
세분화 단계(LOD)를 적용한 카툰렌더링

Cartoon Rendering with Level-of-Detail

박정현*, 류승택**, 박진완*
중앙대학교 첨단영상대학원*, 한신대학교 소프트웨어학과**

Jung-Hyun Park(parjun99@nate.com)*, Seung-Teak Ryoo(stryoo@hs.ac.kr)**,
Jin-Wan Park(jinpark@cau.ac.kr)*

요약

비사실적 렌더링은 인간 친화적인 영상을 생성하기 위해 사람이 손으로 그린 듯한 느낌의 영상 생성을 목적으로 하는 연구 분야이다. 그 중 카툰렌더링은 인간이 사물을 인식할 때 가장 기본적이고 직관적인 표현의 수단인 외곽과 선을 이용해 사물을 표현하는 기술이다. 이때 카툰 렌더링은 사람의 인지를 돕기 위해, 즉 의미 전달의 효율을 높이기 위한 수단으로 단순화 기법을 사용한다. 이러한 카툰 효과를 위해 원 사물을 작가의 의도에 맞게 외부 표면과 외곽선의 색과 형태를 단순화 또는 생략 시키는 과정이 필요하다. 이렇듯 단순화와 생략이 생명인 카툰 렌더링의 기본 원칙은, 모델링에서, 특히 게임에서 적극적으로 사용하고 있는 Level of Detail(LOD) 기법과 일맥상통하는 공통점을 가지고 있다. 본 연구는 DirectX의 Shader 프로그램을 이용한 GPU기반의 카툰렌더링 효과를 LOD를 통하여 외형에도 적용한 카툰 효과를 표현 한다.

■ 중심어 : | 카툰 | 비사실적렌더링 | 세분화 단계 |

Abstract

NPR is the area of research which does the image creation of the impression where the hazard person who creates made a human intimate image by the hand in objective. NPR in Cartoon-Rendering when the human being recognizes a thing, it is a technique which expresses a thing to use an appearance and the line which are a means of basic and intuitional expression. Also Cartoon the person probably is, the hazard which helps, raises the efficiency of namely meaning delivery and a simplification technique with the means for it uses. Is like this cartoon basic rules where the simplification and omission are life, from modeling, the low of LOD technique which it is using specially actively from game and one pulse communication is having a common point. The research which it sees Cartoon effects of GPU bases which use DirectX Shader programs LOD it leads and it applies the method for about under presenting it expresses Cartoon effects in exterior.

■ keyword : | Cartoon | Non-Photorealistic Rendering(NPR) | Level Of Detail(LOD) |

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2005-000-10940-0(2007))의 지원으로 수행되었습니다.

I. 서론

카툰 렌더링은 만화적인 영상을 만드는 기법이다. 카툰화법은 단순화를 통한 전달 효과 확대의 한 형식으로 정의 한다[1]. 카툰화법을 통해서 형상을 추상화 하는 것은 단순히 세부묘사를 없애는 것이 아닌 인지에 방해가 되는 불필요한 부분을 지워 나가는 것이다. 작가의 의도에 의해 그림의 핵심 부분만이 남았을 때 사실적 묘사기법을 통해 전달할 수 없는 명확성과 상징성에 도달할 수 있다. 이와 같이 인물들과 형상의 단순화는 선명한 주제의 부각이라는 특징 때문에 이야기 서술에 있어서 효과적인 도구가 된다[2]. 이러한 적절한 단순화를 통하면 의미 전달의 확장을 할 수 있다. 이에 본 논문은 카툰의 중요 개념인 선택적 생략에 의한 단순화를 원리상 일맥상통하는 세분화 단계(LOD : Level-of-Detail) 기술을 활용하여 재현하고자 한다. 면의 채색의 단순화와 함께 외형의 단순화를 통해 만화에서 주는 의미 확장의 개념을 적용하고자 한다.

II. 관련연구

본 논문의 카툰 렌더링과 LOD 기술은 다음과 같은 선행 연구들이 진행 되었다. 카툰 렌더링에서는 셰이딩 기법과 윤곽선 추출 기법을 중심으로 연구가 진행되었으며, LOD 연구 분야에서는 시스템 렌더링 속도의 최적화를 추구하기 위한 알고리즘 구현으로 이루어 졌다.

블린(J. F. Blinn)은 처음으로 주름진 표면을 시뮬레이션 하는 방법으로 3D 카툰 렌더링 기법이 제시하였다[3]. 주로 객체의 외곽선 검출, 객체의 표면 셰이딩, 하이라이트[4], 그림자[5] 등의 영역에서 이루어지고 있다. 물리적인 시뮬레이션에 만화적 테크닉을 결합한 연구도 진행되었다[6]. 외곽선에 관한 연구는 3차원 모델을 실시간으로 렌더링 하여 보이는 면과 에지를 결정하기 위해 아펠(Appel)의 은면 제거 알고리즘[7]이 있으며, 3차원 조명 모델을 이용하여 기술적인 일러스트레이션 방법이 연구되었다[8]. 또한 깊이 버퍼와 법선 버퍼를 이용하여 실루엣 에지를 추출하고, 그림자 효과를 위해 빛의 음영을 나타내어 표현하는 연구도 진행 되었

다[9].

LOD의 기술은 렌더링 속도와 물체의 세분화 사이의 최적화를 찾는 것이다. 선행 연구로는 거대 모델을 메시의 단순화 전 처리를 통해 LOD 값에 따라 최적의 정보를 렌더링 하는 연구가 진행 되었다[10]. 그리고 직접 메시지를 만들지 않고 세분화의 정도의 정보를 계수로 가지고 있어서 단계 값에 따라 계수를 적용하여 세분화를 적용하며[11], 직접 메시지를 변화 시키지 않고 텍스처의 세분화를 이용하여 물체를 단순화 하는 연구도 진행 되었다[12]. 기본 메시 생성모듈에 의하여 얻어진 기본 메시지를 근간으로 이웃하는 삼각형의 상태를 계산하면서 사용자가 지정한 세분화 횟수만큼 메시지를 소거하면서 정규화 작업을 반복 수행하는 방법도 있다[13].

이미 비사실적 렌더링의 효과에 좀 더 세밀한 표현을 하기위해, 기존 선행되어진 기술을 응용한 연구도 진행 되었으며[14], 다양한 비사실적 기법을 혼합하여 새로운 효과를 창출하는 연구도 진행되어졌다[15].

III. LOD 카툰 렌더링

비사실적 렌더링(NPR : Non-Photorealistic Rendering) 연구 분야에서는 대표 적으로 펜 & 잉크, 카툰, 회화적, 수묵화, 수채화, 모자이크, 기술적 일러스트레이션의 장르로 나눌 수 있다[16]. 본 연구에서 진행되는 연구는 LOD가 적용된 물체를 GPU(Graphics Processing Unit)기반 카툰 렌더링 효과를 제시한다. GPU 프로그래밍에 쓰이는 언어는 DirectX의 Shader이며 GPU를 이용하여 연산을 처리한다.

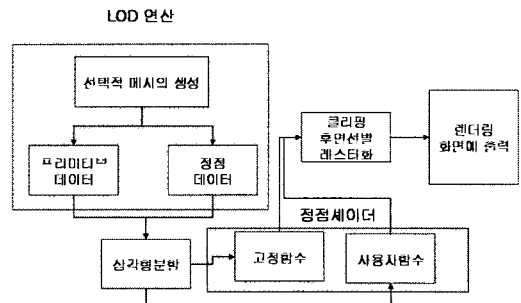


그림 1. 제안된 그래픽 파이프라인

[그림1]은 제안된 DirectX의 렌더링 파이프라인을 도식화 한 것이다. 우선 초기 기준이 되는 X파일을 이용하여 메시를 생성하여 메시 중심점과 카메라 사이의 거리를 측정하여 LOD 단계의 값에 따라 미리 정의되어진 메시를 선택하여 정점의 정보와 위치를 가지고 정점 삼각형화를 거쳐 정점 셰이더의 렌더링 파이프라인에서 지정된 고정 함수와 사용자 함수를 통해 정점에 대한 위치, 정점과 면의 노말 값과 사용 되어질 음영 텍스처의 위치 정보와 실루엣 에지의 판별 여부를 거쳐 선택 되어진 에지의 두께를 지정하여 클리핑, 후면 선발과 레스터화를 거쳐 최종적인 영상을 만들어 낸다.

본 연구에서는 CPU연산을 통하여 LOD 적용 메시를 생성한 후에 전 처리 과정을 거쳐 미리 생성해 두었던 메시를 DirectX의 Shader 언어의 연산과정을 거쳐 실시간으로 LOD 단계 값에 따른 선택적 메시를 카툰 형식의 표현으로 렌더링 하는 시스템이다.

1. 카툰 렌더링

카툰 렌더링은 만화 같은 결과 영상을 얻기 위한 기법이다. 현재 애니메이터에게 자동 혹은 반자동 툴을 제공하여 만화적 영상이나 애니메이션을 만들어 내는 연구들이 수행되고 있다[4]. 1999년 제작된 '워너 브라더스'社의 '아이언 자이언트(The Iron Giant, 1999)'라는 영화에는 컴퓨터상에서 로봇 메카닉을 카툰 셰이더를 이용한 카툰 렌더링 기법으로 제작하여 셀 애니메이션으로 제작된 인물과의 자연스러운 접목을 시도하였다[17]. 또한 일본의 '지브리'社의 경우에도 '원령공주'라는 애니메이션을 기점으로 본격적인 카툰 렌더링 기법을 애니메이션 안에서 사용하기 시작했고, '하울의 움직이는 성'등 다양한 애니메이션에 적용하여 제작한 사례가 있다[18].

이 기법은 반사모델에 의하여 렌더링의 상세 성을 극도로 단순화함으로써 얻어지는 영상이다[19]. 만화적 영상은 분명한 외곽선과 단순화된 면 표현으로 전형을 이루는 특성을 가지고 있다[17]. 면의 단순화는 하드 셰이딩 기법을 이용하여 실시간으로 표현이 가능하며, 중요한 실루엣 에지를 찾아내는 알고리즘은 크게 이미지 공간, 객체 공간과 혼합 방식이 있다[18]. 이미지 공간

알고리즘은 3차원 모델의 깊이 정보와 법선 정보를 이용하여 렌더링 한 후에 생성된 영상을 이용하여 2차원적 처리를 통해 에지를 추출한다. 계산의 속도가 빠르며 구현하기 쉬운 장점이 있지만 라인을 표현할 때 컨트롤이 불가능하다는 단점도 있다. 그리고 객체 공간 알고리즘은 모든 계산이 3차원에서 처리되기 때문에 에지에 대한 정보를 3차원 데이터로 생성 할 수 있다. 이로 인해 에지의 두께나 특성을 변경할 수 있지만 계산량이 많아 속도가 느리다. 마지막으로 혼합방법 알고리즘은 이미지공간과 객체공간의 장점을 혼합해 사용하고 있다. 하지만 매우 많은 폴리곤으로 구성된 정교한 모델에만 좋은 결과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 랜더(Lander)의 셰이딩 기법[20]을 사용할 것이며 실루엣 에지 알고리즘은 객체 공간의 알고리즘의 장점인 실루엣의 변형을 감안하여 객체 공간 알고리즘을 적용하여 에지 추출 방식을 사용 할 것이다.

1.1 셰이딩

카툰 셰이딩은 면의 단순화를 위해 음영의 강도를 표현 할 수 있는 텍스처가 필요하다. 물체 빛의 양을 계산하여 텍스처에서 음영의 강도 값에 따른 좌표를 가져오게 된다. 텍스처는 1차원 텍스처로 v 의 값은 $v \in [0, 1]$ 의 값을 가지지만 해당 ' v '좌표의 색의 값은 동일하다. 정점 셰이더에서 난반사 계산 내적을 수행하여 정점 법선 N 과 광원 벡터 L 간의 각도의 코사인 값을 알아내어 정점이 받는 빛의 양 s 를 결정한다.

$$s = L \cdot N \quad (\text{식 1})$$

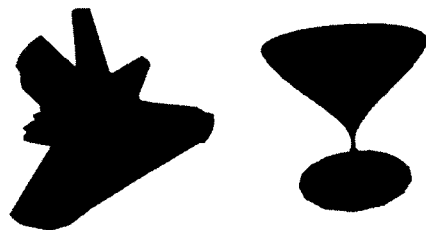


그림 2. 셰이딩 기법을 적용한 메시 렌더링

만약 $s < 0$ 라면, 광원 벡터와 정점의 법선 간의 각도가 90° 보다 크다는 의미이며, 이 경우에는 표면이 빛을 받지 않는다. $s < 0$ 라면, $s = 0$ 이 되며, s 의 값의 범위는 $s \in [0, 1]$ 이다. 일반적인 난반사 광원 모델에서는 정점이 받는 빛의 양에 따라 음영이 결정되도록 s 를 이용해 컬러 벡터의 배율을 조정한다.

$$diffuseColor = s(r, g, b, a) \quad (식 2)$$

s 는 컬러 벡터의 크기 변경이 아닌 명도 텍스처의 텍스처 좌표 u 로 이용하게 된다.

1.2 외곽선 추출

카툰 기법을 완성하기 위해서는 외곽선이 필요하다. 외곽선은 배경과 물체를 분리하는 기본적인 역할과 더불어, 물체의 질감, 무게감, 분위기의 전달 등을 위한 수단으로 사용되기도 한다[4]. 언급한 외곽선 추출 알고리즘 중에 객체공간 알고리즘을 적용하고자 한다. 먼저 3차원 객체의 각 면의 법선 벡터를 알아야 하며, 각 면의 법선 벡터와 시선 벡터들의 연산을 통해 실루엣의 경계를 테스트 하게 된다. 바라보는 시선에서 한 면이 바라보는 면이고, 다른 한 면은 바라보지 않는 면이라 하면, 그 두 면이 만나는 에지가 외곽선이 된다. 공식으로 적용해 보면 ' v ' 는 뷰 공간내의 정점 간의 벡터를 가리키고, 이제, ' $face0$ ' 의 면 법선이 $n0$ 이고 ' $face1$ ' 의 면 법선이 $n1$ 이라고 가정할 때 다음과 같이 나온다. 두 내적의 부호가 다를 경우 아래의 부등식이 성립한다.

$$(v \cdot n0)(v \cdot n1) < 0 \quad (식 3)$$

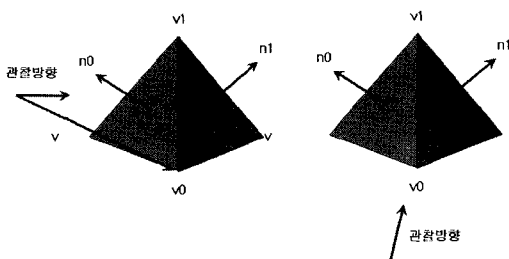


그림 3. 실루엣 윤곽선 판별 여부

이는 ' v ' 벡터를 기준으로 서로 다른 방향을 바라보고 있다는 것을 말해 준다. 공식을 통해 얻어진 에지의 정보를 이용하여 실루엣 외곽선을 생성할 수 있다. 아래 그림에서 관찰방향이 어느 위치냐에 따라 부등식의 결과 값의 부호가 달라진다.

본 연구에서 외곽선을 표현하기 위해서 사각형을 이용한다. 사각형을 이용하는 이유는 외곽선의 두께의 변경과 실루엣 외곽선이 아닌 외곽선을 감추기 위한 퇴축 사각형을 렌더링 할 수 있다는 장점 때문이다. 위 식을 통해 얻어진 에지의 정점 ' $v0$ ', ' $v1$ ' 을 자신의 법선 ' $n0$ ', ' $n1$ ' 방향으로 오프셋 이동하여 얻어진 정점 ' $v2$ ', ' $v3$ ' 과 함께 사각형을 생성하여 외곽선을 표현 한다. 여기에서 설정하는 오프셋은 조절할 수 있다.

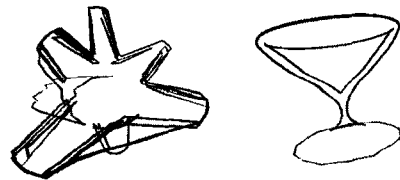


그림 4. 외곽선 판별을 거친 렌더링

[그림4]는 셰이딩 한 메시를 이용하여 실루엣 외곽만을 렌더링 한 화면이다. 객체공간 방식으로 각 인접 면과의 부등식 관계를 거쳐 검출된 에지를 지정한 두께만큼 렌더링 한 화면이다. 외곽선 생성 역시 메시가 바뀌는 과정에서 메모리 누수를 막기 위해 `Release()` 함수를 이용하여 메모리 해제와 바뀐 메시의 아웃라인 생성을 동시에 하게 된다.

2. 세분화 단계(LOD) 렌더링

세분화 단계(LOD)라는 기술은 렌더링 속도와 질 사이의 타협 속에서 태어난 기술이라고 정의할 수 있다. 일반적으로 오프라인 렌더링 기법은 대용량의 메시 데이터를 가지고 훌륭한 렌더링 화면을 얻어내는 것이 최종 목표이다[24]. 크게 LOD의 기법은 정적(Static) 기법과 동적(Dynamic) 기법으로 나뉜다. 정적 LOD기법은 여러 개의 메시를 준비해 놓고, 게임 등에서 카메라와 물체간의 거리를 측정하여 카메라와 가까운 거리에 있

는 물체는 정밀한 메시를 사용하고, 거리가 멀어질수록 정밀도가 낮은 메시를 사용하는 기법이다. 동적 LOD 기법은 카메라와 물체의 거리에 따라서 실시간으로 메시의 정밀도를 변화 시키는 기법이다.

정적 LOD 기법으로는 대표적으로 불연속 LOD(Discrete Level-of-Detail)가 있다. DLOD는 전형적인 LOD기법의 하나로써 연산이 간단하기 때문에 속도가 빠르며 구현하기 쉬운 장점이 있다. 하지만 여러 단계의 메시를 추가적으로 가지고 있어야 하기 때문에 메모리의 낭비가 심하고, 거리에 따라서 메시의 단계가 급격하게 변하기 때문에 튼 현상이 발생하는 단점이 있다[22]. 또한 거대한 물체나 작은 물체에 대해서는 격렬한 단순화를 보인다는 단점도 있다[23].

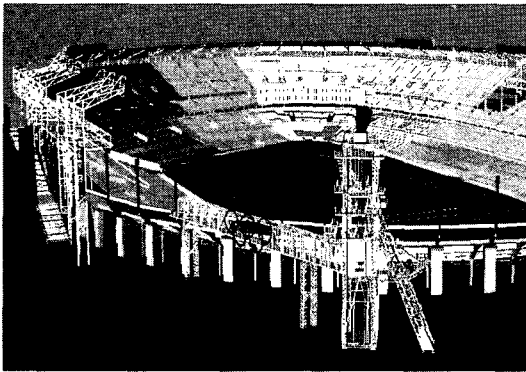


그림 5. 거대한 메시의 LOD

위의 그림은 정적 LOD 기법에서 문제되어지는 거대한 메시에 대한 LOD 적용이다. 시점은 물체와 멀지 않지만 물체 중심에서의 거리는 멀기 때문에 가까이 있는 곳의 거대 메시 일부분도 단순화를 하게 되는 그림이다.

이와는 반대되는 동적 LOD 기법인 연속적 LOD(CLOD : Continuous Level-of-Detail)의 장점은 거리에 따라서 자연스럽게 LOD가 이루어지기 때문에 튼(popping) 현상이 발생하지 않고, 하나의 물체만을 가지고 적용하는 것이기 때문에 낭비되는 메모리도 없다는 것이다. [그림 6]은 한 물체에 대한 동적 LOD 기법의 적용이다. 정점 마다 카메라와의 거리의 연산을 통해 LOD값을 적용하기 때문에 물체의 튼 현상이 발생하지 않는다. 하지만 메시 분할이나 간략화에 추가적인 연산

이 필요하기 때문에 상대적으로 속도가 느리다는 것이 단점이다[21]. CLOD의 알고리즘의 주요 유형 중 하나로써 기존 삼각형 메시를 단순화하는 점진적 메시(Progressive mesh)가 있다[23]. CLOD는 시점 의존적(view-dependent) LOD의 기법으로 이어진다. 시점 의존적 LOD 기법은 위에서 언급한 거대한 물체의 문제점을 자연스럽게 해결한다.

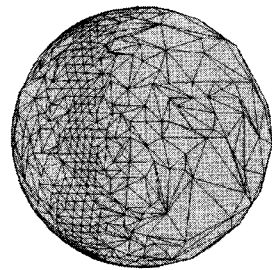


그림 6. 동적 LOD 기법을 적용한 메시

이 외에도 LOD의 기법은 많이 있으며 계속 발전해 가고 있다. 하지만 본 연구에서 LOD에 관한 다양한 알고리즘을 상세히 설명하지는 않는다. 본 연구의 목적은 LOD를 적용하여 표현되는 카툰 렌더링의 효과를 제안하고자 하는 것이다. 이에 본 연구는 구현하기 쉽고 렌더링 속도가 빠르다는 장점을 가지고 있는 정적 LOD 기법을 적용하고 있다. 물체와 카메라의 거리로 LOD의 단계를 나누어 메시를 선택적으로 렌더링하게 하였으며, 단계별 메시는 MAYA Plug-In을 사용하여 제작을 하였다[25]. LOD Level값은 메시의 $D3DXComputeBoundingSphere()$ 함수를 이용하여 중심점 'ObjectCen'의 정보를 얻는다. 그 다음 카메라의 위치 'CameraPos'의 정보를 이용하여 카메라와 물체 사이의 거리를 LOD Level값으로 설정하게 된다.

$$Distance = CameraPos - ObjectCen$$

$$LODLevel = D3DXVec3Length(Distance)$$

이를 통해 얻어진 정점 사이의 거리를 단계 값으로 사용하여 거리에 따른 렌더링 메시를 선택적으로 사용할 수 있다. 메시의 단계는 100%, 40%, 30%, 20%, 10%

의 단계로 나누어 메시를 생성해 놓으며 'Level'의 값이 증가 할수록 메시의 단순화 정도도 증가한다.

IV. 구현 결과

본 연구는 카툰 렌더링 효과를 유지하면서 LOD기법을 적용하여 시점에서 멀어진 메시에 대해서는 세분화 단계를 낮추어 인체의 두상 형상의 메시[25]를 실시간으로 카툰 렌더링 표현 방법을 구현해 보았다. 3단계의 텍스처 맵을 이용하여 DirectX9.0 SDK의 Shader 프로그램을 이용하여 구현 하였다. 그림에서 보듯이 5단계의 메시를 미리 생성하여 거리에 따라 메시지를 선택적으로 렌더링 하였다. 각 단계별 메시의 정점을 보면 100% 단계의 정점은 14610개이며, 40%의 단계 8072, 30%는 6395, 20%는 4889개이며, 마지막 단계인 10%의 정점은 2816개로 구성되어져 있다.

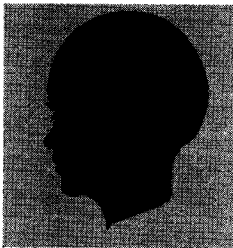


그림 7. 3D 응용프로그램을 이용한 렌더링

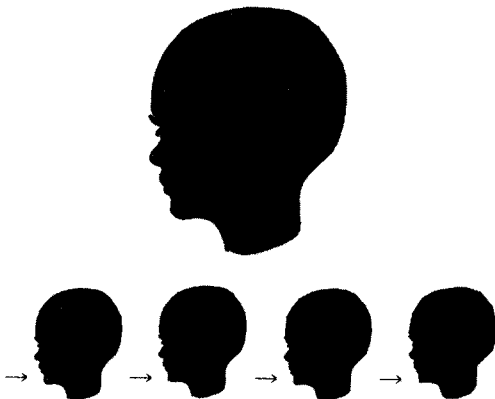


그림 8. LOD 기법을 적용한 카툰 렌더링

위 그림은 결과 화면을 나타낸 것이다. 똑같은 모델을 같은 텍스처를 사용하여 3D 응용프로그램에서 렌더링 화면과 연구 결과물의 화면을 비교하면 서로 다른 느낌을 주는 것을 볼 수 있다. 또한 연구 결과 화면에서도 첫 단계의 화면과 마지막 단계의 화면이 서로 상이한 모습을 띄고 있지 않다. 하지만 14610개의 정점을 2816개의 정점으로 단순화 시킨 영상이다. 실제로 계산 과정에서 많은 정점의 연산을 줄여 가며 렌더링 하기 때문에 렌더링 속도는 시점과 물체와의 거리가 멀어 질수록 렌더링 속도는 빠른 현상을 보였다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서 구현한 LOD를 적용한 카툰 렌더링 효과를 거리가 멀어짐에 따라 단순화된 메시를 사용하여 카툰 기법의 효과를 유지하며 렌더링 속도를 향상시킬 수 있었다. 이는 생략과 단순화라는 카툰 화법의 방향과 일맥상통하는 LOD 기법을 접목 시켜 나타난 결과물이다. 실제로 메시의 단순화를 통하여 곡선에 가깝던 표면이 직선이 많아지며, 음영 경계부분이 단순화 되어 직선으로 이루어져 사실 적인 영상보다 일러스트 적인 느낌의 영상을 만들어 냈다.

향후 과제로는 정적 알고리즘의 단점을 보완할 수 있는 동적 알고리즘 방식의 점진적 메시(Progressive Mesh)를 통해 실시간으로 메시의 단순화를 구현 하여 메모리 누수를 방지하며, 뒀 현상을 보완할 수 있을 것이다. 또한 NPR의 기법인 카툰화법의 단순화를 통하여 사물의 단순화를 통한 새로운 NPR의 효과를 창출할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Scott McCloud, *UNDERSTANDING COMICS*, HarperCollins Publishers Inc, p.28, 1999.
- [2] Scott McCloud, *UNDERSTANDING COMICS*, HarperCollins Publishers Inc, pp.38-39, 1999.

- [3] J. F. Blinn, "Simulation of wrinkled surfaces," *Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPH 78)*, Vol.12, pp.286-292, 1978.
- [4] 이환직, 최정주, "실시간 응용을 위한 카툰 렌더링 기술", *한국멀티미디어학회지*, 제9권, 제3-4호, pp.54-64, 2005.
- [5] L. Petrovi, B. Fujito, L. Williams, and A. Finkelstein, "Shadow for del animation," *Proceedings for SIGGRAPH*, pp.511-516, 2000.
- [6] A. Selle, A. Mohr, and S. Chenney, "Cartoon Rendering of Some Animations," *Non-Photorealistic Animation and Rendering 2004(NPAR '04)*, Annecy, France, Vol.7, No.9, pp.57-60, June 2004.
- [7] Appel, "The notion if quantitative invisibility and the machine rendering of solids," In *ACM National Conference '67 Proc.* pp.387-393, 1967.
- [8] Gooch, B. Gooch, P. Shirley, and E. Cohen, "A Non-photorealistic Lighting Model for automatic Technical Illustration In Computer Graphics," *Proceedings of SIGGRAPH 98*. pp.447-452, July 1998.
- [9] Decaudin, "Cartoon-Looking Rendering of 3D-Scenes," *Research Report INRIA #2919*, June 1996.
- [10] 이준, 박성준, 김지인, "거대분자 모델의 적응형 LOD 렌더링 기법", *한국컴퓨터 그래픽스학회*, 하계학술대회 논문집, pp.53-59, 2006.
- [11] 김기호, 유황빈, "Wavelet 기반 LOD 가상객체 표현 시스템", *한국정보처리학회 논문지*, 제7권, 제3호, pp.766-774, 2000(3).
- [12] M. Olano, B. Kuehne, and M. Simmons, "Automatic Shader Level of Detail," *The Eurographics Association*, pp.7-14, 2003.
- [13] P. Hinker and C. Hansen, "Geometric Optimaization," *Proceedings of Visualization*, pp.189-195. Oct. 1993.
- [14] 이원규, 이선영, 이인권, "범프 매핑된 오브젝트에 대한 카툰 렌더링", *한국컴퓨터 그래픽스학회*, 하계학술대회 논문집, pp.123-126, 2006.
- [15] R. D. Kalnins, L. Markosian, B. J. Meier, M. A. Kowalski, J. C. Lee, P. L. Davidson, M. Webb, J. F. Hughes, and A. Finkelstein, "WYSIWYG NPR:Drawing Strokes Directly on 3D Models," *Proceedings of SIGGRAPH02*, pp.755-762, 2002.
- [16] 김성예, 김희정, 김보연, 이지형, 구분기, "비사실적 렌더링 기술동향", *한국멀티미디어학회지*, 제9권, 제3-4호, pp.76-86, 2005.
- [17] Lander, *Shades of Disney: Opaqing a 3D World*, Game Developer, Mar. 2003.
- [18] 오문석, 장호현, "2D, 3D 디지털 애니메이션의 카툰 렌더링 기법에 관한 연구 카툰 셰이더 (Cartoon Shader)별 특성을 중심으로", *디지털디자인학연구*, Vol.6, No.2, pp.129-139, 2006.
- [19] http://media.cgland.com/index.html?mode=all&modes=view&sort=&code=&no=4056&start=0&l_start=&l_end=&order_by=&sc=8&kword=
- [20] Lander, "Shades of Disney: Opaqing a 3D World," *Game Developer Magazine*, Vol.7, No.3, pp.15-20, 2000.
- [21] 김용준, *3D 게임프로그래밍*, 한빛 미디어, ISBN | 89-7914-253-6, 1999.
- [22] D. Luebke, "Level of Detail & Visibility:A Brief Overview", *University of Virginia*, p.13, 2006.
- [23] D. H. Eberly, *3D Game Engine Design*, 민커뮤니케이션, ISBN | 8989366070
- [24] <http://www.pojar.net/ProgressiveMesh/>
- [25] <http://cafe.naver.com/mayaonline>

