

---

# 모바일 기기에서의 비실사적 콘텐츠 렌더링을 위한 프로세싱 기법

## Processing Techniques for Non-photorealistic Contents Rendering in Mobile Devices

---

전재웅, 장현호, 최윤철  
연세대학교 컴퓨터과학과

Jaewoong Jeon(demiblu@gmail.com), Hyunho Jang(kencot@gmail.com),  
Yoon-Chul Choy(ycchoy@rainbow.yonsei.ac.kr)

---

### 요약

최근 모바일 서비스의 발전과 모바일 기기의 사용 증가로 모바일 환경은 컴퓨터 그래픽스 분야에서 주목 받는 영역으로 부상하고 있다. 지금까지 비실사적 렌더링 기법은 데스크 탑 플랫폼을 기반으로 연구 되었으며 모바일 기기에서의 구현을 위한 노력은 부족하였다. 하드웨어적 한계를 가진 모바일 기기에 비실사적 렌더링 기법을 적용하기 위해서는 단말기의 제약성을 고려하여 렌더링 파이프 라인의 변화를 통한 새로운 프로세싱 기법이 필요하다. 본 논문에서는 비실사적 기법 중 최근 여러 분야에서 사용되고 있는 카툰 렌더링 기법을 모바일 환경에서 구현하기 위한 3차원 그래픽스 렌더링 파이프 라인과 카툰 셰이딩 전처리 기법을 제안한다. 본 연구 결과로 모바일 디스플레이 환경에 맞는 실루엣 에지 렌더링과 셰이딩 과정의 일부를 파일로 전처리하는 프로세싱 기법을 사용하게 됨으로써 사용자는 원하는 수준의 카툰 렌더링 결과물을 모바일 환경에서 실시간으로 접할 수 있으며 따라서 추후 모바일 서비스 이용의 효율을 높이고 모바일 콘텐츠 다양화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

■ **중심어** : | 비실사적 렌더링 | 렌더링 파이프라인 | 카툰 렌더링 | 전처리 |

### Abstract

Recently, development of mobile service and increased demand for mobile device make mobile environment noticeable in computer graphics. Especially demand for 3D graphic services in mobile devices is steadily increased. However up to the present non-photorealistic rendering is mainly studied in desktop platform. In the result, existing research were designed for desktop computers and are not well-suited for mobile devices. Thus, there is a growing needs for processing techniques that provide the ability to render 3D non-photorealistic graphics through mobile devices. In this paper, we discuss processing techniques for non-photorealistic rendering that are especially cartoon shading and rendering in mobile devices. Through the result of this research, it is expected that silhouette edge rendering for mobile display environment and preprocessing file technique for shading. The efficiency of 3D mobile graphic service like 3D model in cartoon style is increased by using proposed preprocessing file and rendering pipeline. Our work can provide mobile cartoon rendering results and various mobile contents to users.

■ **keyword** : | Non-photorealistic | Cartoon Rendering | Preprocess | Rendering Pipeline |

---

\* 본 논문은 서울시 산학연 협력사업(10581) 지원으로 수행되었습니다.

접수번호 : #100518-003

접수일자 : 2010년 05월 18일

심사완료일 : 2010년 07월 20일

교신저자 : 장현호, e-mail : kencot@gmail.com

## I. 서론

최근 무선 인터넷 기술의 발전과 3차원 그래픽 지원 폰, PDA, 스마트 폰, DMB 폰 등의 다양한 모바일 기기의 등장으로 모바일 환경에 대한 관심이 높아지고 있다 [1][2]. 그러나 모바일 환경에서 기존의 컴퓨터 그래픽스 프로세싱 과정을 사용할 경우, 모바일 기기가 가지는 성능상의 제약(GPU 유무, 대역폭, 화면크기, CPU 성능, 저전력)으로 다양한 서비스 제공에 문제가 발생한다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 모바일 환경에서 생산자가 원하는 컴퓨터 그래픽스 성능을 얻을 수 있도록 모바일 기기에 맞는 프로세싱 기법의 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 최근에는 모바일 환경에 대한 관심과 더불어 모바일 환경에서의 2차원, 3차원 그래픽스 구현에 대한 관심 또한 증가하고 있다.

기존의 모바일 환경에서의 컴퓨터 그래픽스에 대한 연구는 주로 2차원 그래픽스에 대한 것이었다. 2002년부터 시작된 크로노스 그룹의 워킹그룹에서는 모바일 기기에서 3차원 그래픽스 구현을 위한 OPEN GLIES에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다. 크로노스 그룹에서는 데스크 탑 환경의 3차원 그래픽스 라이브러리인 OPEN GL의 모바일 기기를 위한 서브셋으로 OPEN GLIES를 발표하고, 모바일 환경에서 주어진 허용량 안에서 3차원 그래픽스 구현을 발전시켜 나가고 있다 [2].

또한 지금까지의 3차원 그래픽스 연구는 실제 사진과 똑같은 그래픽스를 생성하는 방향으로 연구가 이루어져 왔다. 즉, 얼마나 더 높은 세밀함을 가진 그래픽스를 생성하느냐가 주목적이었다. 하지만 점차 사용자와의 커뮤니케이션에 중점을 두고 3차원 그래픽스의 추상화를 통해서 그래픽스를 생성하는 비실사적 렌더링 기법의 연구 또한 활발해 지고 있다 [3]. 이와 동시에 모바일 환경에서의 3차원 그래픽스 수요가 높아지면서 모바일 기기 제조사에서는 GPU를 비롯한 하드웨어적 지원을 발전시켜 나가고 있고 제한된 성능 속에서 높은 디테일을 가진 사실적 3차원 그래픽스 렌더링 보다 추상화를 통해서 원하는 커뮤니케이션을 이끌어 내는 비실사적 기법이 모바일 환경에 더욱 적합하다는 생각이 공감을 얻고 있다.

본 논문에서는 모바일 환경에서 주어진 하드웨어 성능을 이용하여 기존 데스크 탑 환경과 동일한 카툰 렌더링 기법 구현을 위하여 모바일 환경을 고려한 효과적인 3차원 그래픽스 렌더링 기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 모바일 기기에서의 카툰 렌더링 기법은 크게 3가지 모듈로 구성되는데, 이는 사용자 중심의 회전각 설정을 통한 1차원 텍스처 맵의 생성과 생성된 1차원 텍스처 매핑 좌표 계산 등의 전처리를 통한 파일 생성, 모바일 환경의 디스플레이 성능에 맞는 실루엣 에지 렌더링 기법, 그리고 전처리 파일을 이용한 모바일 기기에서의 카툰 렌더링 기법이다. 제안하는 모바일 실루엣 에지 렌더링과 사용자 중심의 회전각 계산은 각각 다른 디스플레이 성능을 가진 모바일 환경에서 각 환경에 적합한 실루엣 에지 렌더링 공식을 설정할 수 있고 카툰 셰이딩 성능을 결정하게 되어 원하는 카툰 렌더링 성능을 얻게 된다. 회전각에 따른 1차원 텍스처 맵 및 매핑 좌표의 전처리 파일 형성 과정은 3차원 그래픽스 렌더링 파이프 라인에서 가장 자원 소비가 많은 광원 계산 부분과 텍스처 매핑 좌표 계산을 전처리 하는 과정으로 모바일 환경에서 데스크 탑 환경과 같은 성능을 내기 위한 준비과정이다. 마지막으로 생성된 전처리 파일을 사용하여 모바일 환경에서 카툰 렌더링 기법을 구현하게 된다. 즉, 모바일 환경에 맞추어 폴리곤 수를 증가시키지 않으면서 원하는 외곽선을 그려낼 수 있는 모바일 기기를 위한 실루엣 에지 렌더링 기법과 계산량이 많아서 모바일 기기에서 성능 저하를 가져오는 카툰 셰이딩 부분의 전처리 파일 대체 기법을 결합하여 모바일 환경에서 사용자에게 친숙한 느낌과 시각적 효과를 주는 카툰 스타일의 3차원 모델을 보여 주게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 비실사적 렌더링과 실루엣 에지 렌더링, 카툰 렌더링의 기존 연구에 대하여 알아보고 III장에서는 모바일 환경에 따른 실루엣 에지 렌더링 기법과 카툰 셰이딩을 위한 회전각의 설정 기법, 회전각에 따른 1차원 텍스처 맵과 1차원 맵의 매핑 좌표 등을 포함한 전처리 파일 생성 기법에 대해서 설명한다. IV장에서는 III장에서 제시된 기법을 통해서 모듈과 시스템을 구현하고 분석을 통해서 제시

된 기법을 평가해 본다. 마지막 V장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 관련 연구

### 1. 비실사적 렌더링

컴퓨터 그래픽스 분야는 지난 수십 년간 사진과 동일한 효과의 실사 그래픽스를 생성하는데 많은 연구가 행해지고 현재도 진행되고 있다. 사실적 표현에 근거한 컴퓨터 그래픽스의 품질은 얼마나 사진과 흡사한가에 달려 있다. 사실적 렌더링과 더불어 사실적 렌더링의 기본 개념에서 벗어나 다양한 표현 방법으로 전달하고자 하는 부분을 추상화시키는 새로운 개념의 컴퓨터 그래픽스가 등장하였는데 이것이 바로 비실사적 렌더링 기법이다[3][4]. 비실사적 렌더링 기법은 추상화의 효율성에 중점을 두고 커뮤니케이션의 레벨에 초점을 맞춘다.

비실사적 렌더링 기법은 크게 미술적 미디어를 시뮬레이션 하는 방법과 사용자의 조작에 도움을 주어 새로운 비실사적 그래픽스를 생성하는 방법, 마지막으로 자동적으로 미리 정해놓은 커뮤니케이션의 방법에 따라서 추상화된 그래픽스를 생성하는 방법들이 있다[3]. 이와 더불어 실루엣 에지 렌더링의 변형을 통해서 외곽선을 생성하고 모델의 셰이딩 기법의 변형을 통해 회화적 렌더링을 구현하는 기법 등 다양한 연구가 최근까지 이어지고 있다.

### 2. 실루엣 에지 렌더링

실루엣 에지를 렌더링 하는 방법에는 실루엣 에지의 가시성을 계산하는 은선 계산 알고리즘[5]이 있는데 [5]의 알고리즘은 전체 화면을 탐색하여 계산을 하지 않아도 실루엣 에지 렌더링을 가능하게 해주며 프레임률을 향상시킨다. 은선을 제거하는 기법을 통해서 실루엣 에지 렌더링을 구현한 연구도 있으며 이들은 주로 배치 프로세스를 통해 렌더링 되며 실시간으로 렌더링을 구현하지는 못했다[6]. 이후 정적인 다면체 모델에서 근접 정보를 통한 실시간 실루엣 에지 렌더링 방법도 제시되었다[7]. 근접 정보를 통한 실루엣 에지 검출 방식과는

다르게 깊이 버퍼와 두 개의 폴리곤 집합을 사용하여 주어진 시선기준에서 화면에 보이는 실루엣 에지를 실시간으로 계산하는 방법을 사용한 기법도 제시되었다 [8].

근래에는 에지 검출뿐만 아니라 외곽선의 스타일을 변경하거나 검출 선의 위치에 따라 예술적 효과를 얻는 기법들도 다방면으로 연구되고 있다[9][10].

### 3. 카툰 렌더링

카툰 렌더링은 3차원 그래픽스를 2차원 애니메이션과 같은 분위기로 렌더링을 해주는 기법을 말하며 카툰 렌더링이라는 이름 외에 셀 렌더링, 도트 렌더링 등으로 부르기도 한다. 카툰 렌더링을 구축하는 두 가지 요소는 다음과 같다.

첫 번째 카툰 렌더링의 요소는 실루엣 에지 렌더링이다. 카툰이라는 요소가 가지고 있는 외곽선을 표현하기 위해서 실루엣 에지 렌더링이 사용된다.

두 번째, 카툰 렌더링은 불연속적인 셰이딩 과정을 거치게 된다. 카툰에서는 단순화된 면 처리와 함께 특유의 단색 셰이드를 사용하는데 이 과정을 연산을 통해서 셰이딩 처리한다[11].

## III. 모바일 비실사적 렌더링 시스템

### 1. 모바일 실루엣 에지 렌더링

모바일 기기에서 실루엣 에지를 렌더링 하기 위하여 주어진 시선 기준에서 폴리곤을 두 종류로 구분한다. 우선 첫 번째 세트는 시선 기준에서 가까운 전면 폴리곤의 가시 부분으로 구성한다. 두 번째 세트는 후면 폴리곤으로 구성하며 첫 번째 세트와 일치하는 부분들로 구성한다. 이 두 종류의 폴리곤 세트의 연산을 통해서 실루엣 에지를 렌더링 한다. 첫 번째 전면 폴리곤의 가시 영역 계산은 다양한 가시성 알고리즘을 사용할 수 있다. 전면 폴리곤의 가시 부분은 전체 영역이 모두 가시권에 들어오는 부분과 일부 은면으로 제거된 후 부분적으로 가시권에 들어오는 전면 폴리곤을 의미한다. 첫 번째 전면 폴리곤 세트의 가시 영역 계산과 동일하게

가시성 알고리즘의 결과로 후면 폴리곤으로 이루어진 두 번째 세트를 얻을 수 있다. 후면 폴리곤은 첫 번째 세트의 가시 표면의 후면으로 이루어진다. 앞에서 처리한 결과를 통해서 후면 폴리곤의 집합을 생성한 후 후면 폴리곤을 다음과 같은 과정을 통해서 확대한다. 우선 후면 폴리곤 삼각형의 중점(Vertex\_center\_of\_Face)을 구한다. 다음으로 중점과 삼각형 각 정점의 차이를 계산하여 방향벡터 E를 구한 후 여기에 비례값 S만큼 곱하고, 매개변수 T만큼 더하여 새로운 세 개의 정점의 집합을 생성한다. 확장 변수 S는 중점과 각 점의 거리 차이로 얻은 방향벡터 E를 각 세 정점의 위치에 비례하는 값만큼 증가시켜 얻을 수 있다 [식 1]. 확장 변수 S는 후면 삼각 폴리곤의 확장을 담당한다. 이후 변화된 세 정점을 사용하여 확장된 새 후면 폴리곤을 생성한다. 새롭게 생성된 후면 폴리곤은 시선 기준상에서 가시영역의 전면 폴리곤의 외곽으로 렌더링 되어 모델의 실루엣 에지가 된다 [그림 1]. 여기서 매개변수 T는 사용 상황에 따라 조절이 가능하며 실제 전면 폴리곤의 가시영역에 따라서 변화가 가능하다. 이를 이용하여 실루엣 에지의 굵기 조절, 방향 전환 등의 다양한 효과를 줄 수 있다.

이런 후면 폴리곤의 확장을 통한 실루엣 에지의 렌더링 방법은 기존 [8]의 연구에서 변형된 것으로 모바일 기기에서 적합한 방법을 선택했다. [8]의 연구에서 제시된 후면 폴리곤 'Fattening' 기법 중 폴리곤 수의 확장을 이용한 기법은 후면 폴리곤의 확장 이후에 한 개의 폴리곤이 (2\*정점 개수)개의 삼각형으로 늘어난다. 이로 인해 계산량과 폴리곤의 수가 늘어나게 되고 기존 에지와 새로 생성된 에지 사이에 절단된 부분이 나타나게 된다. 또한 기존 폴리곤의 개수가 목적하는 하드웨어의 한계 처리량에 도달했을 경우 폴리곤의 증가가 불가능한 상태가 되어 실루엣 에지 렌더링은 불가능해진다. 그러나 본 논문에서 사용하는 기법은 후면 폴리곤의 면의 개수를 늘리지 않는다. 더불어 각 에지의 방향성을 계산하는 대신 3개의 정점의 연산을 통해서 확장된 정점을 계산하는 연산을 사용하여 계산량과 폴리곤 수를 제한하게 된다. 따라서 기존 폴리곤의 개수가 유지된다는 점은 기존 폴리곤 개수로 실행이 보장된 상태

에서는 실루엣 에지 렌더링 역시 처리가 가능하다는 것을 보여준다. 모바일 기기의 폴리곤 처리 가능량은 데스크 탑 플랫폼에 비해 현저히 낮기 때문에 한계 폴리곤의 문제가 가장 중요하다. 따라서 계산량과 폴리곤 수를 증가시키지 않는 이 기법은 모바일 기기에서 실루엣 에지 렌더링을 사용하는데 적합한 기법이라고 할 수 있다. 즉, 모바일 기기에서 폴리곤 연산의 숫자를 줄여 높은 프레임률을 획득함과 동시에 실제적으로 사용자가 느끼는 화면 효율을 유지할 수 있게 된다. 또한 후면 폴리곤의 처리에 있어서 텍스처를 입혀 원하는 효과를 준다거나 후면 폴리곤을 시선 방향 전후로 생성하여 외곽선의 다중 색상 표현이 가능하다. 더 나아가 다양한 컬러 셰이딩 및 그라데이션 효과 등을 사용하여 실루엣 에지의 변화를 줄 수도 있고 이를 이용하여 발전된 카툰 렌더링 효과를 추가적으로 얻을 수 있다는 장점이 있다.

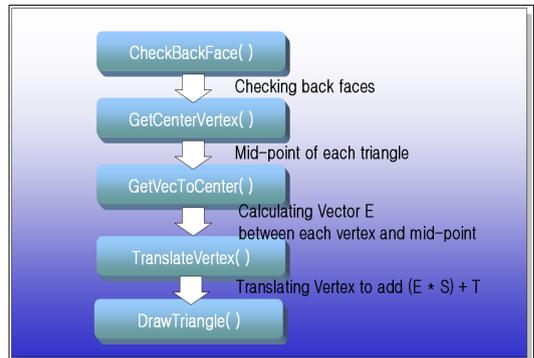
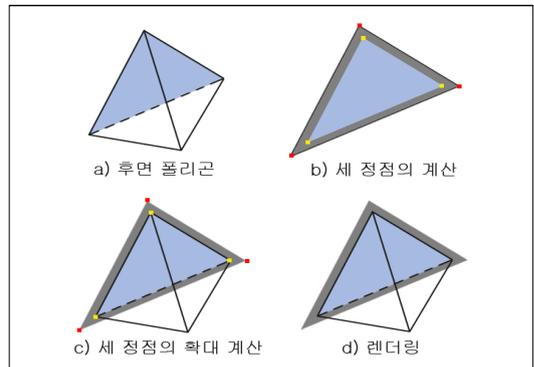


그림 1. 후면 폴리곤 확대 과정

```

for i := 0 to Face n do
begin
  if Face i is Back_Face
  then
  begin
    for each Vertex j of Face i do
    begin
      E := Vertex j - Vertex_center_of_Face i ;
      Vertex j' := Vertex j + T + ( E * S );
    end
  end
end
end
end
    
```

(1)

은 계산과 하드웨어적 지원을 필요로 한다. 따라서 모바일 기기에서 카툰 렌더링을 구현하기 위해서는 셰이딩 파이프 라인 중 계산량이 많은 부분과 하드웨어 지원이 필요한 부분을 파일로 전처리 하여 대체하는 기법이 필요하다. 전처리 파일의 생성을 위하여 제작된 카툰 렌더링 전처리 도구의 구성 및 진행은 [그림 3]과 같다.

## 2. 전처리 과정 및 도구

### 2.1 사용자 정의 회전각 설정

본 논문에서 제시된 전처리 기법은 모바일 기기에서 카툰 셰이딩 구현과 원활한 동작을 위하여 개발되었다. 이 중 셰이딩 프로세스의 파일 전처리를 위해 각 모바일 기기에 맞는 사용자 정의의 회전각을 설정하여야 한다. 회전각은 모바일 기기의 디스플레이 특성과 하드웨어 성능에 따라서 조절이 가능하다. 다양한 모바일 기기를 대상으로 하여 각각의 기기 성능에 적합한 회전각 데이터를 생성하기 위해서는 2가지 규칙이 필요하다. 모바일 기기의 디스플레이 환경과 하드웨어 지원을 고려한 회전각의 생성 원칙은 다음과 같다.

[규칙 1] 회전각의 단위 설정

최소 5도 단위부터 최대 45도 단위까지 설정 가능

[규칙 2] 회전 주체의 설정

모델의 회전과 광원의 위치 변환 선택

[그림 2]는 3차원 모델의 회전각의 설정을 표현한 것이다.

### 2.2 전처리 도구 구조

기존 카툰 렌더링 파이프 라인에서 셰이딩 부분은 많

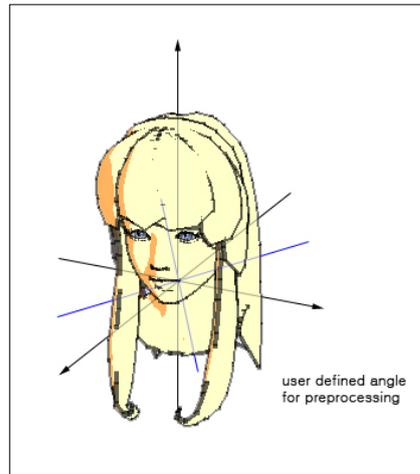


그림 2. 회전각의 설정

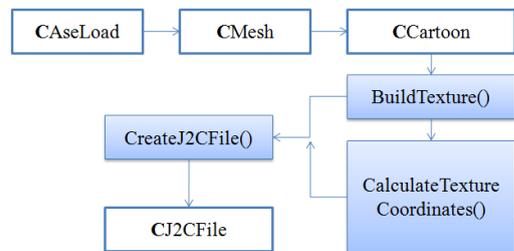


그림 3. 전처리 도구의 구성 및 진행도

카툰 렌더링 전처리 도구는 다음과 같은 과정을 거친다.

- (1) ASCII 3D scene 파일인 ASE파일을 로딩
- (2) ASE파일로부터 읽어 들인 모델 데이터에서 전처리 도구에 디스플레이 하기 위한 실루엣 에지 근접 정보를 계산
- (3) 설정한 회전 각도, 광원의 위치, 광원의 색상에 따라 조명 분산색과 그늘 분산색을 구하고 각 재질

- 에 대한 텍스처 생성
- (4) 3D모델의 각 정점에서 1차원 텍스처 좌표계 계산
- (5) 여러 시점을 통해 모델을 확인( 카메라 시점 이동, 회전, 확대/축소 )
- (6) 빛의 방향을 조절하여 셰이딩 확인
- (7) 셰이딩 색상 선택 대화상자와 실루엣 에지 두께 선택 대화상자를 통해서 사용자는 원하는 카툰 렌더링 효과를 생성
- (8) 설정한 모든 정보를 제안된 파일 형태로 생성

### 2.3 전처리 파일의 구성

본 시스템에서 개발한 전처리 파일형식 J2C 내에는 회전각에 따른 1차원 텍스처 맵과 1차원 매핑 좌표, 정점과 면의 정보가 담긴 연결 인덱스가 포함되어 있다 [그림 4]. 모바일 기기에서는 J2C 파일 내의 정보를 이용하여 카툰 렌더링을 구현하게 된다.

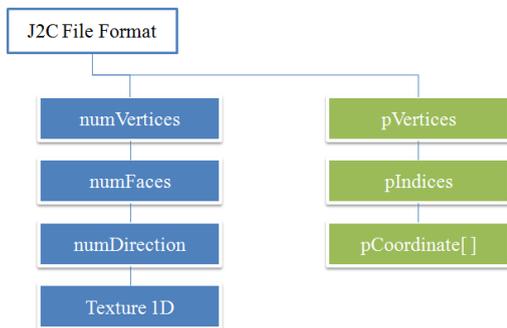


그림 4. J2C 파일의 구조도

### 3. 모바일 기기에서의 카툰 렌더링 구현

전처리 도구를 이용하여 생성한 사용자 정의의 전처리 파일은 모바일 기기의 카툰 렌더링 모듈로 전송된다. 실루엣 에지 렌더링 모듈과 카툰 셰이딩 모듈이 결합된 카툰 렌더링 모듈은 전처리 파일을 이용하여 모바일 디스플레이 상에 카툰 렌더링을 구현한다. [그림 5]는 모바일 기기에서 카툰 렌더링 시스템의 구조도를 보여주고 있다.

모바일 기기 상의 카툰 렌더링은 [그림 5]에 따라 계산량과 버퍼 처리에서 효율이 높은 전처리 파일을 가

져 오는 작업으로 시작한다. 전처리 파일 J2C는 바이너리 포맷으로 파일 용량이 작아 모바일 기기에 전송이 용이하고 처리가 빠르다는 특징을 가지고 있다. 그 후 각각 실루엣 에지 렌더링을 담당하고 있는 모듈과 전처리 파일의 1차원 매핑 좌표 자료를 이용하여 텍스처 처리를 하는 셰이딩 모듈의 결합을 통해 최종적으로 모바일 기기의 화면에 카툰 렌더링 처리된 3차원 모델을 렌더링하게 된다.

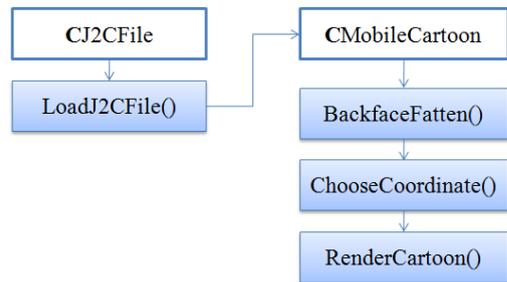


그림 5. 모바일 기기에서의 카툰 렌더링 시스템

## IV. 모바일 시스템의 구현 및 평가

### 1. 시스템의 구현

모바일 카툰 렌더링 시스템은 크게 전처리 도구 인터페이스와 모바일 기기 상의 카툰 렌더링 엔진으로 구분된다. 전처리 도구 인터페이스는 여러 가지 카툰 렌더링 정보를 사용자로부터 입력 받고 전처리를 통해 파일을 생성한다. 모바일 기기 상의 카툰 렌더링 엔진은 모바일 기기에서 실루엣 에지 렌더링과 전처리 파일을 이용한 카툰 셰이딩을 담당한다. 사용자는 데스크 탑 환경에서 제공되는 카툰 렌더링 전처리 도구를 이용해서 3차원 모델을 불러온 후 각각의 모바일 기기 특성에 맞는 3차원 모델의 회전각을 설정한다. 그 후 카툰 셰이딩에 사용할 색상과 광원의 위치 등을 설정한다. 여러 시점의 창을 통해서 3차원 모델의 카툰 렌더링 된 모습을 관찰하여 원하는 설정이 이뤄진 경우 파일 프로세스를 진행하여 전처리 파일을 생성한다. 이렇게 생성된 전처리 파일은 모바일 기기로 전송되어 기기 안의 카툰 렌더링 엔진으로 전달된다. 카툰 렌더링 엔진은 저장된

J2C 형식의 전처리 파일을 읽어 들인 후 모바일에 적합한 실루엣 에지 렌더링 모듈과 카툰 셰이딩 모듈을 이용하여 카툰 렌더링 처리된 3차원 모델을 보여주게 된다. [그림 6]은 제안하는 카툰 렌더링 전처리 시스템의 전체 구조를 나타낸다.

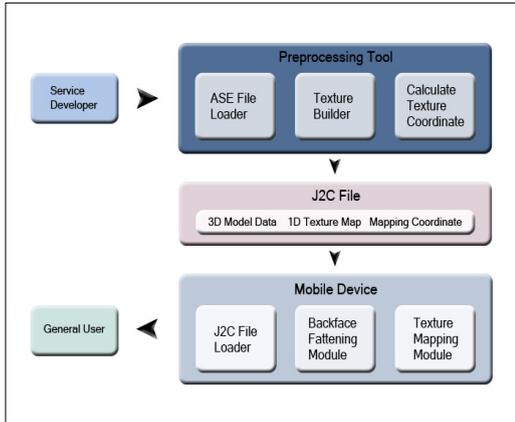


그림 6. 모바일 카툰 렌더링 시스템

## 2. 카툰 렌더링 전처리 도구 인터페이스

전처리 파일 생성을 위한 전처리 도구의 인터페이스는 일반적인 3차원 그래픽스 프로그램과 유사한 형식으로 구현되었으며 각각 카메라 시점, 정면 시점, 좌측면 시점의 세 가지 창을 제공한다. 사용자는 제공되는 여러 가지 효과를 선택할 수 있고 세 가지 창을 통해서 인터랙티브하게 확인이 가능하다. 3차원 모델에 적용할 수 있는 선택 사항은 우선 렌더링 모드 선택을 통해서 wire frame 방식, gouraud 방식, 실루엣 첨가, 카툰 셰이딩, 카툰 렌더링 방식을 선택할 수 있다. 또한 빛의 방향, 분산색 색상, 주름의 각도, 실루엣을 비롯한 선의 굵기 등을 메뉴에서 선택하면 이어지는 별도의 팝업창을 이용하여 각각의 유형에 해당하는 스타일로 화면에 출력할 수 있다. 최종적으로 모든 선택 사항을 완료한 사용자는 전처리 파일 생성 메뉴를 선택하여 모바일 기기로 전송할 J2C 파일을 생성하게 된다. [그림 7]은 구현된 전처리 도구의 인터페이스이다.

## 3. 모바일 카툰 렌더링 처리

모바일 기기로 전송되어 저장된 J2C 파일은 카툰 렌더링 엔진에서 실시간으로 처리되며 그 결과는 다음과 같다. [그림 8]은 Hybrid 사의 implementation tool로 구현한 OPEN GL/ES 에뮬레이터 상에서 제안 연구를 적용한 3차원 모델링 결과이며 [그림 9]는 Pocket PC 에뮬레이터 및 실제 안드로이드 2.2 운영체제를 사용하는 모바일 폰(HTC NEXUS ONE)에서 제안 카툰 렌더링 기법을 적용한 결과이다.

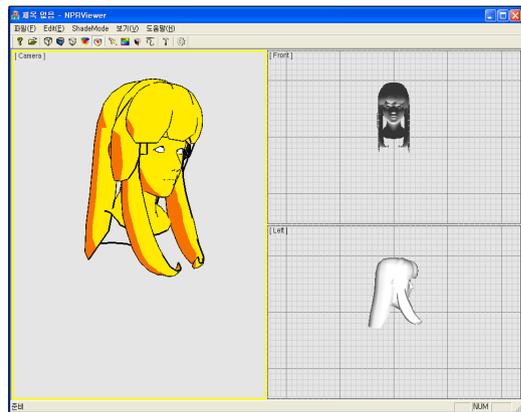


그림 7. 전처리 도구의 인터페이스

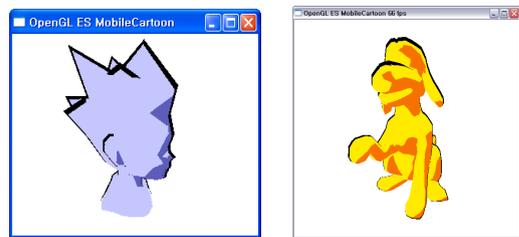


그림 8. OPEN GL/ES 에뮬레이터상의 카툰 렌더링



그림 9. 모바일 기기 상의 카툰 렌더링 예

#### 4. 시스템의 분석 및 평가

##### 4.1 카툰 렌더링 비교 분석

본 논문에서 제안하는 카툰 렌더링 기법은 데스크 탑 환경에서 구현되었던 카툰 렌더링 기법을 모바일 기기에서 사용할 수 있도록 기존의 카툰 렌더링 파이프 라인과 차별된 렌더링 과정을 제시한다. 기존의 카툰 셰이딩 파이프 라인은 현재 모바일 기기의 하드웨어 리소스 수준을 넘어서고 있어서 3D 가속칩을 가진 기종을 제외하고는 만족할만한 성과를 거둘 수 없다. 우선 기존의 카툰 셰이딩 방식은 전처리 과정에서 각각의 재료에 대해 조명 분산색과 그늘 분산색을 계산하고 1차원 텍스처 맵을 만들어 저장한다. 그 후 실시간 시행 과정에서는 3차원 모델의 각 정점에서 1차원 텍스처 좌표계를 계산하여 빛 기능은 꺼놓고, 1차원 텍스처 맵을 가능하게 한 상태로 모델을 렌더링 한다. 이후 뷰가 변할 때마다 1차원 텍스처 좌표를 계산하여 렌더링 하는 과정을 반복한다. 이 과정에서 셰이딩 컬러의 계산 및 1차원 텍스처 매핑 좌표 계산의 부하로 인해 모바일 기기에서의 카툰 렌더링이 어려워진다. 이에 비하여 본 논문에서 제안하는 카툰 셰이딩 방식은 기존 카툰 렌더링의 전처리 과정과 더불어 모바일 기기의 성능에 따라서 크게 영향을 받는 1차원 텍스처 매핑 좌표 계산 과정을 제작자가 정의한 각도 별로 전처리하여 저장하는 방식을 선택하였다. 따라서 모바일 기기를 사용하는 사람이 뷰를 변화게 하여도 단지 J2C 파일에서 별도의 계산 과정 없이 해당 자료를 읽어오기만 하면 되기 때문에 성능 저하 없이 부드럽게 카툰 셰이딩을 이룰 수 있다. 이 방법은 파일 처리와 관련된 것으로 CPU에 정점에서의 매핑 좌표 계산 부하를 전혀 주지 않아서 모바일 기기의 계산량을 줄이는데 큰 도움이 된다. 물론 이 방법은 각도별로 전처리한 자료만을 불러올 수 있기 때문에 제한된 뷰를 제공한다는 단점을 가지고 있다. 하지만 모바일 기기 특성상 일반적인 콘텐츠에 전방향이성 이 반드시 사용되지는 않으며 2차원으로 제공되는 콘텐츠들의 방향성 보다 더 많은 각도를 적은 용량의 파일로 제공할 수 있다.

##### 4.2 렌더링 프레임률 비교 분석

본 논문에서 제안하는 모바일 기기를 위한 전처리 카툰 렌더링 시스템의 프레임 안정성과 렌더링 효율을 알아보기 위하여 기존 카툰 렌더링 기법과 비교를 해 보았다. 카툰 렌더링 알고리즘의 효율을 측정하는데 사용한 A. Lake의 기법[11]과 R. Raskar의 기법[8]은 데스크탑 환경을 기반으로 제시된 기법이며 따라서 본 논문에서 제안한 기법을 데스크탑 상의 에뮬레이터에서 실행하여 그 결과를 비교하였다. 비교에 사용된 하드웨어 구성은 다음 [표 1]과 같으며 [표 2]에서 기존의 R. Raskar의 연구와 A. Lake의 연구, 그리고 제안 기법의 평균 프레임률 차이, 카툰 렌더링 구성 요소의 포함 여부 등을 비교하였다.

표 1. 분석에 사용된 하드웨어 구성

CPU	pentium M 1.2Ghz
MEMORY	1015 Mbyte
Graphic Card	915GMS
테스트에 사용된 3D Object	면 갯수 2564, 정점 갯수 1284

표 2. 기존 렌더링 기법과의 프레임률 비교

비교 항목	R.Raskar기법[8]	A. Lake 기법[11]	제안 기법
테스트 환경	데스크탑 환경	데스크탑 환경	데스크탑 상의 OPEN GLIES 에뮬레이터
실루엣 에지 렌더링	포함	포함	포함
카툰 셰이딩 렌더링	불포함	포함	포함
평균프레임률	78 fps	88 fps	108 fps

[8]의 기법은 실루엣 에지 렌더링 과정 중 후면 폴리곤의 확대 및 계산량이 뷰에 따라 변하면서 평균 fps는 78 정도를 유지하였다. 이와 비교하여 [11]의 기법은 실루엣 에지 렌더링과 카툰 셰이딩에 필요한 계산을 전처리하여 R. Raskar 기법과 달리 카툰 셰이딩을 포함하고 있지만 평균 fps는 10정도 높은 88을 유지하였다.

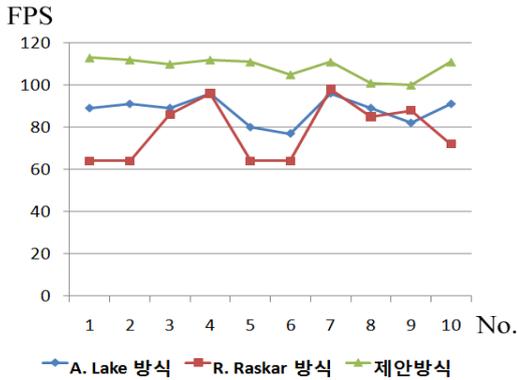


그림 10. 프레임률 비교 그래프

본 논문에서 제안한 기법은 데스크탑 상의 에뮬레이터에서 실행시켰기 때문에 다른 기법에 비해 전체적으로 프레임률에 불이익을 받았음에도 불구하고 전체적으로 높은 평균 프레임률을 보였고 또한 뷰의 변화에 따른 프레임의 급격한 저하 없이 고른 프레임률을 보여주었다. 결과적으로 [그림 10]에 나타난 것처럼 제안하는 기법은 기존 실루엣 에지 렌더링 기법과 카툰 렌더링 기법보다 높은 평균 프레임률 (평균 108.6)을 유지하였으며 안정성 면에서도 기대한 효과를 얻을 수 있었다. 또한 안드로이드 2.2 운영체제를 사용하는 실제 모바일 폰에 적용하여 프레임률을 측정한 결과 3차원 모델들(면수 380~2992개) 모두 평균 60 fps를 유지하며 목표한 렌더링 결과물을 보여주었다.

### 4.3 사용자 평가

본 논문에서는 제안하는 시스템의 효율성을 검증하기 위해 사용자 평가를 수행하였다. 본 실험에서는 모바일 기기에서의 카툰 렌더링 결과에 대한 만족도를 측정하기 위해 일반적 3차원 모델 렌더링과 카툰 렌더링을 대상으로 비교 평가하였다. 본 실험에는 30명의 실험자(모바일 기기 사용 경험군 30인)가 참여하였으며, 기존 데스크탑 상의 구현물과 OPEN GLIES 에뮬레이터, Pocket PC 에뮬레이터로 실험하였다. 평가는 크게 렌더링 프로세스의 속도와 자연스러움과 렌더링 결과에 대한 만족도를 측정하는 관점에서 이루어졌다. 사용자 평가 결과를 살펴보면 제안 논문은 일반적인 셰이딩

을 적용한 일반 렌더링보다 렌더링 성능과 결과물에서 모두 높은 만족도를 보였으며 기존 카툰 렌더링과의 비교에서는 렌더링 성능과 결과물에서 유사한 만족도를 보였다 ( $p < 0.05$ ).

첫째, 렌더링 속도 및 성능의 자연스러움에 대한 조사에서 제안 논문은 일반적인 셰이딩을 적용한 일반 렌더링과 기존 카툰 렌더링 기법에 비해서 빠른 성능과 자연스러운 뷰 전환으로 비교적 우수한 결과를 얻었다. 이는 본 논문에서 제안하는 프로세싱 기법에 포함된 부하가 적은 실루엣 에지 렌더링과 카툰 셰이딩의 전처리가 성능상 높은 효율을 보이고 있다고 할 수 있다.

둘째, 렌더링 결과물의 만족도에서 일반 셰이딩을 적용한 일반 렌더링과의 비교에서는 카툰 렌더링이 가지는 장점이 부각되어 친숙도가 높고 3차원 모델의 캐릭터가 잘 전달되는 점을 보였다. 기존 카툰 렌더링과의 비교에서는 보다 정밀한 처리가 가능한 기존 데스크탑 상의 카툰 렌더링 기법이 작은 차이로 우세를 보였으나 제안하는 기법과 큰 차이가 나지 않았다. 이는 본 논문에서 제안하는 기법이 모바일 상에서 카툰 렌더링을 구현하는 장점과 함께 기존 데스크탑 상의 카툰 렌더링 결과물과 크게 다르지 않다는 점을 보여주고 있다.

본 실험 결과를 통해 효율적인 실루엣 에지 렌더링 방식과 모바일 기기 상에서 계산량을 줄여주는 전처리 기법을 사용하여 제작한 모바일 카툰 렌더링 기법은 일반적인 렌더링 기법보다 프로세스 효율성이나 캐릭터 전달, 친밀감 등에서 좋은 효과를 가진다는 점을 보여주었고 기존 데스크탑 상의 카툰 렌더링 결과물과 같은 수준의 결과물을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 모바일 상의 기법은 다소 데스크탑 상의 결과물 보다 정밀함이나 표현면에서 개선이 필요하다는 점도 확인할 수 있었다.

## V. 결론 및 향후 연구 방향

모바일 기기의 증가와 무선 인터넷 기술의 발달로 모바일 콘텐츠의 질적 향상과 다양화에 대한 요구가 증가하고 있다. 그러나 모바일 기기는 기존의 데스크 탑 환

경에서 구현된 여러 가지 3차원 그래픽스 기술을 그대로 이용하기에는 여러 가지 성능상의 제약성(대역폭, 화면크기, CPU 성능, 저전력)을 가지고 있다. 이러한 제약성을 고려한 3차원 그래픽스의 연구는 현재 미비한 실정이다. 또한 3차원 그래픽스 분야에서도 사진과 유사한 사실적인 그래픽스에 대한 연구와 동시에 사실적인 묘사보다는 사용자와 개발자의 원활한 커뮤니케이션에 중점을 둔 표현 기법들도 연구가 활발해지고 있다. 하지만 비실사적인 그래픽스 기법은 기존의 3차원 그래픽스 렌더링 과정에 비하여 부수적인 렌더링 과정을 거쳐서 생성해야 한다는 프로세싱 부담이 크고 연구가 주로 데스크 탑을 중심으로 행해지고 있다는 단점을 가지고 있다. 모바일 기기가 가지는 제약성을 고려하면 사실적 3차원 그래픽스 묘사에는 한계가 있으며 이미 데스크 탑 환경에서의 사실적인 3차원 그래픽스에 익숙해져 있는 사용자에게는 오히려 좋지 못한 인상을 줄 수 있다. 따라서 모바일 기기에서 사용자와의 커뮤니케이션을 중요시 하는 비실사적 기법을 사용하는 것은 좋은 대안이 될 수 있을 것이다. 하지만 모바일 기기에서 비실사적 3차원 그래픽스 렌더링을 구현하기 위해서는 기존의 데스크 탑 기반의 비실사적 기법의 렌더링 파이프 라인을 변형시켜야 한다.

본 논문에서는 모바일 기기의 하드웨어적 한계를 넘지 않으면서도 데스크 탑 환경과 동일한 효과를 내는 실루엣 에지 렌더링 기법을 설계하였으며, J2C 라는 전처리 파일을 통해서 모바일 기기에서의 계산량과 프로세스를 줄임으로써 카툰 렌더링을 구현하는 시스템을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 모바일 카툰 렌더링 기법은 크게 3가지 모듈로 구성되는데 첫 번째는 데스크 탑 환경에서 구현된 전처리 파일 생성을 위한 파일 전처리 도구이다. 이를 통해서 사용자는 모델을 원하는 환경으로 설정한 후 J2C 전처리 파일을 생성한다. 두 번째 모듈은 모바일 기기에서 J2C 파일에 포함된 3차원 모델의 전, 후면 폴리곤의 연산과 제한한 공식에 따라 후면 폴리곤을 확대하여 실루엣 에지를 형성하는 모듈이다. 세 번째 모듈은 J2C 파일에 포함되어 있는 전처리 정보를 이용하여 카툰 셰이딩을 구현하게 된다.

본 논문은 모바일 기기에서 비실사적 렌더링 기법인 카툰 렌더링 기법을 구현함으로써 모바일 콘텐츠의 다양화에 기여할 수 있을 것으로 기대되며 또한 사용자 평가에서도 데스크 탑 상의 기존 카툰 렌더링 기법과 비교한 설문에서 유사한 만족도를 얻을 수 있었다.

제안하는 시스템은 모바일 기기의 제한적 자원을 효율적으로 이용하고 모바일에서의 렌더링 파이프 라인을 최대한 줄이는 것을 목표로 진행 되었으며 이는 모바일 기기가 추후 발전하여 성능이 대폭 향상된다고 하여도 늘 데스크 탑의 환경에 비하여 한계성을 내재하고 있다는 것을 전제로 하고 있다.

향후 연구로는, 전처리를 위한 회전각의 설정에 이어 각 각도 사이의 정밀하고 효율적인 인터플레이션 연구가 요구된다. 또한 본 시스템을 모바일 게임 콘텐츠 등에 활용을 할 경우 렌더링 처리의 데이터 증가에 따른 전처리 연구도 이어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] W3C Device Independence Working Group, <http://www.w3.org/2001/di/>
- [2] OPEN GL|ES, <http://www.opengl.org>
- [3] B. Gooch and A. Gooch, *Non-Photorealistic Rendering*, A K Peters, Ltd., 2001.
- [4] T. Strothotte and S. Schlechtweg, *Non-photorealistic computer graphics: modeling, rendering, and animation*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2002.
- [5] A. Appel, "The notion of quantitative invisibility and the machine rendering of solids," In Proceedings of ACM National Conference, pp.387-393, 1967.
- [6] G. Elber and E. Cohen, "Hidden curve removal for free form surfaces," In Proceedings of SIGGRAPH '90, pp.95-104, 1990.
- [7] L. Markosian, M. A. Kowalski, S. J. Trychin, L. D. Bourdev, D. Goldstein, and J. F. Hughes,

"Real-Time Nonphotorealistic Rendering," In Proceedings of SIGGRAPH '97, pp.415-220, 1997.

- [8] R. Raskar and M. Cohen, "Image Precision Silhouette Edges," In Proceedings of the symposium on Interactive 3D Graphics, pp.135-140, 1999.
- [9] T. Goodwin, I. Vollick, and A. Hertzmann, "Isophote Distance: A Shading Approach to Artistic Stroke Thickness," In Proceedings of NPAR '07, pp.53-62, 2007.
- [10] D. DeCarlo and S. Rusinkiewicz, "Highlight Lines for Conveying Shape," In Proceedings of NPAR '07, pp.63-70, 2007.
- [11] A. Lake and C. Marshall, "Stylized rendering techniques for scalable real-time 3D animation," In Proceedings of NPAR '00, pp.13-20, 2000.

저 자 소 개

**전 재 웅(Jaewoong Jeon)**

정회원



- 2003년 2월 : 연세대학교 정보공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 연세대학교 컴퓨터과학과(공학석사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

<관심분야> : 비사실적 렌더링, 스케치 기반 인터페이스, 3D 애니메이션

**장 현 호(Hyunho Jang)**

정회원



- 2004년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 컴퓨터과학과(공학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

<관심분야> : 비사실적 렌더링, 스케치 기반 인터페이스, 3D 애니메이션

**최 윤 철(Yoon-Chul Choy)**

정회원



- 1973년 2월 : 서울대학교 공학과(공학사)
- 1975년 2월 : Univ. of Pittsburgh 석사
- 1976년 2월 : Univ. of California, Berkeley 석사

▪ 1979년 2월 : Univ. of California, Berkeley 박사  
 ▪ 1984년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
 <관심분야> : 컴퓨터 그래픽스, 스케치 기반 인터페이스, 3D 애니메이션, 멀티미디어 문서처리