3] 김건우, Photoshop 5.5 Easy Guide, pp152-170, 크라운 출판사, 2000.
 [4] Aaron Hertzmann, "Paintery Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes," In SIGGRAPH '98 Proceedings, pp. 453-460, 1998.
 [5] Ken Perlin, "An image synthesizer," In SIGGRAPH '85 Proceedings, pp.287-296, 1985.
 [6] Cassidy J. Curtis, Sean E. Anderson, Joshua E. Seims, Hurt W. Fleischer, David H. Salesin. "Computer Generated Watercolor," In SIGGRAPH '97 Proceedings, pp.421-430, 1997.
 [7] Cassidy J. Curtis, "Loose and Sketchy Animation," In SIGGRAPH '98 Abstracts and Applications, p.317, 1998.
 [8] Steven P. Worley, "A cellular texturing basis function," In SIGGRAPH'96, pp.291-294, 1996.
 [9] Michael F. Barnsley, Fractals Everywhere. 2nd Edition, AP Professional, 1993.
 [10] Mark de Berg, M. V. Kerveld, M. Overmars and O. Schwarzkopf, Computational Geometry Algorithms and Applications, Springer, pp.145-161, 1997.

[11] A. Fournier, D. Fussell, and L. Carpenter, Computer Rendering of Stochastic Models, Communication of ACM, Vol. 25, No. 6, pp.371-384, June, 1982.
 [12] 박영섭, 김성예, 조창운, 윤경현, "색종이를 이용한 모자이크 기법", 한국컴퓨터그래픽스학회 학술발표대회 논문지 10월, pp42-47, 2000.
 [13] Miyata, K., "A method of generating stone wall patterns," In SIGGRAPH'90 Proceedings, pp.387-394, 1990.
 [14] Daniel Teece, Three Dimensional Interactive Non PhotoRealistic Rendering, PhD. thesis, University of Sheffield, England, 1998.



서상현

1998년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 졸업. 2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사졸업. 2001년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 비사실적 렌더링, 영상기반 모델링과 렌더링, 애니메이션



박영섭

1995년 대전대학교 공과대학 전자계산학과 졸업. 2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사졸업. 2001년 현재 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 영상기반 모델링과 렌더링, 영상 모핑



윤경현

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 컴퓨터공학과 교수. 관심분야는 컴퓨터그래픽스, 렌더링, Proceduralism, GIS, 영상기반모델링과렌더링, 비사실적 렌더링