

디지털 콘텐츠 제작을 위한 회화적 렌더링 기술

박영섭* · 서상현** · 윤경현***

1. 개요

1990년대에 들어서면서, 컴퓨터 그래픽스의 관심은 변화하기 시작하였는데 그 시작이 비사실적 렌더링 기술이다. 더 이상 사실적인 영상만을 만들어 내는데 매달리지 않고, 비사실적인 영상을 만들어 내는 방법을 연구하기 시작했다. 이러한 비사실적 영상을 만들어 내는 방법으로 비사실적 렌더링이라는 분야가 기존 컴퓨터 그래픽스의 한 분야로 자리 잡게 되었다. 비사실적 렌더링은 기존의 사실적 렌더링에 상반되는 개념이다. 기존의 사실적 렌더링이 대상(object)을 보다 사실적으로 표현하고자 하였던 반면 비사실적 렌더링은 대상을 표현하는데 있어서 사실적으로 표현하는데 얽매이기 보다는 영상의 특징을 잘 표현하여 그 의미를 잘 전달하는 것을 목표로 삼는다. 따라서 비사실적 렌더링의 평가는 객관적이기 보다는 보는 사람의 주관이 큰 영향을 미친다.

회화의 표현은 주로 브러시 스트로크를 통해 이루어진다. 브러시 스트로크는 화가가 작품을 그릴 때 붓으로 무수히 많은 칠을 하게 되는데, 이때 한 번의 움직임을 스트로크라고 한다. 회화적 렌더링(Painterly Rendering)에서는 유화와 같은 결

과 영상을 만들기 위하여 일반적으로 브러시 스트로크를 연구한다. 초기의 브러시 스트로크를 통한 회화적 렌더링에 관한 연구는 스트로크의 위치, 색, 크기, 방향, 모양의 속성 중에서 위치와 방향을 마우스 커서의 움직임으로 결정하였다. 또한 색, 크기, 모양 등의 속성을 다양하게 변화시킴으로써 다양한 결과 영상을 얻어낼 수 있었다.

2. 회화적 렌더링

2.1 색상

색상 변환을 이용한 스트로크 색상 선택 기술
 언더페인팅은 다른 이미지의 위에 브러시 스트로크를 렌더링 함으로써 시뮬레이션할 수 있다. 아티스트들은 종종 색조(tints), 웨이드, 톤으로 칼라를 설명한다. 색조(tints)는 순수 물감에 흰 물감을 섞음으로써 채도가 감소하는 결과가 나온다. 웨이드는 순수 물감에 검정 물감을 추가함으로써 밝기를 감소시킨다. 톤은 순수 물감에 흰색과 검정색을 추가함으로써 변화한다. 이런 모든 단계는 HSV 칼라 공간에서 Hue는 같고 S와 V가 다른 색상을 만들어준다. [그림 1]은 칼라 변환을 적용한 영상이다. 이 방법은 소스 이미지의 칼라 분포 형태를 참조 이미지의 칼라 분포 형태로 변환하기 위해, 선형 히스토그램 매칭이라 불리는, 간단한 통계학적 방법을 이용하였다.

* 중앙대학교 컴퓨터공학과
 ** 중앙대학교 컴퓨터공학과
 *** 중앙대학교 컴퓨터공학과

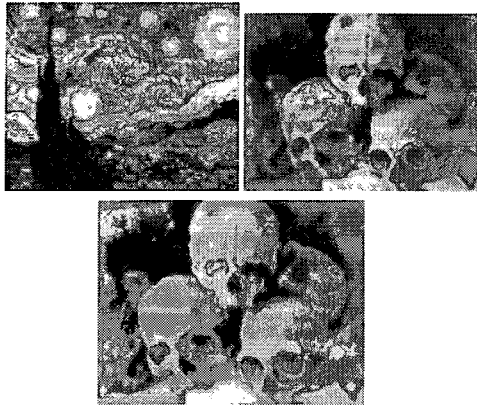


그림 1. 테스트 영상과 색상 변환된 영상

회화적 렌더링을 위한 스플라인 기반 색 변환 기술

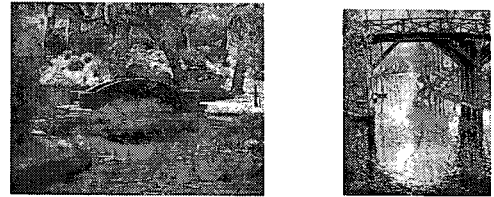
조명 조건의 변화에 따른 변화를 RGB 색 공간 (RGB Color Space)에서 색 변환 곡선(CTSC, Color Transformation Spline Curves)으로 모델링하는 방법이다. 또한 이를 한 장의 회화적 영상에 적용하여 영상의 색이 변화하는 모습을 렌더링하는 것이다.

이 방법은 크게 두 단계로 이루어진다. 첫째, 동일한 장면을 조명 조건만을 달리하여 연속적으로 촬영한 몇 장의 사진으로부터 색 변환 곡선을 추출하는 단계이다. 둘째, 첫째 단계에서 추출한 색 변환 곡선을 다른 영상에 적용하는 단계이다. [그림 2]는 스플라인 기반 색 변환 알고리즘을 적용한 결과 영상이다.

2.2 방향

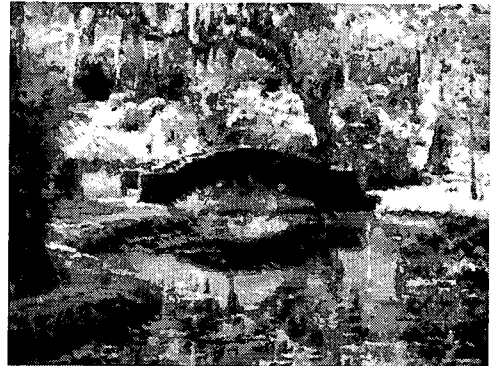
방향성을 가지는 브러시 스트로크 생성에 관한 기술

영상의 그라디언트를 이용하여 브러시 스트로크의 방향을 결정하는 기존의 방법과는 달리 방향 맵을 생성하여 각 영역별 에지를 따라 브러시 스트로크의 방향을 결정하는 기술이다. [그림 3]은



(a) 소스 영상

(b) 참조 영상



(c) 결과 영상

그림 2. 스플라인 기반 색 변환된 영상

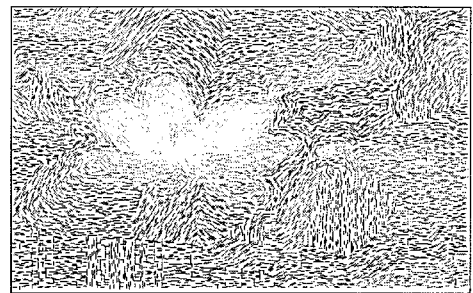


그림 3. 에지 기반 기울기 표현 영상

에지 기반 브러시 스트로크의 방향을 결정하기 위한 기울기 표현 영상이다.

지역 기울기 보간법을 이용한 강한 에지 설정 기술

강한 에지를 찾는 방법은 3단계로 구분할 수 있다. 첫째, 세션화된 영상을 이용하여 에지 상에 존재하는 픽셀들의 그라디언트 크기를 계산한다. 둘째, 계산된 그라디언트 크기를 내림차순으로 정렬한다. 마지막으로 크기가 가장 큰 그라디언트를 선택하여 강한 에지로 설정하고, 선택된 강한 에

지의 주변에 존재하는 에지들 중 강한 에지와 방향 차이가 특징 임계치보다 적을 경우만 제거한다. 이 과정을 반복함으로써 여러 개의 강한 에지들을 찾을 수 있다. 강한 에지를 이용한 그라디언트 보간 방법은 특정 위치 P를 기준으로 최단거리의 N배인 반지름 R안의 영역에 존재하는 강한 에지들의 거리에 대한 가중치를 계산한다. 반지름 R내에 존재하는 강한 에지들의 가중치와 그라디언트의 합을 계산하여 나눔으로써 임의의 픽셀의 그라디언트를 구한다.

$$Weight(i) = \left(\frac{MinDistance}{Distance(i)} \right)^b, i = 1, \dots, M \quad (1)$$

식(1)은 각 픽셀에 영향을 미치는 강한 에지들의 가중치를 계산하는 식이다. 파라미터 MinDistance는 점 P에서 반경 R내에 존재하는 강한 에지들 중 최단거리이며 [그림 4(c)]에서는 MD로 표시하였다. 파라미터 Distance(i)는 점 P에서 반경 R내에 존재하는 강한 에지들간의 거리이다. M은 반경 R내에 존재하는 강한 에지들의 개수이며 b는 상수이다. [그림 4]는 강한 에지 영상과 보간된 그라디언트 영상을 보여준다.

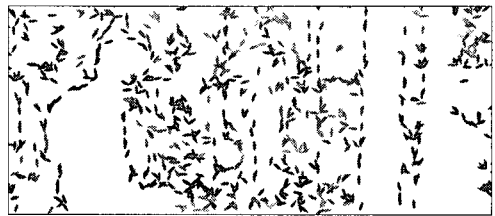
2.3 모양 및 크기

다양한 크기의 곡선 브러시 생성 기술

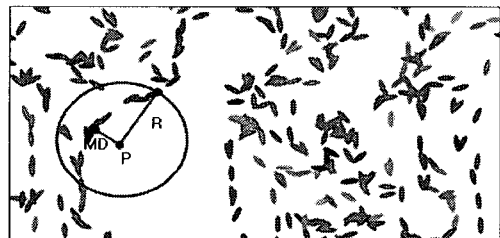
실제 작품에서 화가들의 브러시 스트로크를 살펴보면 그 브러시 스트로크의 크기가 일정하지 않은 것을 알 수 있다. 또한 브러시 스트로크의 모양 역시 곧은 직선이 아니라 곡선의 형태를 가진다. 이러한 실제 미술 작품의 특성을 반영하기 위하여 다양한 크기의 브러시로 곡선 브러시를 만들어가는 연구가 진행되었다. 이 연구에서는 브러시의 크기에 따라 레이어를 나누어 각 레이어마다 브러시의 크기를 할당하여 스트로크를 그리고 이



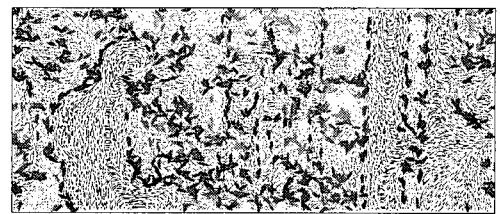
(a) 소스 영상



(b) 강한 에지 영상



(c) 강한 에지를 이용하여 그라디언트 보간 설정 방법



(d) 강한 에지를 이용한 그라디언트 보간 영상

그림 4. 강한 에지 영상과 그라디언트 보간 영상

를 적층하여 결과 영상을 완성한다. 각 레이어의 브러시 스트로크는 같은 색을 가지는 점을 제어점으로 하여 곡선을 이룬다. 제어점을 찾는 과정은 스트로크가 시작되는 지점에서의 그라디언트의 수직인 방향으로 일정한 거리만큼 떨어진 곳을 찾고 그 위치의 색이 스트로크가 시작된 위치의 색과 같은 경우 다시 그라디언트의 수직인 방향을 구하여 이동한다. 이동한 위치의 색이 스트로크가 시작된 위치의 색과 다른 경우에는 스트로크를 그 위치에서 끝낸다[그림 5].

디더링을 이용한 점묘화 기법

이 방법은 사진을 입력하여 미리 선택된 색상 목록으로 색상 분할을 한다. 색상 분할의 과정에는 변형된 예러 분산 디더링과 보색을 추가하는 과정이 동시에 이루어진다. 그리고 이 색상 분할이 된 영상을 이용하여 스트로크를 생성하고 렌더링하여 결과 영상을 만들어 낸다.

디더링은 주어진 적은 수의 색상만을 이용하여 입력 사진의 질적 표현을 높여주기 위한 방법이며 그 중에서 오류 확산 디더링을 변형하여 사용한다. 오류 확산 디더링은 제한된 색상으로 여러 가지 색을 표현함으로써 생기는 입력 영상과 결과 영상간의 오차를 줄이는 디더링 기법이다. 오류 확산 디더링에서 주변으로 오차를 확산시키는 비율은 [그림 6]과 같다.

일반적인 디더링 기법을 사용하게 되면 색이 단조롭게 분할되고 디더링에 사용되는 기본 색상

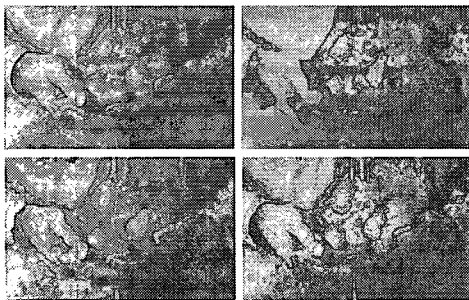


그림 5. 입력 영상(왼쪽 위), 크기가 8인 브러시로 그린 중간 결과(오른쪽 위), 그 위에 크기가 4인 브러시로 덧칠한 중간 결과(왼쪽 아래), 크기가 2인 브러시로 덧칠한 결과 영상(오른쪽 아래)

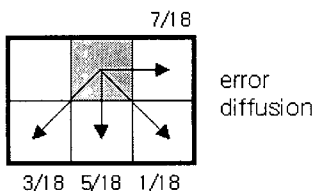


그림 6. 오차 확산 디더링의 오차 확산 방법

이 입력 영상에 있을 경우 색이 분할되지 않고 하나의 색으로 여러 가지 색을 표현하는 것만을 위한 기법이기에 때문에 보색은 표현되지 않는다. 이런 문제를 해결하기 위해 디더링을 변환하여 사용한다. 색상환에서 어느 하나의 색이 그 가운데의 색이다. 이 점을 이용하여 디더링을 하면서 디더링된 하나의 색으로만 표현하는 것이 아니라 색상환에서 양 옆에 있는 색을 같이 섞어서 나타냄으로써 색상이 더욱 많이 분할되도록 한다. [그림 7]은 색상환을 통한 색의 분할을 보여준다.

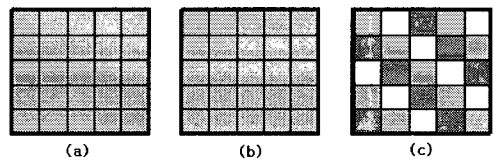
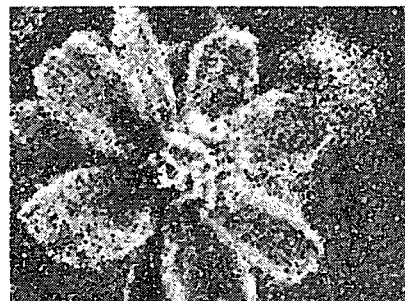


그림 7. 색상환을 통한 색의 분할. (a) 5YR색인 기본 영상, (b) 일반적인 디더링 결과. 기본 영상의 색이 디더링에 사용되는 5YR색이므로 디더링되어도 한가지색으로 표현된 것을 볼 수 있다. (c) 디더링을 변형시켜서 적용시킨 결과. 5YR의 양 쪽인 5R과 5T색이 같이 표현되었음.



(a) 입력 영상 (b) 색상을 분할하여 만들어낸 영상



(c) 결과 영상

그림 8. 색상 분할 후 스트로크를 적용시키는 과정

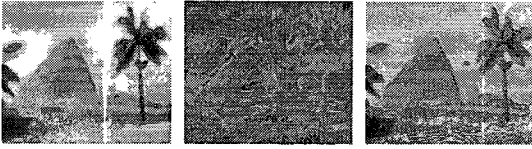


그림 9. Height Field를 이용한 질감 표현

점묘화에서 점으로 찍은듯한 표현을 하기 위해 브러시 스트로크를 생성하여 표현한다. 결과 영상을 일정한 간격의 격자로 나누어 각 격자마다 하나의 브러시 스트로크가 생성되도록 한다. 브러시 스트로크의 생성에 있어서 브러시의 길이는 점묘적인 표현을 위하여 극단적으로 짧게 하였고 모양은 원형으로 가정하였다. 색을 결정하는 방법은 전 단계에서 색상을 분할한 결과 이미지에서 색을 가져온다.

2.4 질감

Height Filed를 이용한 질감 표현 기술

이 기술은 픽셀 단위로 처리를 하며 브러시 스트로크의 질감을 표현하기 위한 여러 방법 중 하나이다. 브러시 스트로크 각각의 Height Field를 생성한다. 이 효과는 참조 영상과의 유사성에 의존하며, 다양한 질감을 표현할 수 있는 브러시 스트로크의 Height Field를 생성할 수 있다[그림 9].

2.5 에지 클리핑

에지 클리핑을 이용한 스트로크 표현 기술

브러시 스트로크에 기반을 둔 회화적 렌더링 연구 중에서 기존에 마우스의 움직임에 의존했던 스트로크의 위치와 방향 속성을 입력 영상에서 얻어내는 연구가 진행되었다. 브러시 스트로크의 위치를 결정하는 방법으로 이 기술에서는 입력 영상을 격자로 나누어 각 하나의 격자마다 하나의 브러시 스트로크를 위치시켰다. 브러시 스트로크

의 방향은 브러시 스트로크가 위치한 점에서의 그라디언트 방향의 직각인 방향을 스트로크의 방향으로 결정하였다[그림 10].

3. 회화적 애니메이션

회화적 렌더링 기법을 애니메이션에 적용시키는 다양한 방법들에 대한 연구도 진행되었다. 회화적 렌더링에서 사용되는 다양한 기술들을 사용함으로 애니메이션에서도 동일한 효과를 나타낼 수 있다. 움직임이 있는 이미지에 비사실적 렌더링기법을 표현하기 위해서는 시간적인 정보와 공간적인 정보들을 고려해야 한다. 따라서 단순히 하나의 영상에 브러시 스트로크를 표현하던 것과 다르게 프레임들 사이의 관계 또한 고려해 브러시 스트로크를 생성해야 한다.

3.1 페인트 온 글라스 기법

페인트 온 글라스 애니메이션은 이전 프레임에서 현재 프레임으로 변화되는 메타몰포시스

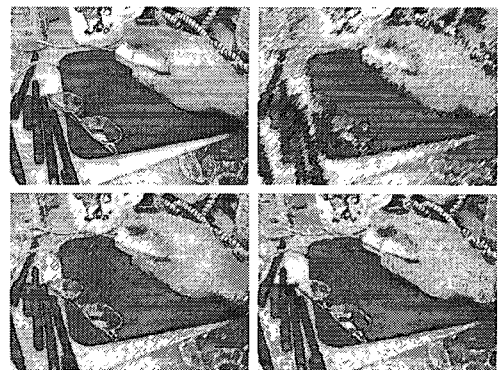


그림 10. 입력 영상(왼쪽 위), 스트로크의 방향을 일률적으로 45로 한 결과영상(오른쪽 위), 방향을 45로 하고 에지에 따라 클리핑을 적용한 결과(왼쪽 아래), 방향을 그레이디언트를 따르게 하고 에지에서 클리핑을 적용한 결과(오른쪽 아래)

(metamorphosis) 과정을 매우 효과적으로 표현할 수 있는 애니메이션 기법 중 하나이고, 페인트 온 글라스 애니메이션 작업 특성상 초당 24 프레임은 다 그릴 수 없기 때문에 초당 8프레임을 렌더링하게 되는데, 이때 발생할 수 있는 프레임 간 부자연스러운 움직임을 보완하고 좀 더 유연한 움직임을 위해 렌더링 할 때 다중노출기법을 사용하여 디졸브(dissolve) 효과를 적용한다. 또한 메타몰포시스 과정에서 프레임 간 변화가 일어나는 정도에 따라 적용하고자 하는 브러시 스트로크의 크기 및 사용 빈도수를 조절함으로써 급격한 변화가 발생하지 않도록 한다.

3.2 프레임 간 브러시 일관성 유지

다(多)층으로 형성된 렌더링 프레임 생성 기술
회화적 렌더링의 느낌을 애니메이션에 적용하기 위해서 각각의 프레임에 회화적 느낌이 나타나는 스트로크를 적용시켜 준다. 기존에 연구된 스타일을 적용하여 다양한 렌더링 효과의 프레임을 생성할 수 있다. 또한 텍스처를 사용함으로써 질감 표현 또한 가능하다. 스트로크 및 질감표현이 된 각각의 프레임을 [그림 11]과 같이 다(多)층의 레이어로 구성한다. 다(多)층의 레이어로 구성함으로써 애니메이션 중의 움직임에 따른 변환 정보보다 쉽게 도출해 낼 수 있다.

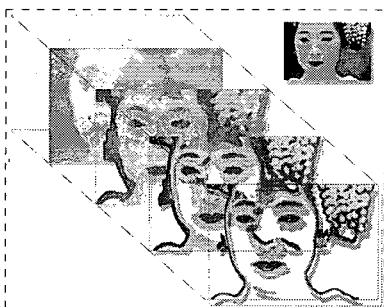


그림 11. 다층으로 구성된 프레임

움직임에 따른 에지의 유지 기술

비디오나 애니메이션을 보는 사람의 입장에서 가장 크게 인식하는 것이 바로 사물이동의 원활함이다. 이를 위해서 RBFs 기술이 사용된다. RBFs 기법을 이용하여 전반적인 사물의 윤곽을 나타내는 강한에지를 찾아낸다[그림 12]. 사물의 형태를 유지하기 위해 강한 에지들에서는 새로운 스트로크의 생성을 제안한다. 또한 스트로크의 이동에 따른 각도의 변화를 적절하게 허용함으로써 움직임에 따른 사물의 형태 유지를 돕고 잡음을 줄일 수 있다.

움직임에 따른 색상 보정기술

빠른 움직임에 따른 색의 순간적인 변화는 잡음(noise)을 가져온다. 이 잡음을 막기 위하여 이전 프레임들의 해당위치 평균 색상 값으로 색을 보정한다. 일반적으로는 이전 5프레임의 평균값을 사용한다. 또한 사용자에게 의한 임의의 색상 값을 첨가함으로써 점묘법 같은 다양한 스타일을 표현할 수도 있다.

사용자에게 의해 적용되는 회화적 효과 기술

비사실적 애니메이션에는 원본 영상을 유지해야 한다는 제한을 두지 않는다. 따라서 위에서 언

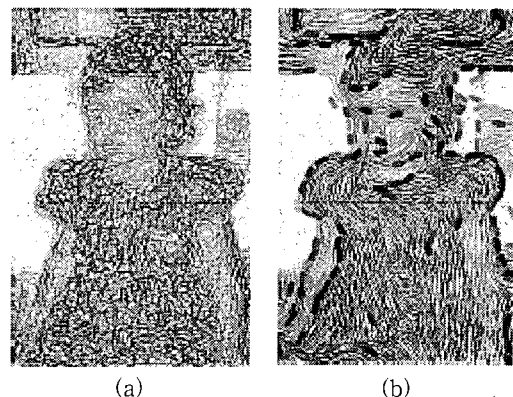


그림 12. RBF 보간법.(a)는 보간 전의 방향맵 모습이며 (b)는 보간 후의 방향맵, 굵은 표시는 강한 에지를 나타낸다.

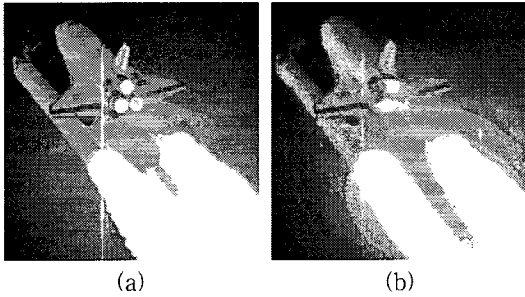


그림 13. 원본 영상 (a)에 사용자에게 의해 비사실적인 유선형이 추가된 영상(b)

급한 효과 이외에도 여러 가지 효과를 주어 정진된 이미지로부터 움직임에 갖는 영상을 만들 수도 있다. [그림 13]은 원본 이미지에 사용자에게 의한 유선형 효과를 적용함으로 회화적 효과를 나타낼 수 있음을 보여준다.

움직임에 따른 이미지 재생 및 정화 기술

비디오나 애니메이션에서는 사물들의 움직임이 나타난다. 이런 점을 고려하지 않으면 사물의 흐름이 원활하게 표현되지 못한다. 따라서 사물의 프레임들 간 이동에 따른 재생 및 정화 기술이 필요하다. 하단 레이어에서는 움직임에 의해 생긴 차이(gap)를 채워줘야 한다. 이때 새로 채워진 스트로크들에 대해서는 시간의 일관성을 유지하기 위하여 새로 그려진 스트로크로 구분하여 관리한다. 그리고 상위 레이어에서는 세부적인 묘사를 하는 스트로크들 중 사물의 이동시에 지지분함을 유발할 수 있는 스트로크 들은 제거 해준다.

4. 결론

컴퓨터 그래픽스는 컴퓨터 공학의 응용 분야로 지난 반세기 동안 많은 발전을 이루어왔다. 1990년대 들어서 활발히 연구되기 시작한 비사실적 렌더링 분야 역시 짧은 기간 동안 크게 발전하였

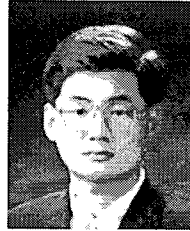
다. 앞으로 비사실적 렌더링 분야는 그 범주를 점점 확대해 갈 것으로 보이며 보다 많은 연구가 계속될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Bruce Gooch, Amy Gooch. "Non Phtorealistic Rendering", A K Peters, Ltd. 2001
- [2] Aaron Hertzmann. "Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes", In SIGGRAPH 98 Conference Proceedings, pages 453-460, July 1998.
- [3] Georges Winkenbach and David H. Salesin, "Computer Generated Pen and Ink Illustration", SIGGRAPH 94 Proceeding, pp 91-100, 1994
- [4] Strassmann, S. "Hairy brushes." Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 86) 20(4): 225-232 (August 1986)
- [5] Wong, E. "Artistic rendering of portrait photographs", Master's thesis, Cornell University, 1999
- [6] Haeberli, P. "Paint By Numbers: Abstract Image Representation." In Computer Graphics (proc. SIGGRAPH 90) 24(4): 207-214 (August 1990)
- [7] Meier, B. J. "Painterly rendering for animation." In Proceeding of SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, edited by Holly Rushmeier, pp 377-484, Reading, MA: Addison-Wesley, 1996
- [8] Peter Litwinowicz, "Processing Images and Video for an impressionist effect", SIGGRAPH 97 Proceeding, pp 407-414, 1997
- [9] Adam Lake, Carl Marshall, Mark Harris, Marc Blackstein, "Stylized Rendering Techniques For Scalable Real-Time 3D

Animation” NPAR 2000: First International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pages 13-20. ACM SIGGRAPH

- [10] Lena Petrovic, Brian Fujito, Lance Williams, Adam Finkelstein, “Shadows for Cel Animation” Siggraph 2000, Computer Graphics Proceedings
- [11] A. Gooch, B. Gooch, P. Shirley, and E. Cohen, “A NonPhotorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration”, In SIGGRAPH '98 Conference Proceedings, August 1998.
- [12] Alejo Hausner, “Simulating Decorative Mosaics” In SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings 573-580
- [13] Gershon Elber, George Wolberg, “Rendering traditional mosaics” The Visual Computer (2003), p 67-78.
- [14] Junhwan Kim, “Jigsaw Image Mosaics” SIGGRAPH 2002
- [15] 서상현, 박영섭, 김성예, 윤경현, “Colored Paper Mosaic Rendering”, In SIGGRAPH 2001 Abstract and Application p 156, 2001



박 영 섭

- 1995년 대전대학교 전자계산학과(공학사)
- 2001년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 (공학석사)
- 2001년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 관심분야 : 회화적 렌더링, 모자이크 렌더링, 영상 기반 렌더링, 영상 모핑



서 상 현

- 1994년 중앙대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 (공학석사)
- 2000년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사과정
- 관심분야 : 회화적 렌더링, 모자이크 렌더링, 영상 기반 렌더링, GIS



윤 경 현

- 1980년 중앙대학교 전자계산학과(공학사)
 - 1983년 중앙대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)
 - 1983년~1985년 한국전기연구소 연구원
 - 1988년 Univ. of Connecticut 전자계산학과(공학석사)
 - 1991년 Univ. of Connecticut 전자계산학과(공학박사)
 - 1991년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 교수
 - 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 렌더링, Proceduralism, GIS, 영상기반모델링과 렌더링, 비사실적 렌더링
-
-