비사실적 렌더링 기술동향

김성예* · 김희정* · 김보연* · 이지형* · 구본기*

요 약

비사실적 렌더링은 인간 친화적인 영상을 생성하기 위해 사람이 손으로 그린듯한 느낌의 영상 생성을 목적으로 한다. 좀더 넓은 범위에서의 의미는 사실감을 추구하지 않는 영상을 생성하는 모든 수단으로서 정의될 수 있으며, 따라서 사람이 손으로 그리기에 비현실적일 수 있는 영상의 형태까지도 포함된다. 80년대 말부터 90년대 초 연구결과가 주목 받기 시작하면서 이후 10여 년간 주목할만한 많은 연구내용들이 발표되어 왔다. 특히, 최근에는 상업적 측면에서의 관심이 증가하면서 애니메이션, 광고, 게임, 의료, 건축, 기계 등 다양한 분야에서의 요구가 증가하고 있다. 하지만 응용 분야의 특성 상 앞으로 해결해야 할 문제들이 많이 남아 있다. 본 논문에서는 비사실적 렌더링의 발전과 주요한 기술들에 대해서 설명한다. 또한 최근의 연구 동향을 바탕으로 앞으로의 발전 방향을 제시한다.

1. 개 요

1960년대 시작된 컴퓨터 그래픽스 연구의 주요한 목표는 사실감 있는 영상의 생성이었다. 지난 40년간 포토 리얼리즘(Photo-realism)이라는 용어로 대변되듯, 컴퓨터 그래픽스의 궁극적인 관심은 얼마나 실제와 같은 영상을 만들 수 있는가에 집중되었다. 60년대 중반부터 70년대에는 3차원 좌표로 입력된 물체의 형상을 선으로 연결하여 생성된 기하학적 모델의 표시에 중점을 둔 선(line)구조 시대였다. 그러나 입체(Solid)에 대한 요구가 제기되면서 70년대 초부터 말까지 래스터 기술이 개발됨에 따라 영상의 은선/은면 제거 알고리즘의 발전이 가속화되었다. 또한 물체와 빛과의 관계를 고려한 쉐이딩과 그림자 생성 기법들이 영상에 사실감을 더해 주었다. 그 후, 80년대에 T. Whitted에 의해 전역 조명 개념이 제안되면서 빛의 물리적인 특성을 시뮬레이션하는 광선추적법(Ray Tracing)[그림1]이나 래디오시티(Radiosity)[그림2]와 같은 기법들에 의해 극도로 사실적인 영상의 생성이 가능하게 되었다.

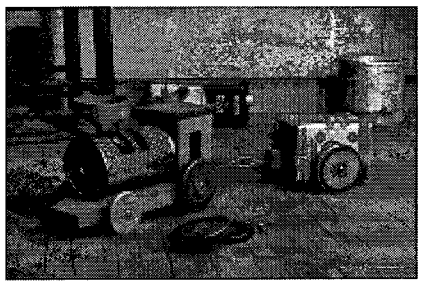


그림 1. 광선추적법에 의한 영상

* CG기반기술연구팀, 한국전자통신연구원

그림 2. 래디오시티에 의한 영상

하지만 여전히 복잡한 물체를 모델링 하는 것은 많은 노력과 기술이 필요하고 정교한 조명 효과를 가지는 영상을 렌더링하는 것은 많은 시간을 요구한다. 이에 대한 대안으로 90년대 이후로 많은 기술이 제안된 영상기반 모델링, 영상기반 렌더링과 같은 영상기반 기술들은 적은 노력과 시간을 들여 효과적으로 고품질의 모델과 영상을 생성할 수 있었지만 입력으로 사용되는 영상의 근본적인 한계에서는 벗어날 수 없었다. 결국, 표현 기술이 발전함에 따라서 요구되는 결과 영상의 품질의 수준도 또한 높아지기 때문에 컴퓨터 그래픽스의 주요한 목표인 사실감 추구는 끝이 없는 목표라 할 수 있다.

1.1. 비사실적 렌더링 기술의 출현

전통적인 컴퓨터 그래픽스 기술의 목표에 대한 현실적인 문제의 또 다른 관심으로 대두된 것이 비사실적 렌더링(Non-photo Realistic Rendering, 이하 NPR)이다. 80년대 말부터 이미 비사실적 렌더링에 대한 연구가 진행 되었고 90년대 초반부터 많은 관심의 대상이 되기 시작했다. [그림3]은 사실적으로 렌더링된 3차원 모델에 대한 영상과 비사실적 효과(카툰, 스케치)를 부여한 결과를 보여준다.

NPR 기술은 '사실감을 얻고자 하지 않는 영상을 생성하는 수단'이라고 정의할 수 있다("A means of creating imagery that does not aspire to realism")[1]. 초창기 NPR의 제창자들은 Natural media emulation에 관심을 두었으며 이것은 펜이나 잉크와 같은 스타일이나 캔버스 위의 수채물감이나 오일(Oil)과 같은 형태의 전형적인 예술적 형태의 재생산(Reproduction)이었다. 이러한 Natural media emulation은 NPR의 한 연구 분야로서 간주될 뿐이며, NPR은 이 보다 더 범위가 넓고 이전에 잘 알려지지 않은 새로운 예술의 형태-손으로 생성하기에는 비현실적일 수 있는 형태를 포함-를 실험하기 위한 기회를 제공한다. 용어 자체에서 알려주듯이, 비사실적인 영상을 생성하는 것이 이 기술의 목표이며 인간 친화적인 영상을 생성하기 위하여 대상을 사실적으로 표현하는데 얽매이기 보다는 영상의 주요 특징을 잘 표현하여 그 의미와 느낌을 효과적으로 전달하는 것을 목표로 삼는다. 따라서 NPR 영상의 평가는 객관적이기 보다는 보는 사람의 주관이 큰 영향을 미치게 된다.

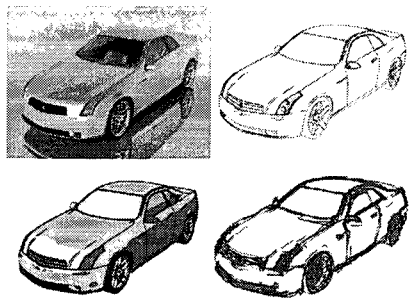


그림 3. 비사실적 렌더링 영상

1.2. 비사실적 렌더링 기술의 발전

NPR 기술은 초기에 에어 브러쉬나 연필과 같은 드로잉 툴을 제공하였던 2차원 인터랙티브 페인트 시스템인 'Quantel Paintbox'로부터 시작했다고 할 수 있으며 이후, [그림4]에서와 같이 2.5차

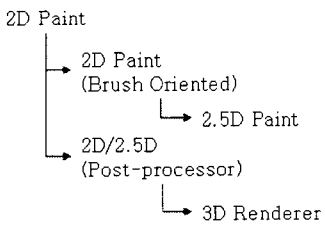


그림 4. NPR 기법의 출현 과정

원 페인트 시스템과 3차원 물체를 대상으로 하는 비사실적 렌더링 기술로 발전해 왔다.

NPR 기술은 90년대 초 주목을 받기 시작한 이후로 급격한 속도로 연구 결과물 들이 발표 되면서 현재는 컴퓨터 그래픽스의 중요한 부분을 차치하고 있다. [그림5]는 NPR 기술이 주목을 받기 이전인 80년대 이전부터 2002년까지의 관련 연구 산출물 분포를 나타낸다. 90년대 초부터 학회를 통해서 많은 연구 결과물이 발표되었다.

[그림6]의 NPR 기술 별 연구 결과 현황을 보면 3차원 모델에 대한 라인 드로잉(예: 펜&잉크) 기술과 2차원 회화적 렌더링 기술 분야에 대한 개발이 가장 두드러진다.

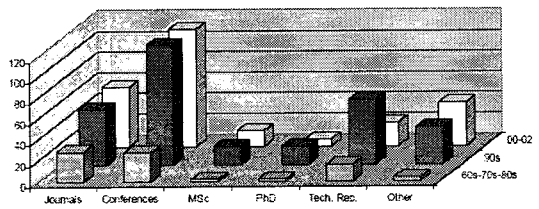


그림 5. 연도별 NPR 관련 연구 산출물[2]

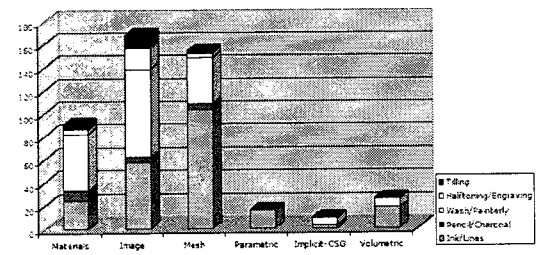


그림 6. NPR 기술 별 연구 결과[2]

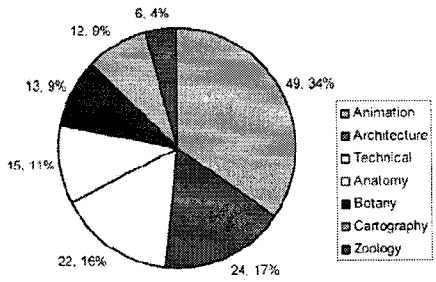


그림 7. 학문 분야 별 NPR 기술 적용[2]

NPR 기술이 적용될 수 있는 분야는 매우 다양하여 엔터테인먼트 분야에서부터 교육, 의료, 기계, 건축 등의 분야에서 활용될 수 있는 기술들이 개발되고 있다. [그림7]은 각 분야 별 기술 개발 현황을 나타낸다. 애니메이션 분야에서의 활용이 약 50%를 차지하고 건축 분야에 적용 가능한 기술도 전체 개발 기술의 약 25%를 차지하고 있다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. Ⅱ장에서는 비사실적 렌더링의 기술 분류와 주요 기술의 개념 및 최신 연구 결과를 소개하고 Ⅲ장에서는 응용 분야와 관련 상용화 제품들을 살펴본다. 마지막으로 Ⅳ장에서는 결론 및 전망을 통해 이 기술의 전망을 살펴본다.

2. 비사실적 렌더링 기술

2.1. 기술 분류

비사실적 표현 기술은 [그림8]과 같이 분류될 수 있다. 기술의 특성 상 다양한 표현이 가능하기 때문에 정확한 분류는 어려우나 기반 기술은 거의 동일 하기 때문에 [그림8]에서 분류한 범주에 포함된다고 할 수 있다.

NPR 기술의 대부분은 입력이 2차원, 3차원 여부에 관계없이 스트로크(Stroke)를 기반으로 하여 최종 영상을 생성하기 때문에 스트로크를 어떤

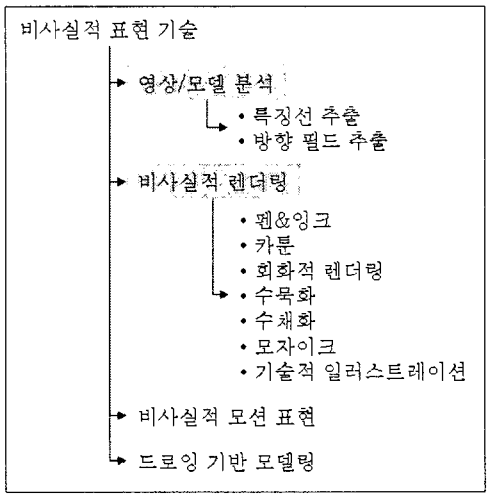


그림 8. 비사실적 표현 기술 분류

위치(특징선 위치 포함)에서 어떤 방향(방향 필드)으로 그릴 것인지를 결정하기 위한 영상/모델 분석 단계가 필수적 이다. 이후, 렌더링 단계에서는 다양한 효과를 얻기 위한 기법들이 사용될 수 있다. 비사실적 모션 표현 기술은 물체의 움직임을 시각적으로 표현하는 방법으로 캐릭터의 감정 표현이나 물체의 모션 라인 등을 표현하는 기법이 포함된다. 마지막으로, 드로잉 기반 모델링은 직관적 모델링 기법으로서 사용자의 드로잉을 기반으로 하여 3차원 모델을 생성하는 방법이다. 본 논문에서는 비사실적 렌더링 기술을 중심으로 영상/모델 분석을 위한 특징선 및 방향 필드 추출과 주요 비사실적 렌더링 기술을 살펴본다.

2.2. 영상/모델 분석

2.2.1 특징선 추출

특징선 추출은 NPR 기술 중에서 가장 기본이 되는 기술이라 할 수 있다. 2차원 영상을 입력으로 사용하는 경우는 대부분 Sobel 에지 추출 알고리즘과 같은 영상처리 기법을 사용하여 영상 내 특징선을 추출한다[그림9]. 추출된 영상 내 에지 정보는 최종 영상 생성 시 스트로크를 클리핑 하는데 사용된다[3].

그림 9. Sobel 필터를 이용한 영상의 특징선 추출

3차원 모델을 입력을 사용하는 경우는 영상을 사용하는 경우 보다 더 많은 정보를 추출할 수 있고 최종 영상 생성 시 다양한 스트로크를 생성하기 위한 유연성을 제공한다. 3차원 모델의 경우 특징선을 추출하기 위한 기법은 [그림10]과 같이 분류될 수 있다. Image Space 알고리즘은 3차원 모델의 깊이 정보와 법선 정보를 이용하여 렌더링 한 후에 생성된 영상을 이용하여 2차원적 처리를 통해 특징선을 추출한다. 따라서 계산 속도가 빠르고 구현이 쉬운 장점이 있다. 하지만 특징선에 대한 3차원 데이터가 없기 때문에 라인을 표현할 때 컨트롤이 불가능 하다. Object space 알고리즘은 특징선을 추출하기 위한 모든 계산이 3차원

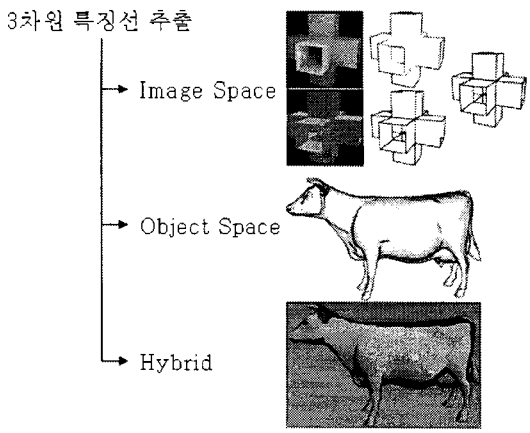


그림 10. 3차원 특징선 추출 기술 분류

공간에서 처리되기 때문에 추출된 라인 정보에 대한 3차원 데이터를 생성할 수 있다. 따라서 라인의 두께나 특성을 변경하여 렌더링 할 수 있다. 하지만 Image space 알고리즘에 비해 계산량이 많아 속도가 느리다. 마지막으로, Hybrid 알고리즘은 계산 속도와 라인의 컨트롤에서 위의 2가지 알고리즘의 장점을 혼합한 방식이다. 최근 제안된 Suggestive contour 기법[4]은 3차원 물체의 각 정점에서의 곡률을 이용하여 더 많은 특징을 추출[그림11]할 수 있도록 하였다. 하지만 이 기법은 매우 많은 폴리곤으로 구성된 정교한 모델의 경우에만 좋은 결과를 얻을 수 있다는 단점이 있다.

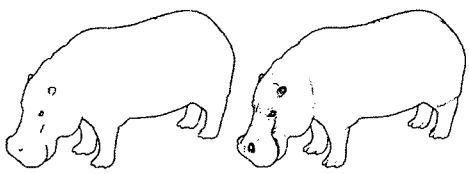


그림 11. Contour(좌) vs. Suggestive contour(우)

2) 방향 필드(Directional Field)

NPR 에서 방향 필드는 스트로크를 그리는 방향을 생성하기 위해 요구된다. 2차원 영상을 입력으로 사용하는 경우는 대부분 영상의 그래디언트(Gradient) 방향을 이용하여 스트로크의 방향 필드가 결정된다. [그림12]는 일정한 방향으로 스트로크를 생성한 경우(좌)와 영상의 그래디언트를 기반으로 스트로크의 방향을 생성한 결과(우)를 보여준다.

그림 12. 일정한 방향필드(좌) vs. 그래디언트 기반 방향필드(우)

그림 13. 3차원 방향 벡터

3차원 모델의 경우는 주로 정점의 곡률을 이용하여 방향 벡터를 생성한다. 각 정점의 가우시안 곡률과 평균 곡률을 이용하여 Principal 곡률을 계산하고 이 중에서 최소 곡률(minimum curvature)을 스트로크의 방향 벡터로 결정한다. [그림13]은 이러한 곡률 기반의 방향 벡터를 추출하고 정점을 연결하는 각 에지(edge)의 tension에 대한 에너지 함수를 정의하여 이 함수 값을 최소로 하는 최적화 알고리즘을 이용하여 방향 필드를 계산하였다. [그림13]에서 가장 왼쪽은 최적화를 전혀 적용하지 않은 결과이고, 가운데는 지역(local) 최적화, 오른쪽은 전역(global) 최적화 알고리즘을 사용하여 생성된 결과이다.

2.3. 비사실적 렌더링 기술

2.3.1 펜&잉크(Pen & Ink)

펜화는 잉크를 이용하여 펜으로 그린 그림으로 표현하고자 하는 대상의 형태, 명암, 질감을 표현한다. 명암을 표현하기 위해서 스트로크의 집합으로써 톤(tone)과 텍스처(texture)를 생성한다. 톤은 특정 순서로 스트로크를 겹쳐 밝고 어두움을 나타내는 방법이고 텍스쳐는 질감을 나타내기 위한 스트로크의 집합이다[그림14]. 텍스쳐는 일반적으로 해상도나 방향에 의존적인 특징이 있다.

펜 일러스트가 다른 미술 작품들과 구별되는 특징 가운데 하나가 표현에 있어서의 과감한 생략이다. 펜 일러스트의 명암, 질감, 형태 등 모든 표현에 있어서 빛을 받는 부분이나 형태가 복잡하지

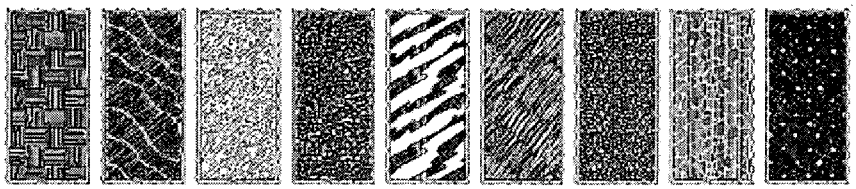


그림 14. 펜화를 위한 톤 텍스처[5]

그림 15. 암시법 적용(좌), 미 적용(우)

않은 부분, 혹은 덜 강조되는 부분에는 스트로크를 그려 넣지 않는다. 이렇게 스트로크를 생략하여 여백으로 비워두는 기술을 암시법(indication)이라고 한다. 이러한 기술이 적용되어 렌더링 된 영상은 펜 일러스트로써 더욱 자연스럽고 매력이 있는 그림으로 느껴진다.

Michael[6]는 사용자에게 방향 필드를 편집하는 인터페이스를 이용해 이미지의 각 영역에 대한 방향성을 지정할 수 있는 시스템을 제안하였다. 입력 데이터는 2차원 영상으로 영상내의 물체 표면을 따라 스트로크를 정렬해서 명암을 통해서 얻을 수 있는 것 보다 더 상세한 표현이 가능하다. 하지만 렌더링 시간이 너무 오래 걸리고 사용자가 많은 컨트롤해야 하며, 프레임 사이의 일관성(coherence)을 고려하지 않았다.

펜화를 표현할 때 해칭 스타일로 표현함으로써 빛의 미묘한 반사에서 복잡한 물체 표현까지 다양하게 적용할 수 있다. 해칭 기법은 판화나 소묘에서 사용하는 기법으로 세밀한 교차선(해칭라인)을 사용하여 대상의 요철이나 음영을 표현하는 방법이다. Emil[7]은 시점에 따라 스트로크의 사이즈와 밀도의 동적 컨트롤이 가능하며, 프레임

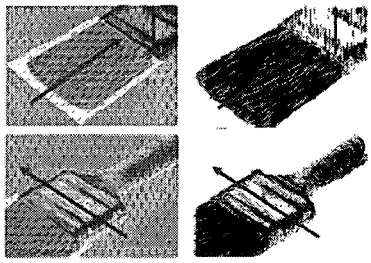


그림 16. 방향필드에 따른 펜화 생성

그림 17. 2차원 펜화 결과영상

사이의 일관성이 유지되는 실시간 3차원 해칭 시스템을 제안하였다. 이 연구에서 스트로크의 방향은 물체를 구성하는 면(surface)의 방향 필드로 결정되며 Tonal Art Map(TAM)이라는 텍스쳐를 이용함으로써 다양한 톤과 해상도의 표현이 가능하도록 하였다.

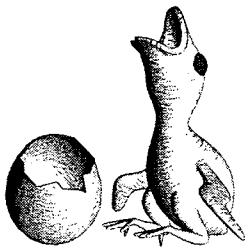


그림 18. 실시간 해칭 결과

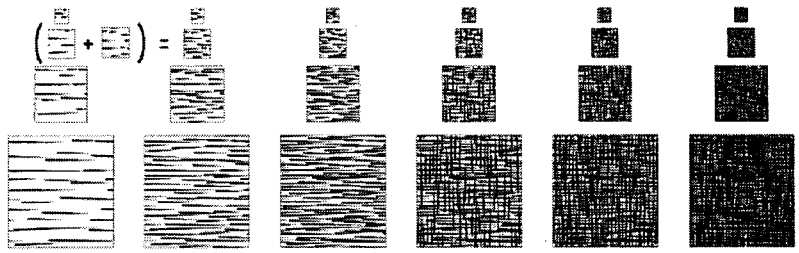


그림 19. Tonal Art Map

그림 20. Jennifer의 펜화 텍스쳐 생성

그림 21. Jennifer의 결과

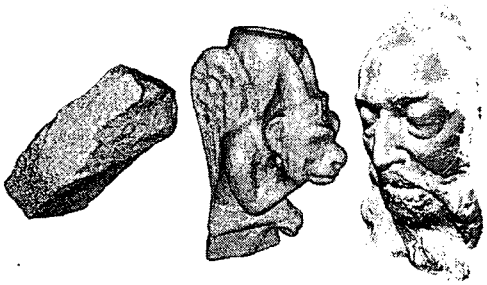


그림 22. Precise drawing 결과

Jennifer[8]는 Emil의 결과에서 물체의 텍스처 사용을 가능하게 하기 위해서 2차원 영상을 입력으로 사용하여 펜화 표현과 해칭을 추가한 텍스쳐 맵을 생성하였다.

Sousa[9]는 좋은 인터랙티브한 속도를 보장하면서 물체의 세부적인 특징을 잘 표현할 수 있는 Precise drawing[그림23]을 제안하였다. 하지만 이 방법은 3차원 스캔 데이터와 같은 아주 정교한 모델에 대해서만 좋은 결과를 얻을 수 있다.

2.3.2 카툰(Cartoon)

카툰 렌더링은 만화와 같은 결과 영상을 얻는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 3차원 모델을 만화적으로 표현하는 것 외에도, 애니메이터에게 자동 혹은 반자동 툴을 제공하여 만화적 영상이나 애니메이션을 만들어 내는 연구들이 수행되고 있다. 카툰 쉐이딩 기법은 국소 반사모델에 의하여 렌더링의 상세성을 극도로 단순화함으로써 얻어질 수 있다[10]. 빛을 받는 부분과 받지 않는 부분이 경계선으로 뚜렷이 구분되는 하드 쉐이딩 기법의 텍스쳐 매핑은 실시간 카툰 표현이 가능하도록 하였다[11][그림23]. 이 연구에서는 카툰 렌더링에서 중요하게 다루는 실루엣 에지를 실시간에 찾아내는 알고리즘과 자연스러운 표현 방법을 소개한다.

카툰 효과는 기법이 간단하면서도 다양한 효과를 생성할 수 있기 때문에 활용성이 높은 기술이다. NPAR2006에 발표된 X-Toon Shader[31]는 텍스처 기반의 간단한 알고리즘으로 확장성 있는 카툰 쉐이더 개발과 이를 관리하는 방법에 관하여 설명하고 있다.

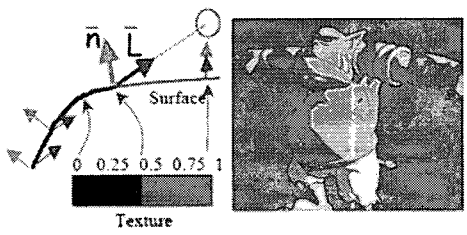


그림 23. 반사 모델과 텍스처를 이용한 카툰 표현

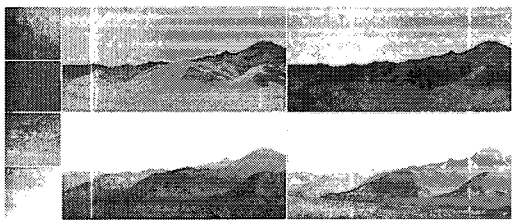


그림 24. X Toon Shader를 활용한 카툰 스타일 표현

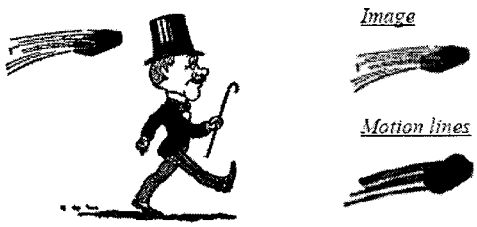


그림 25. 만화에서의 모션 라인 표현

또한, 카툰 쉐이딩 기술뿐만 아니라 만화에서 나타나는 빠른 움직임을 보여주기 위한 모션 라인을 그리는 기법에 관한 표현 기술에 관한 연구도 진행되고 있다[그림25]. 손으로 그려서 표현하기 복잡하거나 단조로움을 반복해야 하는 효과를 애니메이션에서 컨트롤 할 수 있는 방법을 제공할 수 있다. 셀 애니메이션에서 반복적으로 손으로 그리는 그림자 효과를 손으로 그려진 캐릭터에 기초하여 그림자를 생성해 내는 방법이 소개되었다[12]. 이는 캐릭터에 3D 모습으로 부풀리기(inflating) 방법을 적용함으로써 얻어진다.

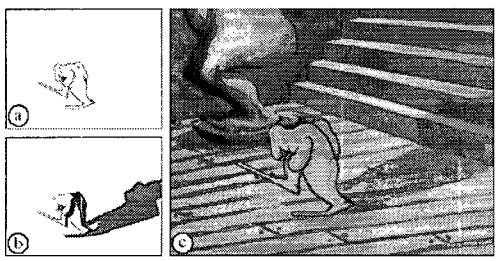


그림 26. 손으로 그린 캐릭터(a), 그림자 생성(b), 결과 영상(c)

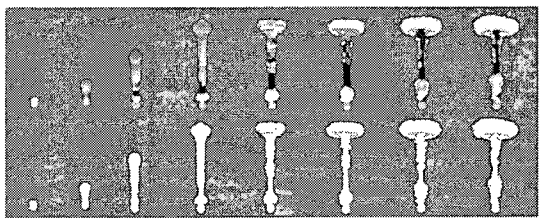


그림 27. 카툰효과의 연기 애니메이션

유체와 같은 물리적인 시뮬레이션은 손으로 애니메이션 작업을 하기 복잡하다. 연기의 물리적인 시뮬레이션에 만화적 테크닉을 결합함으로써 만화화된 연기 애니메이션을 만들어 낼 수 있다[13]. 이는 표준적인 유체 시뮬레이션에 단색의 블록과 깊이와 모양을 강조하는 실루엣을 그려줌으로써 연기 애니메이션을 생성한다.

실사의 비디오를 단순화되고 시공간적으로 일관성을 유지하는 만화적 애니메이션으로 변환하는 비디오 투닝 시스템이 소개되었다[14]. 이 연구에서는 비디오를 이미지 데이터의 볼륨으로 다룸으로써 의미 있는 영역을 반자동으로 로토스코핑하는 기능을 제공한다.

2.3.3 회화적 렌더링(Painterly Rendering)

회화적 렌더링에서는 유화와 같은 결과 영상을 만들기 위한 일반적인 방법으로 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[그림28].

그림 28. 사용자 입력 스트로크를 이용한 표현

그림 29. 스트로크 크기, 모양 변화

또한 스트로크의 색, 크기, 모양 등의 속성을 변화시킴으로써 다양한 결과 영상을 얻어낼 수 있었다[그림29].

실제 작품에서 화가들의 브러시 스트로크를 살펴보면 그 브러시 스트로크의 크기가 일정하지 않은 것을 알 수 있다. 또한 브러시 스트로크의 모양도 직선이 아니라 곡선의 형태를 가진다. 이러한 실제 미술 작품의 특성을 반영하기 위하여 다양한 크기의 브러시로 곡선 브러시를 생성하기 위한 연구[15]가 수행되었다. 이 연구에서는 브러시의 크기에 따라 레이어(layer)를 나누어 각 레이어 마다 브러시의 크기를 할당하여 스트로크를 그리고 이를 적층하여 결과 영상을 생성한다[그림30]. 각 레이어의 브러시 스트로크는 같은 색을 가지는 점을 컨트롤 포인트(control point)로 하여 곡선을 이룬다. 컨트롤 포인트를 찾는 과정은 스트로크가 시작되는 지점에서의 그레디언트의 수직인 방향으로 일정한 거리만큼 떨어진 곳을 찾고 그 위치의 색이 스트로크가 시작된 위치의 색과 같은 경우 다시 그레디언트의 수직인 방향을 구하여 이동한다. 이동한 위치의 색이 스트로크가 시작된 위치의 색과 다른 경우에는 스트로크를 그 위치에서 끝내는 방식으로 처리된다. 회화적 렌더링 결과는 최종으로 생성되는 영상의 분위기에 따라 다른 효과를 얻을 수도 있다[그림31].

James Hays[16]는 회화적 애니메이션을 생성하기 위해 비디오를 입력으로 하여 서로 다른 형태의 느낌을 표현하는 회화적 렌더링을 수행하였다.

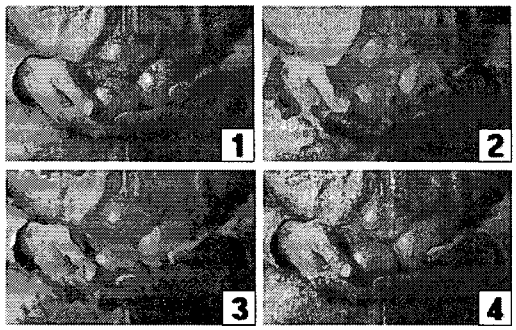


그림 30. 입력(1), 중간결과(2)(3), 최종영상(4)

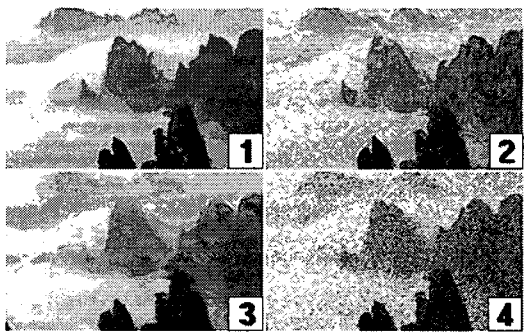


그림 31. 인상주의(1), 표현주의(2) 수채(3), 점묘(4)

그림 32. 비디오 기반 회화적 렌더링/애니메이션

비사실적 애니메이션 생성을 위해서는 각 프레임 간의 스트로크들의 일관성 유지가 가장 중요한데, 이 연구에서는 각 스트로크들의 시간적 일관성을 보장함으로써 자연스러운 애니메이션을 생성하였다.

2.3.4 수묵화

비사실적 렌더링 분야에서 서양화 기법에 대해서는 다양한 연구가 있었지만, 상대적으로 동양화

(수묵화) 기법에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 한국, 중국, 일본 등의 아시아 국가들을 중심으로 소수의 연구가 이루어지고 있다. 기존의 연구들은 사용자가 수묵화 스타일로 그림을 그릴 수 있는 저작도구를 개발하는 것과 3차원 모델을 수묵화 스타일로 렌더링하는 기법을 개발하는 것으로 나눌 수 있다. 저작도구는 사군자 중에서 주로 종이와 붓의 효과를 모델링하고 시뮬레이션하는 것으로, 일본 Aizu 대학, 타이완의 Chiao Tung 대학, 홍콩의 HKUST 등에서 연구한 결과가 있다. 이것은 붓을 3차원으로 모델링하여 좋은 효과를 내었지만, 붓을 굴리는 등의 다양한 필법을 지원하지 않고 기존의 종이 모델은 번짐 효과를 효과적으로 표현한다. 하지만 이러한 기법은 시뮬레이션 기반으로 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 특히 Nishita는 붓의 괴적을 Bezier 곡선을 이용하여 표현하여 결과가 매우 부드럽다는 장점이 있으나 컨트롤 포인트의 증가로 인해 계산 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

최근에는 수묵화의 각 구성 요소를 분석하고 그에 맞는 시뮬레이션 알고리즘을 제시하고 이를 기반으로 3차원 붓, 먹, 그리고 종이에 대한 드로잉 시스템을 구현한 연구 결과가 있으며, 수묵화의 먹의 효과를 번짐 모델을 이용하여 시뮬레이션[17]한 연구 사례도 있다. 하지만 시뮬레이션 기반으로 속도가 느리다. 수묵화 스타일 렌더링은 3차원 모델의 특성을 분석하여 수묵화 스타일의 영상을 생성하는 것으로, Strassmann은 수묵화 스타

그림 33. 모델링된 붓으로 쓴 글씨

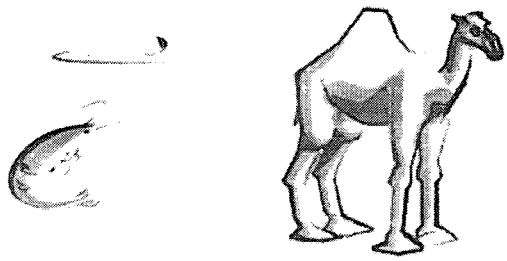


그림 34. 수묵화 렌더링

일을 비사실적 렌더링으로 구현한 최초의 연구결과를 발표하였다. 이것은 일본의 전통적인 수묵화 스타일인 sumie 기법을 재현하였다. 그 후 타이완 대학의 연구가 있으며, 이 연구에서는 물체의 범위를 동물로 제한하여 단순한 스트로크와 내부 쉐이딩을 사용한다.

2.3.5 수채화(Watercolor)

수채화는 물감을 물에 풀어서 그린 그림으로 물을 적게 쓰면 붓질의 경계면이 그대로 살아 있는 효과를 낼 수 있어 세밀한 묘사가 가능하다. 반면 물을 많이 쓰면 부드러운 색감을 낼 수 있고 붓질의 경계선도 흐릿해지게 할 수 있다. 따라서 수채화는 물의 양에 따라 다양한 표현이 가능하다. 수채화 효과를 나타내기 위한 방법으로 수채 물감과 종이, 물의 흐름을 물리적인 방법으로 접근한 연구가 수행되었다[18]. [그림35]는 물감 안료가 물과 섞여서 종이에 착색되는 과정을 나타낸다. [그림36]는 물의 양의 변화와 서로 다른 붓의 터치 방식 그리고 다른 색상의 물감을 덧칠했을 때를 시뮬레이션 결과와 이를 이용한 결과 영상을 보여준다.

Eugene[19]는 실시간으로 수채화 효과를 내는 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 수채화 효과를 [18]에서 몇 가지 특징으로 정의하고, 이 특징을 하드웨어 픽셀 쉐이더를 이용하여 처리함으로써 실시간 렌더링이 가능하게 하였다. Sobel 필터로

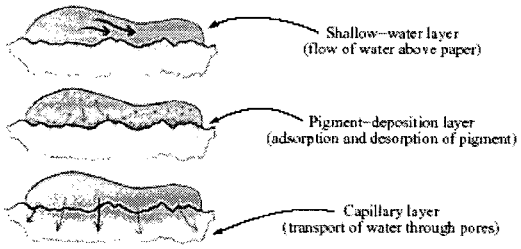


그림 35. 물감안료가 종이에 착색되는 과정

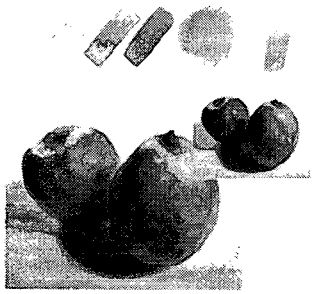


그림 36. 수채화 효과(상), 결과 영상(하)

에지를 찾아 Sobel 맵을 이용하여 에지를 적절하게 어둡게 하고 버텍스 쉐이더와 프래그먼트(fragment) 쉐이더를 사용하여 3차원 모델의 수채화 영상을 생성한다[그림37].

2.3.6 모자이크(Mosaic)

모자이크는 작은 이미지를 조합해서 큰 이미지를 만들어내는 방법으로 성당의 벽면과 같이 장식 모자이크를 만들어 내는 시뮬레이션에 관한 연구가 수행되었다[20]. 주어진 영상과 사용자에 의해서 주어진 경계 특성을 기반으로 영상의 색깔을 결정하고 경계를 따라 타일을 배치함으로써[그림38]과 같은 일정한 모양의 타일을 가지고 주어진 경계를 강조하는 이미지를 만들어낸다. 사각형의 타일 모양 대신 색종이 모자이크의 효과를 낼 수도 있다[21]. 색종이를 표현하기 위하여 Perlin의 노이즈 함수를 이용하여 종이의 질감을 생성하고 2겹의 레이어를 구성하여 종이가 찢어졌을 때의 자연스러운 느낌을 생성하였다.

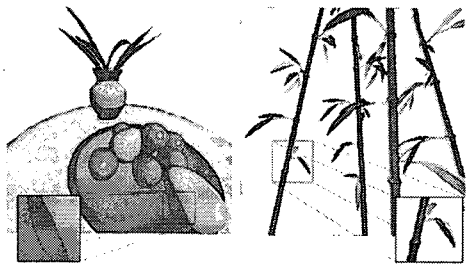


그림 37. 실시간 수채화 표현

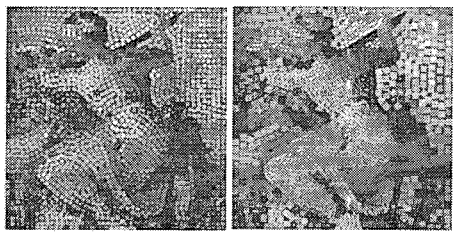


그림 38. 같은 크기 타일(좌), 3종류 타일 크기(우)

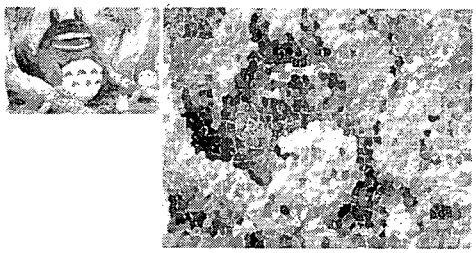


그림 39. 입력영상(좌), 색종이 모자이크(우)

다수의 영상 타일을 입력으로 사용하는 Jigsaw Image Mosaic 방법이 제안[22]되기도 하였는데 주어진 임의의 모양의 컨테이너 영상과 임의의 모양의 여러 타일들이 주어졌을 때 타일 영상을 이어 붙여 컨테이너 이미지와 비슷한 모양의 영상을 생성한다. 이 때 컨테이너는 최대한 채워지고 원래의 색깔을 최대한 비슷하게 유지하도록 타일 영상을 변형할 수도 있다. 타일의 구성에 관한 문제는 모자이크의 에너지 함수로부터 결정된다[그림40]. 이와 유사한 아이디어를 가지고 비디오를 기반으로 작은 비디오들을 모자이크하여 통일성 있는 모자이크를 생성하는 연구도 있었다[23].

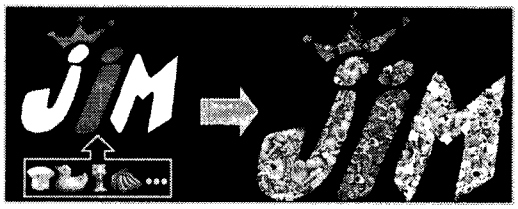


그림 40. 컨테이너와 타일들(좌), 결과영상(우)

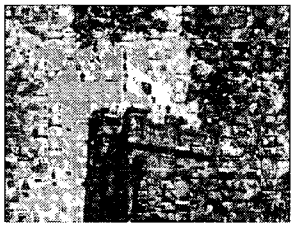


그림 41. 비디오 모자이크

2.3.7 기술적 일러스트레이션

기술적 일러스트레이션은 다른 NPR 분야에 비해서 정보 전달을 주요한 목적으로 한다는 특징이 있다. 이러한 기술적 일러스트레이션은 기기의 사용 설명서(예: 기계부품[그림42][그림43])나 교육용 교재 혹은 백과사전에 쓰이는 영상들이다. 대체로 사진에 비하여 예술적 정보 보다는 기하학적 정보가 더 중요하게 표현된다. 기술적 일러스트레이션에서 에지는 전달하고자 하는 정보에 따라 다르게 표현되는데, 주로 전달하고자 하는 목적을 가지는 에지를 강하게 표현한다. 쉐이딩 방법으로는 기존의 퐁 쉐이딩 같은 방법을 쓰기 보다는 재질감을 드러낼 수 있는 쉐이딩 기법을 사용한다. 예를 들어 금속 물체를 표현하는 경우 금속성 물체의 특유의 비등방성(anisotropic)이 표현되도록 한다. 이러한 쉐이딩 기법을 메탈릭 쉐이딩(metalic shading)이라고 하는데, 금속의 표면에서 난반사되는 빛의 세기가 고르지 않은 특성을 반영한 것이다[그림42]. 또한 인간이 인지하는 감정에 따라 차가운 느낌의 색과 따듯한 느낌의 색을 쉐이딩에 반영할 수 있다[24].

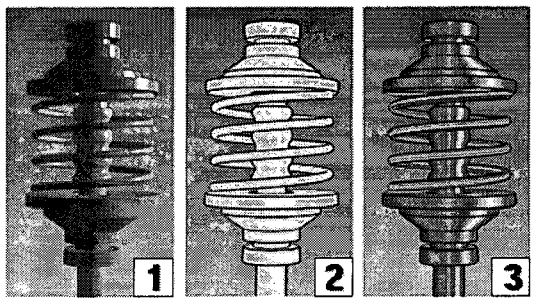


그림 42. 퐁쉐이딩(1) 에지(2) 에지/메탈릭쉐이딩(3)

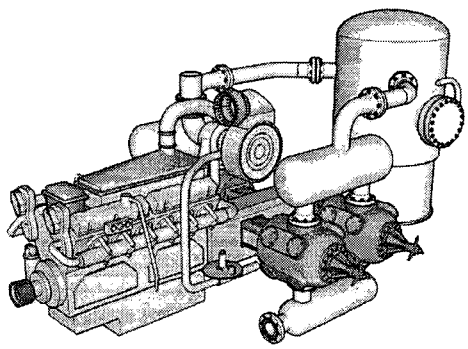


그림 43. 기계부품의 일러스트레이션

3. 응용 및 상용화

지금까지 주요한 NPR 기술의 개념과 연구 결과들을 살펴보았다. 여기서 다룰 NPR 응용 및 상용화는 지금까지 설명한 각 연구 분야와 관련된 툴이나 플러그인 제품들을 설명한다. 그리고 상업적으로 현재 어떻게 활용 되고 있는지 살펴본다.

3.1. 응용 분야

NPR 기술은 애니메이션, 광고, 게임 등의 디지털 콘텐츠 제작에 가장 활발하게 활용되고 있다. 특히, 국내에서는 드라마의 타이틀 화면이나 게임(마비노기), 광고(삼성 SDI, 삼성 애니콜, 참존화장품, LG싸이언, 대우칼로스, 쵸코파이, 조흥은행, 스포티지) 등의 제작에 활용된 사례가 있다.

그림 44. 카툰 렌더링을 이용한 애니메이션/게임 제작

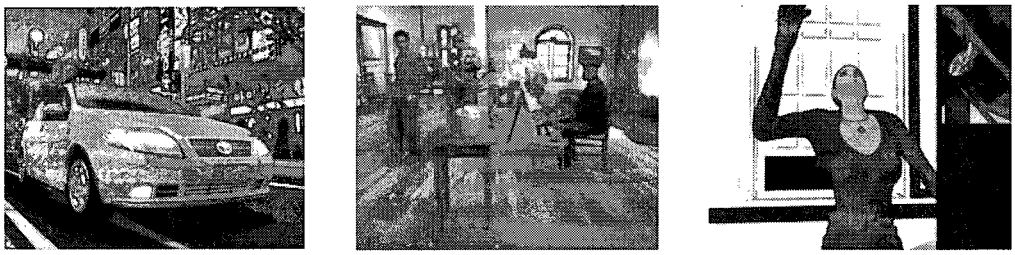


그림 45. 광고분야에서의 활용(대우 칼로스(좌), LG싸이언(중), 삼성 애니콜(우))

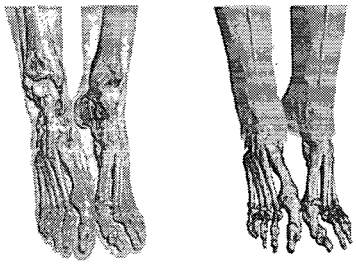


그림 46. 의료분야에서의 활용

그림 47. 수묵화 스타일의 게임

3.2. 상용 제품

NPR 기술을 이용한 상용 제품은 아직 만족할 만한 수준은 아니며 주로 2차원 영상의 필터링 처리가 대부분이다. 3차원 모델의 처리를 위해서는 Maya, Max와 같은 상용 툴에서 사용 가능한 플러그인이 공개되어 있다. Informatix Software의 Piranesi[25]나 @Last Software의 SketchUp[26]은 3차원 모델에 대한 페인팅 기능을 제공한다. 최근 Maya7.0에 추가된 Toon[30][그림50] 기능은 기본적인 카툰 스타일의 쉐이딩과 더불어 3차원 모델의 외곽선 추출하고 기존의 마야의 기능인 페인트 이펙트를 추출된 라인 모델에 대한 브러쉬 스타일로써 활용할 수 있도록 하고 있다.

플러그-인의 형태로는 주로 카툰 렌더링 기능을 제공하는 제품들이 가능 많이 사용되고 있다. Tomcat Cartoon Shader[27][그림51]는 Maya 6.0에서 사용할 수 있으며 스트로크 렌더링, 실루엣 표현, 카툰 렌더링 효과를 생성할 수 있다. 3D Max에서 사용할 수 있는 FinalToon[28][그림52]은 TLR(true line renderer)을 제공하고 다양한 스타일의 렌더링이 가능하며, 속도가 빠르다. FinalRender[29][그림53]는 원래는 사실적 영상의 렌더링을 위해서 사용되는 렌더러 이지만 동시에 수묵화 스타일의 렌더링 기능을 제공한다.

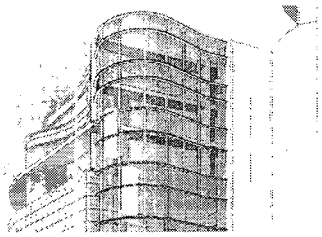


그림 48. Piranesi

그림 49. SketchUp

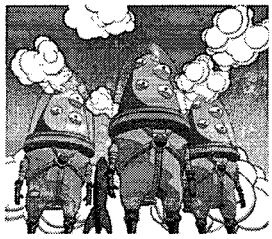


그림 50. Maya 7.0의 Toon

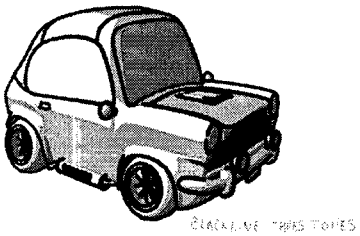


그림 51. Tomcat Cartoon Shader

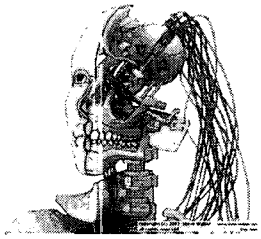


그림 52. FinalToon

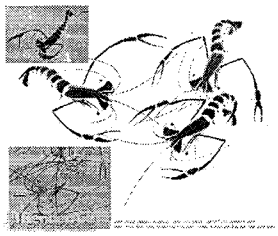


그림 53. FinalRender

4. 맺음말

지금까지 비사실적 렌더링 기술의 개요와 발전에 대해서 알아보고, 주요 기술에 대하여 설명 하였다. 1990년대 들어서 활발히 연구되기 시작한 비사실적 렌더링 분야는 짧은 기간 동안 주목할 만한 연구 결과물들이 발표되었고 현재에는 다양한 분야에서 활용에 대한 요구가 증가하고 있다. NPR 기술의 프레임웍을 구성하는 영상/모델의 특징 추출 및 방향 필드 생성 기술과 각 세부 분야별 스트로크 생성 기술은 NPR 기술 개발을 위한 가장 기본적인 요소인 동시에 아직 해결해야 할 과제들이 많이 남아 있다. 최근에는 자연스러운 애니메이션 생성을 위한 프레임 간 스트로크의 일관성 유지 기술과 실시간 렌더링에 관한 연구가 활발하다. 이러한 추세는 개발 기술이 산업 분야에 활용되고 시장을 형성해 나가는 단계에서 필수적인 사항이라 할 수 있을 것이다. 또한, 개개인의 생김새가 다르듯, 인간은 서로 다른 미적 감각과 기호를 가지고 있다. 이렇게 다양한 개개인의 기호는 NPR 기술의 객관적인 평가를 어렵게 만드는 요소이기도 하지만 동시에 NPR 기술의 개발을 자극하는 촉매가 된다. 따라서, NPR 분야는 표현의 다양성 측면에서뿐만 아니라 기술적인 면에서도 그 범주를 점점 확대해 갈 것으로 예상된다.

NPR 기술은 특성 상 전통적인 아트 분야나 그래픽 디자인 분야에서 활동하는 사람들과 기술 개발자들과의 적극적인 의견 교류와 요구사항을 반영해야 한다. 동시에 지금까지 국내에서 개별적, 산발적으로 연구되어온 결과들을 충분히 활용하고 이를 위한 다양한 콘텐츠 개발에도 관심을 기울여야 할 것이다. 이를 위해서는 사용하기 편하고 다양한 기법을 제공하는 NPR 저작도구가 개발되어야 한다. 해외에서도 Piranesi나 SketchUp과 같은 상용 제품 이외에는 주목할 만한 NPR 저작도구가 없는 것이 현실이다. 주로 Maya나 3D Max에서 사용할 수 있는 플러그-인이 인-하우스 프로그램으로 사용되고 있을 뿐이다.

한국전자통신연구원(ETRI) 디지털콘텐츠연구단에서는 II장에서 설명한 기술 동향 분석을

바탕으로 NPR 저작도구 개발을 위한 연구 개발 과제("비사실적 애니메이션 기술 개발", 2005~2007)를 수행하고 있다. 주요 개발 기술로는 펜화, 카툰, 수묵화, 회화 분야이며 콘텐츠 개발에 사용하기 위한 NPR 저작도구와 상용 툴을 지원하기 위한 플러그-인 및 쉐이더 개발 그리고 기술의 상용화와 기술의 품질 검증을 위한 콘텐츠 제작을 목표로 한다. 본 과제는 국내에서도 점차 NPR 기술에 대한 관심의 증가로 대학 연구소를 중심으로 개별적이고 소규모로 연구되어 오던 기술을 체계화하고 산업 각 분야에서 직접 활용할 수 있는 기술을 개발하는데 기여할 것이다.

참 고 문 헌

[1] SIGGRAPH 99 Course Note 17, Aug. 1999.

[2] SIGGRAPH 03 Course Note 10, Aug. 2003.

[3] Peter Litwinowicz, Processing Images and Video for An Impressionist Effect, Proceedings of SIGGRAPH, pp.151-158, 1997.

[4] Doug Decarlo, Adam Finkelstein, Szymon Rusinkiewicz, Interactive Rendering of Suggestive Contours with Temporal Coherence, NPAR, 2004.

[5] Georges Winkenbach, David H. Salesin, Computer Generated Pen-and-Ink Illustration, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 91-100, 1994.

[6] Michael P. Salisbury, Michael T. Wong, John F. Hughes, David A. Salesin, Orientable Textures for Image-Based Pen-And-Ink Illustration, SIGGRAPH, pp.401-406, 1997.

[7] Emil Praun, Hugues Hoppe, Matthew Webb, Adam Finkelstein, Real-Time Hatching, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 579-584, 2001.

[8] Jennifer Fung, Oleg Veryovka, Pen and Ink textures for real-time rendering, Graphics Interface 2003.

[9] Mario Costa Sousa, Kevin Foster, Brian Wyvill, Faramarz Samavati, Precise Ink Drawing of 3D Models, EUROGRAPHICS 2003.

[10] Amy Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirly, Elaine Cohen. A Non-Photorealistic Lighting Model For Automatic Technical Illustration, pp. 447-452, Proceedings of SIGGRAPH, 1998.

[11] Adam Lake, Carl Marshall, Mark Harris, Marc Blackstein, Stylized Rendering Techniques For Scalable Real-Time 3D Animation, NPAR, pp.13-20, 2000.

[12] Lena Petrovic, Brian Fujito, Lance Williams, Adam Finkelstein. Shadows for cel animation, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 511-516, 2000.

[13] Andrew Selle, Alex Mohr, Stephen Chenney. Cartoon Rendering of Smoke Animations, Non-Photorealistic Animation and Rendering 2004 (NPAR '04) , Annecy, France, pp.57-60. June 7-9, 2004.

[14] Jue Wang, Yingqing Xu, Heung-Yeung Shum, Michael F. Cohen, Video Tooning, Proceedings of SIGGRAPH, pp.574-583, 2004.

[15] Aaron Hertzmann. Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes. Proceedings of SIGGRAPH, pp.453-460, 1998.

[16] James Hays, Irfan Essa, Image and Video Based Painterly Animation, NPAR, 2004.

[17] Young Jung Yu, Do Hoon Lee, Interactive rendering technique for realistic oriental painting, WSCG, 2003.

[18] Cassidy J. Curtis, Sean E. Anderson, Joshua E. Sems, Kurt W. Fleischer, David H. Salesin, Computer-Generated Watercolor, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 421-430, 1997.

[19] Eugene Lei and Chun-Fa Chang, Real-Time Rendering of Watercolor Effects for Virtual Environments, Lecture Notes in Computer Science 2004, Vol.3333/2004

[20] Hausner, A. Simulating Decorative Mosaics, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 573-580, 2001.

[21] S.H. Seo, Y.S. Park, S.Y. Kim, K.H. Yoon,

Colored Paper Mosaic Rendering, Proceedings of SIGGRAPH, Sketch and Application, pp. 15, 2001.

[22] Junhwan Kim and Fabio Pellacini. Jigsaw Image Mosaics, Proceedings of SIGGRAPH, pp. 657-664, 2002.

[23] Allison W. Klein, Tyler Grant, Adam Finkelstein, Michael F. Cohen, Video Mosaics, NPAR, 2002.

[24] A. Gooch, B. Gooch, P. Shirley, and E. Cohen, A NonPhotorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration, Proceedings of SIGGRAPH, 1998.

[25] http://www.informatix.co.uk/

[26] http://www.sketchup.com/

[27] http://www.toonshade.com

[28] http://www.finaltoon.com

[29] http://www.finalrender.com

[30] http://www.alias.com/eng/products-services/maya/new/visual_effects.shtml

[31] Pascal Barla, Joelle Thollot, Lee Markosian, X-Toon: An Extended Toon Shader, NPAR06, 2006.

김 성 예

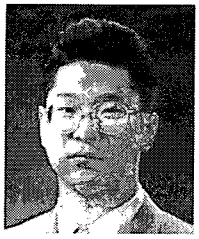
• 1998 중앙대학교 컴퓨터공학과(학사)
• 2000 중앙대학교 컴퓨터공학과(석사)
• 2000/9~현재 한국전자통신연구원, 디지털콘텐츠연구단, CG기반기술연구팀
• 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 비사실적 렌더링, 전역조명 모델링, 실시간 렌더링
• E-mail : inside@etri.re.kr

김 희 정

• 2000 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
• 2002 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)
• 2002~2005/4 보안솔루션 개발
• 2005/5~현재 한국전자통신연구원, 디지털콘텐츠연구단, CG기반기술연구팀
• 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 게임 프로그래밍, 비사실적렌더링, 실시간 렌더링
• E-mail : ctcamel@etri.re.kr

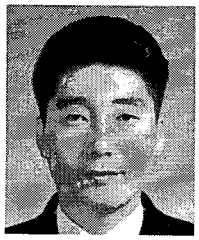
김 보 연

• 2001 동서대학교 컴퓨터공학과(학사)
• 2004 경북대학교 컴퓨터공학과(석사)
• 2004~현재 한국전자통신연구원, 디지털콘텐츠연구단, CG기반기술연구팀
• 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터비젼, 비사실적 렌더링
• E-mail : bykim@etri.re.kr



이 지 형

- 1994 고려대학교 전산과학과(학사)
- 1996 고려대학교 전산과학과(석사)
- 1996 데이콤
- 1997~현재 한국전자통신연구원, 디지털콘텐츠 연구단, CG기반기술연구팀
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터애니메이션, 비사실적 렌더링, 가상현실, 영상처리
- Email : ijihyung@etri.re.kr



구 본 기

- 1995 경북대학교 전자공학과(학사)
- 1997 경북대학교 전자공학과(석사)
- 2004 경북대학교 전자공학과(박사)
- 1996~현재 한국전자통신연구원, 디지털콘텐츠 연구단, CG기반기술연구팀(팀장)
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터비젼, 비사실적 렌더링, 유체 시뮬레이션, 3차원 복원
- E-mail : bkkoo@etri.re.kr